

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Infratekniikka

2015

Viivia Takaoja

STABILOINNIN HYÖDYNTÄMINEN RAUTATIEN STABILITEETIN PARANTAMISESSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turun ammattikorkeakoulu
Tekniikka, ympäristö ja talous
Infratekniikka
Viivia Takaoja
Opinnäytetyö

STABILOINNIN HYÖDYNTÄMINEN RATAPENKEREEN STABILITEETIN PA-
RANTAMISESSA

Hyväksytty

Turussa _____/____ 2015

Valvoja

DI Pirjo Oksanen

KT-vastaava

Tekn. lis. Esa Leinonen

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka | Infratekniikka

Huhtikuu 2015 | 55+16 sivua

DI Pirjo Oksanen ja DI Liisa Larkela

Viivia Takaoja

STABILOINNIN HYÖDYNTÄMINEN RATAPENKEREEN STABILITEETIN PARANTAMISESSA

Helsingin ja Turun välinen rantarata on yli 100 vuotta vanha. Rataosuudella havaittiin stabiliteettiongelmia jo radan rakentamisvaiheessa, sillä rata on perustettu vanhan merenpohjan ja soiden päälle. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, soveltuuko stabilointi työmenetelmänä jo olemassa olevan radan stabiliteetin parantamiseen.

Tiedettävästi ensimmäinen stabilointikohde rantaradalla sijaitsi Piikkiössä, jossa parannettiin radan stabiliteettia lamellistabiloinnilla ja vastapenkereillä. Piikkiön kohteen loppuvaiheessa aloitettiin tehdä kolme uutta stabiliteetin parannuskohdetta Paimiossa, Littoisissa ja Turussa, ja niissä käytettiin radan stabiliteetin parantamiseksi samaa lamellistabilointimenetelmää kuin Piikkiössä. Lamellistabiloinnin toteuttamista seurattiin inklinometri- ja radanseurannan sekä pilarikairausten tulosten avulla. Piikkiön kohteesta saatuja tutkimustuloksia vertailtiin keskenään kolmesta muusta parannuskohteesta saatuihin tuloksiin.

Opinnäytetyön tutkimustulosten perusteella lamellistabilointi on toteuttamiskelpoinen menetelmä jo rakennetun radan stabiliteetin parantamisessa. Toimintakelpoisuuden selviäminen vie muutamia vuosia kohteen valmistumisesta.

ASIASANAT:

stabilointi, rantarata, rautatie, stabiliteetti, inklinometrimittaus, lamellistabilointi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Community Infrastructure Engineering

April 2015 | 55+16 pages

Instructors Pirjo Oksanen, M.Sc (Eng) and Liisa Larkela, M.Sc (Eng)

Viivia Takaoja

THE USE OF STABILISATION IN CREATING THE STABILITY OF THE COASTAL RAILWAY EMBANKMENT

The railway between Helsinki and Turku is over 100 years old. A number of stability problems have been found on the rail track between Helsinki and Turku because it was built on top of former sea bottom and swamp. The target of this Bachelor's thesis was to determine if stabilization is a proper working method for increasing the stability of the track.

The site is located in Piikkiö. The stability of the rail track was improved by lamel stabilization and counter face. At the end of the project three new sites were started in Paimio, Littoinen, Turku and Piikkiö. The accomplishment of the lamel stabilization was surveyed with the help of inclinometer, track observation and the results of pillar drillings. The results of the Piikkiö site were compared with those of the three other sites.

Considering the results of this Bachelor's thesis stabilization is a worthy method in increasing the railway stability. Determining the effect of the stabilization will take a few years of completing the sites.

KEYWORDS:

stabilisation, rantarata, rail track, stability, lamel stabilization, inclinometer survey

SISÄLTÖ

Hyväksytty	Turussa _____/_____/2015	2
KÄYTETYT LYHENTEET		8
1 JOHDANTO		9
1.1 Opinnäytetyön tausta		9
1.2 Tavoite		10
2 RAUTATIEN SYVÄSTABILOINTI		11
2.1 Syvästabilointi		11
2.1 Pilaristabilointi		11
2.2 Massastabilointi		13
3 PIIKKIÖN TYÖMAA		14
3.1 Työmaan esittely ja laajuus		14
3.2 Pohjatutkimukset		15
3.3 Koestabilointi		16
3.4 Sideaineen esittely		17
4 STABILITEETTITARKASTELU		19
4.1 Stabiliateetilaskennan ohjeita		19
4.2 Stabiliateetilaskelmat ja tulokset		19
5 PIIKKIÖN TYÖMAAN TOTEUTUS		23
5.1 Aikataulu		23
5.2 Valmistelevat työt		23
5.3 Huomioitavat asiat rautatien läheisyydessä		24
5.4 Työn aikana tehtävät havainnot		26
5.5 Stabilointikoneen esittely		27
5.6 Lamellistabilointi		28
6 INKLINOMETRI- JA RADANSEURANTAMITTAUS		31
6.1 Inklinometrimittaus		31
6.2 Inklinometrimittausten tulokset		33
6.3 Radanseurantamittaus		36

6.4 Radanseurantamittausten tulokset	37
7 LAADUNVARMISTUS	38
7.1 Laatu	38
7.2 Stabilointipöytäkirjat	38
7.3 Laadunvalvontakairaukset ja tulokset	39
8 TUTKIMUSTULOKSET	42
8.1 Tutkimus	42
8.2 Stabilointi työsuoritteena	42
8.3 Sideaineen soveltuvuus	42
8.4 Sää- ja pohjaolosuhteet vaikutus	43
8.5 Emma-mittaustulokset	43
8.6 Piikkiön kohteen johtopäätökset	45
9 SOVELTUVUUS OLEMASSA OLEVAN RADAN STABILITEETIN PARANTAMISEKSI	46
9.1 Kohteiden esittely	46
9.2 Pilarikairaustulosten vertailu	46
9.3 Sideaineiden vertailu	48
9.4 Sää- ja pohjaolosuhteiden vertailu	51
9.5 Stabilointikaluston vaikutus	51
9.6 Inklinometri- ja radanseurantamittaustulosten vertailu	51
9.7 Tilaajan näkemys	52
10 JOHTOPÄÄTÖKSET	54
LÄHTEET	55

LIITTEET

Liite 1. Stabiiliteetilaskelma ja poikkileikkaus

Liite 2. Aikataulut

Liite 3. Työmaasuunnitelmat

Liite 4. Piirustus 17162-2

Liite 5. Piirustus 17162-3

Liite 6. Stabilointipöytäkirjat

Liite 7. Pilarikairaustulokset

KUVAT

Kuva 1. Työmaa sijaitsee Piikkiössä ja työkohteet on ympyröity.	14
Kuva 2. MVR-mittaustulokset.	26
Kuva 3. Stabilointikone.	27
Kuva 4. Käpy-sekoituskärki.	28
Kuva 5. Lamellien stabilointijärjestys.	29
Kuva 6. Inklinometrien sijainnit.	32

KUVIOT

Kuvio 1. Inklinometri km-paalu 181+620 siirtymäkuvaajat mittasuunnissa A ja B.	34
Kuvio 2. Inklinometri km-paalu 182+520 siirtymäkuvaajat mittasuunnissa A ja B.	35
Kuvio 3. Pilarikairausten ja laboratorioissa saadut leikkauslujuuskokeiden tulokset	47
Kuvio 4. Pilarikairausten ja laboratorioissa saadut leikkaustulokset	47
Kuvio 5. Eri sideainemäärien leikkauslujuuksia	49
Kuvio 6. Eri sideainemäärien leikkauslujuus arvoja	49
Kuvio 7. Pilareiden lujuudenkehitys	50
Kuvio 8. Paimion kohteesta inklinometrimittaustuloksia	52

TAULUKOT

Taulukko 1. Laboratoriosta saadut GTC-sideaineen lujituskokeen tulokset.	17
Taulukko 2. Vakavuuslaskennan lähtötietoja.	20
Taulukko 3. Vakavuuslaskennassa käytettyjä laskukaavoja.	21
Taulukko 4. Laskut lamelleittain.	21
Taulukko 5. Vakavuustarkastelun tulokset.	21
Taulukko 6. Inklinomertimittauslaitteen hälytysrajat.	36
Taulukko 7. Stabiloinnin ja pilakairausten perustietoja.	39
Taulukko 8. Pilarin leikkauslujuuden (kPa) keskiarvo 14 ja 30 vuorokauden iässä.	40

KÄYTETYT LYHENTEET

kmv	kilometrivilillä
m ³	kuutiometri
m ³ irt	kuutioirtotilavuus
kg/m ³	tiheys
kg/pilari-m	kilogrammaa per pilari metriä, sideaineen määrä pilari-metriä kohden
N60	korkeusjärjestelmä
N5	suodatinkankaan luokka
kW	kilowatti
kNm	kilonewtonmetri
Nordkalk ^{Terra} GTC	sideaine (Nordkalk)
ATU	avoimentilanturvaulottuma, raiteen keskeltä 2,5 metriä ulos
RSU	ratatyönturvaulottuma, uloimmasta raiteesta 2,5 metriä tai sähköpylväs on rajana
F	kokonaisvarmuusluku
q	junakuorma
M _a	aktiivinen momentti
M _p	passiivinen momentti
mm/t	nousu/kierros
TQI	Radan kunnosta kertova luku
kPa	jännitys, paine, lujuus ja jäykkyys

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Rantarata on vakiintunut nimitys Helsinki–Turku–väliselle rautatieosuudelle, jolla on ikää jo yli 100 vuotta. Radan rakenteet ovat monin paikoin alkuperäiset. Rantarata rakennettiin kahdessa osassa. Ensimmäisen rataosuuden rakentaminen aloitettiin läntisestä Karjaa–Turku–välisestä osuudesta maaliskuussa 1896 ja saatiin valmiiksi marraskuun alussa vuonna 1899. Radan toisen osuuden Karjaa–Pasila rakentaminen aloitettiin muutama kuukausi Karjaa–Turku välisen rataosuuden valmistumisen jälkeen, ja kunnolla rakentaminen aloitettiin alkuvuonna 1900. Koko rantarata saatiin valmiiksi junaliikenteelle marraskuussa vuonna 1903. Tällöin valmiin radan kokonaispituus oli 194,3 km. (Nummelin, 2008, 10.)

Rantarata on rakennettu monin paikoin vanhan merenpohjan, soiden ja savipatjojen päälle. Radan sijoitteluun vaikuttivat paljon Turun ja Salon seudulla jokilaaksot, savialusta ja mäkien sijainnit. Näiden johdosta radasta tuli mutkitteleva ja paikoitellen kantavuudeltaan huono. Rantaradan geometrisen sijaintinsa takia rata tehtiin aluksi painuvaksi eikä pohjanvahvistuksia tehty. Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta massanvaihtoja ja puutelinrakenteita tehtiin välttämättömiin kohtiin, kuten suoalueille. Radan rakentamisesta lähtien on radassa ilmennyt painumia, joita on korjattu toistuvasti. Painumista johtuen valmista ratarakennetta painui Pohjankurussa 6 000 m³ vuonna 1896. Painumista johtuen pahimpiin pehmeikköpaikkoihin asennettiin pengerten painumaseurantamittareita. Kriivarin alueella tehtiin ensimmäisiä geologisia tutkimuksia vuonna 1922. Radan eliniän aikana on sille tehty lukuisia oikaisuja ja peruskorjauksia. (Nummelin, 2008, 10–106.)

Tunnetusti rantarata on geometrialtaan hyvin mutkainen osuus Suomen rautatieverkostossa. Sen suunnitteluvaiheessa radalle päätettiin pienempi kaarresäde kuin muille rautateille eikä kaarteiden väliin tarvinnut jättää suorja linjoja, joita taasoituskaaret normaalisti vaativat. Tästä johtuen radalle on tehty useita rataoikai-

suja sen mutkittelevuuden vähentämiseksi ja pienten kaarresäteiden koon kasvattamiseksi. Oikaisut ovat vaikuttaneet parempaan liikennöitävyyteen ja mahdolliseen ajonopeuden lisäämiseen. (Nummelin, 2008, 110.)

Rantaradan historian alkua ajoilta asti yleisiä ongelmia ovat olleet perustamista vasta johtuvat painumat ja vanhat paaluhattu-alueet. Muita rantaradan ongelmia ovat joidenkin tunneleiden ja turvakaapeleiden huono kunto. Lisäksi kapasiteetti-ongelmat rajoittavat liikenteen lisäämistä. (Nummelin, 2008, 180.)

1.2 Tavoite

Opinnäytetyön aihe liittyy rantaradalla esiintyviin ongelmiin pehmeikköalueilla, joissa radan stabiliteetti on heikko. Ensisijaisena tavoitteena oli selvittää, onko Piikkiön kohteeseen valitun stabiliteetin parannusmenetelmä toteuttamiskelpoinen. Toissijaisena tavoitteena oli selvittää lamellistabiloinnin toimintakelpoisuus.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Liikenneviraston ja Ralf Ajalin Oy:n kanssa. Liikennevirasto toimi työn tilaajana ja Ralf Ajalin Oy pääurakoitsijana.

2 RAUTATIEN SYVÄSTABILOINTI

2.1 Syvästabilointi

Syvästabilointimenetelminä tunnetaan pilaristabilointi ja massastabilointi, jotka käydään läpi työteknisesti. Ohjeistukset soveltuvat pilareihin, joiden

- leikkauslujuus on maksimissaan 200 kPa
- halkaisija on 500–800 mm
- maksimipituus on 20 m. (Liikennevirasto, 2010, 8.)

Ohjeita voidaan soveltaa, kun sideaineena käytetään kalkkia, kalkkisementtiä tai muita sideaineita edellyttäen, että niistä tunnetaan

- seoksen ainesosat, jotta voidaan arvioida työturvallisuustekijät sekä ympäristökelpoisuus
- lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet
- työtekniinen kelpoisuus, joka on todettu työmaaolosuhteissa. (Liikennevirasto, 2010, 8.)

Syvästabilointimenetelmiä voidaan suorittaa joko kuiva- tai märkämenetelmällä. Märkämenetelmää on kokeiltu Suomessa vain muutamissa kohteissa 80- ja 90-luvulla, jolloin menetelmää ei koettu toimivaksi. Tästä johtuen Suomessa syvästabilointi suoritetaan ns. kuivamenetelmällä, jossa hienojakoinen sideaine syötetään ilmanpaineen avulla. (Liikennevirasto, 2010, 8.)

2.1 Pilaristabilointi

Pilaristabiloinnissa stabilointikoneen kärki kairataan maaperään stabiloitavan pilarin alapään tasoon. Sekoituskärkeä nostetaan pilarin yläpään tasoon, jolloin

usein sideaineen syöttö ja sekoittaminen vasta aloitetaan. Sideaineen syöttö lopetetaan yleensä n. 30 cm ennen maanpinnalle tuloa. (Liikennevirasto, 2010, 11.)

Yleisimmin pilarin halkaisijana käytetään 500–800 mm, mutta nykyisin tyypillisimmät käytettävät pilarikoot ovat halkaisijaltaan 600–700 mm. Pilarin halkaisijan kasvaessa vaikeutuu kovemman kuivakuoren tai muiden lujien maakerrosten läpäisy. Pilarin halkaisijan koon ollessa suuri voi esiintyä ongelmia sideaineen jakautumisessa tasaisesti koko poikkileikkausalueelle. (Liikennevirasto, 2010, 11.)

Nykyisellä stabilointikalustolla tehtyjen pilareiden maksimipituus on yleensä noin 18–20 m, mutta on mahdollista tehdä jopa 25 metriä pitkiä pilareita. Hyvin harvoin maksimipituuksia lähestyvät pilarit ovat taloudellisia. (Liikennevirasto, 2010, 11.)

