



SILTOJEN MAATUKIEN VAHVIS- TAMINEN SEMENTTI- INJEKTOINNILLA

Jouni Leinonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

LEINONEN, JOUNI

Siltojen maatumien vahvistaminen sementti-injektoinnilla

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 14 sivua
Huhtikuu 2014

Injektoimalla jotakin tiettyä rakennetta, esimerkiksi kalliota tai maaperää, voidaan niiden käyttöikä tai –tarkoitusta parantaa huomattavastikin. Yleisimmin menetelmällä vahvistetaan tai tiivistetään maaperän tai kallion rakennetta tai pienennetään vedenläpäisevyyttä. Eri tarkoituksia varten onkin vuosien saatossa kehitetty eri menetelmiä ja aineita.

Tässä työssä keskitytään sementti-injektointiin, jonka avulla kahden ratasillan maatumia vahvistettiin maanpaineiden ja suurempien kuormien takia. Kyseiset sillat kuuluvat VR Trackin ja Liikenneviraston väliseen allianssihankeeseen, jossa Lielähti-Kokemäki-välinen rataosuus perusparannetaan. Kohteet toimivat tässä työssä myös esimerkkihankkeina.

Maaperää injektoidessa tulee kaikki tarvittavat lähtötiedot ja vaihtoehdot olla selvitettyinä, jotta työn lopputulos on paras mahdollinen. Suunnitteluvaiheessa esimerkiksi maaperän rakeisuustiedot, pohjaveden korkeusasema ja vedenläpäisevyys tulee selvittää kairauksin ja laboratoriokokein, jotta maan injektoidavuus saadaan selville. Injektoiduvuuden selvittämisen jälkeen valitun aineen ja menetelmän sopivuutta tulee testata ennakkokokein. Näin eri seossuhteilla valmistetun laastin käyttäytyminen saadaan selville ja itse työhön sopivimmat seossuhteet mahdollisine lisäainein osataan valita ennakkoon. Ennakkokokeilla edesautetaan myös mahdollisten työnaikaisten muutosten tekemistä.

Itse työn suorittaminen vaatii tekijältä ammattitaitoa sekä oikeanlaisia välineitä. Työhön tarvittavat välineet ja työn suoritus kuvataan opinnäytetyössä, samoin kuin itse työn suorittaminen. Injektoinnin lopputuloksen varmistaminen ei välttämättä ole aina kovin helppoa. Lopputulosta tarkasteltaessa tehdään muun muassa maaperäkairauksia, joiden avulla selvitetään kovan, injektoidun maan sijainti sekä otetaan injektoidusta maasta koekappaleita mahdollisuuksien mukaan. Kappaleiden avulla voidaan mitata esimerkiksi puristuslujuutta. Lisäksi työnaikaiset havainnot ja poikkeamat kirjataan pöytäkirjaan, jotta lopputulosta voidaan arvioida parhaimmalla mahdollisella tavalla.

Esimerkkikohteille tehtyjen injektointien sekä saavutettujen tulosten perusteella injektointin käyttäminen myös tulevaisuudessa on mahdollista. Olosuhteiden salliessa sitä voidaankin miettiä yhtenä vaihtoehtona muille korjausmenetelmille.

Asiasanat: sementti-injektointi, ennakkokoe, sillan maatumie

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of engineering
Civil engineering

JOUNI LEINONEN:

Reinforcing bridge abutments with cement grouting.

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 14 pages

April 2014

Grouting is one method to reinforce, tamp or reduce water permeability. With grouting you can also improve different structure's lifetime or purpose of use. Because there is many different kind of uses, there is also various amounts of methods and materials developed during years.

This bachelor thesis is focused in cement grouting, which was used to reinforce bridge abutments for reduce soil pressure and increasing loads in two railway bridges. Both of these bridges are part of VR Track and the Finnish Transport Agency alliance project.

Before you can do grouting, you need to get all the information there is such as granularity of soil, groundwater level, permeability etc. so that you know which method you can use or is grouting even possible. These can be found out by making different kind of soundings and laboratory tests. Before grouting there is also preliminary test which must be done before actually grouting. Tests are used for finding out how the different mixes and additives work in different situations. This helps us to pick up the most suitable mixture and it also helps us if there is need to make some changes for the mixture.

The work itself takes a lot of professional skill and suitable tools and machines. All the tools and machines are told during this thesis. Finding out the final result of grouting is not always so easy. Making soundings and taking soil samples of the grouted area, you can find out location of grouted area and with the samples, for example, you can find out compressive strength of soil. It is also very important that everything what happens during work is entered in the minutes.

Based to grouting's which was made in bridge abutments, cement grouting is one possibility for other methods, especially in this kind of works.

Key words: cement grouting, preliminary test, bridge abutment

SISÄLLYS

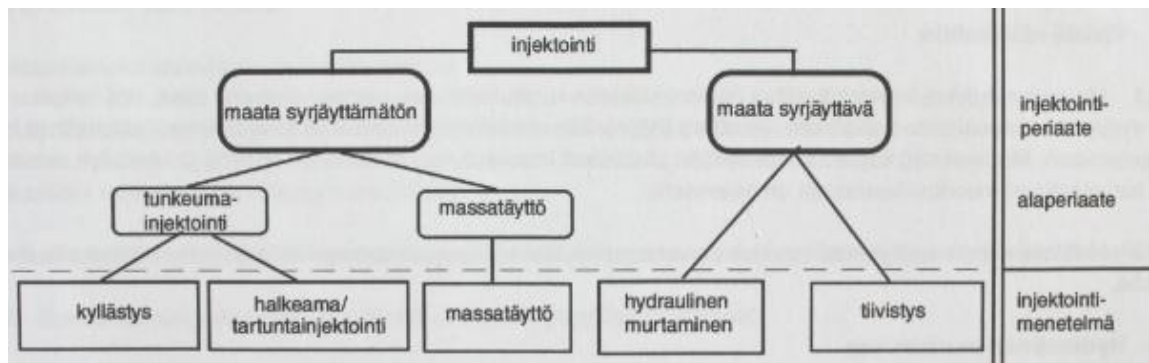
1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tausta.....	6
1.2	Tavoitteet	6
1.3	Tutkimusmenetelmät ja rajaukset	7
2	YLEISIMMÄT INJEKTOINTIAINEET- JA MENETELMÄT.....	8
2.1	Injektointi yleisesti.....	8
2.2	Vesilasi-injektointi.....	9
2.3	Epoksi-injektointi.....	9
2.4	Polyuretaani-injektointi	10
2.5	Sementti-injektointi	11
2.6	Sementti-bentoniitti-injektointi.....	12
3	MAAINJEKTOINTI	13
3.1	Yleistä	13
3.2	Käyttökohteet.....	13
3.3	Maan injektointavuuden määrittely	14
3.4	Kalusto	15
3.5	Työn suoritus	21
3.5.1	Ennakkovalmistelut.....	21
3.5.2	Injektointiputkien sijoittelu ja syvyydet.....	21
3.5.3	Injektointipaine	21
3.5.4	Käytettävät aineet ja seossuhteet.....	23
3.5.5	Injektointijärjestys.....	25
3.5.6	Lopetuskriteeri	25
3.6	Työn valvonta	25
4	ESIMERKKIKOhteet	27
4.1	Yleistä	27
4.2	Tarkastellut vaihtoehdot	27
4.3	Sillat.....	28
4.4	Ennakkokokeet.....	29
4.4.1	Välineet	29
4.4.2	Injektointiaineet.....	30
4.4.3	Seossuhteet.....	33
4.4.4	Kokeiden suoritus	33
4.4.5	Tulokset.....	35
4.5	Putkien asennus.....	36
4.6	Injektointi.....	37

4.7	Laadunvarmistus	38
4.7.1	Valvonta	38
4.7.2	Kairaukset	38
4.7.3	Koekappaleiden laboratoriotutkimukset	39
4.8	Ongelmat.....	40
5	TULOKSET	41
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	46
	Liite 1. Vahvistusvaihtoehto 1.....	47
	Liite 2. Vahvistusvaihtoehto 2.....	48
	Liite 3. Vahvistusvaihtoehto 3.....	49
	Liite 4. Koekappaleiden puristuspöytäkirja.....	50
	Liite 5. Ennakkokokeiden analysoidut tulokset	51
	Liite 6. Injektointikartta.....	52
	Liite 7. Kairausdiagrammikuvaajat	53

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Yleisimmin injektoinnilla tarkoitetaan maan, betonirakenteen tai kallion vahvistamiseen, tiivistämiseen tai vedenläpäisevyyden pienentämiseen tarkoitettavaa työmenetelmää. Injektointimenetelmässä johonkin edellä mainittuun rakenteeseen suihkutetaan tai pumpataan nestemäistä ainetta alla olevan kuvan (kuva 1) periaatteiden mukaisesti. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2008,116.)



KUVA 1. Injektointiperiaatteet ja -menetelmät (SFS 2008-4, 117)

Injektoinnin avulla rakenteen käyttöikä voidaan lisätä huomattavastikin samoin kuin rakenteen varmuutta. Injektoinnissa materiaalien käyttö ja menetelmät mietitään kohteen rakenteen ja ominaisuuksien mukaan, esimerkiksi maan rakeisuuden mukaan. Myös muut seikat kuten kustannukset ja kohteen muu samanaikainen käyttö voi vaikuttaa työtapaan. (Its-vahvistus 2013.)

1.2 Tavoitteet

Siltakansien uusiminen samoin kuin siltojen yli kulkevat, koko ajan lisääntyvät liikennekuormat aiheuttavat sen, että sillan vanhoja rakenteita joudutaan uusimaan tai vahvistamaan, jotta niiden luotettavuus saadaan vaaditulle tasolle. Tarkoituksena tässä työssä on käsitellä maainjektointia yleisesti sekä työssä käytettyjen esimerkkikohteiden avulla havainnollistaa käytettyjä työmenetelmiä sekä pohtia miten työn suorittamista voidaan mahdollisesti parantaa tai tehostaa tulevaisuudessa. Myös saavutettuja tuloksia käsitellään laadunvarmistuksien kautta.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja rajaukset

Ennen työn suorittamista laaditut suunnitelmat ja dokumentit sekä työn aikaiset pöytäkirjat ja havainnot toimivat tässä lopputyössä materiaalilähteinä. Lisäksi alan kirjallisuus, alan ammattilaisten internetsivut sekä asiantuntijahaastattelut toimivat lähdeaineina työssä.

Tämä opinnäytetyö keskittyy maainjektointiin ja tarkemmin sementti-injektointiin kahden esimerkkikohteen avulla. Työssä tullaan käsittelemään sekä kallioinjektointia että rakenteiden korjausinjektointia vain pintapuolisesti, samoin muut injektointiaineet ja -menetelmät sementin lisäksi tullaan käsittelemään lyhyesti.

2 YLEISIMMÄT INJEKTOINTIAINEET- JA MENETELMÄT

2.1 Injektointi yleisesti

Injektointimenetelmiä ja -materiaaleja on useita ja oikean menetelmän valitsemiseksi täytyy huomioida useampia tekijöitä. Huomioitavia tekijöitä suunniteltaessa injektointia on esimerkiksi kohteen muoto, tilavuus ja materiaali. Injektoitavan kohteen geotekniset ja geologiset maaperätiedot tulee olla selvitettyinä, kuten myös mahdollisesti ympäristöön liittyvät riskit ja rajoitukset. Viereisten rakennusten tai muun kohteella tapahtuvan rakentamisen vaikutukset tulee myös ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2008, 116.)

Koska injektointia tehdään niin korjausrakentamisen kuin myös lisärakentamisen osalta, tulee jo olemassa olevien rakenteiden kunto ja sijainti olla selvitettyinä. Työhön tarvittavien materiaalien ja välineiden varastointiin tulee olla varattuna riittävä tila ja niin ettei se häiritse muuta mahdollista työmaatyöskentelyä. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2008, 116.)

Materiaalien tilauksessa pitää huomioida, että kaikkia materiaaleja ei Suomesta saa vaan ne joudutaan tilaamaan ulkomailta. Tämä voi lisätä kustannuksien lisäksi myös toimitusaikoja, joten ennakointi ja aikataulun suunnittelu on erittäin tärkeää.

Injektointiin käytettäviä aineita on paljon ja niistä yleisimmin käytettyjä ovat sementti, uretaani, vesilasi sekä epoksi. Ennen menetelmän valintaa kohteesta tulee tietää tarvittavat lähtötiedot, jotta oikea menetelmä osataan valita. Aineiden ominaisuudet eroavat toisistaan, esimerkiksi sementtilaastilla voidaan saavuttaa jopa 65 MPa puristuslujuus, mutta vedenläpäisevyysominaisuudet eivät ole polyuretaanin veroisia, jonka lujuus taas on sementtiin verrattuna vähäinen. Rakenteellisten eroavaisuuksien mukaan injektointiaineille on olemassa erilaisia jaottelutapoja, joista eräs käytännönläheinen on seuraava:

- **rakeiset aineet** (injektointilaasti, esim. sementti- tai sementti-bentoniittilaasti)
- **silikaattipohjaiset aineet** (kemiallinen injektointi; kaksi- tai yksikomponentti-aineet)
- **muovi-injektointiaineet**. (akryylihartsit, polyuretaanit ja epoksit) (RIL 174-5, 125.)

Eri materiaaleja yhdistelemällä voidaan saavuttaa lisäominaisuuksia, mutta toisaalta jokin toinen ominaisuus taas voi heikentyä. Esimerkiksi runsas bentoniitin lisääminen sementtilaastiin pienentää vedenläpäisevyyttä, mutta heikentää loppulujuutta.

2.2 Vesilasi-injektointi

Vesilasi on kvartsihiekan ja soodan seos johon lisätään pieniä määriä seoksen kovettimena käytettäviä happoja. Hapot muuttuvat reaktiossa suoloiksi, jotka sitoutuvat kiihdyttimenä käytetyn suolan ohella vesilasiin muuttuen pysyviksi yhdisteiksi. (Vesilasi-injektointi 2013.)

Menetelmä voidaan tehdä joko yksikemikaali- tai kaksikemikaalimenetelmällä. Yksikemikaalimenetelmässä vesilasiin lisätään vesi ja kovetin jonka jälkeen seos pumpataan kohteeseen. Kaksikemikaalimenetelmässä kovetin ja kiihdytin sekoitetaan vasta injektointireiän suulla, jolloin suurempien kovetin- ja vesilasipitoisuuksien käyttäminen on mahdollista. Tämä muun muassa mahdollistaa suurempien loppulujuuksien saavuttamisen. (Vesilasi-injektointi 2013.)

Vesilasi-injektointia käytetään usein erilaisten rakennuskaivantojen tukemiseen ja sillä voidaan myös lisätä maaperän kantavuutta hienorakeisilla mailla. Kyseinen injektointimenetelmä on erityisen hyvä silloin kun tuettava alue on pieni, tuettava alue on rakennuksen vieressä tai kun alue on rakennuksen sisällä. Menetelmän avulla työskentelyalue voidaan rajata pieneksi jolloin työstä ei koidu lähialueen muulle työlle haittaa. Lisäksi vesilasi-injektointi on muita kemiallisia aineita edullisempi ja sen ympäristöystävällisyys on monia muita aineita parempi. (Vesilasi-injektointi 2013.)

2.3 Epoksi-injektointi

Epoksihartsi on eräänlainen muovi-injektointiaine, joka koostuu kahdesta tai useammasta komponentista. Epoksia käytetään yleisesti betonirakenteiden halkeamien korjaukseen. (Tiehallinto 2003, 23.) Epoksin käyttö injektoinnissa on yleistä myös alustastaan irti olevien laattojen eli ns. Kopo-laattojen korjauksessa (Saumaset Oy 2009). Lujuusominaisuudet epoksilla ovat suuremmat esimerkiksi betoniin verrattuna, alkuperäinen lujuus on mahdollista saavuttaa epoksi-injektoinnin avulla. Epoksin hyvät joust-

vuusominaisuudet ja hyvä kestävyys säärasituksia vastaan tekevät aineesta hyvin korjauksiin sopivan vaihtoehdon. (Tiehallinto 2003, 23.)

Epoksi-injektoinnissa massa injektoidaan korjauskohteeseen, yleisesti halkeamiin, johon se tunkeutuu ja liimaa rakenteen yhtenäiseksi rakenteeksi. Epoksi-injektoinnissa on kaksi tapaa tehdä työ: paineinjektoinnissa halkeamaan pumpataan nopeasti kovettuvaa hartsia kun taas imeytysinjektoinnilla, jota käytetään vaakarakenteiden korjausmenetelmänä, halkeama avataan pinnasta ja kaadetaan hartsi siihen kunnes halkeama on täynnä. Työn onnistumisen kannalta on tärkeää, että halkeaman pinta on puhdas. Tämän jälkeen aineen annetaan imeytyä. (Epoksi-injektoinnit 2009.)