Suuri merkitys pilarin tasaisuuteen ja lujuuteen on sideaineen sekoituksella. Sideaineen määrää voidaan säädellä syvyysuunnassa. Tätä tapaa käytetään yhä enenemässä määrin. Nykyisin sideaineen syöttömäärä tallennetaan stabilointikoneen ohjausyksikköön yleensä 0,2 m:n välein pilaripituutta kohden. Nykyisillä kalustoilla päästään sideainemäärän mittatarkkuuteen, joka on noin 1 kg pilari-metriä kohden. (Liikennevirasto, 2010, 11.)

Sideaineen sekoitustyö on yksiköltään terätasokierrosta/pilarimetri, ja sen tehokkuus on riippuvainen sekoittimen terätasomäärästä ja terän noususta kierrosta kohti (Liikennevirasto, 2010, 11).

Sideaineen syöttö tapahtuu, kun terä upotetaan maahan ja ilmaa työnnetään suuttimesta ulos. Työnnettävää ilman määrää ja painetta pyritään minimoimaan, jotta vältetään saven liialliselta häiriintymiseltä. (Liikennevirasto, 2010, 11.)

Yleisimmin stabilointiin käytettävä sideaine sisältää kalkkia ja sementtiä, mutta se saattaa myös sisältää muita stabiloivia aineita, kuten kipsiä. Sideaineen laatu ja vaatimuksenmukaisuus osoitetaan ensisijaisesti CE-merkinnällä. (Liikennevirasto, 2010, 17.)

Stabilointikaluston terällä ei pystytä läpäisemään lohkareisia ja kivisiä täyttöjä eikä tiivistettyjä mursketäyttöjä. Haluttaessa työalustana voidaan käyttää enin-

tään noin 0,5 tiivistämätöntä mursketäyttöä tai noin 1,0 m:n hiekkatäyttöä. Työalustan etuna on pilarien vähäinen tiivistyminen ja kuormittuminen jo lujittumisvaiheessa. (Liikennevirasto, 2010, 11.)

2.2 Massastabilointi

Massasyvästabiloinnissa stabilointikoneen sekoituskärkeä liikutetaan stabiloitavassa maakerroksessa sekä vaaka- että pystysuunnassa. Massasyvästabiloinnissa on tarkoituksena sekoittaa tasaisesti maamassat, jotka ovat mahdollisesti erityyppisiä päällekkäisiä maakerroksia keskenään. Massasyvästabiloinnilla on mahdollista stabiloida humuspitoisempia maaperiä, kuten turvetta. (Liikennevirasto, 2010, 13, 46–47.)

Massasyvästabiloinnissa käytettävä stabilointisyvyyden raja on nykyisillä koneilla noin 5 m, mutta se on mahdollista suorittaa jopa 6–7 metriin hyvissä olosuhteissa (Liikennevirasto, 2010, 13, 47).

Massasyvästabilointi voidaan suorittaa suoraan käsiteltävään maaperään tai käsiteltävä massa voidaan kaivaa ylös ja stabiloida kasassa, aumassa, altaassa tai asemasekoittimella. Massasyvästabilointi on mahdollista suorittaa pilaristabilointikoneella pilaroimalla vierä viereen pilarit, jolloin pilarit stabiloidaan limittäin. Yleisimmin massasyvästabiloinnin sideaineen sekoitus ja syöttötyö tehdään blokeittain, joiden koko on riippuvainen stabilointiin käytettävästä kaluston ulottuvuudesta, stabiloitavasta maa-aineksesta ja maakerroksen syvyydestä. Normaalisti blokkien koko on 4–5 m*4–5 m. (Liikennevirasto, 2010, 46–47.)

Usein massasyvästabiloinnissa käytetään sideaineena muita kuin tavanomaisia sementistä ja kalkista koostuvia sideaineita (Liikennevirasto, 2010, 13).

3 PIIKKIÖN TYÖMAA

3.1 Työmaan esittely ja laajuus

Piikkiön ratapenkereen stabiliteetin parantamiskohde sijaitsee Kaarinan kaupungissa rantaradan Salo–Turku–välisellä rataosuudella. Työmaan sijainti esitetään tarkemmin kuvassa 1.



Kuva 1. Työmaa sijaitsee Piikkiössä ja työkohteet on ympyröity.

Piikkiön kohteessa parannetaan stabiliteetiltaan heikkoja rataosuuksia, joita nimitetään *pehmeikköalueiksi*. Piikkiön ratapenkereen stabiliteettilaskelmissa saatiin arvot, jotka olivat alle raja-arvon sekä osavarmuuslaskelmissa että kokonaisvarmuuslaskelmissa. Tästä johtuen näihin kahteen kohteeseen tehtiin stabiliteetin parannuskorjaus. Kohteiden 1 ja 2 stabiliteetin parantamiseksi valittiin tutkituista vaihtoehdoista lamellistabilointi ja vastapenkereen rakentaminen. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Laajuudeltaan urakankesto oli noin kolme kuukautta, mutta täydennyssuunnitelmien viivästymisen vuoksi istutusten tekeminen suoritetaan keväällä 2015. Urak-

kaan sisältyivät lamellistabilointi, salaojaputken, kaivon, rautatieaidan, vastapenkereen rakentaminen ja vihertyöt. Urakassa stabilointimetrejä oli yhteensä 24 031 m.

Urakan aloittamisen jälkeen urakoitsijan puolelta havahduttiin työnaikaiseen stabiliteettiongelmaan. Havaitun kantavuusongelman takia tehtiin työnaikaisen stabiliteetin parantamiseksi seuraavia muutoksia: Makarlanjoen padotus, rummutus, joen täyttö, inklinometrimitalaitteiden asennus ja stabilointityön järjestyksen muutos. Näiden toimenpiteiden vuoksi stabiloinnin aloittaminen viivästyi noin kuukaudella.

3.2 Pohjatutkimukset

Suunnittelukohteiden läheisyydestä on olemassa satoja vanhoja pohjatutkimustuloksia, joita hyödynnettiin suunnitteluvaiheessa. Vanhojen pohjatutkimuksien lisäksi työkohteisiin tehtiin painokairauksia pehmeiden maakerrosten rajojen, porakonekairauksia kallion tason ja siipikairauksia maakerroksien lujuuden selvittämiseksi. Laboratoriotutkimuksia varten otettiin maanäytteitä, joista tutkittiin maalajit, humuspitoisuudet, hienousluvut, vesipitoisuudet, rakeisuudet ja maaperänäytteiden lujuudet ja painumaominaisuudet. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Pehmeiden kerrosten siipikairaustuloksissa huomattiin tankovastuksen haittaavan tulosten tulkintaa, minkä johdosta muutamia siipikairauksia tehtiin suojaputken avulla. Suojaputkellisten siipikairausten lujuuden tulokset paranivat systemaattisesti noin 5–10 kPa. Suojaputkellisia tuloksia käytettiin stabiliteetilaskennoissa varovaisesti, ja lujuudet redusoitiin laskennoissa hienousluvun avulla. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Kohteen 1 pohjatutkimuksista saatiin tietoa, että maan pinnassa oli ohut silttikerros, joka oli lujempaa, ja sen redusoimaton leikkauslujuus oli noin 20 kPa. Seuraava maakerros oli liejuista silttiä, joka ulottuu noin 12 metrin syvyyteen. Liejuisen siltin leikkauslujuus vaihtelee kerroksen ylä- ja alaosissa noin 10–15 kPa:sta

20–25 kPa:iin. Liejuisen siltin alapuolella oli liejuista savea noin 12–18 metrin syvyydelle maan pinnasta, minkä redusoimaton leikkauslujuus oli 20–30 kPa. Tämän savikerroksen alla oli silttikerros, joka ulottuu 18–25 metrin syvyydelle maanpinnasta. Silttikerroksen alla oli moreenia 25–33 metrin syvyydelle. Moreenista syvemmälle ei ollut tehty pohjatutkimuksia, joten alimmista maakerroksista ei ole tietoa. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Kohteen 2 pohjatutkimustuloksista saatiin tietoa, että vanhan pengertäytön alla oli ohut lujempi savikerros, jonka redusoimaton leikkauslujuus oli noin 25–40 kPa. Savikerroksen alla oli liejuinen silttikerros, jonka leikkauslujuus kasvaa alaspäin mentäessä ja oli alaosassa noin 25–30 kPa. Silttikerros ulottuu kovaan pohjaan saakka, minkä alla kallion pinnan syvyys vaihteli 15–18 metrin syvyyteen merenpinnan alapuolelle. Kallion pinnalla ei ollut kuin ohuita kitkamaakerroksia. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

3.3 Koestabilointi

Saven stabiloitavuuden selvittämiseksi tehtiin kokeita kolmessa eri pisteessä. Kokeissa käytettiin Nordkalkin Terra™ GTC -sideainetta ja kokeet suoritettiin kahdella eri sideainepitoisuudella 100 ja 150 kg/m³. Kokeita tehtiin pikatestejä 28 ja 90 vuorokauden sitoutumisajalla. Saven stabiloitavuuden selvittämiseksi kokeissa näytteisiin liitettiin ominaisuuksiltaan samantapaisia näytteitä, jotka olivat samasta savesta eri syvyyksiltä. Koestabilointi suoritettiin laboratorio-olosuhteissa. Laboratoriokokeiden avulla ratkaisu osoittautui toimivaksi. Myöhemmässä vaiheessa sideainemäärää tarkennettiin lisäkokeilla ja varmennettiin tarkemmin myös stabiloidun saven lujuudenkehitystä. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Laboratoriossa tehtyjen lujuuskokeiden lähtökodat ovat seuraavat:

- otettiin 6 kpl runkomateriaalinäytettä
- testattiin pelkästään GTC-sideainetta
- tavoitepuristuslujuustaso laboratoriotestien osalta on noin 400 kPa.

Taulukko 1. Laboratoriosta saadut GTC-sideaineen lujituskokeen tulokset.

Stabiloituvuustutkimukset						
Runkomateriaali	syvyys [m]	Sideaine	määrä [kg/m ³]	Puristuslujuus [kPa]		Koekappalenumerointi
				28 vrk	vara	
P102	4.0 m	GTC	75	404	v	PK-1a/b
			100	651	v	-2a/b
			125	820	v	-3a/b
	10.0 m	GTC	75	423	v	-4a/b
			100	722	v	-5a/b
			125	882	v	-6a/b
	13.0 m	GTC	75	195	v	-7a/b
			100	415	v	-8a/b
			125	581	v	-9a/b
P101	4.0 m	GTC	75	314	v	-10a/b
			100	449	v	-11a/b
	7.0 m	GTC	75	343	v	-12a/b
			100	530	v	-13a/b
	11.0 m	GTC	75	132	v	-14a/b
			100	292	v	-15a/b

v = tehty varakappale, joka on jäänyt käyttämättä. Mahdollisuus tarvittaessa määrittää esim. 90 vrk lujittumista.

Laboratoriosta saadut sideaineen lujuudenkehityksen tulokset esitetään taulukossa 1. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2015.)

3.4 Sideaineen esittely

Stabiloinnissa käytettiin sideaineseoksena Nordkalkin Terra™ GTC:tä, jota valmistetaan Nordkalk Oyj Abp:n tehtailla. Nordkalk Terra™ GTC-sideaine soveltuu hyvin ongelmaliejujen ja sulfidisavien stabilointiin. Yleisesti GTC:n lujittuminen on hie-man hitaampaa kuin kalkkisementtisineaineella. Käytettävän sideaineseoksen soveltuvuus testattiin laboratoriokokein hyväksytysti. Sideaineseoksen kokonaisu-määräksi suunniteltiin 700 mm:n pilarille vähintään 38,5 kg/pilarimetri sideaine-seosmäärällä 100 kg/m³. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Nordkalkin Terra™ GTC-sideaineseos koostuu kolmesta ainesosasta; sammute-tusta kalkkista, sementistä ja kipsistä, jotka ovat yhdisteiltään kalsiumdihydrok-sidia (Ca(OH)₂), kalsiumalumiinisilikaattia (portlandsementti) ja kalsiumsulfaattia (luonnonkipsi). Sideaine koostuu seuraavanlaisista seossuhteista: kalkki 30–40 %, sementti 20–30 % ja kipsi 30–40 %. Sideaine on väriltään valkoista tai vaalean rusehtavaa ja koostumukseltaan jauhomaista. Sideaineen tilavuuspaino on 20 °C:ssa 700–1300 kg/m³ ja se saattaa olla lievästi ummehtuneen hajuinen. (Nord-kalk, Käyttöturvallisuustiedote, 2013, 2, 4.)

Sideaine ei ole syttyvää eikä palavaa. Sideaineseos reagoi veden kanssa, ja syntyvä reaktio on eksotermien. Tämä voi mahdollisesti aiheuttaa vaaraa syttyville aineille. Näistä syistä johtuen sideaineseos tulee säilyttää kuivassa tilassa ja erillään hapoista, suurista paperimääristä, kuivista oljista ja nitroyhdisteistä. Sideaine voi vaurioittaa vakavasti silmiä ja se saattaa aiheuttaa hengitysteiden ja ihon ärsytystä.(Nordkalk, Käyttöturvallisuustiedote, 2013, 2–7.)

Piikkiön lamellistabilointiin sideaineen kokonaismääräksi määriteltiin 700 mm:n pilariin vähintään 38,5 kg/pilarimetri sideainemäärälle 100 kg/m³.

Sideaineelle asetettiin seuraavia sallittuja poikkeamia:

- enintään 10 %:n sideainemäärän alitus kg/pilari-m
- keskimäärin +/- 5 % pilarikohtaisesti.

Yksittäisessä havainnossa sideainemäärää saa alittaa enintään 25 %. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

4 STABILITEETTITARKASTELU

4.1 Stabiliateetilaskennan ohjeita

Stabiliateetti laskentaan on annettu ohjeita Liikenneviraston laatimassa RATO 3 -ohjeessa. Vanhoihin ja uusiin ratoihin on annettu erilaisia mitoitus- ja laskentaohjeita, mutta tässä tarkastellaan vanhojen ratojen rakenteisiin annettua ohjeistusta. Vanhoihin ratoihin liittyviä tärkeimpiä arvoja ja ohjeita on esitetty:

- ratojen vanhat rakenteet on suunniteltava kestämään radon kappaleessa 3.8 määritellyn SFN-EN 155 28:n/11 mukaiset junakuormat
- varmuuslukujen ja mitoittamisen osalta voidaan noudattaa SFN-EN 199-1/7, sen kansallisliitettä sekä NCCI 7/9
- kokonaisvarmuusmenetelmällä voidaan suorittaa mitoitus
- varmuuslukuna (F, kokonaisvarmuusluku) käytetään arvoja: vanhat tavanomaiset rakenteet $F=1,5$ ja siirtyville herkät rakenteet (junakuorma=0kN/m) $F=1,8$
- herkkien rakenteiden siirtymille stabiliateetti tarkastetaan kummankin taulukon mitoitustilanteelle (1,5 ja 1,8)
- radan stabiliateetti ei saa missään vaiheessa alittaa kokonaisvarmuusarvoa $F=1,3$
- radassa ilmeneviin heikkoihin paikkoihin voidaan asentaa radanseuranta-mittaus kun kokonaisvarmuusluku on $F=1,3-1,5$, kuitenkin ilman uusia stabiliateettia parantavia toimenpiteitä.

RATO 3 -ohjeissa on maininta siitä, että radan alla ei saa käyttää stabilointia, mutta sitä voidaan käyttää radan sivuilla (Liikennevirasto, 2014, 16–17).

4.2 Stabiliateetilaskelmat ja tulokset

Tarkoituksena oli tarkastaa kohdan km 182+520 työnaikainen stabiliateetti, sillä tästä kriittisestä kohdasta ei ollut tehty vakavuustarkastelua. Stabiliateetilaskelma

tehtiin Bishopin laskentamenetelmän mukaan, ja se suoritettiin käsin laskentana. Stabiliateetilaskelma mitoitettiin kokonaisvarmuusmenetelmällä. Mitoitettava luiska koostui junaradan penkereestä ja seitsemästä eri savikerroksesta.

Laskelmat laskettiin ominaisarvoilla kokonaisvarmuusmenetelmää käyttäen. Kokonaisvarmuusluvun F arvoksi on saatava vähintään $F = 1,3$; jos arvoksi saadaan alle $F = 1,3$, radan stabiileetti ei ole riittävä. (Liikennevirasto, 2014, 16–17).

Stabiliateetilaskussa kuormana käytettiin junalle arvoa 40,4 kPa (kN/m^2) ja savien laskentaparametreina käytettiin samoja arvoja kuin mitä on käytetty Piikkiön kohteen stabiileetilaskussa (Liite1). Kyseinen laskelma on laskettu ominaisarvoilla kokonaisvarmuusmenetelmällä. Pohjaveden pinnankorkeus on otettu huomioon laskennassa. Kohdan km 182+520 ensimmäiset laskennat löytyvät taulukoista 1–4. Laskentojen poikkileikkauksessa oleva sininen viiva kuvastaa pohjaveden pintaa. Laskentakohdan poikkileikkaus esitetään liitteessä 1.

Taulukko 2. Vakavuuslaskennan lähtötietoja.

LÄHTÖARVOJA			
Junakuorma	q	40,4	kPa
Junakuorma	a	5	m
Lamellin etäisyys ymp.kaarien keskipisteestä	x		m
Ympyrän säde	R	12	m
Leikkauslujuus	s		kPa
Lamellin alapinnan pituus	Δl		m
Lamellin leveys	Δx		m
Saven tilavuuspaino	γ		kN/m^3
Savikerroksen paksuus	Δh		m
Lamellin massa	w		kN

Stabiliateetilaskuissa tarkasteltiin mahdollista liukupintaa kahdessa eri syvyydessä. Liukupinta harvemmin muodostuu savien kuivakuorikerrokseen, joten tarkastelut tehtiin syvyydellä 12–16 metriä.

Laskuissa käytettiin taulukossa 3 esitettyjä kaavoja. Ensimmäisessä stabiliteetti-laskussa käytettiin ympyrän säteenä 12 metriä. Lamelleittain laskettiin ja kerättiin tarvittavat tiedot aktiivisen ja passiivisen momentin laskemiseksi. Tiedot esitetään taulukossa 4.

Taulukko 3. Vakavuuslaskennassa käytettyjä laskukaavoja.

LASKUKAAVOJA	
Lamellin W	$\Delta x_1 * (h_1 * \gamma_1 + h_2 * \gamma_2 + \dots + h_x * \gamma_x)$
M_a	$Q * a + (\Sigma W * x)$
M_p	$(\Sigma s * \Delta l) * R$
F	M_p / M_a

Taulukko 4. Laskut lamelleittain.

LAMELLIT	s (kPa)	Δl (m)	$s * \Delta l$ (kN)	x (m)	W (kN)	$W * x$ (kNm)
1	58,7	2,6	152,62	11,47	18	206,46
2	24	0,9	21,6	10,935	22,05	241,11675
3	12	8	96	8,2	563,65	4621,93
4	17,5	6,5	113,75	2,9	641,7	1860,93
5	17,5	6,5	113,75	-2,785	332,61	-926,31885
6	12	5,6	67,2	-7,57	159,73	-2517,8577
7	16,5	2	33	-10,29	40,2	-413,658
8	24	0,4	9,6	-10,665	2,52	-26,8758
9	30	0,7	21	-10,9	1,44	-15,696
		$\Sigma s * \Delta l$	507,32		$\Sigma W * x$	5977,2421

Ensimmäisen liukupinnan kokonaisvarmuusluvuksi saatiin $F = 0,95$ ($F = 0,95 < 1,3$) näin ollen stabiliteetti ei ole riittävä. Laskun tulokset esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Vakavuustarkastelun tulokset.

VAKAVUUSTARKASTELUN TULOKSET			
Aktiivinen momentti	M_a	6381,2421	kNm
Passiivinen momentti	M_p	6087,84	kNm
Kuorma	Q	404	kNm
Kokonaisvarmuusluku	F	0,95	

Toinen stabiliteettitarkastelu laskettiin samalla tavalla kuin ensimmäinen lasku. Toisessa laskussa käytettiin ympyrän säteenä 16 m, ja laskusta saatiin liukupinnan kokonaisvarmuudeksi $F = 0,66$ ($F = 0,66 < 1,3$). Myöskään toisen tarkastelun mukaan stabiliteetti ei ollut riittävä. Toinen stabiliteettitarkastelu ja poikki-leikkaus löytyy liitteestä 1.

Excel-ohjelmaa käyttämällä saadut laskentatulokset eivät ole yhtä tarkkoja kuin GeoCalc-ohjelmalla lasketut stabiliteettilaskelmat, mutta ne ovat suuntaa antavia. Myöskään pohjaveden vaikutusta ei ole otettu huomioon laskennassa, joka vääristää laskentatulosta. Laskentatuloksista voidaan tehdä johtopäätös, että radan vakavuus ei ole riittävä. Heikoimman liukupinnan selvittämiseksi laskettaisiin useampia laskelmia tiedon saamiseksi. Tästä johtuen piti tarkastella stabiliteettilaskelmia uudelleen, ja tehdä parannustoimenpiteitä työnaikaisen stabiliteetin saavuttamiseksi.

5 PIIKKIÖN TYÖMAAN TOTEUTUS

5.1 Aikataulu

Piikkiön urakkaan laaditun alkuperäisen yleisaikataulun mukaan urakan kesto oli noin 3 kuukautta, ja urakka alkoi 8.7.2014 ja päättyi 27.10.2014. Toteutuneeksi yleisaikatauluksi muodostui aikataulu, jonka kesto oli noin 4 kuukautta. Todellisuudessa urakka päättyi vasta joulukuun lopulla, koska suunnitelmiin tehtävien muutosten takia lamelistabiloinnin aloittaminen viivästyi kuukauden verran. Myös alkuperäisen yleisaikataulusta poiketen stabiloinnin työsuorituksen tekoaika oli hieman arvioitua pidempi. Lopullinen maisemointi ja istutustyöt suoritetaan vuoden 2015 keväällä. Alkuperäinen ja toteutunut yleisaikataulu löytyvät liitteestä 2.

5.2 Valmistelevat työt

Ennen varsinaisten töiden aloittamista molempiin stabilointikohteisiin tehtiin kaapelikatselmus, jossa katsottiin maakaapeleiden sijainnit ja merkittiin ne maastoon. Työtä haittaavat kaapelit kaivettiin esiin.

Työmaalle laadittiin työmaasuunnitelma (liite 3), johon merkittiin kalkkisäiliöiden paikat, tankkauspaikka, inklinometrimitauslaite, työmaakoppi ja työmaatiet.

Molempiin stabilointikohteisiin rakennettiin työmaatiet ja työalustat stabiloinnin suorittamista varten. Tämän jälkeen asennettiin inklinometrimitauslaitteet ja radan seurantamittauksessa käytettävät mittanastat raiteeseen sekä suoritettiin radan 0-mittaus. Näiden lisäksi työmaat erotettiin rautatiestä lippusiimalla. Edellä mainittujen valmistelevien töiden lisäksi kohteissa tehtiin erilaisia valmistelevia työtä.

Piikkiön kohteessa 1 laskettiin työn ajaksi paluujohdot alas. Poikkeuksellisesti jouduttiin selvittämään, kumpaan kiskoon stabilointikone piti maadoittaa, koska sähköratapylväät eivät olleet maadoitettuja kyseisellä rataosuudella. Maadoitus

tehtiin vasempaan kiskoon Helsingistä Turkuun päin katsottuna. Kalkkisäiliöt sijoitettiin radan toiselle puolelle stabilointikentästä, minkä seurauksena radan alijouduttiin asentamaan muoviputket. Muoviputkien läpi vedettiin kalkkisäiliöistä tulevat tankkausputket stabilointikentän puolelle tankkauksen suorittamista varten.

Piikkiön kohteessa 2 tehtiin viereiseen liikerakennukseen aloituskatselmus, jonka suoritti Kalliotekniikka Oy. Katselmuksen jälkeen rakennuksen kulmaan asennettiin värinämittari, jonka avulla seurattiin työmaan aikaisia värinöitä. Työmaa-alueella tehtiin puuston raivausta, pintamaan poistoa ja purettiin rautatieaitaa lähes 180 m:n matkalta. Lisäksi ennen stabilointia rakennettiin työn ajaksi Makarlanjoen pato. Se rakennettiin louheesta, jonka alle laitettiin suodatinkangas N5 estämään kiviaineksen sekoittumista joen pohjaan. Ensimmäinen teräsrumputki nostettiin Makarlanjokeen ensimmäiselle paikalle. Ensimmäisessä putken sijoituspaikassa ei tarvinnut tehdä joen täyttöö, koska radassa ja inklinometrimittauslaitteessa ei havaittu huomattavaa liikettä. Teräsrumputken toista siirtopaikkaa ei suoritettu lainkaan, vaan suunnittelijan antamalla luvalla toteutettiin vaihtoehdoisen toimenpide, jossa tehtiin mursketäyttö jokeen tuomaan vastapainoa.

5.3 Huomioitavat asiat rautatien läheisyydessä

Rautatien läheisyydessä työskentely on tarkoin ohjeistettua. Liikennöitävän radan läheisyydessä työskentelyssä käytettiin Liikenneviraston laatimia ohjeita, kuten RATO:a ja TURO:a, sekä muita laadittuja Sähkörataturvallisuusohjeita ja SFS 6002-standardia. Niissä käsitellään sähköistetyllä radalla työskentelyyn liittyviä asioita ja selostetaan rautatiehen kuuluvat elementit sekä aluerajat että mahdollisia huomioitavia asioita. (Liikennevirasto, 2014.)

Radan läheisyydessä työskentelevällä henkilöllä tulee olla tarvittavat pätevyudet, mikä on edellytys työn tekemiseen. Vaadittava pätevyys radan läheisyydessä työskentelyyn on ratatyöturvallisuuskoulutus, joka kestää yhden päivän, ja kortti on voimassa 5 vuotta. Muita työskentelyyn vaadittavia pätevyksiä ovat mm. turvamieskoulutus, laiturikoulutus ja ratatöistä vastaavan koulutus. (Liikennevirasto, 2014.)

Rautatien läheisyydessä työskenneltäessä olennaisimpia ja tärkeimpiä asioita ovat

- hallita rautatiejärjestelmään liittyvät peruskäsitteet
- tuntea rautatiejärjestelmän erityispiirteet ja vaaratekijät
- tuntea turvallisuusohjeet
- tietää rautatiealueen ATU ja RSU
- tietää turvamiesmenettelyn perusteet
- tuntea sähköistetyn radan suojaetäisyydet ja vaarat
- tietää, että sähköistetyn radan kalusto liikkuu lähes äänettömästi
- tuntea lupamenettelyt. (Liikennevirasto, 2014.)

Ratatyöturvallisuuskoulutuksen tärkeimpiä asioita on oppia se, että tietää rautatein läheisyydessä työskentelyssä piilevät vaarat sekä osaa liikkua ja työskennellä turvallisesti rautatiealueella (Liikennevirasto, 2014).

Rautatien läheisyydessä on paljon asioita, joita tulee ottaa huomioon, kuten mahdolliset riskit- ja vaaratekijät. Piikkiön työmaalla tehtyjä järjestelyjä töiden suorittamisen aikana olivat

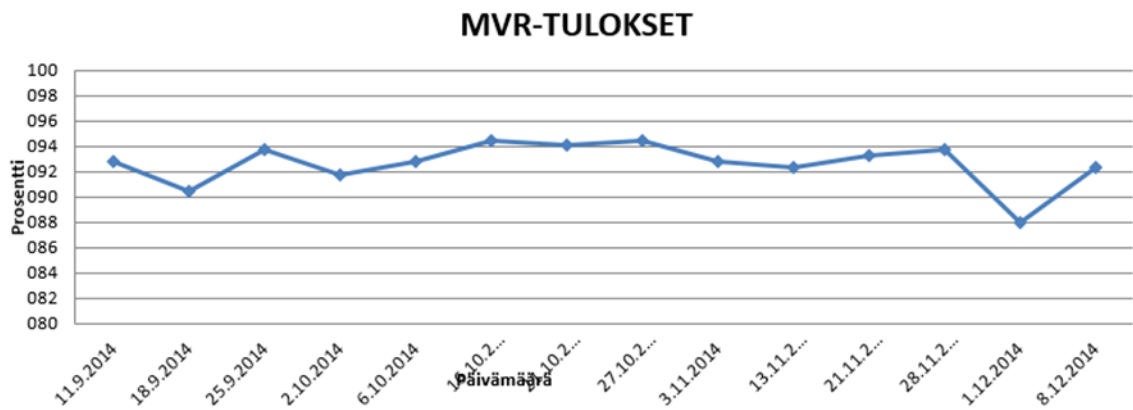
- stabilointikoneen ja nosturin maadoittaminen
- turvamiesmenettelyn käyttäminen mittanastojen asentamisessa raiteeseen ja inkliometriputken asentamisessa
- turvaetäisyyksien huomioiminen m- ja paluuvirtajohdosta, kun inklinometriputkia asennettiin
- työskenneltiin RSU:n ja ATU:n ulkopuolella
- erotettiin työmaa ja rata lippusiimalla
- turvallinen työskentely rautatien läheisyydessä
- haettiin ratatyölupaa yökatkolle.

Piikkiön kohteessa ei tapahtunut vaarallisia tilanteita, vaan työmaalla onnistuttiin työskentelemään mallikkaasti sähköistetyn ja liikennöidyn radan läheisyydessä.

5.4 Työn aikana tehtävät havainnot

Piikkiön työmaalla työnaikaiset havainnot liittyivät ensisijaisesti työmaan turvallisuuteen, radan silmämääräiseen tarkkailuun ja työskentelyyn.

Työmaan turvallisuutta seurattiin päivittäin ja viikoittain suoritettavalla MVR-mittauksella. MVR-mittauksessa tarkasteltiin työmaan yleistä siisteyttä, varastointia, alueen suojausta, varoalueita, ajoväyliä, työkoneiden ja työntekijöiden työskentelyä sekä valaistusta että sähköistystä. MVR-mittauksen keskiarvo oli työmaan loputtua 92,6 % ja mittauksien tulokset on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. MVR-mittauksien tulokset.

Työmaalla työskentelyssä noudatettiin TURO:n ohjeita ja Radanpidon turvallisuusohjeita. Erityistä huomiota kiinnitettiin työskentelyssä seuraaviin asioihin: riittävään työskentelyetäisyyteen rautatiestä, lupiin työskennellä radalla, ratapenkeereen ja radan kuntoon, työntekijöiden perehdytykseen, koneiden käyttöönotto tarkastuksiin ja itse työskentelyn turvallisuuteen.

Radan silmämääräisen tarkkailun lisäksi rataa seurattiin kahdella erilaisella radanseurantajärjestelmällä, jotka olivat inklinometri- ja radanseurantamittaus. Silmämääräisessä tarkkailussa tarkkailtiin radan geometriaa, ratapengertä ja rata-sepelin kuntoa.