2.4 Polyuretaani-injektointi

Polyureetani on epoksin tavoin muovi-injektointiaine, jonka ominaisuus on sen kyky reagoida kosteuden kanssa. Polyuretaanin käyttökohteita ovat esimerkiksi betoniseinät, kalliohalkeamat ja vuotavat rakenteet. Polyuretaaneja on erilaisia ja niiden ominaisuudetkin eroavat toisistaan esimerkiksi kestävyytensä, paisuntaominaisuuksiensa ja käyttöominaisuuksiensa puolesta. Esimerkiksi polyuretaanin paisunta voi kohteessa olla 0-10-kertaista kun taas vapaassa tilassa aine voi paisua jopa 40-kertaiseksi. (Tiehallinto 2003, 24.)

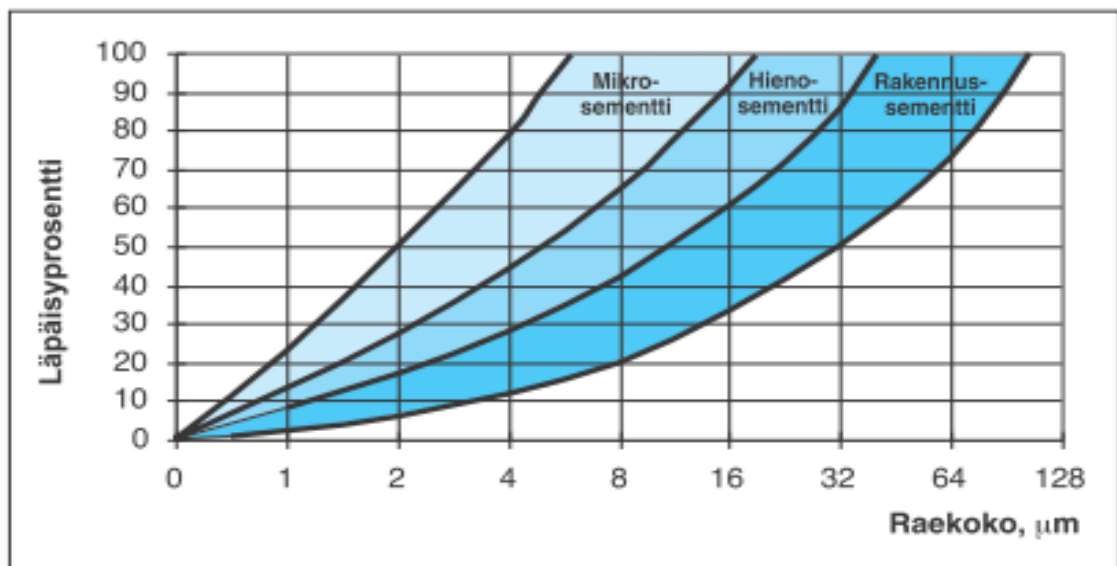
Polyuretaanit jaetaan vesiliukoisiin, 1-komponenttisiin ja 2-komponenttisiin esipolymeeroituihin veden kanssa reagoiviin polyuretaaneihin, jossa lopputulos riippuu kohteen vesimäärästä ja siihen liukenevasta polyuretaanista. Vesiliukoisen 2-komponenttisen uretaanin tekeminen tapahtuu työmaalla jossa seoksen osat yhdistetään. Seossuhteiden tulee olla tarkoin määritelty. Seos eroaa 1-komponenttisesta muun muassa sillä, että se reagoi myös ilman vettä. Veteen liukenematon 2-komponenttinen seos eroaa vesiliukoisesta siten, että sen reagointi veden kanssa ei toimi. Tällöin työt joudutaan tekemään kuivatyönä. (Tiehallinto 2003, 24.)

2.5 Sementti-injektointi

Sementti-injektointi soveltuu esimerkiksi maaperän kantavuuden parantamiseen, kallion lujittamiseen, halkeamien korjaamiseen ja tyhjätilojen täyttämiseen. Sementin käyttäminen injektoinnissa perustuu runkoaineeseen eli sementin sekä veden muodostamaan kovaan kiviainekseen joka lujittuessaan muodostaa kovan ja liukenemattoman aineksen (Tiehallinto 2003, 20).

Sementtilaasti on ns. epästabiili seos eli sen tulee olla koko ajan tarpeeksi nopeassa liikkeessä, jotta vesi ja sementti eivät pääse erottumaan (RIL 166, 312). Ominaisuuksia voidaan parantaa oikeilla välineillä sekä lisääineillä. Veden ja sementin seokseen lisätään tarvittaessa kohteen ja tarpeen mukaan lisääineita, joilla esimerkiksi sitoutumisaikaa saadaan joko hidastettua tai nopeutettua.

Rakeisuutensa perusteella sementit jaotellaan luokittain suuremman raekoon omaaviin rakennussementteihin, kuten rapid- ja pikasementteihin sekä hieno- ja mikro-sementteihin, joiden rakeisuus on rakennussementtejä pienempi. Alla olevassa kuvassa 2 on esitetty eri sementtilaatuksen likimääräiset rakeisuusalueet.



KUVA 2. Eri sementtilaatuksen likimääräiset rakeisuusalueet (Tiehallinto 2003, 20)

Sementtilaadut jaotellaan raekokonsa puolesta, mutta myös niiden ominaisuuksissa on eroja. Kuten alla olevasta taulukosta (taulukko 1) käy ilmi, saavutetaan mikro-sementillä suuremmat puristuslujuudet kuin muilla sementtilaaduilla. Myös sitoutumisaika eri laa-

duilla vaihtelee paljonkin, esimerkiksi mikrosementin vaatima sitoutumisaika on noin 3-4 kertaa vähemmän kuin perinteisillä rakennussementeillä.

TAULUKKO 1. Eri sementtilaatujen ominaisuuksia (Tiehallinto 2003, 20)

	Mikrosementti	Hienosementti	Rakennussementti
Tilavuuspaino, kg/m ³	2900–3200	3100–3200	3100–3200
Suurin raekoko, μm	20 (100 %) ¹⁾	40 (100 %) ¹⁾	125 (95 %) ¹⁾
Ominaispinta-ala, m ² /kg	2000–2400 ²⁾	1100–1500 ²⁾	350–550 ³⁾
Sitoutumisaika, min.	35–45	90–120	110–180
Puristuslujuus, MPa, 2 d 28 d	30–35 60–65	25–30 55–60	15–35 45–65

1) Suurimman seulan läpäisyprosentti

2) BET (typpi-adsorptio), määritetään standardin ISO 9277 mukaan

3) Määritetään standardin SFS-EN 196-6 mukaan

2.6 Sementti-bentoniitti-injektointi

Sementtilaastin ominaisuuksia voidaan muuttaa lisäämällä siihen bentoniittia. Pienellä määrällä bentoniittia, 2...5 % sementin painosta, saadaan sementistä paremmin koossapysyvää sekä pumpattavuudeltaan ja tunkeutuvuudeltaan parempaa massaa. Suuremmalla bentoniitin lisäyksellä (10...30 % sementin painosta) laastin puristuslujuus heikkenee ja injektoitavan alueen ollessa pohjavedenpinnan alapuolella, massa pysyy joustavana. Pienellä määrällä bentoniittia puristuslujuus sen sijaan ei juuri heikkene. (RIL 166, 313.)

Sementti-bentoniittilaastia tehdessä tulee aineosien sekoitusjärjestykseen kiinnittää huomiota. Bentoniittilaastiin sekoitetaan sementti, toisinpäin tehtynä laasti jäykistyy nopeasti ja työstettävyys heikkenee. Toisin kuin sementtilaasti, sementti-bentoniittilaasti on ns. stabiili seos, jossa ei tapahdu erottumista. (RIL 166, 313.)

3 MAAINJEKTOINTI

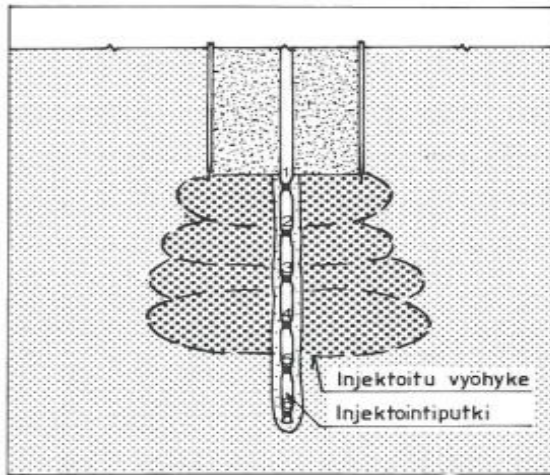
3.1 Yleistä

Maainjektoinnilla tarkoitetaan huokosten tai tyhjätilojen täyttämistä jollakin nestemäisellä kovettuvalla aineella, jonka tarkoituksena on yleisimmin joko maan lujuuden parantaminen, vedenläpäisevyyden pienentäminen tai maan tiivistäminen. Injektointiin käytettävä massa viedään maaperään tarkoitukseen valmistettujen putkien kautta paineen avulla ja putkien maahan asentaminen tapahtuu joko lyömällä tai poraamalla asiaankuuluvalla kalustolla. (Its-vahvistus 2013.)

3.2 Käyttökohteet

Maainjektoinnin käyttökohteina maan lujuuden lisäämisen tai vedenläpäisevyyden pienentämisen lisäksi on useita. Esimerkiksi ponttiseinän lyömisen seurauksena maa tiivistyy ja aiheuttaa mahdollisesti painumia. Injektoinnin avulla ongelmaa on ainakin mahdollista vähentää. Lisäksi injektoinnin avulla perustuksilta tulevaa kuormaa on mahdollista jakaa laajemmalle alueelle. Injektointi sopii moneen tarkoitukseen kunhan kohteen olosuhteet ja maaperätiedot on tarkkaan selvitetty. Alla on muutamia injektointiin soveltuvia kohteita:

- heikot rakenteet, joissa maanpainetta halutaan pienentää
- uusien, kevyiden rakenteiden perustaminen
- paalujen kantavuuden parantaminen kärjen alapuolelta injektoimalla (kuva 3)
- maanpaineiden rakenteille aiheuttaman rasituksen pienentäminen
- kaivantojen pohjan vahvistaminen
- pienet ja ahtaat tilat, joissa tuentatarvetta
- kohteet, joissa ylimääräistä tärinää ei sallita. (RIL 174-5 1991, 122.)



2. Paalun kantavuuden parantaminen.

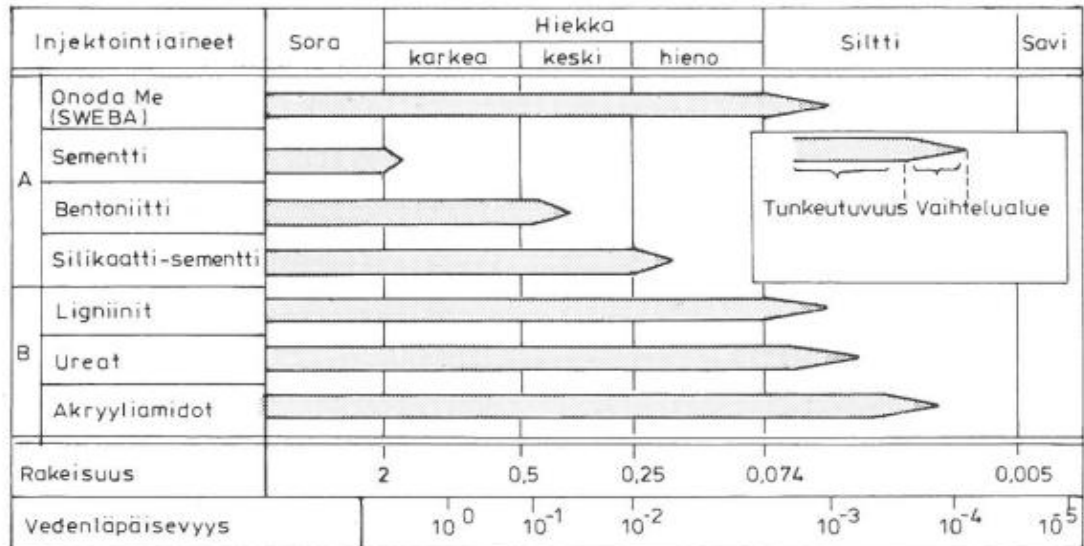
KUVA 3. Paalun kantavuuden parantaminen injektoinnilla (RIL 174-5 1991, 122)

3.3 Maan injektoitavuuden määrittely

Jotta maainjektointia voidaan käyttää ja menetelmän käyttö olisi perusteltua, tulee ennen varsinaisen injektointityön suorittamista saada maaperän tiedot selville. Injektoitavan maan kerrosrajat sekä mahdollisen pohjaveden korkeusasema tulee selvittää ja tätä varten tuleekin tehdä kairauksia kohteelle sopivaksi katsotulla menetelmällä tai menetelmillä. Kairauksien yhteydessä otetaan maaperästä näytteitä joilla maan rakeisuus, vedenläpäisevyys ja erilaiset kemialliset ominaisuudet selvitetään laboratoriokeihin. Maaperästä saatujen tuloksien jälkeen tutkitaan valittavien injektointiaineiden ominaisuuksia. Keskeisimpiä valintaan vaikuttavia kriteereitä ovat

- aineen tunkeutuvuus maaperään
- vaikutukset ympäristölle
- hinta
- minkälainen on sen kyky muodostaa lujia ja pysyviä sidoksia
- aineen geeliytymisajan nopeus ja säädeltävyys. (RIL 174-5, 124.)

Alla olevassa kuvassa 4 on esitetty erilaisten injektointiaineiden tunkeutuvuuksia maaperään. Kuvasta nähdään, että muovi-injektoinnilla päästään tunkeutumaan hiekkaiseen maaperään kun taas sementillä tunkeutuvuus jää soran alueelle. Poikkeuksena perussementeistä on raekooltaan pienempi mikrosementti, jolla voidaan injektoida hienoakin hiekkaa. Mikrosementin käyttö mahdollistaa siis myös olosuhteet joissa on totuttu käyttämään hartsipohjaisia aineita.



7. Eri injektointiaineiden tunkeutuvuuksia.

KUVA 4. Eri injektointiaineiden tunkeutuvuuksia (RIL 174-5 1991,125)

Valintoihin on olemassa useita käytännön sääntöjä, joilla maan injektoitavuus pystytään selvittämään rakeisuuden perusteella. Alla olevalla kaavalla (1) saadaan injektoinnin luotettavuus selville rakeisten injektointiaineiden kohdalla vertaamalla maan rakeisuutta injektointiaineen läpimittaan (Maatukien injektointiraportti). Kaavassa D_{15} tarkoittaa rakeisuuskäyrän läpäisyprosenttia 15 vastaavaa lukua ja D_{95} injektointiaineen vastaavaa lukua 95 % kohdalla. Injektointi on mahdollinen, mikäli

$$N = \frac{d_{15}(\text{maa})}{d_{95}(\text{aine})} > 15 \quad \text{tai} \quad N' = \frac{d_{10}(\text{maa})}{d_{85}(\text{aine})} > 8 \quad (1)$$

Maan vedenläpäisevyys ja rakeisuus tulee selvittää, sillä ne ovat tärkeimmät yksittäiset injektoitavuuteen liittyvät parametrit. Näistä kahdesta maan rakeisuus on käyttökelpoimpi vedenläpäisevyysmääritysten mahdollisten epäluotettavuuksien takia. (RIL 174-5 1991, 125.)

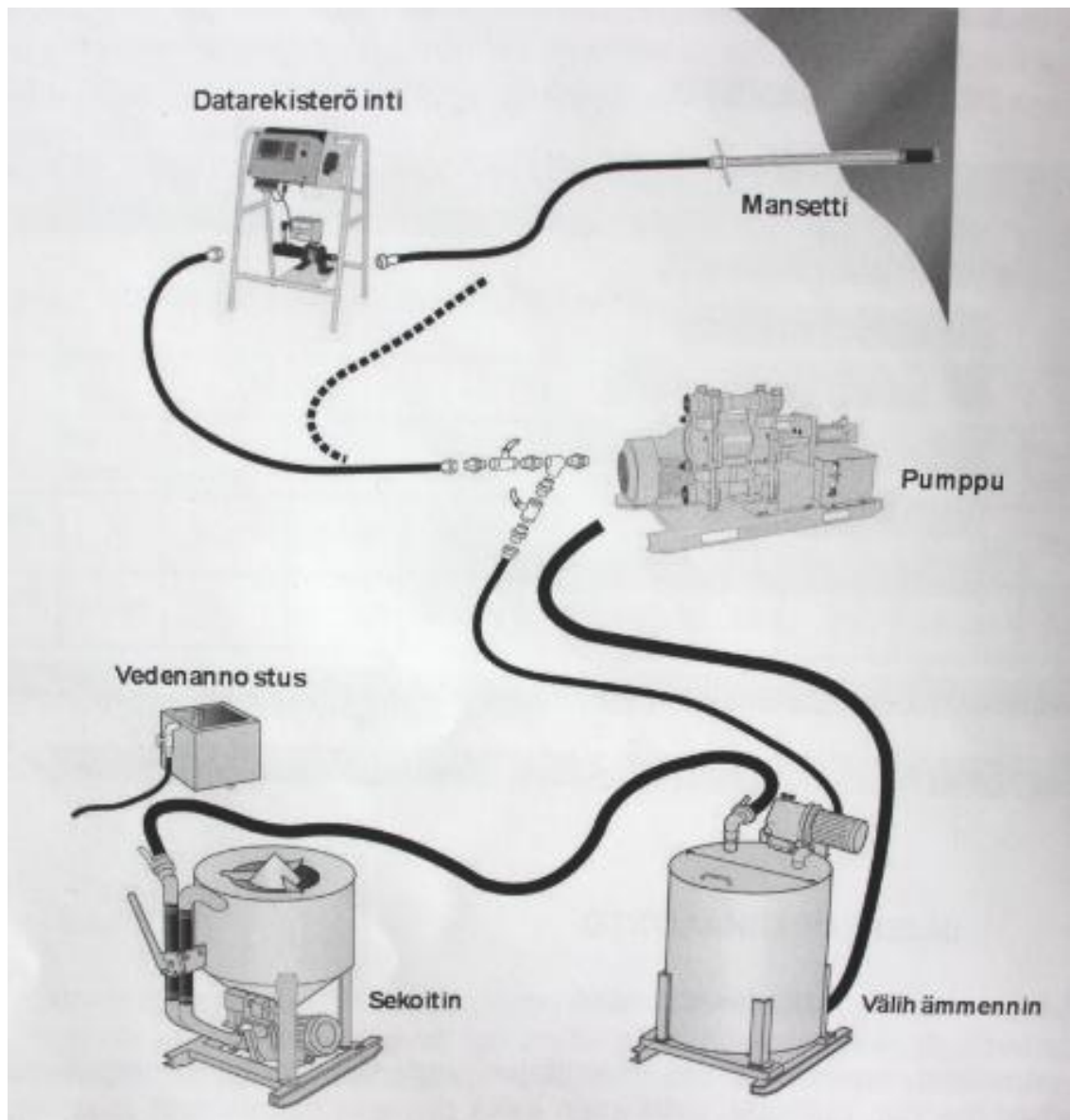
3.4 Kalusto

Maainjektointia varten tarvittava kalusto on seuraavanlainen:

- nestesäiliö
- pumppu
- sekoittimet

- letkuja
- mansetteja
- injektointiputket
- datarekisteröintilaitte (mahdollinen).