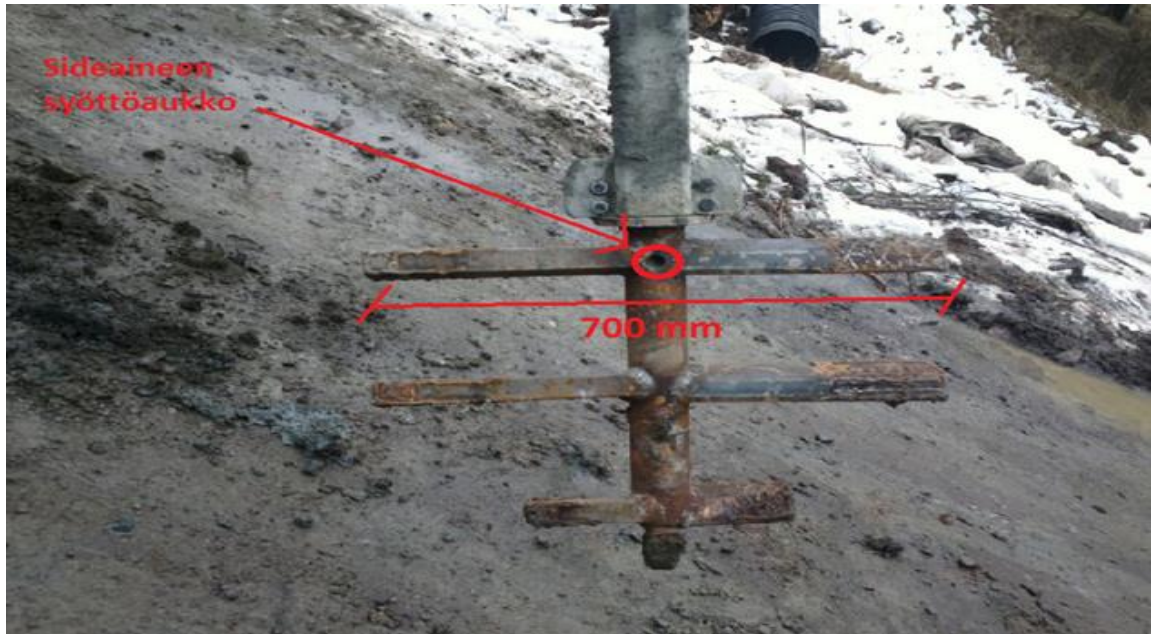
5.5 Stabilointikoneen esittely

Stabiloinnissa käytettävän kaluston tyyppi oli PKL 2000. Koneen oli valmistanut Rakentajat Piippo & Pakarinen. Koneen ominaispaino oli noin 30 tonnia ja käyttöpaino on muutamia tonneja enemmän. Stabilointikoneen päälle on rakennettu kaksi erillistä sideainesäiliötä, joihin mahtui yhteensä 6 m³. Koneen maston korkeus on 23 m, minkä ansiosta voitiin stabiloida 16–19 m pitkiä pilareita ja tarvittaessa myös pidempiä pilareita. Stabilointikoneen telaston leveys oli 3 500 mm, ja niiden tuottama pohjapaine on 34 kN/m². Sideaineen syöttö tapahtuu ilmanpaineen ja ruuvisyöttimien avulla. Stabilointikone työskentelee GPS-järjestelmää käyttäen, jonka avulla se paikantaa suunnitelmien mukaan pilarien paikan maastoon. Stabilointikoneessa oli sähköinen ohjelmisto, joka mittasi automaattisesti sekoituskärjen syvyyden ja kierrosnopeuden, ja vaaka-anturit osoittivat sideaineen käyttömäärän säiliön painosta.



Kuva 3. Stabilointikone (Rakentajat Piippo & Pakarinen, 2014).

Kuvan 4 mukaisessa stabilointikoneessa käytettiin liitettävää sekoituskärkeä, joka oli nimeltään *käpy*. Kuvan 3 mukaisessa käpy-sekoituskärjen rakenteessa siivekkeet olivat kolmessa tasossa. Siivekkeet olivat halkaisijoiltaan 700 mm. Sekoituskärjen sideaineen syöttöaukko sijaitsi kuvan 4 mukaisesti ylimpien siivekkeiden välissä.



Kuva 4. Käpy-sekoituskärki (Lemminkäinen Infra Oy, 2015).

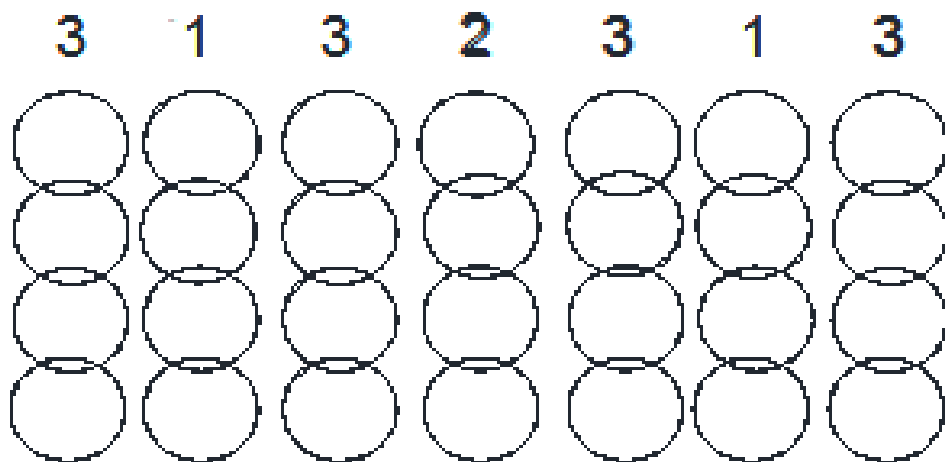
Sekoituskärjen maksimi pyörimisnopeus oli 180 t/min ja kierrosnopeus 0–40 mm/t (nousu/kierros). Sekoituskärjen vääntömomentin maksimi oli 18,8 kNm.

5.6 Lamellistabilointi

Lamellistabilointi on yksi pilaristabiloinnin rakenneratkaisuista, jossa pilarit sivuavat toisiaan ja muodostavat yhtenäisiä seinämiä. Tässä kohteessa pilarit stabiloitiin pehmeään maakerroksen alapuoliseen kovempaan siltti- tai savikerrokseen saakka. Näin ollen pilarien pituudet vaihtelevat 14–17 metriin. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Kohteessa 1 radan oikealle puolelle (Helsingistä Turkuun päin katsottuna) suoritettiin lamellistabilointi. Stabiloitavalla matkalla oli lamelleja yhteensä 41 kappaletta ja yhdessä lamellissa oli pilareita 4–9 kappaletta. Stabilointijärjestys, lamellien paikat ja muut tarkemmat tiedot on esitetty piirustuksessa 17162-2 (liite 4). (R. Lindroos, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014)

Kohteessa 1 lamellien tekojärjestys oli 1, 2 ja 3, ja lamellien järjestys oli suunnitelmassa 1, 3, 2, 3, 1, eli joka neljäs lamelli oli 1. Kuvassa 5 on havainnollistettu lamellien järjestystä. Lamellistabilointi aloitettiin Turun puolisesta lamellista ja edettiin Helsinkiä kohti. Lamellistabilointi suoritettiin niin, että ensimmäiseksi stabiloitiin kaikki 1-lamellit, sitten kaikki 2-lamellit ja viimeiseksi kaikki 3-lamellit. 1- ja 2-lamellien välillä tuli odottaa seitsemän vuorokautta ennen kuin voitiin aloittaa stabilointi 2-lamelleista. 2- ja 3-lamellien välillä tuli odottaa myös 7 vuorokautta ennen kuin voitiin aloittaa 3-lamellien stabilointi. (R. Lindroos, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)



Kuva 5. Lamellien stabilointijärjestys.

Kohteessa 2 radan oikealle puolelle (Helsingistä Turkuun päin katsottuna) suoritettiin lamellistabilointi ja radan vasemmalle puolelle tehtiin kapea vastapenger ja salaojaputkitus. Stabiloitavia lamelleja oli yhteensä 66 kappaletta, ja yhdessä lamellissa oli tyypillisesti 17 pilaria. Lamellien, stabiloinnin tekojärjestys ja muut

tarkemmat tiedot on esitetty piirustuksessa 17162-3 (liite 5). (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Kohteessa 2 lamellien tekojärjestys oli 1, 2 ja 3, ja lamellien tekojärjestys oli 1, 3, 2, 3, 1, eli joka neljäs lamelli oli 1-lamelli. Stabilointikenttä stabiloitiin tekojärjestyksen osoittamassa 9-lamellinjaksoissa edeten Turusta Helsingin suuntaan. Stabiloidun 9 lamellin jälkeen pidettiin viikonloppu väliä ennen kuin voitiin siirtyä seuraavaan 9-lamellinjaksoon. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Työkohtaisessa työselostuksessa annettiin seuraavat ohjeistetut pilariin kohdistuvat sallitut poikkeamat:

- kaltevuuden enimmäispoikkeama on 20 mm/m yhdessä pilarissa
- sallittu pilarien k/k-välin yksittäinen poikkeama on enintään + 0,15 m
- pilaripituuden ollessa enintään 10 metriä sideaineen syöttöpaine saa olla enintään 250 kPa
- sekoituskärjen nousunopeus on 20 mm/kierros (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014).

6 INKLINOMETRI- JA RADANSEURANTAMITTAUS

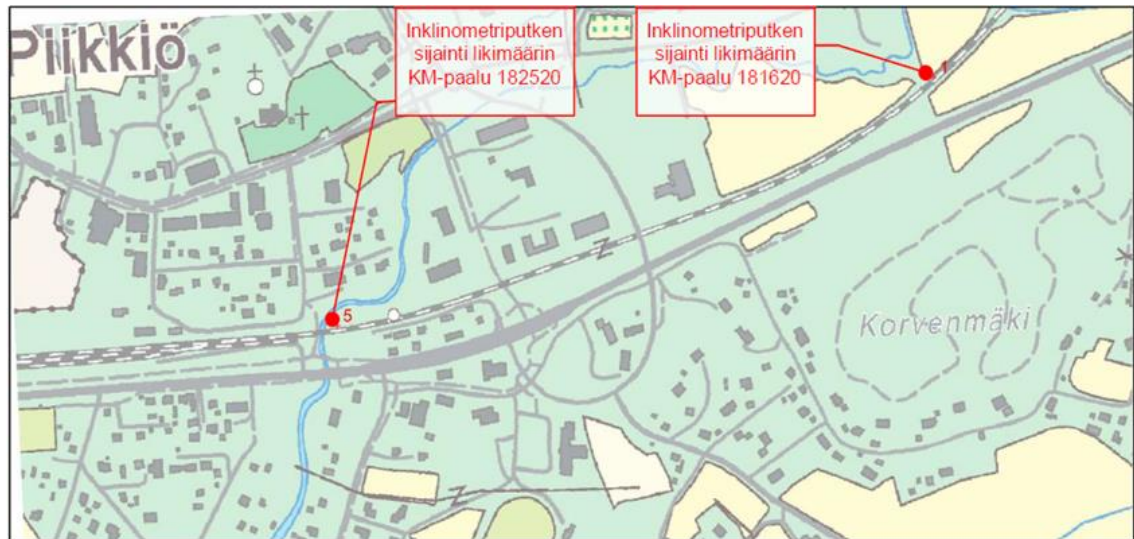
6.1 Inklinometrimittaus

Inklinometri on kulma-anturi, joka mittaa sondin anturien asennon suhteessa maan vetovoimaan. Inklinometrimittausta voidaan suorittaa kahdella eri menetelmällä; manuaalisesti tai automaattisesti. (Liikennevirasto, 2010, 18.)

Manuaalinen inklinometrimittaus suoritetaan käyttäen mittauksessa siirrettävää sondia. Manuaalisessa suoritettavassa mittauksessa anturi syötetään kaapelin avulla putken pohjalle. Anturin pidetään pohjalla hetken, jotta lämpötilaero tasoittuu ja anturi saavuttaa saman lämpötilan kuin putki. Putken matkalla mittaus suoritetaan 0,5–1 m:n välein anturia nostettaessa ylöspäin. Mittaus tehdään kahdesti asettamalla sondi sekä kohti että pituussuuntaan mittauskohteeseen nähden. Ensimmäisestä mittaussuorituksesta saadaan selville putken profiili. Mittaus tulee suorittaa mahdollisimman pian putken asennuksen jälkeen. Seuraavat mittaukset osoittavat mahdolliset muutokset, mikäli maaperässä on tapahtunut liikettä. Mittaustulokset siirretään mittaussondin ja digitaalisen lukulaitteen avulla tietokoneeseen käsittelyä varten. Tuloksena käytetään saatujen lukujen itseisarvojen keskiarvoja, joista piirretään kuvaajat molemmissa mittaussuunnissa. Eri mittauskertoja vertailemalla voidaan havaita putken ja maan eri syvyyksillä tapahtuneet siirtymät. (Liikennevirasto, 2010, 23–24.)

Automatisoidun anturia liikuttavan mekaniikan avulla on suoritettu automaattimittaus. Kuitenkin varmimmin ja helpoiten mittaukset toteutetaan käyttämällä inklinometriputkessa useita samassa paikassa pysyviä antureita. Anturit mittaavat ja lähettävät mittausdataa jatkuvasti. (Liikennevirasto, 2010, 24.)

Piikkiön urakkaan käytettiin automaattista inklinometrimittausjärjestelmää. Inklinometrimittauslaitteita asennettiin kaksi kappaletta ratakilometreille 181+ 620 ja 182+ 520 (kuva 6). Inklinometrimittauslaitteiden asennus suoritettiin ennen stabilointityön aloittamista, jotta pystyttiin suorittamaan nollamittaus ennen varsinaisen työn aloittamista. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014).



Kuva 6. Inklinometrien sijainnit (H. Onninen, henkilökohtainen tiedonanto 2014).

FinMeas Oy toimitti ja asensi automaattiset inklinometrimittausilaitteet. FinMeas Oy on ulkoistanut mittaputken porauksen.

Inklinometrimittalaitteiden asennus suoritettiin tela-alustaisella koneella, jolla kairattiin reikä kovaan moreeniin tai kallioon asti. Reikään upotettiin muoviputki, jonka jälkeen metalliset kairaputket poistettiin yksitellen. Maanpinnan yläpuolelle asennettiin metallinen suojaputki suojaamaan muoviputkea. Putken juurelle laitettiin bentoniittia tiivistämään mahdolliset aukot sekä estämään veden läpäisyn. Maan sisään jäi vain asennettu ontto muoviputki. Muoviputken sisään asennettiin automaattiset anturit, jotka ovat metrin välein sisäänrakennettuina asennettavassa muoviputkessa. Muoviputken ja anturimuoviputken väliin jäävä tyhjä tila täytettiin tiiviiksi hiekalla. Hiekan asennuksessa putkien välissä oli vettä, jolla varmistettiin hiekan tiivistyminen. Jos putkien välissä ei ole vettä, tulee se sinne lisätä ennen hiekan laittoa. Tällä varmistetaan hiekan asentaminen tasaisesti ja tiiviiksi. Maanpinnalla olevaan suojametalliputkeen kiinnitettiin sähköinen mittauslaitelaatikko, jossa oli akku, antureiden liikkeiden tallennusasema, antenni, hälytysjärjestelmä ja aurinkopaneeli kannessa laatikon etupuolella. Viimeiseksi putkenpää suljettiin metallisella kannella, ja putken asennus oli suoritettu. Putken asentamisen jälkeen mittauslaitteisto ohjelmoitiin ja laitettiin päälle. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014).