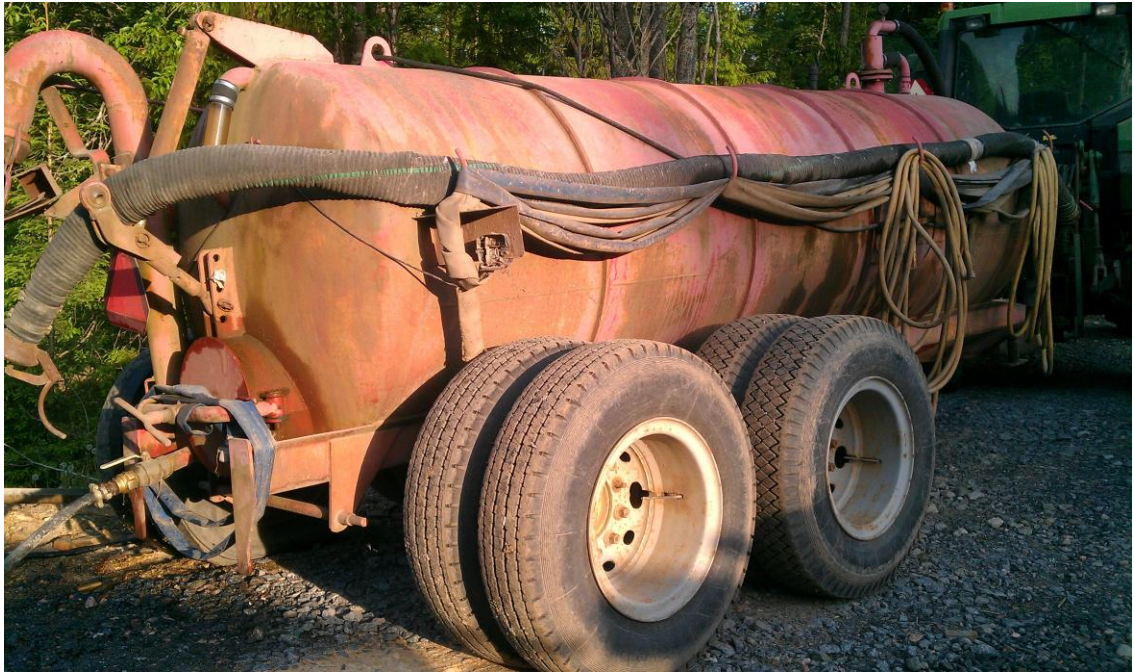
Alla olevassa kuvassa 5 on esitetty injektointikalusto. Tarvittava kalusto voi olla joko kokonaan omalle alustalle valmistettu yksikkö, johon sisältyy pumppu ja sekoittimet tai yleisemmin käytössä oleva systeemi, jolloin jokainen laite on omana yksikkönään irrallaan toisistaan.



KUVA 5. Injektointikalusto (Betoniyhdistys 2006, 16)

Kalustoon kuuluu myös veden säilömiseen tarkoitettu nestesäiliö, jonka koko valitaan tarpeen mukaan. Säiliö voi olla esimerkiksi helposti liikuteltava vesitankki (kuva 6), josta veden syöttäminen on mahdollista.

Työmaalla voi olla myös varasäiliöitä, jotka saadaan käyttöön heti kun käytössä olevasta säiliöstä loppuu vesi. Näin säiliön täyttämiseen kuluva aika ei keskeytä itse injektointia pitkäksi aikaa.



KUVA 6. Vesitankki veden säilömiseen.

Injektoinnissa käytettävät sekoittimet ovat ns. kolloidisekoittimia (kuva 7) joiden pyörimisnopeus on 1000–3000 kierrosta minuutissa.

Suuren pyörimisnopeuden tarkoituksena on, että

- massa sekoittuu hyvin eikä synny paakkuja
- sementtipartikkelit erottuvat toisistaan mahdollisimman hyvin
- varmistetaan rakeiden kostuminen joka puolelta mahdollisimman hyvin.



KUVA 7. Injektoinnissa käytettävä kolloidisekoitin ja takana välisekoittaja.

Sekoittimesta massa siirretään välisekoittajaan jonka tarkoituksena on pitää massa tasa-laatusena ja jatkuvassa liikkeessä ennen sen siirtämistä eteenpäin. Välisekoittajan tilavuus on vähintään kaksi kertaa sekoittimen hyötytilavuus ja pyörimisnopeus 60–100 kierrosta minuutissa. (RIL 166, 316.)

Injektointimassan sitoutumisaikaa tulee seurata. Massalle asetetaan ennen injektointia sallittu injektointiaika joka yleensä on 30...60 min välillä. Sallittu injektointiaika määräytyy sen mukaan mikä on lämpötila, sementtityyppi ja vesi-sementtisuhte. Mikäli aika ylittyy, tulee sen hetkinen massa hävittää asianmukaisesti ja järjestelmä huuhdella huolellisesti. (Kalliotilojen injektointi 2006, 25.)

Välisekoittajasta injektointimassa siirretään pumpun paineen avulla letkujen kautta mansettiin. Letkujen ja liittimien eheys ja kunto tulee tarkastaa ennen käyttöönottoa. Niiden tulee olla tarkoituksenmukaisia, lisäksi toimivuus ja kestävyys suurinta sallittua painetta vastaan täytyy olla ennen injektointia varmistettuna.

Mansettien päätyypit ovat mekaaninen sekä hydraulinen mansetti (paineella toimiva). Mekaaniset mansetit (kuva 8) ovat yleisemmin käytössä olevia niiden hyvän uusiokäytämisen vuoksi.



KUVA 8. Mekaaninen mansetti injektointiputkeen asennettuna (vas.) sekä mansetin periaatekuva (oik.) (Betonyhdistys 2006, 19)

Mekaaninen mansetti kierretään käsin paikoilleen ja sen toimintaperiaate on seuraavanlainen: mansettia kierretään ylhäältä käsin, jolloin alapäässä kuminen osa paisuu ja kiinnittyy putken seinään tiivistäen kumiosan välisen osuuden. Paineen avulla syötettävä massa ei pääse tiivistyksen ansiosta ylöspäin vaan suihkuaa ulos halutulla syvyydellä. Edellä mainittu mansetti on ns. yksinkertainen mansetti. Sen lisäksi olemassa on myös kaksoistulppalla varustettu mansetti jonka toimintaperiaate on muuten sama, mutta kaksoistulppamallissa on kaksi tiivistyspintaa, joita kiristämällä saadaan haluttu, tulppien väliin rajattu alue injektoitua. (RIL 166, 316.)

Hydrauliset mansetit puristetaan paineen avulla putkeen kiinni. Mansetin yläpäähän asennetaan painemittari, jolla paineen kehitystä ja lopettamispainetta pystytään helposti seuraamaan.

Injektointiputket ovat yksinkertaisimmillaan päästä suljettuja teräsputkia, joka on alapäästä tasoittain rei'itetty (kuva 9). Maahan asentamisen jälkeen putkia ei enää siirretä tai poisteta vaan ne jätetään paikoilleen.



KUVA 9. Injektointiputkia.

Daterekisteröintilaitteella (kuva 10), mikäli sellainen on systeemiin liitetty, voidaan rekisteröidä injektoinnin tietoja jo paikanpäällä sähköisesti.



KUVA 10. Datarekisteröintilaitte

Laitteella on mahdollista rekisteröidä muun muassa seuraavia tietoja:

- paineet
- seossuhteet
- reiän tiedot
- massamenekki
- päivämäärät ja kellonaika.

3.5 Työn suoritus

3.5.1 Ennakkovalmistelut

Ennen injektoinnin aloittamista tulee selvitettyinä olla

- putkien sijainnit
- käytettävä paine
- käytettävät aineet määrineen ja seossuhteet
- injektointi syvyydet
- injektointijärjestys
- lopetuskriteeri.

3.5.2 Injektointiputkien sijoittelu ja syvyydet

Injektointiputkien sijainnit määräytyvät niin, että haluttu alue saadaan injektoitua mahdollisimman laajasti. Putkien keskinäiset etäisyydet vaihtelevat maan tiiviyydestä riippuen 0,5 metristä jopa 2,5 metriin niin, että mitä tiiviimpää maaperää on, niin sitä lähempänä toisiaan putket sijaitsevat (RIL 166, 317). Lisäksi käytettävä paine vaikuttaa putkien sijoittamiseen. Putkien syvyydet määräytyvät kohteen mukaan.

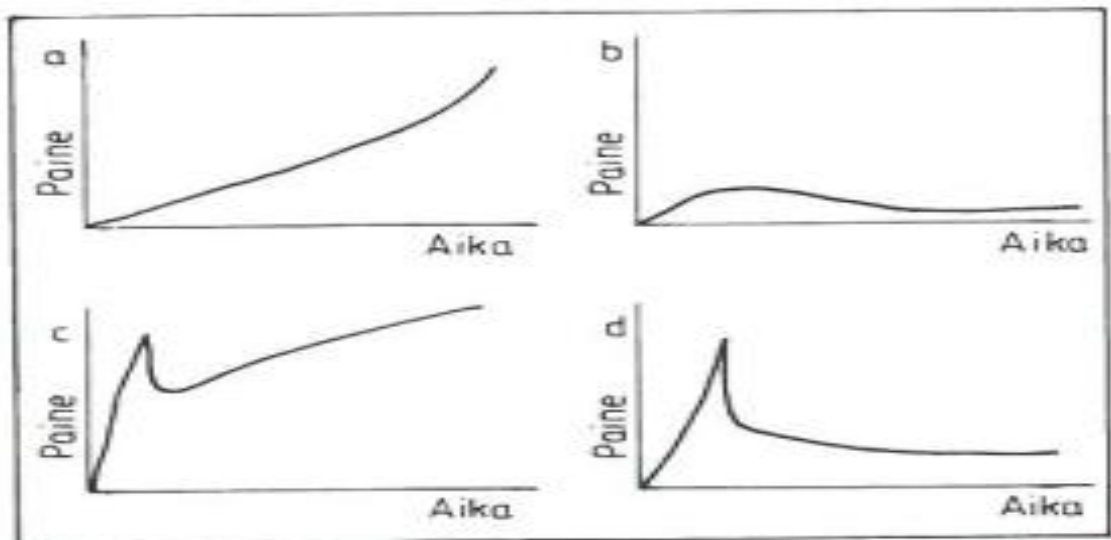
3.5.3 Injektointipaine

Injektoinnissa käytettävä paine sovitaan ennen työn alkamista. Paineen avulla injektointimassa saadaan maaperään ja paineen avulla maaperään saadaan synnytettyä halkeamia, joiden avulla massa pääsee leviämään. Painetta seurataan työn kuluessa ja sitä voidaan myös muuttaa havaintojen perusteella, mikäli tarvetta on. Liian suuri paine voi aiheuttaa liian suuria vaakasuuntaisia halkeamia maaperään jolloin vaarana on, että

maaperä nousee aiheuttaen maaperän heikkenemistä tai yllä olevien rakenteiden vaurioitumista. Lisäksi suurien halkeamisen täyttämiseen kuluu enemmän injektointimassaa. (RIL 166, 317.)

Injektointi lopetetaan useimmiten kun ennalta sovittu paine tasaantuu ja pysyy sovitulla alueella ilman suurempia painepiikkejä. Tällöin maa halutulta alueelta on ns. kyllästynyt ja massa ei leviä enempää. Mikäli injektoinnin aikana havaitaan, että massa nousee pintaan toisen putken kautta tai suoraan maasta, injektointi lopetetaan. Mikäli massamenekki on suurta sen vaikuttamatta paineeseen tai paineen noustua syntyy suuri painepiikki paineiden taas laskiessa, voidaan siitä päätellä, että massa karkaa maaperässä hallitsemattomasti. Mikäli paineet taas nousevat heti injektoinnin alettua ja massamenekin ollessa vielä pientä, on todennäköistä, että massa ei pääse liikkumaan maaperässä.

Alla olevassa kuvassa 11 on esitetty paineen kehittymistä eri tilanteissa.



KUVA 11. Injektointipaine eri tapauksissa (RIL 166, 318)

Kuvan *a-tapauksessa* on normaali injektointi eli paine kehittyy normaalisti ja saavuttaa lopulta maksimipaineen. Kuvan *b-kohdassa* laasti nousee ylös pintaan, *c-kohdassa* paine nousee nopeasti, jonka jälkeen tapahtuu murtuminen maaperässä. Murtuman jälkeen paine kasvaa normaalisti ja injektointi jatkuu. Kuvan *d-kohdassa* liian suuri paine on synnyttänyt murtuman maaperään ja laasti on päässyt karkaamaan hallitsemattomasti ulos alueelta, jolloin injektointia ei ole syytä enää jatkaa. (RIL 166, 319.)

3.5.4 Käytettävät aineet ja seossuhteet

Käytettävät aineet ja seossuhteet valitaan suunnitteluvaiheessa. Veden tulee olla aina puhdasta. Käytettävä aine, esimerkiksi sementti, valitaan niin maaperän kuin myös sementtilaadun ominaisuuksien mukaan. Lisäaineet valitaan tarpeen mukaan. Lisäaineiden käytön tarkoituksena yleisimmin on

- veden erottumisen vähentäminen
- sitoutumisajan lyhentäminen
- tunkeutuvuuden lisääminen.

Seossuhteina ja käytettävänä lisäaineina käytetään valmistajien antamia ohjeita sillä näin saadaan paras lopputulos.

Se minkälaisia seoksia työssä tullaan käyttämään, saadaan selville tekemällä ennakkokokeita ennen varsinaista työtä. Kokeiden avulla selvitetään muun muassa

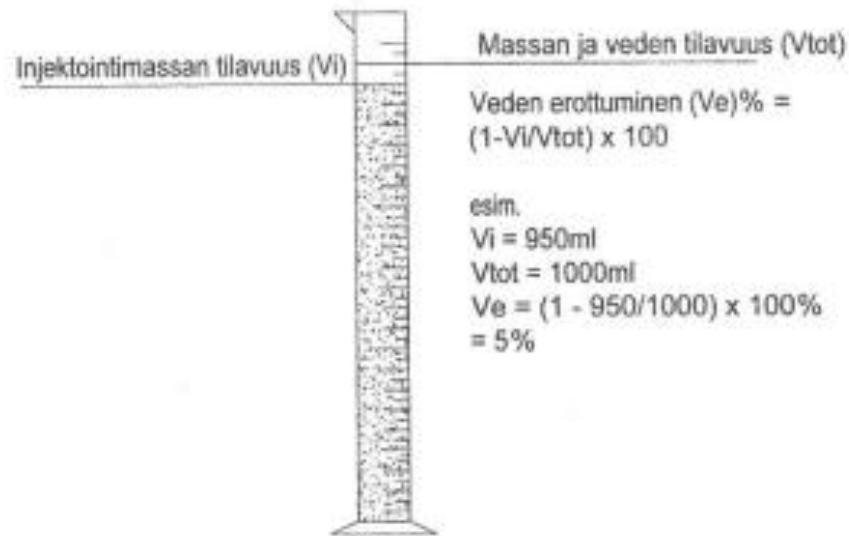
- viskositeetti
- veden erottuminen
- kovettumisaika
- tilavuuspaino
- puristuslujuus
- injektoitavuus.