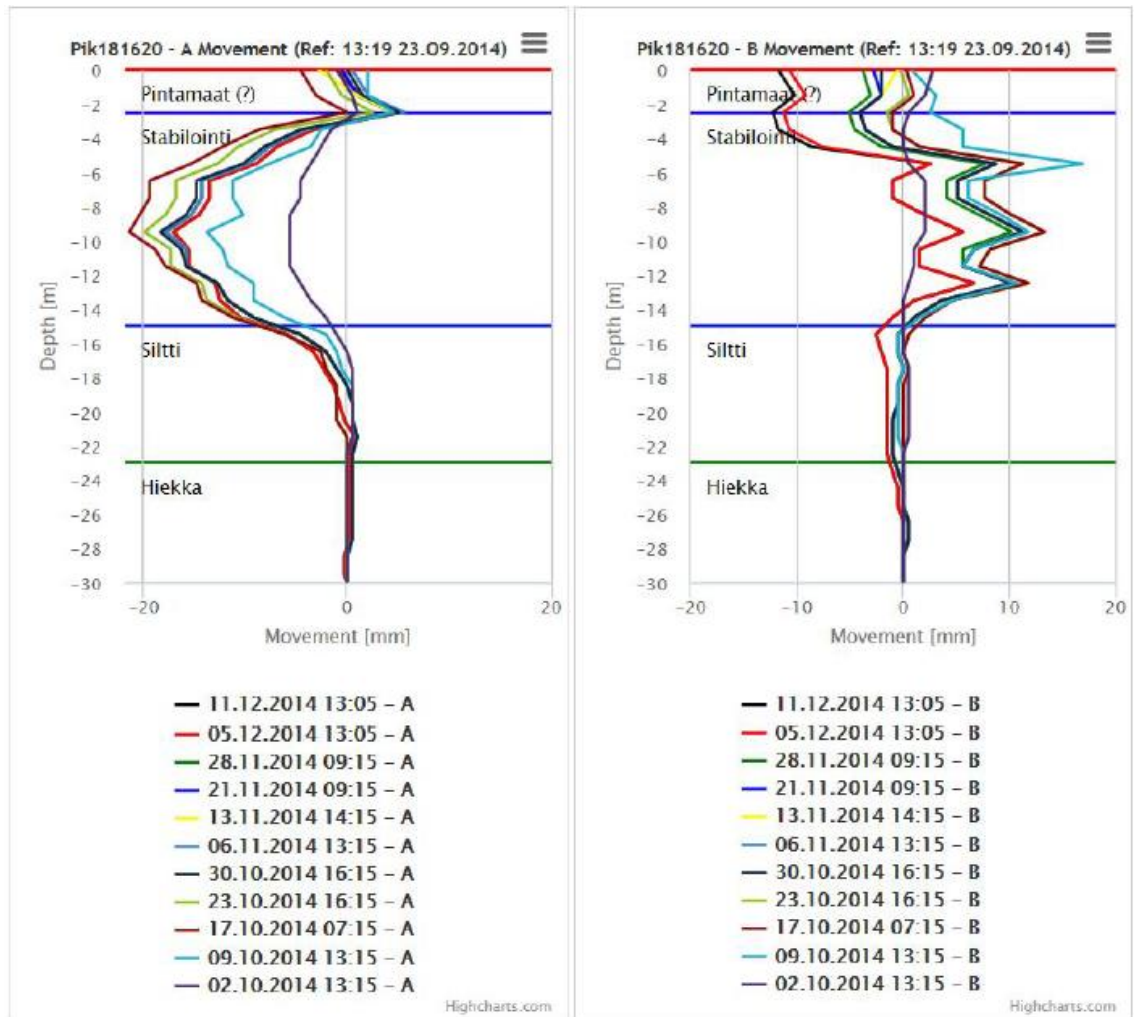
Automaattinen inklinometrilaite asennettiin mittaamaan maaperän muutoksia tunnin välein. Tulokset tallentuivat nettiportaaliin, josta niitä pystyttiin seuraamaan reaaliajassa. Inklinometrilaitteen hälytysjärjestelmään laitettiin seuraavia hälytysrajoja; yli 20 mm:n siirtymä 0-mittaukseen verrattuna tai yli 5 mm:n siirtymä työvuoron aikana. Hälytysrajojen yli menevistä siirtymistä tuli hälytys puhelimeen tekstiviestillä. Hälytysrajoja muutettiin stabilointityön edetessä. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014).

6.2 Inklinometrimittausten tulokset

FinMeas Oy toimitti viikoittaisen viikkoraportin automaattisista inklinometrilaitteiden tuloksista, jotka jaettiin työmaaorganisaatiolle, tilaajalle ja suunnittelijakonsulteille. Raportin tekijänä toimi geotekninen asiantuntija Ramboll Oy:ltä. (S. Ylönen, henkilökohtainen tiedonanto 23.9.2014.)

Inklinometrilaitteet asennettiin 23.9.2014, ja ne ovat keränneet tuloksia tunnin välein asentamisen jälkeen. Inklinometrit ovat edelleen toiminnassa, vaikka työmaalla ei toistaiseksi tapahdu mitään. Inklinometrien havaitsemista siirtymistä koottiin yhteenveto, jossa on kerrottu merkittävimmät siirtymähavainnot kohteissa 1 ja 2.

Inklinometri km-paalulla 181+620 huomattavimmat siirtymät havaittiin syvyyksillä -5.5 m...-13.5 m eli stabiloitavan maakerroksien keskivaiheilla. Suurin arvo mittasuunnassa A oli (21...22 mm rataa päin) mitattiin syvyydessä 9,5 m. Suurimpien siirtymähavaintojen tapahtuessa on stabiloitu noin 1 m:n etäisyydellä inklinometrilaitteesta. Kuvioon 2 on piirretty tapahtuneet siirtymät mittasuunnassa A ja B. (H. Onninen, henkilökohtainen tiedonanto 11.12.2014.)

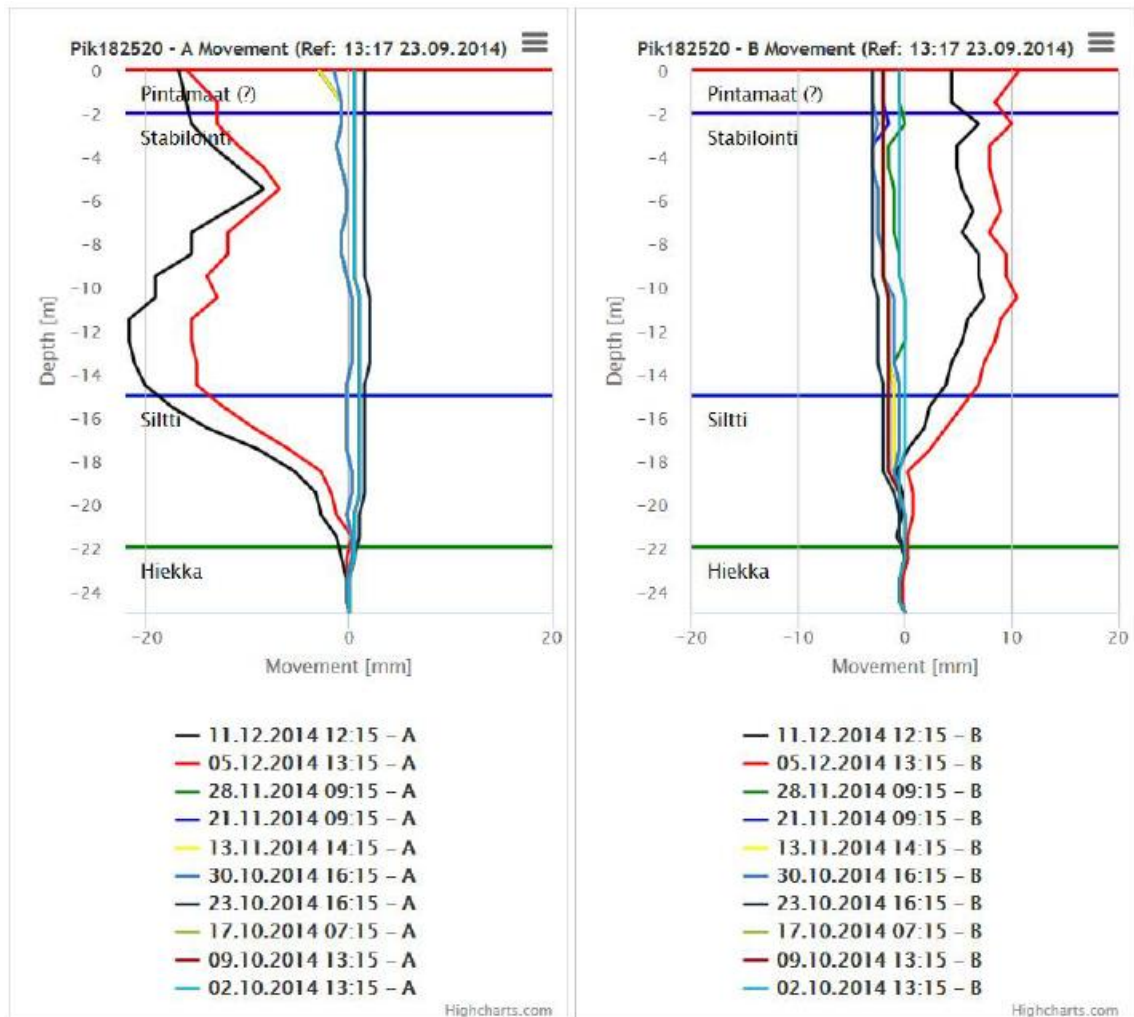


Kuvio 1. Inklinometri km-paalu 181+620 siirtymäkuvaajat mittasuunnissa A ja B.

Kohteessa 1 stabiloimisen päättymisen (20.10.2014) jälkeen on havaittu palautumista mittasuunnassa A (alle 4,5 mm:n siirtymät radasta poispäin). Palautumisen mahdollisia syitä on mahdollisesti ollut stabilointialueella tehty työalustan purku ja vastapenkereen rakentaminen. (H. Onninen, henkilökohtainen tiedonanto 11.12.2014.)

Inklinometri km-paalulla 182+520 merkittävimmät siirtymähavainnot mitattiin syvyyksillä -8,5...-15,5 m eli stabiloitavien maakerrosten alaosassa. Toteutuneen stabiloinnin alapinnan taso vaihteli -16...-18 m. Suurimmat siirtymähavainnot tehtiin mittasuunnassa A (21...22 mm rataa päin) mittasyvyydellä -11,5...12,5 m. Myös näiden suurimpien siirtymähavaintojen aikana oli stabiloitu noin 1 m:n

päässä inklinometrissä. Kuvioon 2 on piirretty tapahtuneet siirtymät mittasuunnissa A ja B. (H. Onninen, henkilökohtainen tiedonanto 11.12.2014.)



Kuvio 2. Inklinometri km-paalu 182+520 siirtymäkuvaajat mittasuunnissa A ja B.

Kohteen 2 stabiloinnin päättymisen (5.12.2014) jälkeen havaittiin siirtymissä palautumista (5..6 mm siirtymä radasta poispäin). Palautumiseen oli mahdollisesti vaikuttanut stabilointialueella tehdyt maanrakennustyöt, kuten jokitäytön purku. Kohteiden siirtymämittausten hälytysrajoista on tehty taulukko (taulukko 6), jossa on kerrottu milloin siirtymärajoja on muutettu ja minkä suuruisiksi.

Taulukko 6. Inklinomertimittauslaitteen hälytysrajat. (H. Onninen, henkilökohtainen tiedonanto 11.12.2014).

Asetuksen ajankohta	KM-paalu 181620				KM-paalu 182520			
	Suunta A		Suunta B		Suunta A		Suunta B	
	mm/vrk	mm	mm/vrk	mm	mm/vrk	mm	mm/vrk	mm
	Hälytyksen referenssi: 23.09.14 13:19				Hälytyksen referenssi: 23.09.14 13:19			
23.9.2014	5	20	5	20	5	20	5	20
1.10.2014 klo 20	5	20	10	20	5	20	5	20
8.10.2014	25	20	25	20	5	20	5	20
15.10.2014 klo 18	25	25	25	25	10	20	10	20
8.12.2014 klo 17:40	25	25	25	25	10	20 hälytysreferenssi on nollattu uusimman mittauksen mukaiseksi	10	20

Stabilointityön aikana havaittuja siirtymiä tapahtui vähän, ja ne olivat merkittävämmässä mittasuunnassa A 21... 22 mm.

6.3 Radanseurantamittaus

Piikkiön kohteessa radanseurantamittauksia suoritettiin molemmissa kohteissa. Radanseuranta suoritettiin ratapölkkyihin kiinnitetyillä mittanastoilla, jotka asennettiin 10 metrin välein stabiloitavalla alueella ja 20 metrin päähän stabiloitavan alueen ulkopuolelle. Mittanastoista mitattiin radan x-, y- ja z-koordinaatit, joista pystyttiin havaitsemaan radan ja ratapenkereen liikkeitä. Ensimmäinen 0-mittaus tehtiin koko alueelle, minkä jälkeen mittaus suoritettiin kohdassa, jossa stabilointityö oli käynnissä. Radanseurantamittaus suoritettiin kaksi kertaa työvuoron aikana. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

Radanseurantamittaukseen päätettiin seuraavia hälytysrajoituksia; jos havaitaan yli 20 mm:n vaaka tai pystysiirtymiä 0-tulokseen verrattuna tai yli 5 mm:n siirtymiä

työvuoron aikana. Mahdollisten ylitysten tapahtuessa tuli työt lopettaa välittömästi ja ylityksistä tiedotettiin tilaajalle.

Mikäli radassa ilmeni liikkeitä, tuli tilaajan kanssa neuvotella mahdollisista seurantavälien tihentämisestä tai muista toimenpiteistä.

Radanseurannasta tehtiin viikoittainen raportti, missä karttaan merkittiin mittapisteen sijainnit ja niissä kohdissa saadut tulokset. Mittapistetaulukossa ilmoitettiin päivämäärä, kellonaika, lämpötila, 0-mittaustulos ja x-, y- ja z-koordinaatit. Radanseurantamittausraportti toimitettiin työmaaorganisaatiolle, tilaajalle ja suunnittelijakonsulteille. (M. Suoranta, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2014.)

6.4 Radanseurantamittausten tulokset

Radanseurannan nolla-mittaus suoritettiin 23.9.2014 molemmissa kohteissa, ja viimeinen mittaus tehtiin 10.12.2014. Näin ollen radanseurantamittausta suoritettiin lähes 3 kuukauden ajan. Radanseurantamittausten suorittaminen aloitettiin 29.9.2014 kohteesta 1, jossa viimeinen radanseurantamittaus suoritettiin 20.10.2014. Ensimmäisen kohteen jälkeen siirryttiin kohteeseen 2 tekemään radanseurantamittauksia 23.10.2014. Toinen kohde saatiin valmiiksi 10.12.2014, jolloin viimeinen radanseurantamittaus on suoritettu.

Radanseurantamittausten avulla ei kummassakaan kohteessa radassa havaittu merkittävää liikettä. Molemmissa kohteissa mittatarkkuudeltaan suurimmat radassa havaitut muutokset olivat 0,01 mm:n suuruisia nollamittaukseen verrattuna, mitkä voidaan tulkita mittauksen suorittamisesta johtuviin heittoihin. Tuloksista voitiin päätellä seuraavaa, että stabilointi ei aiheuttanut rataa muutoksia.

7 LAADUNVARMISTUS

7.1 Laatu

Maanrakennus Ralf Ajalin Oy:n urakoissa laadunhallinnan toteutus järjestettiin yrityksen laatujärjestelmän kuvausten mukaisesti. Laadunhallinnassa perustavoitteet ovat seuraavanlaisia:

- tilaajan asettamaan laatutasoon päästään kaikissa hoidon ja ylläpidon työvaiheissa
- työmenetelmät valitaan niin, että asetettu laatutasotavoite saavutetaan ensimmäisellä kerralla
- tilaajan hyväksymät työvaiheet suoritetaan aikataulun mukaisesti ilman viivästyksiä
- työvaihesuunnittelu suoritetaan niin, että ympäristölle ja liikenteelle aiheutuvat haitat minimoidaan
- työturvallisuuskohdat ja eri työvaiheeseen sisältyvät riskit havaitaan ja hallitaan (Toiminta- ja laatusuunnitelma, Maanrakennus Ralf Ajalin Oy, 2–5).

Piikkiön urakassa tehtiin työkohtaiset toteuttamissuunnitelmat urakkaohjelman määritelmän mukaisesti seuraavista työvaiheista: stabilointi, raivaus, pengerrys ja putkitus. Näissä suunnitelmissa selostettiin tarkemmin kyseisen työsuorituksen suorittaminen ja kelpoisuuden osoittamiseen tarvittavat dokumentit.

7.2 Stabilointipöytäkirjat

Stabilointityön suorittanut Rakentaja Piippo & Pakarinen on toimittanut stabilointiin tarvittavat pöytäkirjat laadun osoittamiseksi.