Kokeiden perusteella valitaan oikeat seossuhteet ja mikäli tarvetta on, niitä osataan myös muuttaa työn ohessa. Kokeita tehdessä käytetään samoja aineita kuin mitä työnaikaisesti on mahdollista käyttää. Ennakkokokeiden tekeminen korostuu varsinkin silloin, kun käytettävä aine on uusi tai sen käyttötapoja ja ominaisuuksia ei tunneta.

Laboratoriokokeiden perusteella valittuja seoksia voidaan tietyiltä osin valvoa myös työmaalla. Työmaalla tehtävät kokeet tehdään jotta käytettävän laastin seossuhteet ovat tasalaatuisia ja vaatimuksen mukaisia. Yleisimmin käytössä olevat menetelmät ovat vedenerottumiskoe sekä viskositeetin määrittäminen Marsh-suppilon avulla.

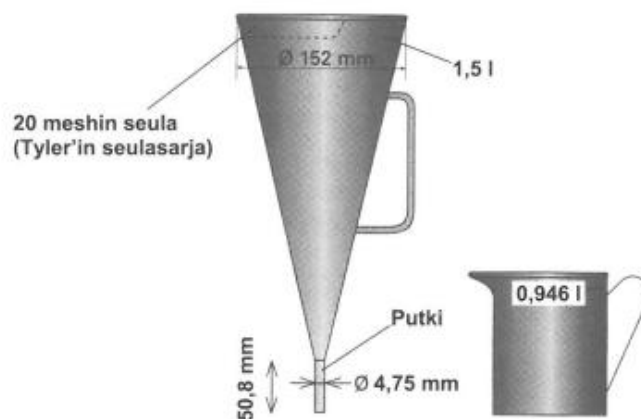
Vedenerottumiskokeessa asteikolla varustettuun mitta-astiaan kaadetaan laastia (kuva 12), jonka jälkeen astia asetetaan johonkin tasaiseen paikkaan. Laastista erottunut vesi

luetaan kahden tunnin kuluttua suoraan asteikolta ja ilmoitetaan prosentteina kokonaistilavuudesta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2006, 34.)



KUVA 12. Vedenerottumiskoe (Suomen Betoniyhdistys ry 2006, 35)

Viskositeetin määrittäminen Marsh-suppilon avulla (kuva 13) tehdään niin, että suppiloon kaadetaan 1500 ± 15 ml injektointilaastia ja valutetaan siitä 1000 ± 10 ml pois mitaten valumiseen kuluva aika. Ajan tulisi olla ± 2 s ennakkokokeilla määritetystä ajasta ja mikäli aika ei täytä vaatimuksia, laasti hylätään ja resepti tarkastetaan. Koetta tehdessä suppilon puhtauteen tulee kiinnittää erityistä huomiota virheellisten mittaustuloksien välttämiseksi. Marsh arvolla selvitetään massan myötöraja sekä viskositeetti ja näiden tietojen avulla varmistetaan notkistimen annostelun oikeellisuus. (Suomen Betoniyhdistys ry 2006, 33.)



KUVA 13. Marsh-suppilo. (Suomen Betoniyhdistys ry 2006, 33)

3.5.5 Injektointijärjestys

Injektointijärjestys määräytyy työn mukaan. Yleisesti injektointi aloitetaan reunoista tai uloimmista injektointirei'istä jolloin injektointiaineen leviäminen alueen ulkopuolelle estetään. Tällöin keskimmäiset putkirivistöt injektoidaan suuremmalla paineella. (RIL 166, 318). Hyvä injektointijärjestys on injektoida ns. ensimmäisessä aallossa ensin joka toinen reikä ja palata injektoimaan väliin jääneet muutaman tunnin kuluttua. Näin jo injektoidun reiän laasti on ehtinyt sitoutumaan ja mahdollista alueen ulkopuolelle leviämistä ehkäistään.

3.5.6 Lopetuskriteeri

Lopetuskriteerin määrittää suunnittelija. Lopetuskriteeri voi olla ennalta määrätty lopetuspaine, massamenekin reikäkohtainen ylitys tai vaihtoehtoisesti massamenekin vähäisyys.

3.6 Työn valvonta

Injektointitöitä tehtäessä tulee aina pitää alusta lähtien pöytäkirjaa jo injektointiputkien porauksesta lähtien. Esimerkiksi putkien korkeusasemat ja poikkeavuudet suunniteltujen sijaintien suhteen tulee merkitä ylös.

Silmämääräinen havainnointi maainjektointia tehdessä on usein mahdotonta, joten pöytäkirjan pitäminen on erittäin tärkeää. Pöytäkirjan pitamisellä työsaavutusten analysointi työn jälkeen on mahdollista ja onnistumista pystytään arvioimaan. Pöytäkirjassa tulee olla ainakin seuraavat asiat:

- päivämäärä
- injektoinnin aloitus- ja lopetusaika
- reikänumero
- putken pituus (syvyys)
- injektointipaine (lopetuspaine)
- pumpattu massamäärä ja seossuhde
- injektoinnin lopettamisen syy (RIL 166, 319.)

Perinteisesti pöytäkirja on tehty paperille, mutta nykyään yleistyvät datarekisteröintilaitteet mahdollistavat injektoinnista pidettävien asioiden kirjaamisen suoraan sähköiseen muotoon. Näin mahdolliset kirjausvirheet poistuvat ja tulokset saadaan siirrettyä suoraan tietokoneelle.

4 ESIMERKKIKOhteet

4.1 Yleistä

Työssä käsiteltävät esimerkkikohteet ovat Kokemäellä sijaitseva Putajanjoen ratasilta sekä Nokian Siurossa sijaitseva Siuronkosken ratasilta, jotka molemmat uusittiin betoniseksi kaukalopalkkisilloiksi niiden aiemmin ollessa teräspalkkisiltoja. Molempien siltojen maatukia jouduttiin vahvistamaan ennen uuden sillan siirtoa uusien kuormien sekä tukien rakenteisiin kohdistuvan maanpaineen vuoksi. Molemmat kohteet kuuluvat VR Trackin ja Liikenneviraston allianssihankkeeseen, jossa Lielähti-Kokemäki välinen rataosuus perusparannetaan.

Uudet sillat rakennettiin vanhojen siltojen vieressä siirtoratojen varaan, jotta häiriöt junaliikenteeseen saatiin mahdollisimman vähäisiksi. Suurimmat rakentamisesta johtuvat liikennekatkot olivat kolme 20 tunnin sekä päivittäiset 8 tunnin liikennekatkot. Näiden katkojen aikana suoritettiin myös injektioinnit. Siltakannet asennettiin paikoilleen juhannuksena 2013, jolloin junaliikenne pysähtyi koko viikonlopun ajaksi.

4.2 Tarkastellut vaihtoehdot

Vahvistusmenetelmää mietittiin eri näkökulmista. Ensimmäisessä vaihtoehdossa (liite 1) suunnitelma oli rakentaa täysikorkeat päätylevyt ja siipimuurit, jolloin muun muassa tukien yläpintaan tuleva maanpaine olisi pienentynyt ja vakavuus tukien sekä sillan osalta parantunut. Menetelmän heikkoutena pidettiin maatuille tehtävää suurta kaivua sekä rakenteiden purkua.

Toisessa vaihtoehdossa (liite 2) toimenpiteet olisivat olleet muutoin samat, mutta päätylevyt ja siipimuurit olisi tässä tapauksessa rakennettu puolikorkeiksi, jolloin kaivua olisi tullut vähemmän. Kyseisessä vaihtoehdossa maanpaine ei kuitenkaan laskennallisesti pienentynyt tarpeeksi, jonka johdosta jouduttiin miettimään myös kolmatta vaihtoehtoa.

Kolmas vaihtoehto oli sementti-injektointi joka valittiin seuraavista syistä:

- vanhojen maatukien yläosaan tuleva maanpaine saatiin pienemmäksi
- vakavuus parani

- myös uuden sillan vakavuus saatiin paremmaksi
- ei suurta kaivua.

Sementti- injektoinnin heikkoutena pidettiin sitä, saadaanko injektointimassa sitoutumaan tarpeeksi ajoissa junaliikenteen vuoksi. Ongelma pystyttiin ratkaisemaan käyttämällä nopeasti sitoutuvaa sementtiä sekä kiihdytintä. Havainnekuva sementti-injektoinnista on esitetty liitteessä 3.

4.3 Sillat

Putajanjoen ratasilta

Sillan maatuet oli perustettu kallion varaan ja tuet siipimuureineen olivat teräsbetonia. Sillalle oli aikaisemmin tehty kairauksia joiden perusteella maatukien täyttömateriaali oli hiekkaa, soraa ja hiekkamoreenia. Tarkoituksena oli sementti-injektoida maa tukien sisällä sekä muutama metri tuen ulkopuolelta ja vähentää näin tukien heikkoihin betonirakenteisiin kohdistuvaa maanpainetta. (Maatukien injektointityöselitys.)

Siuronkosken ratasilta

Siuronkosken ratasillalla (kuva 14) maatuet olivat kiviset. Sillan perustusrakenteet jätettiin vähäisesti vahvistettuina paikoilleen maisemallisista syistä. Uusi silta perustettiin vanhojen perustusrakenteiden läpi ja ohi porapaaluille kallioon. Tällöin maatuet jäivät vaille sillalta tulevaa pystykuormaa. Sillan täyttömaa oli hieman kivisempää kuin Putajanjoen ratasillalla.



KUVA 14. Siuronkosken ratasilta ennen vahvistustöitä

Sillalle oli aikaisemmin tehty maaperätutkimuksia joiden perusteella maa oli soraa, so-ramoreenia ja hiekkamoreenia. Maatuet injektointiin kivisten yläosien sisäpuolelta, jotta maanpaine ei kohdistuisi kivimuureihin. (Maatukien injektointityöselitys.)

4.4 Ennakkokokeet

Ennakkokokeiden tarkoituksena oli selvittää massan sitoutumisaikaa sementin ja lisäai-neiden seossuhteita vaihtelemalla. Sitoutumisajan määrittäminen oli tässä tapauksessa oleellista liikennekatkon jälkeen alkavan junaliikenteen vuoksi. Junaliikenteen alkaessa injektointimassan tuli olla tarpeeksi sitoutunutta, jotta junaliikenteen aiheuttama tärinä ei päässyt vaikuttamaan työn tulokseen. Kokeet suoritettiin Tampereen ammattikorkea-koulun betonilaboratoriossa toukokuussa 2013.

4.4.1 Välineet

Injektointilaastin valmistukseen käytetään normaalisti kolloidisekoittajaa jonka kierros-nopeudet ovat tavallista sekoittajaa suuremmat, noin 1000–3000 kierrosta minuutissa. Suositusten mukainen minimi tulisi kuitenkin olla 1500 kierrosta minuutissa, jolla hie-noaines saadaan hajotettua kunnolla ja rakeet kostutettua joka puolelta. Näin varmistetaan paras lopputulos.



KUVA 15. Laboratoriossa käytettävä kolloidisekoitin (Tiehallinto 2003, 21)

Työmailla käytössä olevien sekoittajien tulee olla isoja, mutta esimerkiksi laboratorioissa käytettävät sekoittajat ovat pieniä (kuva 15). Tässä työssä ennakkokokeita tehdessä jouduttiin massan sekoittamisessa käyttämään perinteisempää betonivispilää, jonka kierrosluvut olivat noin 800 kierrosta minuutissa. Tavalliseen vispilään jouduttiin tyytymään koska kolloidisekoitinta ei ollut saatavilla.

Sekoittajan lisäksi kokeiden suorittamiseen tarvittiin:

- laastiämpäreitä massan valmistukseen
- muotteja
- mittakannuja nestemäisten lisäaineiden määrien mittaamiseen
- vaaka sementin ja veden punnitsemiseen
- puristuskone
- lämpötilamittari massan lämpötilan kehitystä seuraamaan.

4.4.2 Injektointiaineet

Ennakkokokeissa käytettiin seuraavia aineita:

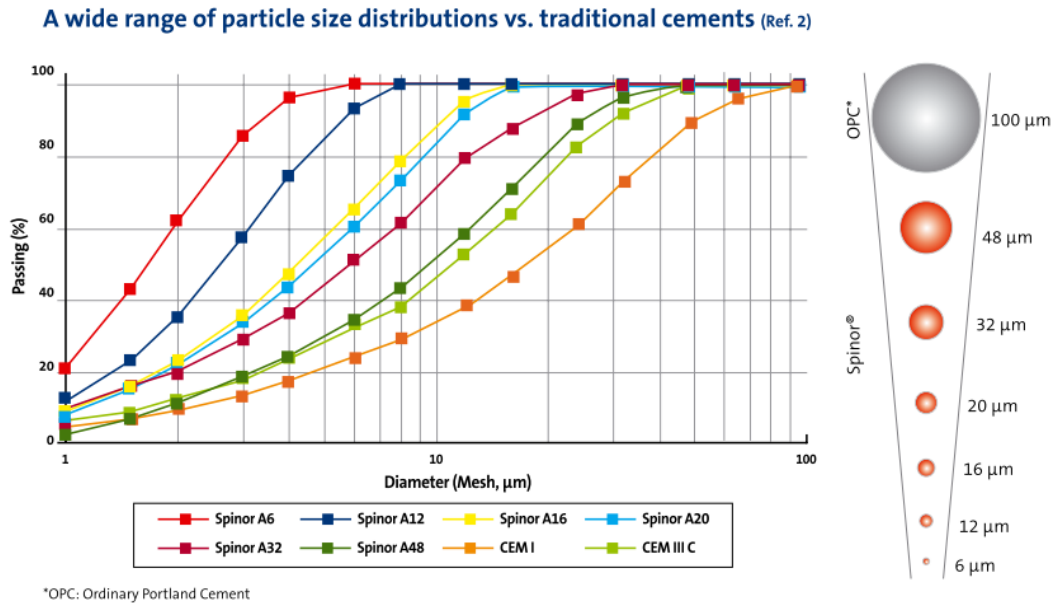
- vesi
- mikrosementti
- tehonotkistin
- hidastin
- kiihdytin
- Uppo-Parmix (uppobetonin lisäaine).

Vesi

Juomakelpoinen vesi on suositeltavinta käyttää, sillä veden tulee olla puhdasta. Tästä syystä esimerkiksi suo- tai jokivesien käyttö ei ole suositeltavaa niiden humuspitoisuuksien vuoksi samoin kun meriveden käyttö, jossa liika suola vaikuttaa lopputulokseen heikentävästi.

Sementti

Pohjatutkimusten mukaan molempien siltojen täytöt olivat hiekkaa, soraa ja moreenia jolloin injektointiaineelta vaadittiin hyvät tunkeumaominaisuudet. Tästä syystä injektointiaineeksi valittiin Holcim Spinor A6 mikrosementti, joka 6 µm raekoollaan oli vaihtoehtoista hienoimmaksi jauhettua (kuva 16).



KUVA 16. Kohteilla käytetyn Holcim Spinor A6 rakeisuuskäyrä (Holcim France 2008)

Lisäksi sementillä oli mahdollista saavuttaa hyvä puristuslujuus. Aikaisemmin esitetyn kaavan 1 avulla selvitettiin maan injektoitavuutta maaperän rakeisuustietojen sekä valitun sementin rakeisuuden perusteella. Rakeisuuksien perusteella saatiin selville rakeisuussuhteen vaihtelut, jotka olivat seuraavat:

Putajanjoki

- $N = 31,2 \dots 87,5$
- $N^{\circ} = 21 \dots 83$ (Maatukien injektointiraportti).

Siuronkoski

- $N = 62,5 \dots 87,5$
- $N^{\circ} = 6,7 \dots 67$ (Maatukien injektointiraportti).

Kun aikaisemmin esitetyn kaavan 1 mukaan ehtona injektoinnin onnistumiselle oli, että $N > 15$ ja $N' > 8$, niin voitiin todeta, että injektointi valitulla sementillä onnistuisi. (Maatukien injektointiraportti.)

Tehonotkistin

Injektointilaastin notkistimena käytettiin Dynamon SX-N supertehonotkistinta, joka on erittäin tehokas nestemäinen lisäaine. Notkistimen käytöllä parannetaan betonimassan työstettävyyttä ja lisäksi sillä pystytään vähentämään käytettävän veden tarvetta. Näin esimerkiksi loppulujuuksia saadaan parannettua. (Mapei 2013.)

Kiihdytin

Kiihdyttimenä käytettiin Sprut NA-43 nimistä lisäainetta, jolla sitoutumista nopeutetaan. Kiihdyttimen käyttö nimenomaan sementti-injektoinneissa on sopivaa, sillä sopivalla annostuksella sementin sitoutumisaikaa saadaan säädettyä hyvinkin tarkasti. Kiihdytintä käytettäessä tulee huomioida tarkka annostus, sillä sopivalla annostuksella puristuslujuutta lisätään kun taas liian suuri annostus heikentää loppulujuutta. (Mapei 2013.)

Hidastin

Hidastimena testattiin Pozzolith 130R nimistä sitoutumista hidastavaa lisäainetta. Hidastimen käyttö on perusteltua esimerkiksi tapauksissa joissa massan työstettävyyttä halutaan pidentää. Tämän tyyppisiä tilanteita voi olla pitkät kuljetusmatkat, valunaikaiset viivytykset yms. (BASF 2013.)

Uppobetonin lisäaine

Ennakkokokeilla testattiin myös veden alle valettavan betonin lisäainetta siltä varalta, että injektointiaessa massan huuhtoutumista veteen tapahtuu. Lisäaineena käytettiin Uppo-Parmix lisäainetta, jonka avulla saadaan veden huuhtoutumista kestävä ja hyvin koossa pysyvää massaa.

Uppo-Parmixia käytettäessä massa muuttuu hyvin jäykäksi jolloin työstettävyys heikkenee. Tästä syystä aineen kanssa käytetään aina notkistinta, jolla massa saadaan jälleen nestemäisempään muotoon. (Finnsementti 2008.)

4.4.3 Seossuhteet

Massan valmistuksessa käytettiin alla olevan taulukon (taulukko 2) mukaisia määriä. Taulukossa olevat määrät on esitetty kilogrammoina ja määrät on mitoitettu niin, että ne mahtuivat käytössä olleisiin 20 kg laastiämpäreihin.

Kokeen avulla testattiin veden lämpötilan vaikutusta laastin käyttäytymiseen. Veden lämpötiloina pidettiin osassa laasteista 10 astetta ja osassa 20 astetta. Lämpötilan tarkkuus haluttuun oli $\pm 0,5$ astetta. Notkistimen sekä sementin määrät pidettiin vakioina jokaisessa koe-erässä, ainoastaan veden määrää muutettiin.

TAULUKKO 2. Määrätaulukko ennakkokokeissa käytetyistä aineista.

Koelaasti numero	Veden lämpötila °C	Vesi	Sementti	W/C	Tehonotkistin	Hidastin	Kiihdytin	Uppo-Parmix
1	10	9,4	11,75	0,8	0,18			
2	10	9,4	11,75	0,8	0,18	0,0235		
3	10	9,4	11,75	0,8	0,18	0,047		
4	10	8	11,75	0,68	0,18			
5	10	6,1	11,75	0,52	0,18			
6	10	9,4	11,75	0,52	0,18			1,175
7	10	6,1	11,75	0,52	0,18		0,35	
8	10	9,4	11,75	0,8	0,18		0,35	
9	20	9,4	11,75	0,8	0,18			
10	20	8	11,75	0,68	0,18			
11	20	6,1	11,75	0,52	0,18		0,35	
12	20	9,4	11,75	0,8	0,18		0,35	

4.4.4 Kokeiden suoritus

Jokainen massaseos valmistettiin omaan laastiämpäriin, josta osa kaadettiin muotteihin ja jäljelle jääneet jätettiin ämpäriin silmämääräistä tarkastelua varten. Ämpäriin jätetty massa pyrittiin pitämään jokaisessa samana tasapuolisen mittauksen varmistamiseksi (kuva 17). Silmämääräinen tarkastelu aloitettiin välittömästi massan valmistuksen jälkeen jolloin massan lämpötila ja syntyaika kirjattiin ylös.

Tunnin välein tehtyjen tarkastuksien yhteydessä kirjattiin massan lämpötila sekä havainnot sitoutumisesta.



KUVA 17. Kovettuvan laastin tarkastelua.

Ennakkokokeissa valmistettiin 12 kappaletta eri seossuhteita käyttämällä valmistettua koe-erää. Jokaisesta koe-erästä tehtiin kaksi samanlaista 150x150x150 kokoista koekappaleta (kuva 18), toinen 6 tunnin ja toinen 24 tunnin puristuslujuuden mittausta varten. Yhteensä kappaleita tehtiin siis 24 kappaletta.

Koeannokset valmistettiin niin, että alkuun vettä ja sementtiä sekoitettiin 2 minuutin ajan, jonka jälkeen lisättiin lisäaineet. Tämän jälkeen seosta sekoitettiin vielä minuutin ajan.



KUVA 18. Injektointilaasti muotteihin valutettuna.

4.4.5 Tulokset

Koekappaleiden ensimmäiset puristuskokeet tehtiin 6 tunnin kuluttua valmistuksesta. Hallin lämpötila, jossa kappaleet kovettuivat, oli noin 22 astetta. Puristuksessa käytettiin ELE International ADR-Auto- koekappalepuristuskonetta (kuva 19).



KUVA 19. Koekappaleiden puristuskone.

Puristuslujuus 6 tunnin kappaleissa oli heikko ja kappaleita puristettaessa ne hajoivatkin lähes heti. Vuorokauden vanhoissa kappaleissa puristuslujuudet olivat suurempia. Näissä kappaleissa väri oli muuttunut harmaasta vihertäväksi, mikä todennäköisesti johtui käytettyjen aineiden ominaisuuksista, sillä sama väri-ilmiö huomattiin myös varsinaista injektointia tehdessä.

Vuorokauden vanhat kappaleet purettiin muoteistaan paineilman avulla. Huomion arvoista oli se, että osa kappaleista hajosi osittain niitä purettaessa ja osa ns. räjähti kappaleiksi puristuksen voimasta (kuva 20). Kappaleiden puristuslujuuksien tulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 4.

Havaintojen perusteella voitiin todeta, että veden korkeampi lämpötila ja sementtimäärä nopeuttivat massan kovettumista. Odotetusti myös kiihdyttimen käytöllä oli kovettumisnopeutta lisäävä vaikutus.



KUVA 20. Koekappale muotista purettuna (vas.) sekä puristuksen jälkeen (oik.).

Työmaan kannalta tärkeää oli saada tietää veden lämmittämisen tarve. Kokeiden perusteella saatiin selville, että veden lämpötilan ollessa 10 astetta kiihdyttimellä ja nesteyttimellä lisätynä massa toimii suunnitellusti. Sama tulos saatiin ilman kiihdytintä veden lämpötilan ollessa 20 astetta. Tulosten perusteella voitiin tehdä johtopäätös, että veden lämmittämistä työmaalla ei tarvita. Analysoidut koetulokset on esitetty liitteessä 5.

Heikkoihin lujustuloksiin saattoi vaikuttaa mikrosementin sekoittamiseen vaadittavan kolloidisekoittajan puuttuminen. Vaadittua pienemmillä kierroksilla tehdyssä massassa hienoaines on saattanut jäädä osittain hajoamatta ja aineksien kunnollinen sekoittuminen on jäänyt puutteelliseksi. Tämä on myös saattanut aiheuttaa kappaleiden räjähtämisen. Heikomman sekoittamisen vuoksi massaan on jäänyt heikkousvyöhykkeitä ja kuormituksen kasvaessa normaalia suurempi jännitystila on purkautunut hajottaen kappaleen.

Nyt tehdyillä kokeilla massan käyttäytyminen saatiin hyvin selville. Sementtimassan käyttäytyminen W/C- seossuhteella kaksi jäi tekemättä ja jatkossa myös tämä seos tulee testata.

4.5 Putkien asennus

Injektointiputket olivat alapäästään suljettuja ja niissä oli 1 m välein 10 cm vyöhykkeellä 8 kappaletta kolmen millimetrin reikiä 1,2 m...3,3 m välillä putken alapäästä lähtien. Putkien pituus määräytyy injektointisyvyyden mukaan, tässä tapauksessa putkien pituus oli 5 metriä, jonka syvyydellä pohjalaatan yläpinnan taso noin sijaitisi. Putket lyötiin

maahan poravaunun avulla ruudukkoon metrin välein. Putkien asennuskartta on esitetty liitteessä 6.

4.6 Injektointi

Injektoinnissa käytettiin mekaanisia käsikäyttöisiä mansetteja, joihin asennettiin painemittari. Massan valmistamiseen käytettiin sekoitinyksikköä johon kuului kolloidi- ja välisekoitin. Rata-alueella laitteiden varastointi ei ole mahdollista, joten sekoittimille, pumpuille ja materiaaleille tarvitaan oma alueensa joka ei häiritse eikä ole vaaraksi muulle ympäristölle. Näillä kohteilla kalusto sijoitettiin siltojen vieressä olleille laiturirakenteille, jossa ne eivät häirinneet muuta työmaata. Massan valmistukseen tarvittava vesi säilöttiin mahdollisimman lähelle pumppausyksikköä.

Injektointi oli suunniteltu tehtäväksi neljältä tasolta pohjasta aloittaen. Ennen injektointia putket tulee huuhdella joko vedellä tai paineilmalla, jotta putkeen mahdollisesti tipuneet kivet yms. saadaan poistettua. Ensimmäisessä aallossa injektointiin joka toinen putki ja väliin jääneisiin palattiin aikaisintaan kahden tunnin kuluttua.

Injektoinnissa massan liikkumista maan sisällä ei silmin voi nähdä vaan injektoinnin kehittymistä seurataan massamenekin ja paineen kehittymisen avulla. Työn alkuvaiheessa massamenekille tulee asettaa jokin tietty raja, esimerkiksi reikäkohtainen, jonka perusteella injektointi lopetetaan, mikäli paine ei nouse. Reikäkohtaiseksi massamenekiksi asetettiin noin 500 litraa, jota voitiin työn edetessä muuttaa. Lopetuspaineksi injektoinnille asetettiin 0,5 MPa. Ehtona oli, että paine pysyi ennen lopetusta hetken aikaa tasaisena.

Injektointia muutettiin työn kuluessa niin, että suunnitellun neljän tason sijaan injektointiin kaksi tasoa; ensimmäinen ja kolmas. Tämä tarkoitti sitä, että myös alemmat tasot olivat mukana eli kolmannelta tasolta injektoitaessa myös alin (neljäs taso) injektoitui ja vastaavasti ensimmäiseltä tasolta injektoitaessa myös toiseksi ylin taso injektoitui. Näin työtä saatiin nopeutettua kuitenkin lopputulosta heikentämättä.

Putajanjoella injektointi suoritettiin molemmilla maatuilla pääasiassa vesisementtisuhteella 2 massamenekin ollessa 15...600 litraa/reikä. Pienien massamenekien selitys on siinä, että viereltä injektoitujen reikien sementtilaasti oli saavuttanut ky-

seisten reikien vaikutusalueen ja esti näin massan leviämisen. Siuronkoskella massamenekki vaihteli 50...1270 litraa/reikä välillä. Siuronkoskella menekki oli suurempaa alimman tason injektoinnin lisäämisen johdosta. Alimman tason injektointia lisättiin koska massan pelättiin karkailevan tasolta hallitsemattomasti.

Ennakkokokeiden perusteella valittu 0,8 vesi-sementtisuhte vaihdettiin heti injektointien alettua laimeampaan seokseen, jossa vesi-sementtisuhte oli kaksi. Laimeammalla seoksella massa liikkui rakeisessa maaperässä paremmin.

4.7 Laadunvarmistus

4.7.1 Valvonta

Injektoinnin aikana suoritettiin valvontaa pöytäkirjoja pitämällä sekä suoraan datarekisteröintilaitteelle syötetyn datan avulla.

4.7.2 Kairaukset

Injektoinnin onnistumista pyrittiin selvittämään paino- ja porakonekairauksin. Pääpaino kohdistui painokairausten tekemiseen kairausvastuksen suurenemisen selkeämmästä tulkinnasta johtuen.

Kairauspisteet valittiin sen mukaan, joihin injektointimassaa oli pumpattu määrällisesti eniten. Oletuksena voidaan pitää, että injektoidusta alueesta muodostuu ns. pilari. Tämän mukaan kairauspisteitä sijoitettiin injektointireiän ympärille mahdollisuuksien mukaan kolmelle etäisyydelle, jotta nähtiin kuinka laajasti massa on levinnyt. Lisäksi maatuen ulkopuolelle tehtiin muutama referenssireikä, johon massaa ei varmasti ole levinnyt. Näin injektoituneen ja injektoimattoman maaperän vertailu oli mahdollista.

Kairausten lisäksi injektoituihin reikiin tehtiin ns. vesimenekkiputken laskemalla putkeen vettä ja tarkastamalla veden pinnan korkeuden muutokset. Mikäli vesi karkaisi putkesta maaperään, tarkoittaisi se sitä, että putken ympärille ei todennäköisesti olisi muodostunut injektoitunutta aluetta joka estäisi veden kulkeutumisen putkesta pois. Heti putkien täyttämisen sekä muutaman tunnin päästä uudestaan tehtyjen mittausten jälkeen todettiin, että lähes kaikissa putkissa veden pinnan korkeus pysyi muuttumattomana.

Vesimenekikokeen analysointiin tulee suhtautua tietyin varauksin, sillä sementtimassa voi myös tukkia putkessa olevat reiät kovettuessaan. Tästä syystä koe tulee tehdä siinä vaiheessa kun massa on jo sitoutunut, mutta huuhtoutuminen ei ole mahdollista. Lisäksi vettä tulee syöttää putken alapäähän tarpeeksi suurella paineella.

4.7.3 Koekappaleiden laboriotutkimukset

Maatuista injektointien ajaksi poistetut siirtymälaatat asennettiin siltakansien siirron yhteydessä maahan takaisin. Samalla tuille rakennettiin salaojarakenteet. Aukikaivujen yhteydessä kerättiin injektoituneita maakappaleita (kuva 21) sekä tehtiin silmämääräistä tarkastelua injektoinnin esiintymisestä.



KUVA 21. Aukikaivun aikana maatuilta otettuja koekappaleita.

Kappaleista oli tarkoitus testata puristuslujuuksia, mutta ne eivät onnistuneet kappaleiden hajottua puristuspintoja sahatessa. Kappaleita yritettiin puristaa myös ilman tasaista puristuspintaa, mutta kivisyyden takia puristuksesta tuli pistemäinen tasaisen sijasta jolloin kappale mureni. Kappaleiden heikkous johtui todennäköisesti siitä, että kappaleissa olleet kivet jättivät kappaleeseen tyhjätiloja ja osaltaan heikensivät sitä. Samanlaisia ongelmia voi tulla myös jatkossa. Kappaleiden puristuspintaan tuleekin kiinnittää huomiota tasaisen kuormituksen aikaansaamiseksi.

Eräs mahdollisuus kappaleita puristaessa on myös käyttää mahdollisimman isoja puristettavia kappaleita, joista puristuspinnat oikaistaisiin sahaamalla tai rikittämällä yhden-

suuntaiseksi ja tasaiseksi. Kappaleiden muoto voisi olla periaatteessa mikä vaan, ehtona kuitenkin se, että puristuspinnan pinta-alan pystyisi laskemaan. (Vehmas 2013).

Koekappaleiden rikittämisessä harkkomainen rikki sulatetaan kuumassa kattilassa, josta massa kaadetaan kuumana tasaiselle ja suoralle metallilevyille. Tämän jälkeen koekappaleen molemmat päät pyöräytetään sulassa rikissä. Menetelmän etuna on rikin nopea kovettuminen ja lopputuloksena saatavat suorat ja sileät puristuspinnat. Kappaleiden rikittämisestä on pääasiassa koekappaleiden päiden hionnassa luovuttu, sillä se vaatii omanlaisensa kaluston sekä erityisosaamista. (Orjala 2013.)

4.8 Ongelmat

Paineiden ja massamenekin lisäksi tulee seurata massan mahdollista purkautumista pintaan, kulkeutumista viereisiin reikiin tai muuta tavallisesta poikkeavaa purkautumista.

Putajanjoella massa pääsi purkautumaan vetotankojen rei'istä ulos tukien sivuilta. Purkautuminen saatiin hallintaan asettamalla tangot paikoilleen ja tukkimalla reikien suuaukot pikasementillä.

Siurossa paineet eivät nousseet massamenekistä huolimatta. Tästä syystä tehtiin oletus, että massa karkaa mahdollisesti alaspäin ja pahimmissa tapauksessa vesistöön. Putajalla tätä ongelmaa ei ollut, sillä reunamuurit ja pohjalaatta muodostivat ns. kaukalon, josta karkailu alaspäin ei ollut mahdollista. Ratkaisuna ongelmaan injektointimassaa paksunnettiin ja alimmalle tasolle injektointimassaa pumpattiin enemmän. Näin pohjalle saatiin tehtyä eräänlainen laatta estämään alaspäin kulkeutuminen. Alimmalle tasolle pumpatun massan annettiin sitoutua tarpeeksi, jonka jälkeen palattiin injektoimaan seuraavaa tasoa.

5 TULOKSET

Painokairauksista saadut kairausvastusdiagrammit osoittivat, että injektointi oli muodostanut maaperään laattamaisia ja pystysuuntaisia kerroksia. Etenkin Putajanjoella tehtyjen kairauksien perusteella injektointimassa oli levinnyt sepelikerroksen alapuolelle muodostaen sen alle noin metrin paksuisen laattamaisen ja tiiviin rakenteen. Tämän kerroksen jälkeen maahan oli syntynyt syvyysuunnassa pilarimaisia rakenteita (kuva 22).



KUVA 22. Injektoinnin seurauksena syntynyt pilarimainen rakenne.

Siurossa ongelmaksi muodostui kivituen kivisempi sisäosa, jossa massa pääsi liikkumaan vapaammin. Molemmille maatuille tehtiin painokairauksia, joista osa loppui heti sepelikerroksen alapinnan jälkeen tiiviiseen injektointuneeseen maahan. Kairausten perusteella huomattiin, että injektointilaasti on levinnyt vaihtelevasti ympäristöön. Pääsääntöisesti injektoinnin kuitenkin huomattiin onnistuneen hyvin.