Stabilointipöytäkirjoista ilmenevät seuraavat tiedot sideaineen kulutus pilaroitua metriä kohden ja pilarin pituus. Stabilointipöytäkirjat osoittavat, että pilarit ovat

stabiloitu käyttäen sideainemäärää 38,5 kg/pilari-m, jolloin täyttyy työkohtaisessa työselostuksessa määrätty sideainemäärä 38,5 kg/pilari-m ja 100 kg/m³. Urakan stabilointikirjoista löytyvät esimerkit liitteistä (liite 6).

7.3 Laadunvalvontakairaukset ja tulokset

Laadunvalvontakairaukset on suorittanut ja raportoinut Ramboll Finland Oy.

Taulukkoon 7 on kerätty olennaiset tiedot vaadituista leikkauslujuuksista, laadunvalvontakairauksen tutkimustavasta, tehdyt pilarikairaukset kummassakin kohteessa sekä muita perustietoja.

Taulukko 7. Stabiloinnin ja pilakairausten perustietoja.

KOHDE	PIIKKIÖ
TUTKIMUSTAPA	Pilarikaira, 100 cm ²
TUTKIMUSMÄÄRÄT	Kohde 1, 7 kpl Kohde 2, 11 kpl Yhteensä 18 kpl
HALKAISIJA	700 mm
SUUNNITELTU SIDEAINE JA MÄÄRÄ	Nordkalkin GTC 38,5 kg/m (n.100kg/m ³)
KOESTUSIKÄ	14...30 vrk
KOESTETTUJEN PILARIEN HYÖTYPITUUDET	15...18 m
TAVOITELEIKKAUSLUJ.	Kohde 1, 100 kPa Kohde 2 150 kPa
PINTAMAA	Kuivakuori 1-2 m

Laadunvalvontakairauksista saadut tulokset olivat pilareista tehdyt leikkauslujuusdiagrammit, joista löytyvät esimerkit liitteistä 7. Kaikki pilarikairauksista saadut pilarikohtaiset leikkauslujuuksien keskiarvot ovat kerätty taulukkoon 7. Näiden tietojen ja tulosten avulla arviotiin kohteiden 1 ja 2 stabiloinnin onnistuneisuus.

Taulukko 8. Pilarin leikkauslujuuden (kPa) keskiarvo 14 ja 30 vuorokauden iässä.

KOHDE: Piikkiö
 SIDEAINE: Nordkalk GTC
 TUTKIMUSTAPA: Pilarikaira

PILARI NRO.	PVM	PITUUS (m)	LEIKKAUSLUJUUS 14 VRK (kPa)	LEIKKAUSLUJUUS 30 VRK (kPa)
P495	2.12.2014	17,6		140
P133	3.12.2014	16,54		90
P577	4.12.2014	17,6		150
P683	3.12.2014	19		120
P254	5.12.2014	16,52		150
P255	3.12.2014	16,64		130
P221	3.12.2014	16,42		120
P131	5.12.2014	16,81		100
P220	5.12.2014	16,34		130
P209	2.12.2014	16,28		120
P135	3.12.2014	16,9		90
P314	21.10.2014	17,52	80	
P350	21.10.2014	16,8	70	
P315	21.10.2014	17,3	130	
P8	21.10.2014	14,48	100	
P28	22.10.2014	15,4	100	
P65	22.10.2014	15,5	90	
P100	22.10.2014	15,6	65	
Keskiarvo	21.10.- 22.10.2014		85	

Ensimmäisessä stabilointikohteessa 1 oli stabiloitavia pilareita yli 600 kpl, joista tehtiin seitsemän kappaletta laadunvarmistuskairauksia. Suunnitelma-asiakirjoissa määrättiin tehtäväksi pilarikairauksia vähintään 1 prosentti pilarien kokonaismäärästä.

Työkohtaisessa työselostuksessa määrättiin pilarin leikkauslujuudeksi 100 kPa, ja lujuus tulee saavuttaa 30 vuorokauden kuluessa. Seitsemästä pilarikairauksesta kolme täyttää vaaditun leikkauslujuuden 14 vuorokauden kuluessa. Kohteesta ei kuitenkaan tehty 30 vuorokauden pilarikairauksia, joten 14 vuorokauden ikäisten tulosten mukaan stabilointi on epäonnistunut.

Kuitenkin toisesta kohteesta otetut 30 vuorokauden ikäiset pilarikairausten tuloksista 9/11 täyttää tai ylittää 100 kPa:n leikkauslujuuden. Näiden 30 vuorokauden ikäisten koetulosten perusteella on mahdollista, että kohteen 1 pilareiden 100 kPa:n leikkauslujuudet täyttivät 30 vuorokauden ikäisinä ja stabilointia voidaan pitää onnistuneena.

14 vuorokauden ikäisten laadunvalvontakairauksen keskiarvokäyrässä käy ilmi, että pilarin leikkauslujuus on heikoimmillaan 60 kPa 0–5 m:n syvyydessä. Heikkoon leikkauslujuuteen saattaa vaikuttaa kyseisellä syvyydellä esiintyvä kuivakuori, joka on paksuudeltaan 1–2 m. Toinen heikko leikkauslujuuden esiintymä sijoittuu pilarien 0–5 m:n syvyyteen. Keskiarvokäyrässä parhaiten lujittuneiksi kohdaksi pilareissa osoittautuivat 5—10 m:n syvyydessä, missä leikkauslujuus on 90 kPa:n luokkaa.

Kuitenkin yksittäisissä pilarikairatuloksissa on poikkeuksia, missä kohdissa heikkoja leikkauslujuuksia esiintyy.

Toisessa stabilointikohteessa oli stabiloitavia pilareita yli 1 000 kpl, joista tehtiin yhteensä 11 laadunvalvontakairausta. Pilarikairatutkimuksia tehtiin määrällisesti tarpeeksi, eli 1 % kaikista pilareista.

Kohteeseen 2 oli työkohtaisessa työselostukseksi määrätty leikkauslujuudeksi 150 kPa ja lujuuden tulee täytyä 30 vuorokauden ikäisenä. 11:sta pilarikairauksesta vain 2 täyttää annetun 150 kPa:n leikkauslujuuden. Moni pilarikairaus epäonnistui ja uusia lisäkairauksia ei tehty. Näiden laadunvalvontakairausten perusteella yli 25 prosenttia yksittäisistä pilareista oli epäonnistuneita, ja näin ollen voidaan todeta, että stabilointikenttä on epäonnistunut alhaisten leikkauslujuusarvojen takia. Kuitenkin hitaasti lujittuvan GTC-sideaineen takia lujuuden kehitystä saattaa vielä tapahtua kolmen kuukauden ikään saakka.

Tehdyistä pilarikairauksista ilmenee heikkoja kohtia, joista yksi sijoittuu 0-5 metrin syvyyteen. Tällä syvyydellä leikkauslujuus on alle 100 kPa, mikä saattaa johtua maaperässä olevasta 1–2 metrin kuivakuorikerroksesta. Useimmissa pilareissa esiintyi heikko kohta 5–10 metrin syvyydessä, missä leikkauslujuus on noin 100 kPa. Tämä syvyys on erittäin kriittinen kohta, koska tässä kerroksessa on mahdollista syntyä liukupinta. Myös monissa pilareissa esiintyi heikkoja kohtia pilarin viimeisillä metreillä.

8 TUTKIMUSTULOKSET

8.1 Tutkimus

Lamellistabiloinnin työmenetelmän toimivuuden ja toteutettavuuden selvittämiseksi tutkittiin seuraavia asioita; stabilointi työsuoritteena, sideaine, pilarien lujuudenkehitys, inklinometri- ja radanseurantamittaukset, Emma-mittaukset sekä sää- ja pohjaolosuhteiden vaikutukset. Näitä edellä mainittuja asioita tutkimalla voitiin tehdä johtopäätöksiä siitä, onko Piikkiön stabilointi onnistunut ja onko lamellistabilointi toteuttamis- ja toimintakelpoinen työmenetelmä kohteessa.

8.2 Stabilointi työsuoritteena

Stabilointi työsuoritteena on rataa ja radan stabiliteettia vähän heikentävä työmenetelmä, sillä inklinometri- ja radanseurannanmittaustuloksissa havaittiin vain pieniä muutoksia työn aikana. Kuitenkin pitää ottaa huomioon se, että stabiloinnin tulee olla onnistunut ja lujuuden kehityksen riittävän nopeaa, sillä stabilointi häiriinnyttää maaperää ja näin heikentää hetkellisesti radan stabiliteettia. Parhaimmillaan inklinometrimittauslaite havaitsi 10–20 mm liikkeitä maaperässä, kun lamellistabilointia tehtiin noin metrin etäisyydellä inklinometriputkesta. Muutokset olivat suurimmaksi osaksi pysyviä eli maaperän liike pysähtyi. Kuitenkin muutamien millimetrin palautumista oli havaittavissa.

8.3 Sideaineen soveltuvuus

Sideaineen valinta tapahtuu ensisijaisesti laboratoriosta saatujen lujittuvuustulosten perusteella (J. Heikkilä, henkilökohtainen tiedonanto 26.3.2015). Lamellistabilointiin valittu sideaine ei välttämättä ollut oikea valinta kohteeseen, sillä GTC-sideaineen lujuuden kehittyminen tapahtuu hitaammin kuin esimerkiksi kalkkisementtiseoksen. Myös lujuudet eivät täytyneet kohteen 2 vaadittua 150 kPa:n lujuutta 30 vuorokauden iässä. Lujuuden alitukset olisi mahdollisesti voitu välttää

lisäämällä sideaineen määrää kg/pilari-m tai kg/m³ kohden. Näin ollen vaaditut lujuudet olisi todennäköisesti voitu saavuttaa 30 vrk kuluessa. Myös sideaineen määrän lisäyksellä olisi todennäköisesti saatu pilareiden laatua parannettua, mikä olisi voinut vähentänyt pilarien laadunvaihtelueroja. Pilarikairauksien tuloksista esitetään tarkemmin kohdasta 7.4.

8.4 Sää- ja pohjaolosuhteet vaikutus

Stabiloitavuuteen ja lujuuden kehitykseen vaikuttavat savikerroksien koostumus sekä sideaine että sekoittaminen. Yleiseksi ongelmaksi on havaittu saven kuiva-kuorikerrosten huono stabiloitavuus, josta johtui sen alhaisempi leikkauslujuus. Tämä ongelma ei ole kuitenkaan niin kriittinen, sillä liukupinnat muodostuvat yleisesti syvemmällä oleviin savikerroksiin. Saven kemiallista koostumusta ei myöskään tutkita maaperästä, koska sideaineen lujittuvuus varmistetaan laboratoriossa tehtävillä kokeilla. Riittävä tieto on se, onnistuuko lujittuminen sideaineen ja saven yhdistelmällä vai ei. (J. Heikkilä, henkilökohtainen tiedonanto 26.3.2015.)

Lamellistabilointi toteutettiin syys- ja talviolosuhteissa. Syksy oli sateinen ja vedenpinnantasot vaihtelivat stabilointityön aikana. Vedenpinnan vaihteluilla ei oli merkitystä stabiloitavuuteen, koska saven vesipitoisuus pysyy lähes samana ja savessa vesipartikkelit liikkuvat vuodessa 0–2 cm. Näin ollen lujuudenkehitys ei häiriinny sateista ja vedenpinnan muutoksista. Talven mukana tulevat pakkaset voivat vaikuttaa lujuudenkehitykseen hidastavasti, mutta vain 0–2 m:n syvyyteen asti. (J. Heikkilä, henkilökohtainen tiedonanto 26.3.2015.)

8.5 Emma-mittaustulokset

Radan stabiliteetin parannuskohteeseen valitun lamellistabilointityömenetelmän toteuttamiskelpoisuutta selvitettiin vertailemalla Emma-mittauksesta saatuja tuloksia ja haastatteleamalla rantaradan kunnossapidossa työskentelevää henkilöä. Emma-mittaustulokset on tehty seuraavina ajankohtina ennen urakkaa 3.6.2014 ja urakan ollessa jo valmiina 3.2.2015.

Emma-mittauskone tarkastaa raiteiden välistä etäisyyttä, korkeuspoikkeamaa, raiteen kallistusta, kiertymää ja geometriaa.

Emma-mittaustulosten perusteella voidaan tehdä seuraavia havaintoja kohteesta 1 kmv 181+600-181+700:

- vasempaan raiteeseen on muodostunut heittoa leveyssuunnassa helmikuussa tehdyn mittauksen mukaan
- raiteen kallistuksen poikkeama on parempi urakan jälkeen
- oikean raiteen korkeuspoikkeama on parantunut urakan jälkeisen mittauksen mukaan.

Emma-mittaustulosten perusteella voidaan tehdä seuraavia havaintoja muutoksia kohteessa 2 kmv 182+410-182+540:

- vasemman ja oikean raiteen heitto on lisääntynyt helmikuun mittauksen mukaan
- raiteen kierous on parempi urakan jälkeen tehdyssä mittauksessa.

Muita suurempia havaintoja Emma-mittauksesta ei pysty havaitsemaan. Yllä olevat virheet ovat kaikki D-luokan virheitä, jotka tulee korjata pikaisesti. Emma-mittauksessa olevan TQI-luvun mukaan voidaan määrittellä, mihin suuntaa raiteen kunto kehittyy. Tätä käytetään kunnossapidon mittarina. Kilometriviälillä 181 - 182 TQI-luku on 13,47, kun maksimiarvo on 12. TQI-luvun mukaan radan kunto on menossa heikompaan suuntaan. (A. Kemi, henkilökohtainen tiedonanto 12.3.2015.)

Kyseinen kilometriviäli on geometrialtaankin erittäin haastava alue, ja radassa esiintyviä ongelmia havaitaan usein (A. Kemi, henkilökohtainen tiedonanto 12.3.2015).

Radan kunnossapidon edustajan mukaan radan parannusurakoissa on mahdollista, että radan kunto on luovutuksen aikana kunnossa, mutta pitemmällä aika-

välillä selviää, onko tehty parannusmenetelmä onnistunut vai ei. Usein radan parannuskohteiden toimintakelpoisuus selviää noin 1–3 vuoden jälkeen urakan valmistumisesta. Yleensä radan stabiliteetin parantamismenetelmän toimintakelpoisuus voidaan todeta, kun työsuoritteesta on kulunut riittävän pitkä aika. (A. Kemi, henkilökohtainen tiedonanto 12.3.2015.)

8.6 Piikkiön kohteen johtopäätökset

Näin lyhyen ajan jälkeen Piikkiön kohteen toteutuksesta voidaan sanoa se, että stabilointi on toteuttamiskelpoinen ratkaisu olemassa olevan radan stabiliteetin parantamiseen, vaikka oikean sideaineen valinta tai määrä ei onnistunutkaan optimaalisesti. Menetelmän toimintakelpoisuus voidaan kuitenkin todeta paremmin vasta, kun lamellistabiloinnista on kulunut muutamia vuosia. Parin vuoden kuluessa nähdään stabiliteetin parantamismenetelmän vaikutukset rakennettuun raataan ja maaperään. Lamellistabilointia voidaan pitää turvallisena vaihtoehtona siksi, että se aiheuttaa vain vähäistä maaperän liikettä eikä huomattavasti heikennä rataa saati sen liikennöitävyyttä.