Tarkastuslaskentojen jälkeen tuille syntyvät maanpaineet pienenevät sekä rakenteellinen kestävyys kuormia vastaan lisääntyi. Molempien siltojen painokairausdiagrammit on esitetty liitteessä 7. Jokaisessa reikäkohtaisessa kuvaajassa on vertailun vuoksi sekä injektoidun että injektioimattoman maan kairausvastus esitettynä. Siltojen taustoilla kaivettiin tasoon kv-1,4 m. Tällä tasolla kaivaminen oli erittäin hidasta injektoinnin kovettaneen kaivupohjan osalla.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suunnitteluvaiheessa on oleellista selvittää maaperästä kaikki tarvittava tieto injektoitavan maan kerrosrajojen, rakeisuuksien ja vedenläpäisevyyden kuten myös pohjaveden osalta. Nämä tiedot ovat hyvin oleellisia kun määritellään injektoinnin soveltuvuutta kohteelle.

Laastin valmistukseen käytettävien aineiden käyttäytyminen eri määrillä eri tilanteissa testataan ennakkokokeilla. Kokeet tulee tehdä niin, että saadaan selville kaikki mahdolliset laastivaihtoehdot mitä työn aikana mahdollisesti voidaan joutua käyttämään. Kokeissa käytettävät seossuhteet määrittelee suunnittelija lähtötietojen perusteella. Mahdollisen aikaisemman kokemukseräisen tiedon lisäksi suunnittelijalla tulee olla ymmärrystä kyseiseen asiaan. Lisäksi tulee muistaa, että tuotteiden valmistajalla on ohjesuositukset, joita tulee noudattaa. Kokeissa käytettävät laitteet tulisi mahdollisuuksien mukaan olla samantyyppiset kuin mitä työmaalla tullaan käyttämään.

Riittävän työajan määrittäminen on tärkeää. Työn suorittamista ei saa venyttää viimeiseen mahdolliseen hetkeen kiireen välttämiseksi. Tämä korostuu etenkin radalla tehtävään työhön, jossa raideliikenne ja radan yläpuolella sijaitsevan ajolankajohtimen ja poravaunun puomin toisiinsa osumisen mahdollisuus asettavat omat ehtonsa. Turvallisuuden lisäksi työn lopettamisajankohdassa tulee ottaa huomioon laastin sitoutumiseen vaadittu aika, sillä tärinä voi mahdollisesti vaikuttaa lopputulokseen sitoutumisen ollessa aikaisessa vaiheessa.

Jatkuva työaikainen laadunvalvonta on tärkeää. Laastin käsittelyaikaan samoin kuin sekoittamisen tasalaatuisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Tasalaatuisuuden varmistamiseksi valmistettavan massan tulee sekoittua vähintään 1000 kierrosta minuutissa ja erottumisen estämiseksi massan tulee olla jatkuvassa liikkeessä. Tästä syystä injektoinnissa käytettävän kolloidisekoittajan käyttäminen on ehdotonta.

Työnaikaiseen valvontaan kuuluu myös massamenekin ja paineen kehittymisen seuraminen. Turhaan tehdyn työn, ajanhukan sekä ylimääräisten kustannusten välttämiseksi tulee tarvittaviin toimenpiteisiin, esimerkiksi laastin koostumuksen muuttamiseen juoksevammaksi, ryhtyä heti kun sille nähdään tarvetta.

Kairauksilla saadaan selville injektoidun alueen sijainti. Kairausreikiä valittaessa tulee kiinnittää huomiota paikoittaiseen massamenekkiin ja mahdollisiin massan karkailu- tai vuotokohtiin. Laadunvarmistuskairauksina tulee tehdä jatkossa myös porakonekairauksia sekä pystysuunnassa että vinokairauksina. Kairauksia tulee jatkossakin tehdä niin, että injektoinnin onnistumisen arvioimiseksi kairauksia tehdään myös injektoimattomalta alueelta.

Lisäksi, mikäli mahdollista, injektoidusta maasta tulee pyrkiä saamaan koekappaleita laboratoriokokeita varten. Koekappaleiden ottaminen voi olla hankalaa ja joskus jopa mahdotonta. Siitä huolimatta kappaleiden muotoon ja kokoon tulee kiinnittää huomiota. Mahdollisimman isot sekä muodoltaan pyöreät koekappaleet, joissa ei ole paljoa ulkoisia pistemäisiä tasoja, esimerkiksi kiviä, ovat puristuksien kannalta parhaita. Työn luonteesta riippuen voidaan maata kaivaa auki injektointien jälkeen, kuten esimerkikohteissa. Kaivun nopeuttamiseksi ja helpottamiseksi tulisi kaivinkoneen kauhaa valittaessa ottaa huomioon injektointiputkien välit niin, että kauha mahtuu putkien väliin.

Injektointia varten tarvittava kalusto on suhteellisen vakiintunutta alalla ja käytössä on vanhempia ja uudempia laitteita. Tärkeintä on, että laitteet ovat ehjiä ja tarkoitukseen soveltuvia. Ammattitaitoisia tekijöitä on nykyään useita ja suurella osalla on palvelutarjontansa mukaan valmiudet suorittaa injektointeja niin kemiallisilla, muovisilla kuin sementtipohjaisilla aineilla.

Injektoinnilla saavutettiin haluttu lopputulos eli maatukien rakenteellinen kestävyys kasvoi sekä rakenteisiin kohdistunut maanpaine pienentyi riittävästi. Lopputuloksen perusteella sementti-injektoinnin käyttäminen myös tulevaisuudessa muiden korjausmenetelmien rinnalla tai kokonaan omana menetelmänään on hyvinkin mahdollista.

LÄHTEET

BASF Oy. Pozzoloth 130R. Luettu 29.10.2013.

<http://www.basf-cc.fi/fi/Betoninlisaaineet/Documents/Pozzoloth%20130R.pdf>

Finnsementti 2008. Uppo-Parmix. Luettu 29.10.2013.

http://www.finnsementti.fi/fsproductdb/files/uppo-parmix_1_01102013_162000.pdf

Halkeamien korjaaminen 1.233. Siltojen korjausohjeet. Luettu 24.9.2013.

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1233.pdf>

Holcim France 2008. Spinor. Luettu 25.10.2013.

http://gbr.sika.com/dms/getdocument.get/a14dcccff-19bf-3ed5-a173-3dfff3d4f276/Spinor_Microfine_Cement_Brochure.pdf

Its-vahvistus Oy 2013. Injektointi. Luettu 20.9.2013.

<http://www.its-vahvistus.com/fi/palvelut/erikoisurakointi/injektointi>

Suomen Betoniyhdistys ry, 2006. Kalliotilojen injektointi 2006 by 53.

Mapei Oy. Dynamon SX-N. Luettu 29.10.2013.

http://www.mapei.com/public/SE/products/Dynamon%20SX-N_fi.pdf

Mapei Oy. Sprut NA-43. Luettu 29.10.2013.

http://www.mapei.com/public/FI/products/sprut_na_43_fi.pdf

Orjala, K. Laboratorioinsinööri. 2013. Koekappaleiden puristus. Sähköposti.

kati.orjala@tamk.fi. Luettu 17.12.2013.

RIL 166. Suomen rakennusinsinöörien liitto, 1986. Pohjarakenteet.

RIL 174-5. Suomen rakennusinsinöörien liitto, 1991. Korjausrakentaminen IV. Perustukset-Pohjarakenteet.

Rakennelujitus Oy 2013. Polyuretaanit ja epoksihartsit. Luettu 20.9.2013.

<http://www.rakennelujitus.fi/wp/toimialat/injektointityot/epoksihartsit-ja-polyuretaani>

Rakennelujitus Oy 2013. Vesilasi-injektointi. Luettu 20.9.2013.

<http://www.rakennelujitus.fi/wp/toimialat/injektointityot/vesilasi-injektointi>

Saumaset Oy 2013. Epoksi-injektointi. Luettu 20.9.2013.

<http://www.saumaset.fi/index.php?pid=Epoksi-injektointi>

Sementti-injektointi 2.237. Siltojen korjausohjeet. Luettu 30.10.2013.

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2237.pdf>

SFS- käsikirja 173-2. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry, 2008, osa 2. Pohjanrakentamistöiden suorittaminen.

Sipti Infra Oy 2013. Putajanjoen ratasilta. Maatukien injektointiraportti. Helsinki.

Sipti Infra Oy 2013. Putajanjoen ratasilta. Maatukien injektointityöselitys. Helsinki.

Sipti Infra Oy 2013. Siuronkosken ratasilta. Maatukien Injektointityöselitys. Helsinki.

Sipti Infra Oy 2013. Siuronkosken ratasilta. Maatukien injektointiraportti. Helsinki.

Vehmas, H. Pohjarakennusasiantuntija, DI. 2013. Injektoinnin koekappaleet. Sähköposti. harri.vehmas@sipti.fi. Luettu 17.12.2013.

LIITTEET

Liite 1. Vahvistusvaihtoehto 1. Täysikorkeat päätylevyt ja siipimuurit.

Liite 2. Vahvistusvaihtoehto 2. Puolikorkeat päätylevyt ja siipimuurit.

Liite 3. Vahvistusvaihtoehto 3. Maatukien ja taustan injektointi.

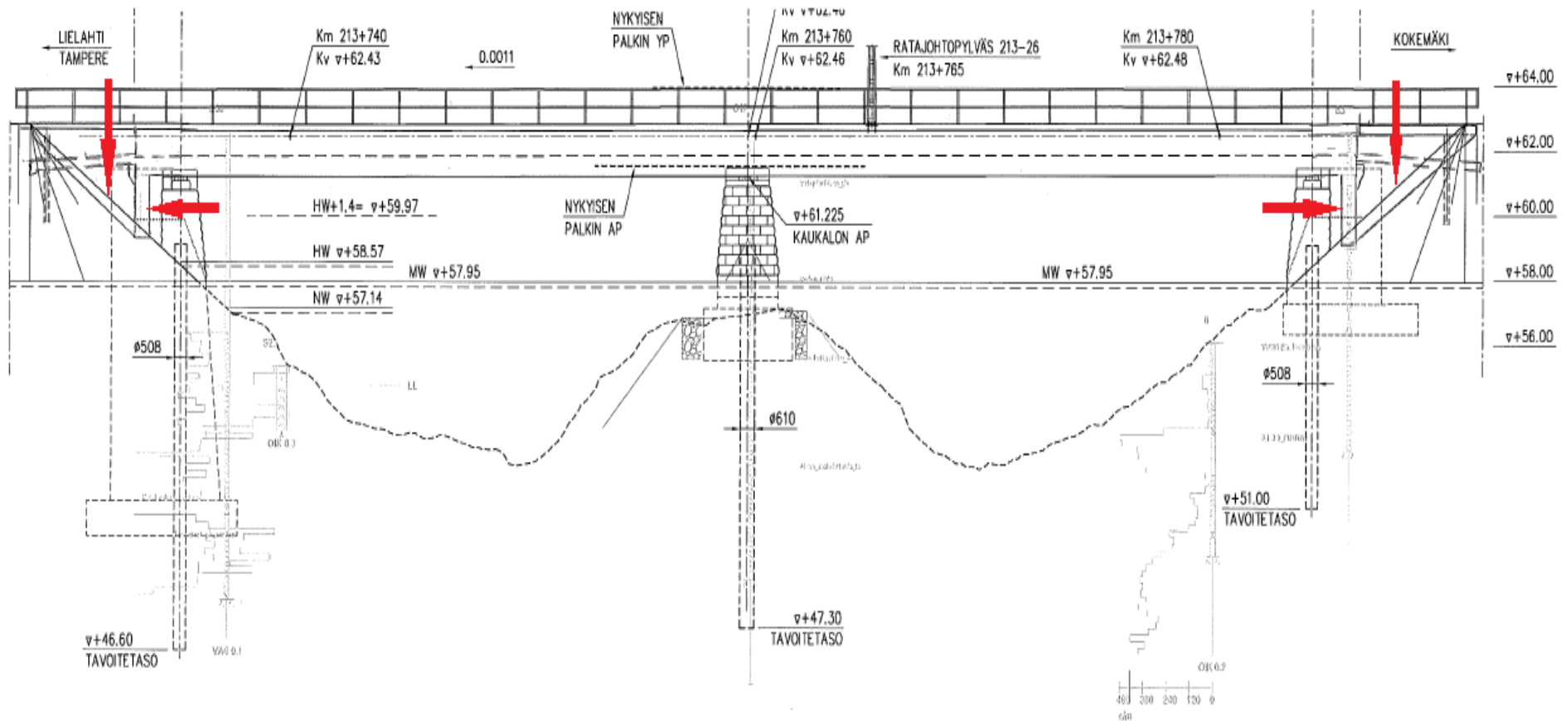
Liite 4. Koekappaleiden puristuspöytäkirja.

Liite 5. Ennakkokokeiden analysoidut tulokset.

Liite 6. Injektointikartta.

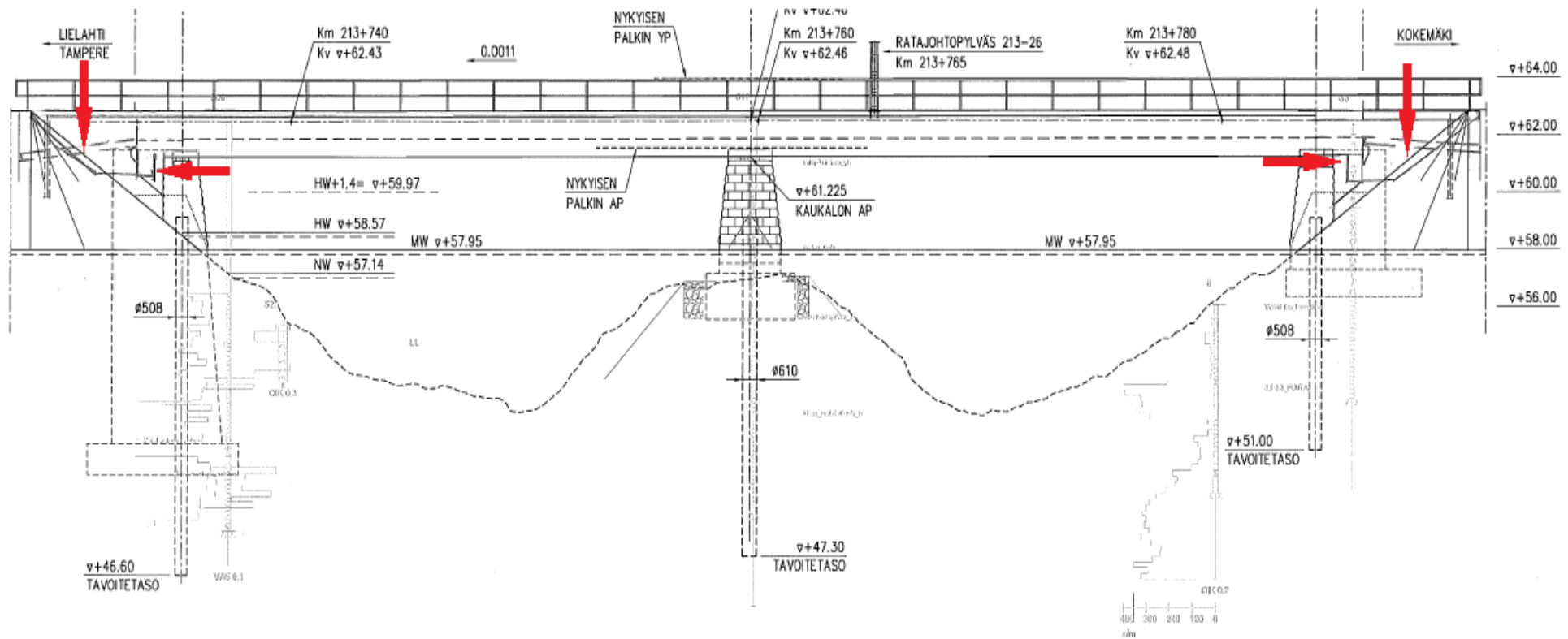
Liite 7. Kairausdiagrammikuvaajat.

Liite 1. Vahvistusvaihtoehto 1



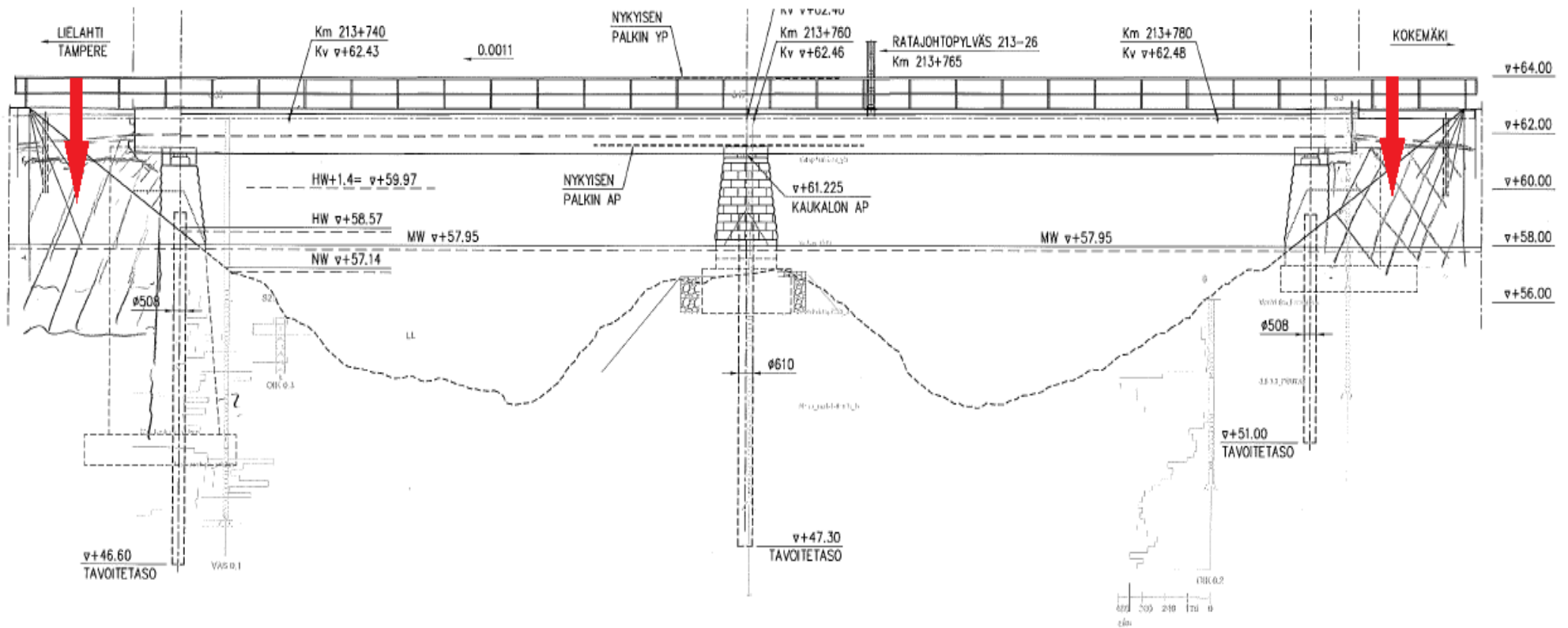
Täysikorkeat päätylevyt osoitettuna vaakasuuntaisilla nuolilla ja siipimuurit pystysuuntaisilla nuolilla.

Liite 2. Vahvistusvaihtoehto 2



Puolikorkeat päätylevyt osoitettuna vaakasuuntaisilla nuolilla ja siipimuurit pystysuuntaisilla nuolilla.

Liite 3. Vahvistusvaihtoehto 3



Maatukien injektointi osoitettuna pystynuolilla

Liite 4. Koekappaleiden puristuspöytäkirja

	Lujuus 6 h valmistuksesta		Lujuus 24 h valmistuksesta	
Koekappale nro.	Lujuus MN/m ²	Huomautukset	Lujuus MN/m ²	Huomautukset
1	0,186	-	1,874	-
2	0,214	-	2,661	-
3	-	Ei mitausta	1,253	-
4	0,295	-	20,92	-
5	0,789	-	32,89	Kappale halki + vihreä
6	-	Ei mitausta	-	-
7	3,846	-	23,75	Purettaessa nurkat rikki+ vihreä
8	0,623	-	16,02	Paksu harmaa pinta+ sisältä vihreä
9	0,256	-	8,306	Yläpinta halki+ vihreä
10	-	Ei mitausta	-	-
11	-	Ei mitausta	-	-
12	0,892	-	21,01	Hajosi purettaessa +vihreä

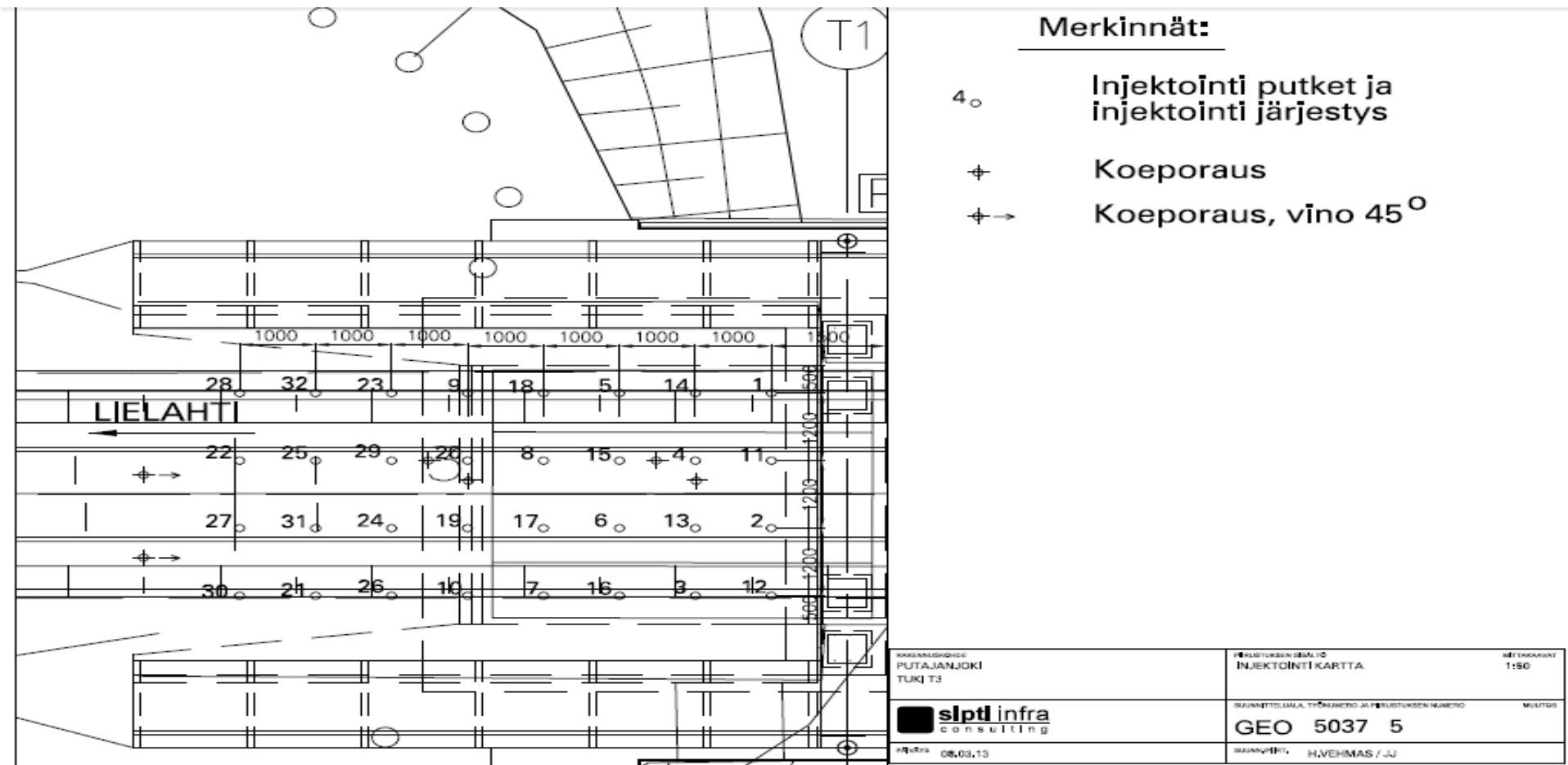
Liite 5. Ennakkokokeiden analysoidut tulokset



Analysoidut injektioinnin ennakkokokeet, Putajanjoki, Siuronkoski

										Lujuus		
										1d		
										Lujuus 6h, MPa		
										Lujuus		
										1d		
Lämpötilan vaikutus												
Näyte	Alkulämpö	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lujuus 6h, MPa	
1	9,2	16,8	19,2	19,8	20,1	20,6	20,9	21,8	0,186	1,874		
9	19,4	24,2	25	24,4	23,6	23	23,1	23,5	0,256	16,09		
Kiihdyttimen vaikutus												
Näyte		Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lämpötila	Lujuus 6h, 1d		
1	9,2	16,8	19,2	19,8	20,1	20,6	20,9	21,8	0,186	1,874		
8	9,8	17,3	19,9	21,6	21,9	22,9 x	x		0,623	16,02		
11	6,36	30,9 x	x	x	x	x	x				Lämpö+kiihdytin	
Vesiseментtisuhteen vaikutus												
	W/C									Lujuus		
										1d		
1	0,8	9,2	16,8	19,2	19,8	20,1	20,6	20,9	21,8	0,186	1,874	
4	0,68	9,4	17,3	20,4	20,5	20,9	20,9	21,5 x		0,295	20,92	
5	0,52	9,5	20,1	22,8	21,3	20,7	20,4 x	x		0,789	32,89	
Hidastimen vaikutus												
1	9,2	16,8	19,2	19,8	20,1	20,6	20,9	21,8	0,186	1,874		
2	8,18	16,6	19,5	19,7	20,4	20,4	20,8	21,1	0,214	2,661		

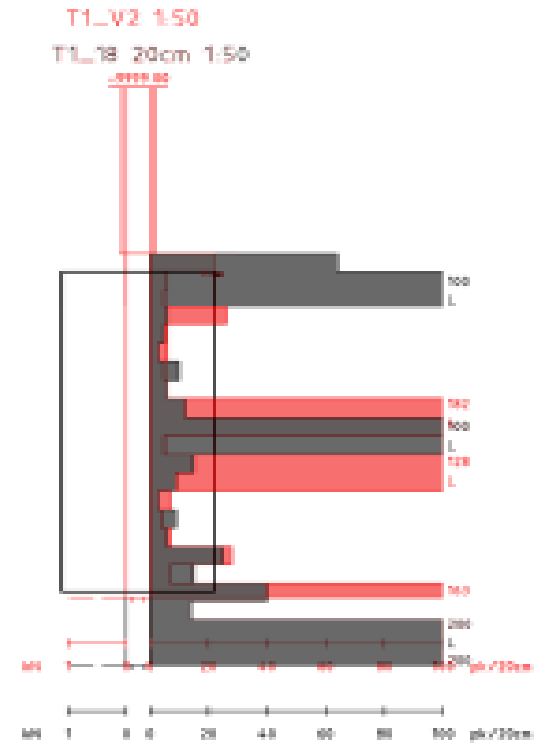
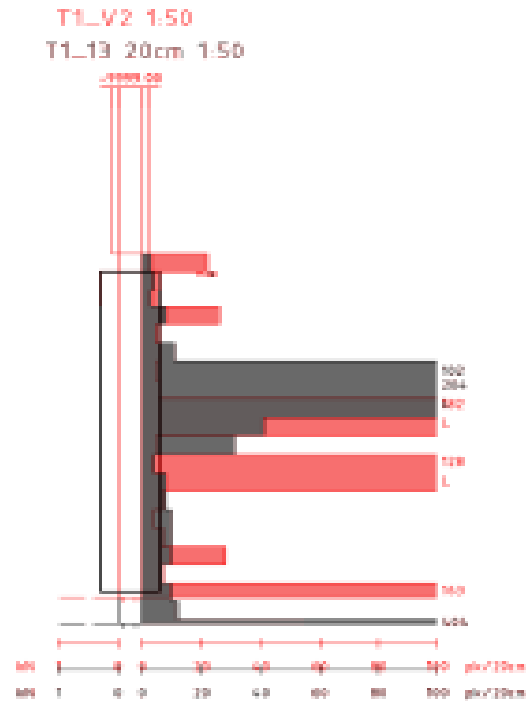
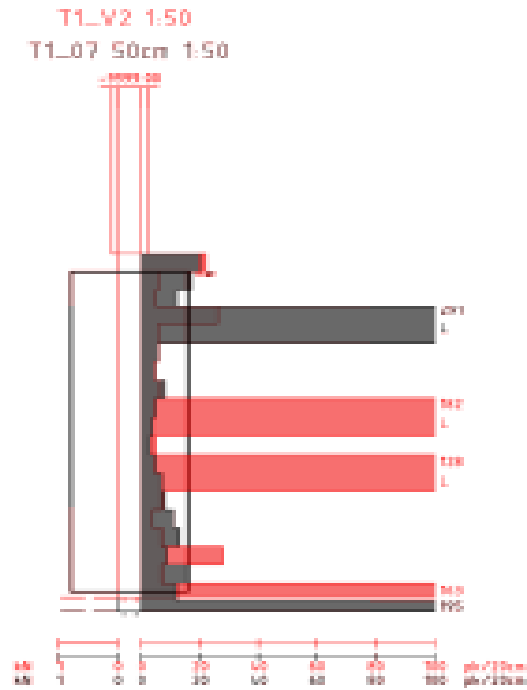
Liite 6. Injektointikartta



Liite 7. Kairausdiagrammikuvaajat

Putanjajoki, maatuki 1 1(2)

1(4)



Putanjajoki, maatuki 1 2(2)

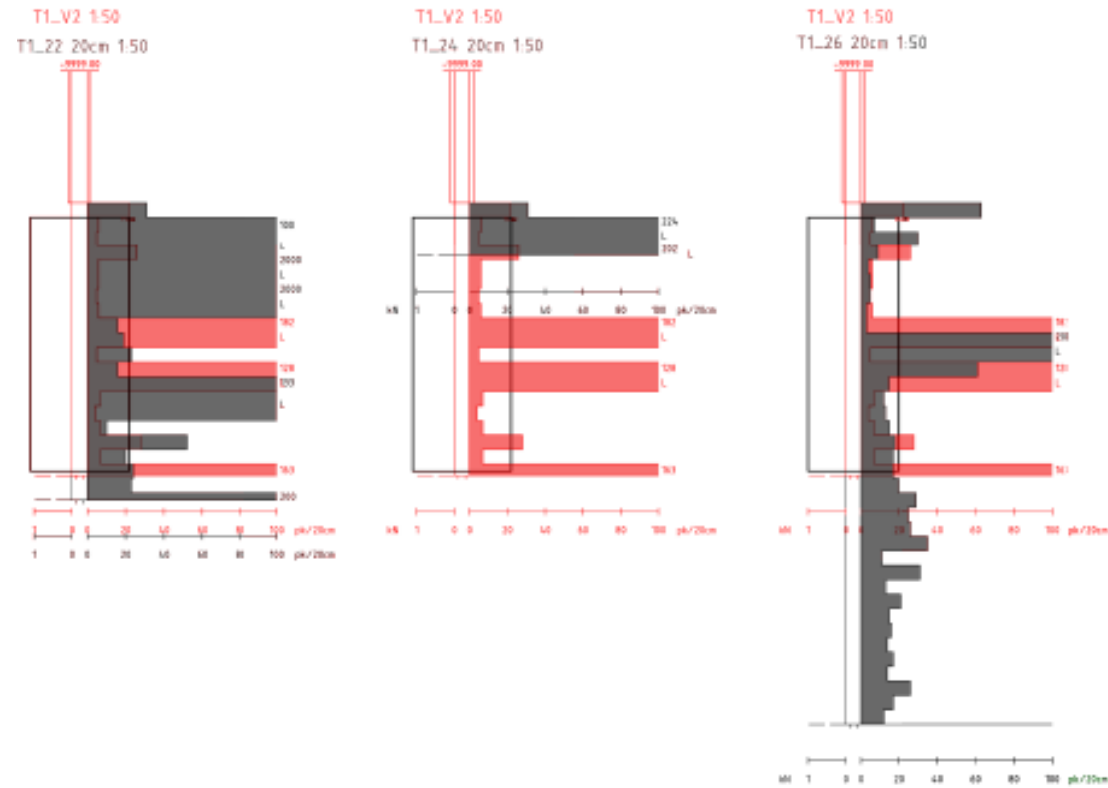
MERKINNÄT JA SELITYKSET:



Massamenekin perusteella arvioitu injektointipilari

Injektointialueen ulkopuolelta tehty vertailukareraus punaisella

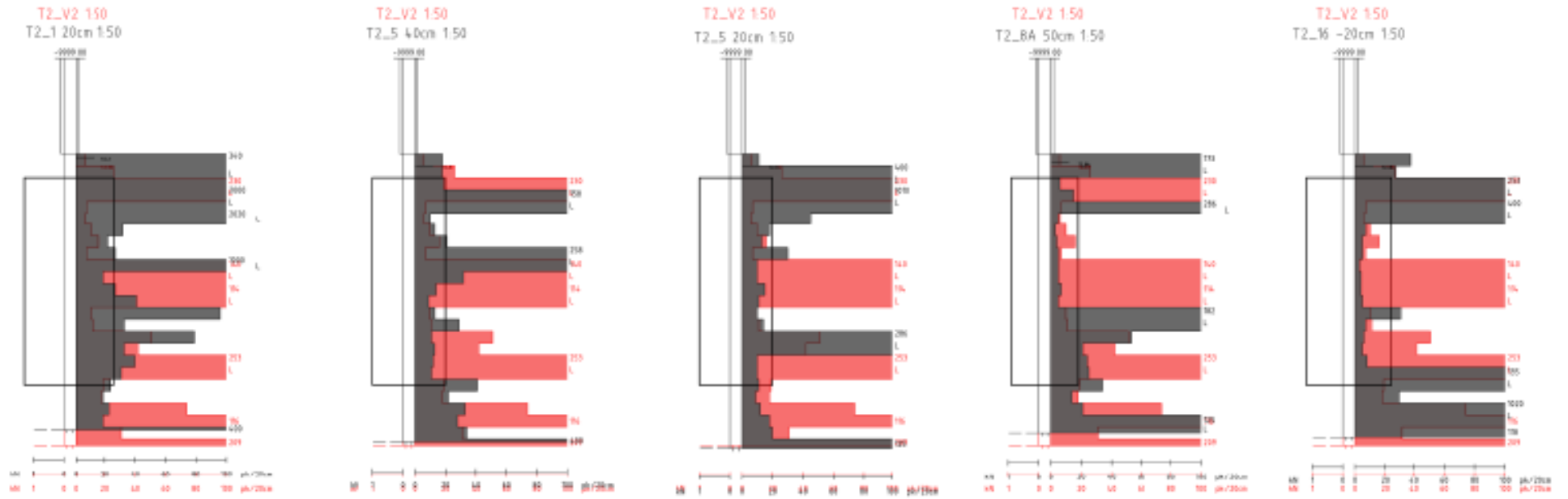
Injektointiputken läheisyydessä tehty kareraus harmaalla