9 SOVELTUVUUS OLEMASSA OLEVAN RADAN STABILITEETIN PARANTAMISEKSI

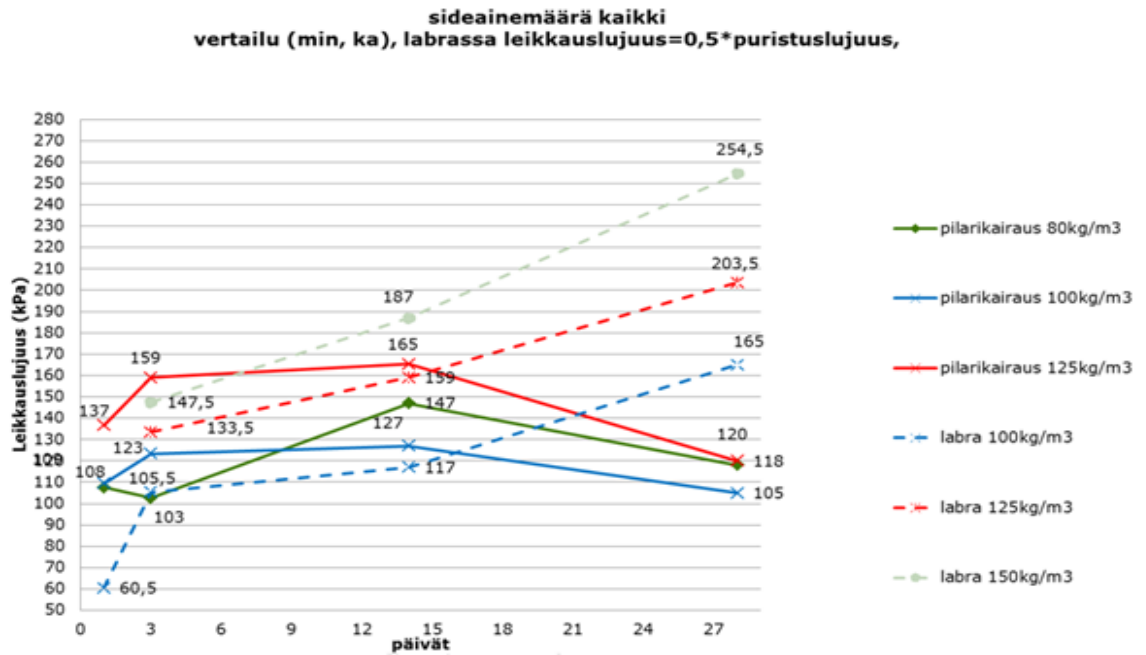
9.1 Kohteiden esittely

Lamellistabiloinnin soveltuvuutta olemassa olevan radan stabiliteetin parantamiseksi tutkittiin neljässä eri kohteessa Piikkiössä, Paimiossa, Littoisissa ja Turussa. Piikkiön kohteessa käytettiin lamellistabiloinnissa GTC:tä sideaineena ja loppuissa kohteissa käytettiin sideaineena CaO+Rapidia (kalkkisementtiseos 3:7). Lamellistabiloinnin työsuorittajina toimi kaksi eri toimijaa, Lemminkäinen Infra Oy ja Rakentajat Piippo & Pakarinen Oy.

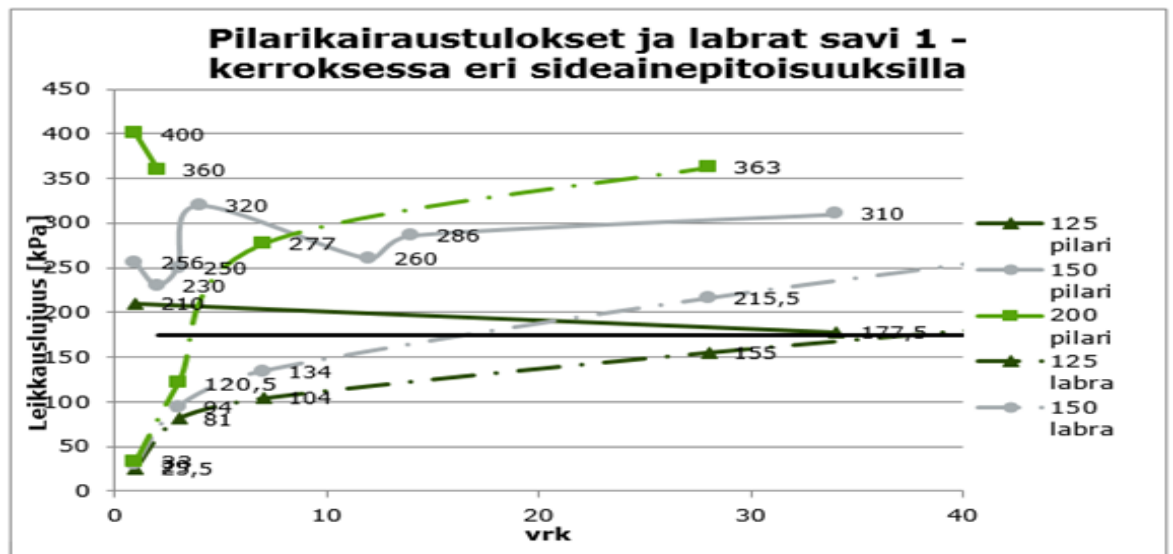
Lamellistabiloinnin soveltuvuutta tutkittiin vertailemalla sideaineita, lujuudenkehitystä, radanseurantamittauksia, stabilointikoneen merkitystä, pilarikairaustuloksia ja sää- ja pohjaolosuhteita. Pääpaino vertailussa oli sideaineiden ja lujuudenkehitysten tuloksissa ja pilarikairaustuloksissa (liite 7).

9.2 Pilarikairaustulosten vertailu

Sideaineen leikkauslujuudenarvoissa on huomattu suuria eroja laboratoriossa ja luonnossa tehtyjen leikkauslujuustutkimustulosten perusteella. Kuvioissa 4–6 havainnollistetaan laboratoriossa ja luonnossa saatuja leikkauslujuuksista.



Kuvio 3. Pilarikairausten ja laboratorioissa saadut leikkauslujuuskokeiden tulokset (S. Hakala, henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2015).



Kuvio 4. Pilarikairausten ja laboratorioissa saadut leikkaustulokset (S. Hakala, henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2015).

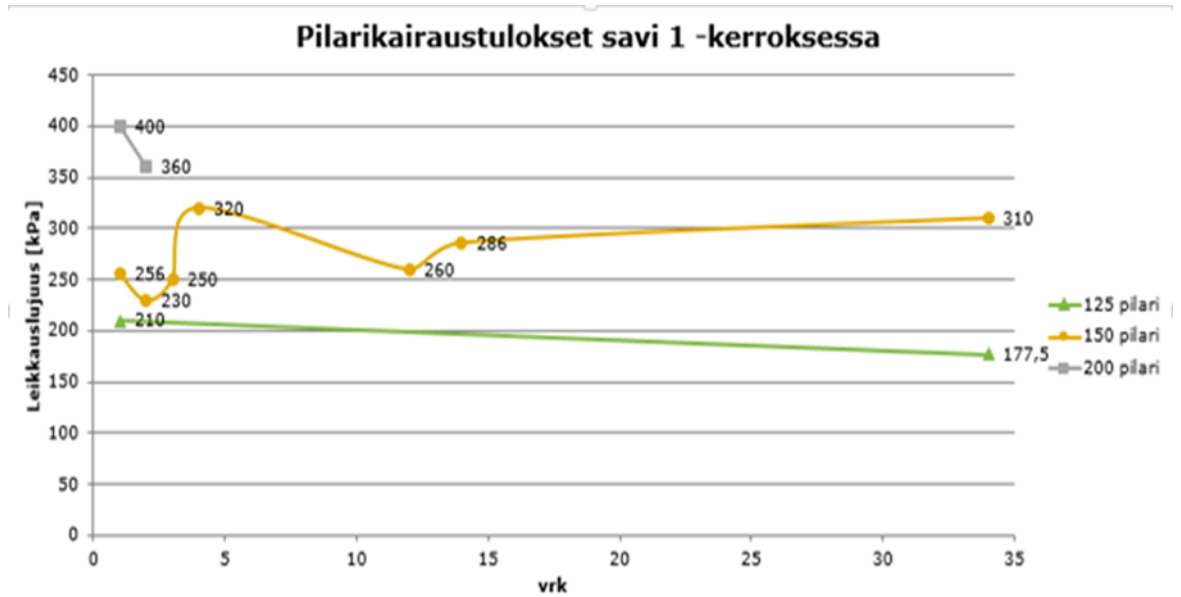
Suuret erot laboratorio- ja pilarikairaustulosten välillä johtuvat todennäköisesti siitä, että laboratorioissa tehty sekoitustyö on lähes homogeenista ja sideaineen

tarkasta kulutuksesta sekä erilaisesta lämpötilaolosuhteesta. Luonnossa tapahtuva sekoitustyö ei onnistu yhtä tasaisesti, sillä sideaineen syöttö on epätasaisempaa ja lämpötilaolosuhteiden erot ovat erilaiset.

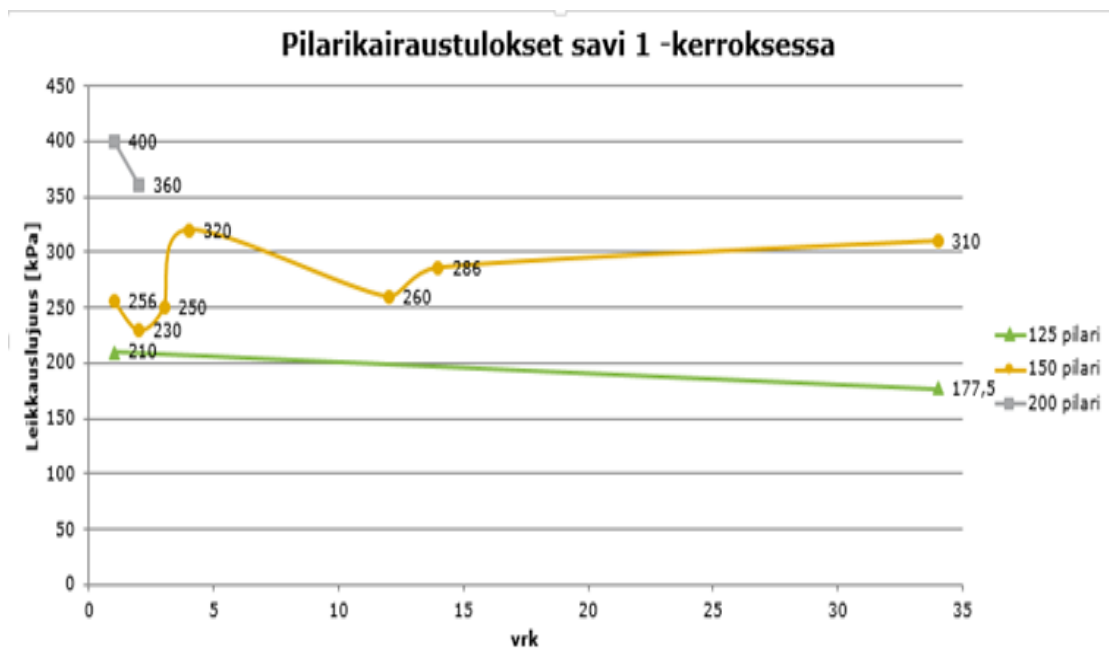
Yleisin pilarin leikkauslujuuden selvittämäksi käytetty menetelmä on pilarikairaus. Sitä pidetään menetelmänä melko luotettavana. Pilarikairaus on helpoin ja edullisin tutkimusmenetelmä tutkia pilarin leikkauslujuutta. Kaikissa kohteissa pilarikairauksen tekijä oli sama, joten pilarikairausten laadunvaihtelut eivät todennäköisestikään johdu tekijästä. Kuviossa 3 on myös esitetty puristuskokeen leikkauslujuustuloksia. Se on harvemmin käytetty menetelmä leikkauslujuuden selvittämiseen. Puristuskoetta pidetään luotettavana tapana selvittää leikkauslujuus, mutta se on kalliimpi ja työläämpi menetelmä.

9.3 Sideaineiden vertailu

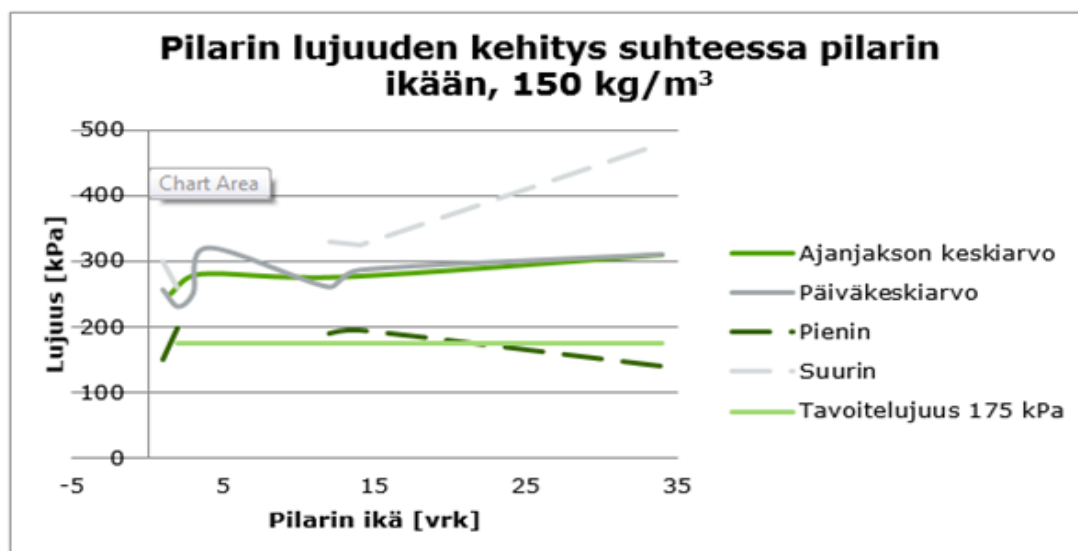
Piikkiössä käytettävän GTC-sideaineen määrä oli 100 kg/m^3 , kun muissa kohteissa sideaineiden määrät vaihtelivat $125\text{--}200 \text{ kg/m}^3$. Turun kohteessa tehtiin selvitystä mahdollisesta optimaalisesta sideainemäärästä, jolloin muutamia pilareita tehtiin $80\text{--}100 \text{ kg/m}^3$ suuruisella sideainemäärällä. Kuvioissa 6–8 on eri sideaineella ja määrillä saatuja pilarikairatuloksia.



Kuvio 5. Eri sideainemäärien leikkauslujuuksia (S.Hakala, henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2015).



Kuvio 6. Eri sideainemäärien leikkauslujuus arvoja (S. Hakala, henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2015).



Kuvio 7. Pilareiden lujuudenkehitys (S. Hakala, henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2015).

Sideainevertailujen perusteella voitiin päätellä se, että kalkkisementin (CaO+rapid) lujuuden kehitys on nopeampaa ja leikkauslujuuden arvot ovat parempia myös pienemmällä sideainemäärällä. Pilarikairaustulosten perustella huomattiin myös se, että kalkkisementin lujuus lähti laskemaan vanhetessaan.

Paimion, Littoisten ja Turun pilarit olivat hyvin tasalaatuisia leikkauslujuusdiagrammien mukaan joitakin heikkoja kohtia lukuun ottamatta.

Näiden tulosten perusteella kalkkisementti (CaO+rapid) olisi sopinut kaikkiin kohteisiin sideaineena paremmin, koska lujuudenkehitys on nopeampaa ja leikkauslujuuden arvot ovat parempia kuin GTC-sideaineella saadut.

Sideaineen valinta voitaisiin tehdä urakkaan kuuluvalla stabiloinnilla eikä laboratoriossa tehtyjen lujuuskokeiden tulosten perusteella. Ennen varsinaista stabilointia tehtäisiin koestabilointi, jossa stabiloitaisiin muutamia pilareita eri sideaineella ja sideainemäärillä. Stabiloidut pilarit tutkitaan pilarikairausten avulla. Pilarikairaustulosten perustella valitaan kohteeseen parhaiten sopiva sideaine ja määrä. Tällä varmistetaan sideaineen sopivuudesta ja optimoidaan työntulosta sekä vähennetään mahdollisia virhetekijöitä.