KÄSIKIRJOITUS VR TRACK OY PUTAJANJOEN RATASTILAN INJEKTOINTI TUKI 1 KOKEMÄKI	PIIRUSTUKSEN LAATIJAN PAINEKARAUSSIAGRAMMIEN VERTAILU	MITTAKAAVA 1:50
 Sipti Infra Oy Lehtokallionkatu 1 A, 00780 Helsinki WWW.SIPTI-INFRA.FI	SUUNNITTELUJAN TUNNUS JA PIIRUSTUKSEN NUMERO GEO 9037 04	MAALIS 04
PÄIVÄMÄÄRÄ 20.9.2013 PÄÄLLÄKÄÄNÄ IVN JOHTAJA Heikki Rintanen	TARKASTUS TARKASTAJA Sampo Rintanen HYVÄKÄYTTÖKOKO IHN	A S

Putanjajoki, maatumki 2 1(2)

2(4)



Putajanjoki, maatumki 2 2(2)

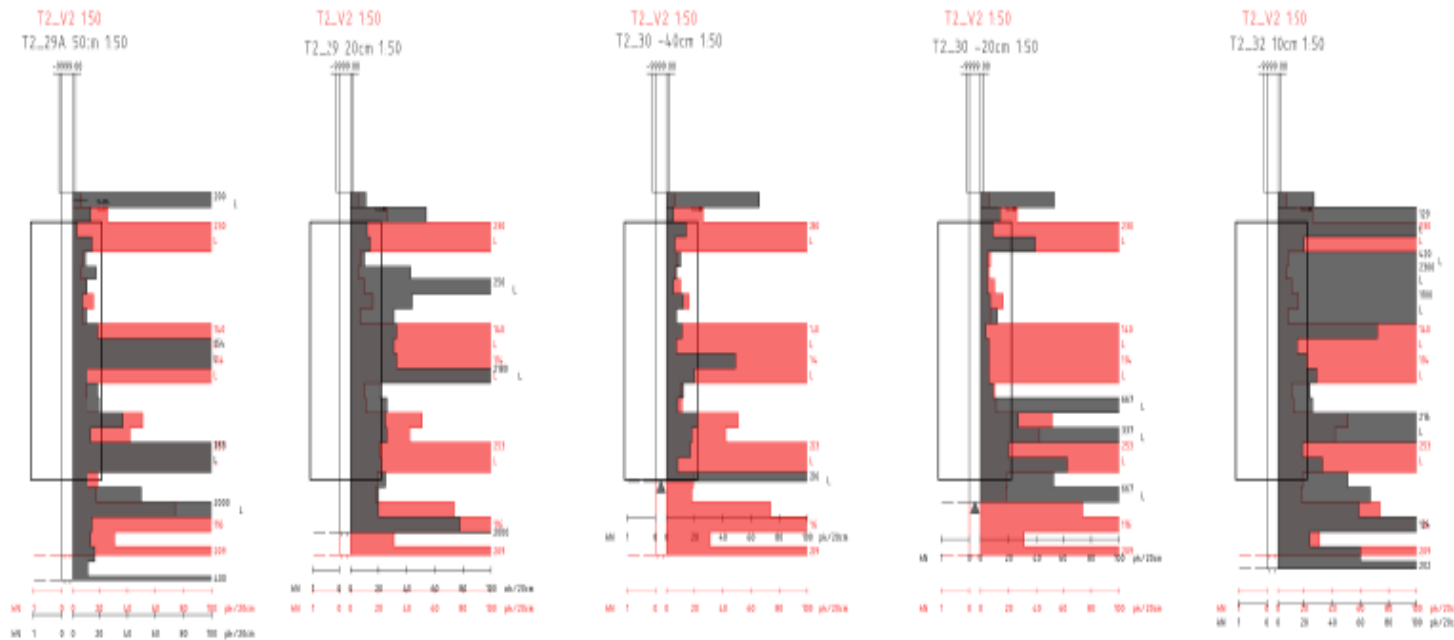
MERKINNÄT JA SELITYKSET:



Massanekin perusteella arvioitu injektointipilari

Injektointialueen ulkopuolelta tehty vertailukareraus punaisella

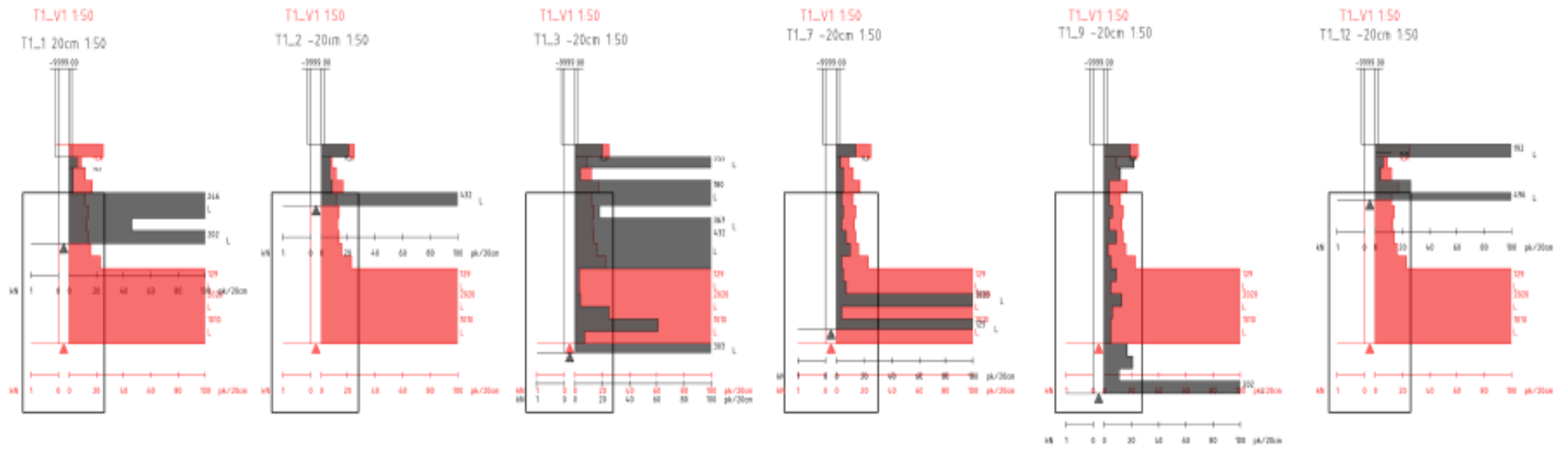
Injektointiputken läheisyydessä tehty kareraus harmaalla



KANSIENPÄÄTYS VR TRACK OY PUTAJANJOKEN RATASTILAN INJEKTOINTI TUKI 2 KOKEMUKKI	PAINOKARLAUSDIAGRAMMIEN VERTAILU 1:90 SUUNNITTELU, TOTEUTUS JA TILASTUOTO GEO 9227 07 YHTEYSTIEDOT	MITTAMAALITUS 1:90
sipti infra CONSULTING Sipti Infra Oy Laaksonkatu 7 A, 02100 Helsinki www.sipti.infra.fi	YHTEYSTIEDOT SUUNNITTELU: Olli TILASTUOTO: Eriikka Hietala VIERAILUKÄSI: Heikki	A D
Päiväys: 26.8.2010 Pääsuunnittelija: Heikki piirustaja: Heikki Hietanen		

Siuronkoski, maatuki 1 1(2)

3(4)



Siuronkoski, maatuki 1 2(2)

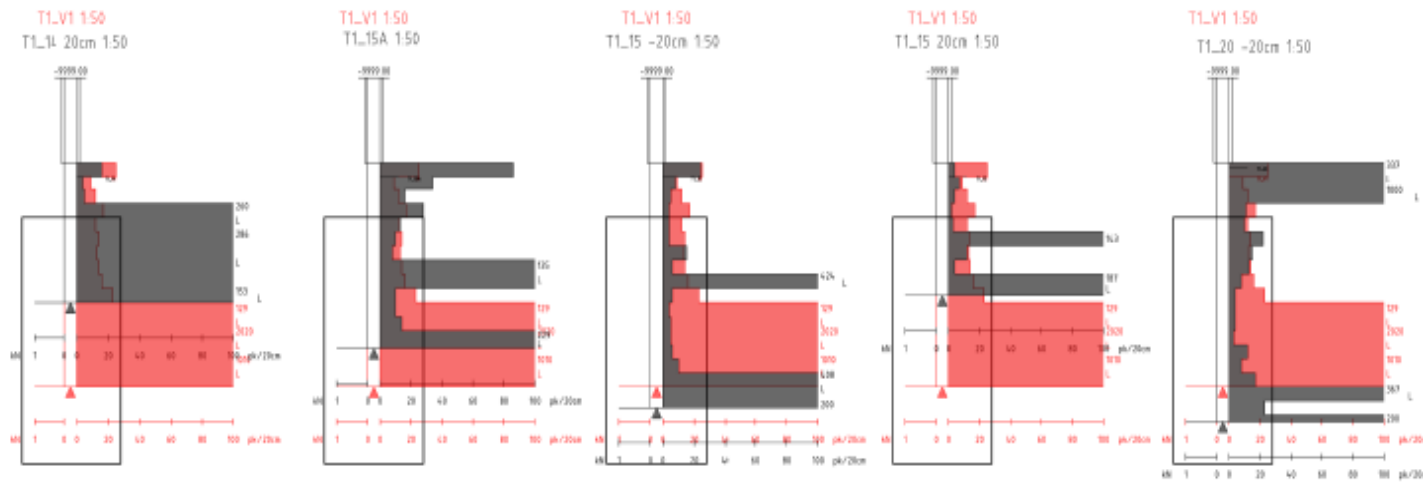
MERKINNÄT JA SELITYKSET:



Massanekin perusteella arvioitu injektointipiiri

Injektointialueen ulkopuolelta tehty vertailukairaus punaisella

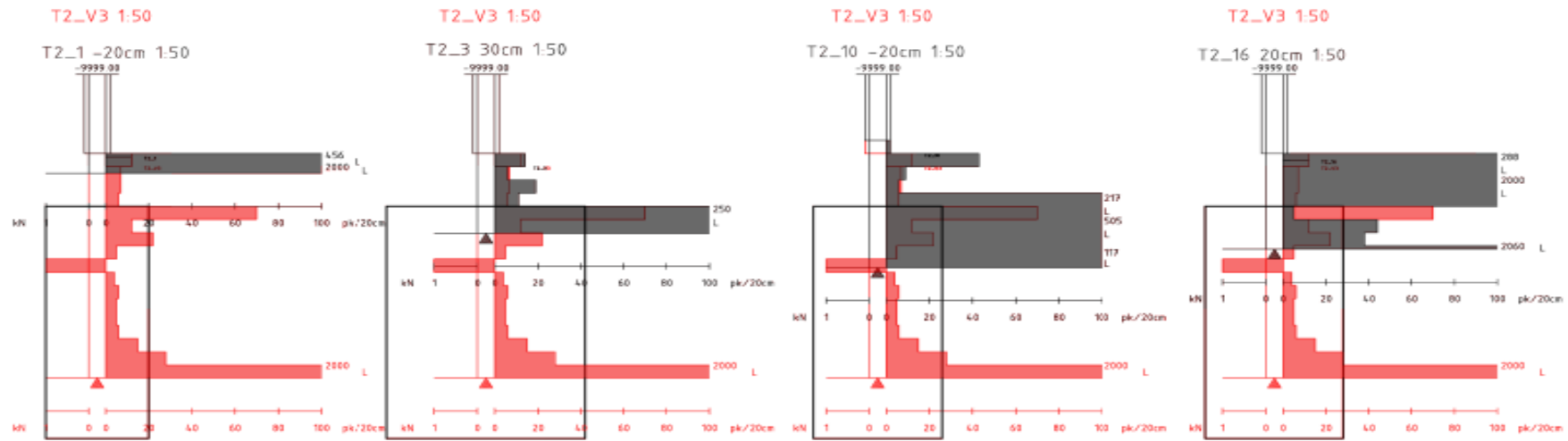
Injektointiputken läheisyydessä tehty kairaus harmaalla



AMMENNIMI VR TRACK OY SIURONKOSKEN RATASTILAN INJEKTOINTI TUKI 2 NOKIA	PROJEKTIOSIVU PAINOKAIRAUSDIAGRAMMIEN VERTAILU	MITTAVAUDET 1:50
 Sipti Infra Oy Lahtiinsentie 7 A, 05700 Heikkilä www.sipti.fi	SUUNNITTELAJA, TILANIMERO JA PROJEKTIN NIMI GEO 5037 102	MAALIS
PIVÄYS 31.03.2015 PÄÄTTÄÄ PIV HYV. Taina Räsänen	SUUNNITTELIJA TARKASTAJA PÄIVYSHENKILÖ	Sika Seppo Räsänen Minna

Siuronkoski, maatuki 3 1(2)

4(4)



Siuronkoski, maatuki 3 2(2)

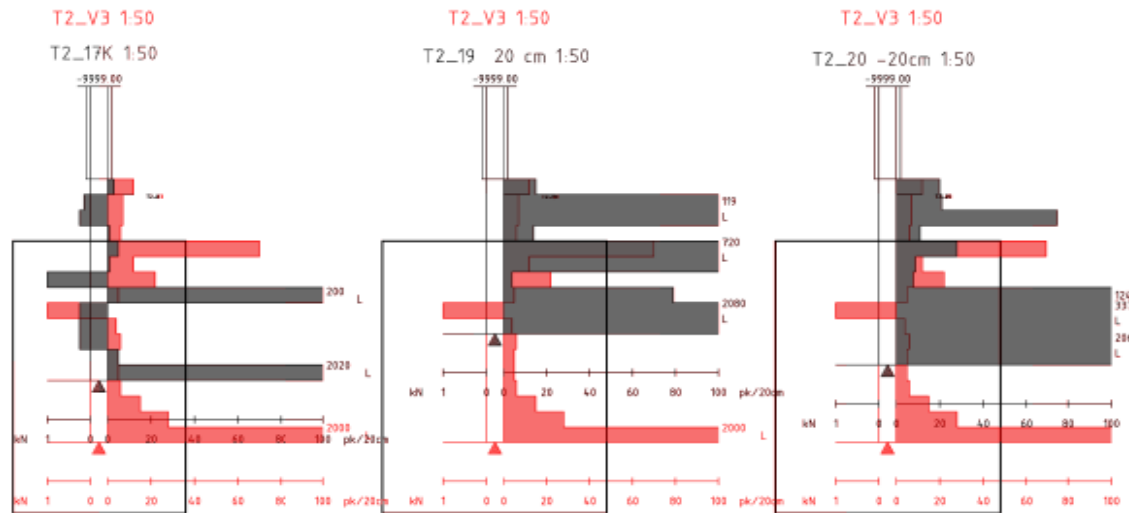
MERKINNÄT JA SELITYKSET:



Massamenekin perusteella arvioitu injektointipilari

Injektointialueen ulkopuolelta tehty vertailukairaus punaisella

Injektointiputken läheisyydessä tehty kairaus harmaalla



RAKENNUKOHDE VR TRACK OY SIURONKOSKEN RATASTILAN INJEKTOINTI TUKE 3 NOKIA	PERUSTUKSEN OSALTO PAINOKAIRAUSDIAGRAMMIEN VERTAILU MITTAKAIVAT 1:50				
 Sipti infra Oy Lakokartanonkatu 7 A, 00700 Helsinki www.sipti-infra.fi	SUUNNITTEILIJAN, TYÖMAHALLIN JA PERUSTUKSEN NUMERO GEO 5037 105 MUUTOS TEHDOSTO				
PÄÄMÄÄS 25.9.2013 PÄÄSUUNNITTELIJA HVe HYV. Heikki Alkanen	SUUNNITTELIJA SSe TARKASTAJA Seppo Hakala YHTEYSHENKILÖ HVe				
	<table border="1"> <tr> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> </tr> </table>	A		S	
A					
S					