9.4 Sää- ja pohjaolosuhteiden vertailu

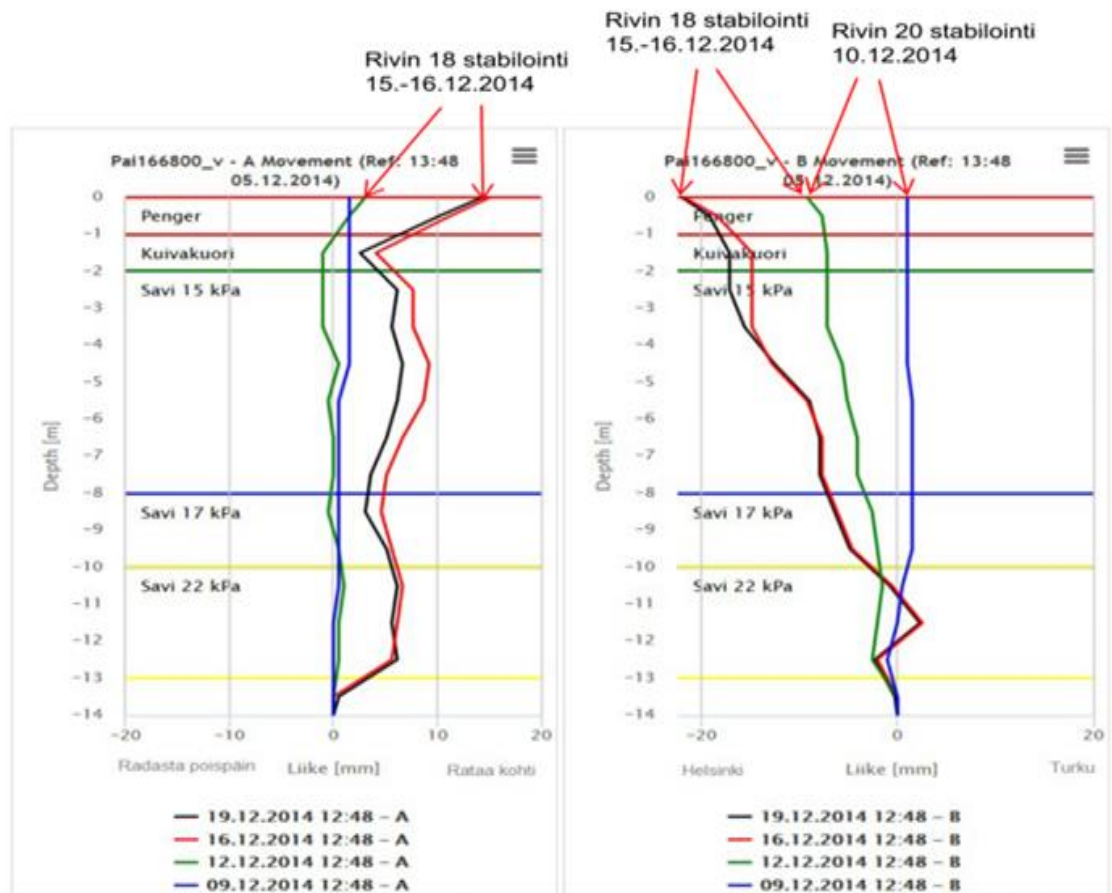
Pilarien laadunvaihteluihin on epätodennäköisesti vaikuttanut sääolosuhteet, sillä kaikki stabilointikohteet tehtiin samanlaisissa olosuhteissa. Tarkemmat perustellut sää- ja pohjaolosuhteisiin löytyvät luvusta 8.4.

9.5 Stabilointikaluston vaikutus

Stabilointikohteissa oli kaksi eri tekijää, jotka suorittivat stabiloinnin. Rakentajat Piippo & Pakarinen stabiloivat Piikkiön ja Littoisten kohteet. Lemminkäinen Infra Oy stabiloivat Paimion ja Turun kohteissa. Näissä kolmessa kohteessa käytettiin samaa sideainetta ja määriä (125–200 kg/m³). Stabilointikalustolla ei ollut heikentävää vaikutusta pilareihin, sillä Littoisten kohteen pilarit onnistuivat yhtä hyvin kuin Paimion ja Turun kohteet, vaikka kohteissa oli eri toimijat ja stabilointikoneet olivat teknisiltä ratkaisuiltaan hieman erilaiset. Kuitenkin stabilointikoneiden sideaineen syöttömekanismit toimivat ruuvisyöttimen avulla ja molemmat käyttivät stabiloinnissa käpy-terää.

9.6 Inklinometri- ja radanseurantamittaustulosten vertailu

Ainostaan Piikkiön kohteen lisäksi Paimiossa käytettiin inklinometrimitausta. Muuten kaikissa kohteissa käytettiin radanseurantamittausta. Inklinometrimitauslaitteessa havaittiin seuraavia maaperän liikkeitä, jotka on esitetty kuviossa 9.



Kuvio 8. Paimion kohteesta inklinometrimittauksia (H. Onninen, henkilökohtainen tiedonanto 11.12.2014).

Inklinometri- ja radanseurantamittauksissa oli havaittavissa samanlaisia tuloksia kuin Piikkiössä. Radanseurantamittauksissa muutokset olivat 0,1–0,01 mm välillä ja inklinometrimittalaitteen havaitsemat siirtymät olivat A- suunnassa suurimmillaan 15–17 mm ja B- suunnassa 20–25 mm suuruusluokkaa.

9.7 Tilaajan näkemys

Tilaajan edustajalta saatujen tietojen perusteella kaikkien neljän eri kohteen toteuttamisen jälkeen lopputulos on vastannut odotuksia. Missään kohteessa ei tapahtunut huomattavia virheitä, koska mahdolliset riskit oli tunnistettu etukäteen ja riskitekijöitä seurattiin koko toteutuksen ajan. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 25.3.2015.)

Hankkeissa haetaan optimitulosta. Näissä stabilointikohteissa optimituloksen hakeminen kohdistuu pilarien laskettuun suunnittelulujuuteen, sillä ylilujat pilarit eivät ole enää kustannustehokkaita. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 25.3.2015.)

Ratapenkereen stabiliteetin tulee olla riittävän suuri, jotta lamellistabilointi voidaan suorittaa. Lamellistabilointi on silti kilpailukykyinen stabiliteetinparannusmenetelmä investointikustannusten ja rakenteen elinkaaren takia. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 25.3.2015.)

Littoinen, Paimio, Piikkiö ja Turku ovat tietävästi ensimmäisiä rantaradan paikkoja, joissa lamellistabilointia on käytetty radan stabiliteetin parantamiseksi. Stabilointi on tunnettu, mutta vähän käytetty menetelmä geotekniikkojen keskuudessa. Sitä on kuitenkin käytetty esimerkiksi Toijala - Turku radalla. (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 25.3.2015.)

Edellä mainittujen asioiden perusteella lamellistabiloinnin voidaan sanoa olevan toteuttamiskelpoinen menetelmä olemassa olevan radan stabiliteetin parantamiseen (E. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 25.3.2015).

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyöstä saatujen tutkimustulosten perusteella voidaan lamellistabilointia pitää turvallisena ja toteuttamiskelpoisena menetelmänä parantaa jo rakennetun radan stabiliteettia. Lamellistabilointi on kustannustehokas ratkaisu myös elinkaarensa takia. Näiden asioiden takia lamellistabilointia voidaan pitää yhtenä ratkaisuvaihtoehtona parantaa olemassa olevan radan stabiliteettia, vaikka vielä ei varmasti tiedetä parannusmenetelmän toimintakelpoisuutta. Se selviää muutamien vuosien kuluttua, kun voidaan nähdä miten rata ja maaperä rupeavat käyttäytymään parannuksen jälkeen.

LÄHTEET

Jääskeläinen, S. 2009. Geotekniikan perusteet. Jyväskylä: Tammertekniikka/Amk-Kustannus.

Nordkalk 2013. Käyttöturvallisuustiedote. Viitattu 4.5.2015. <http://www.nordkalk.fi/default.asp?viewID=853>

Nummelin, M. 2008. Rantarata. Kustantaja Laaksonen.

Liikennevirasto 2014. Ratatekniset ohjeet osa 3. Radan rakenne. Kuopio: Grano

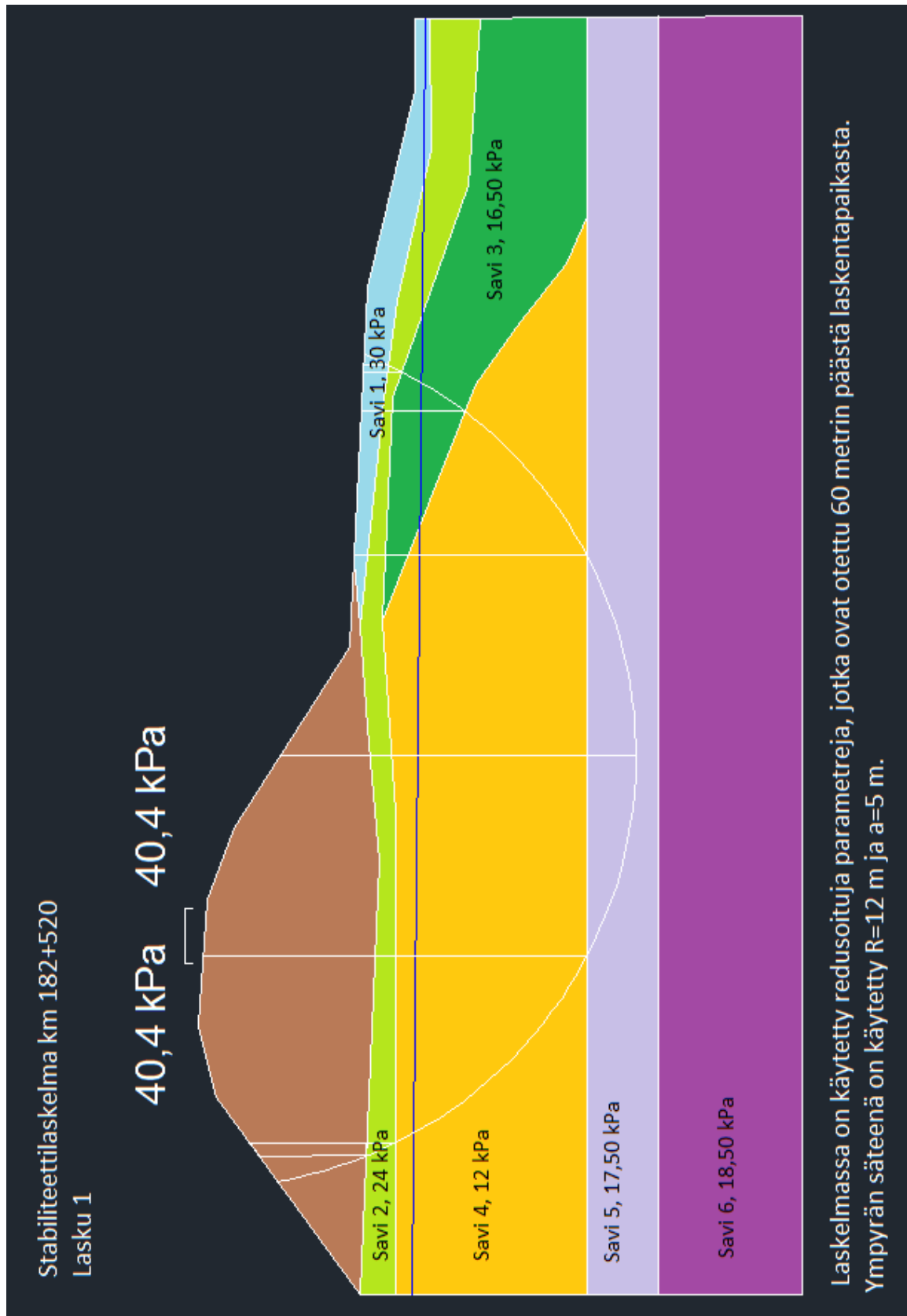
Liikennevirasto 2010. Rautatien stabilointi. Syvästabiloinnin suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohje. Tampere: Juvenesprint.

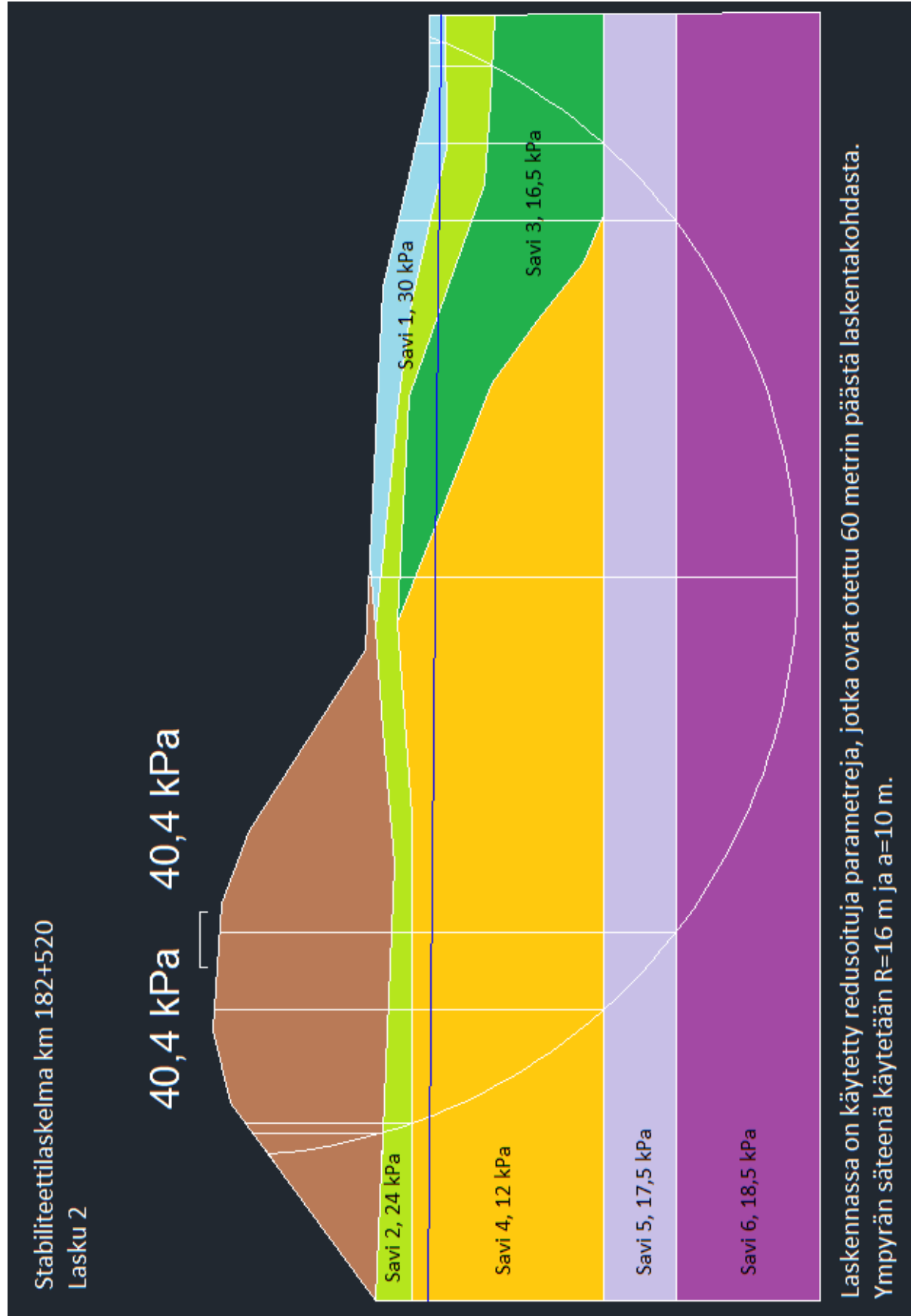
Liikennevirasto 2010. Ratapenkereen stabiliteettiin liittyvät seurantamittaukset ja niiden prosessointi. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2010. Viitattu 4.5.2015. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2010-40_ratapenkereen_stabiliteettiin_web.pdf

Rantamäki, M.; Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 2009. Geotekniikka. Helsinki: Hakapaino.

Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2009. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-7 suunnitteluohje. Hansaprint.

Stabiiliteettilaskema ja poikkileikkaus



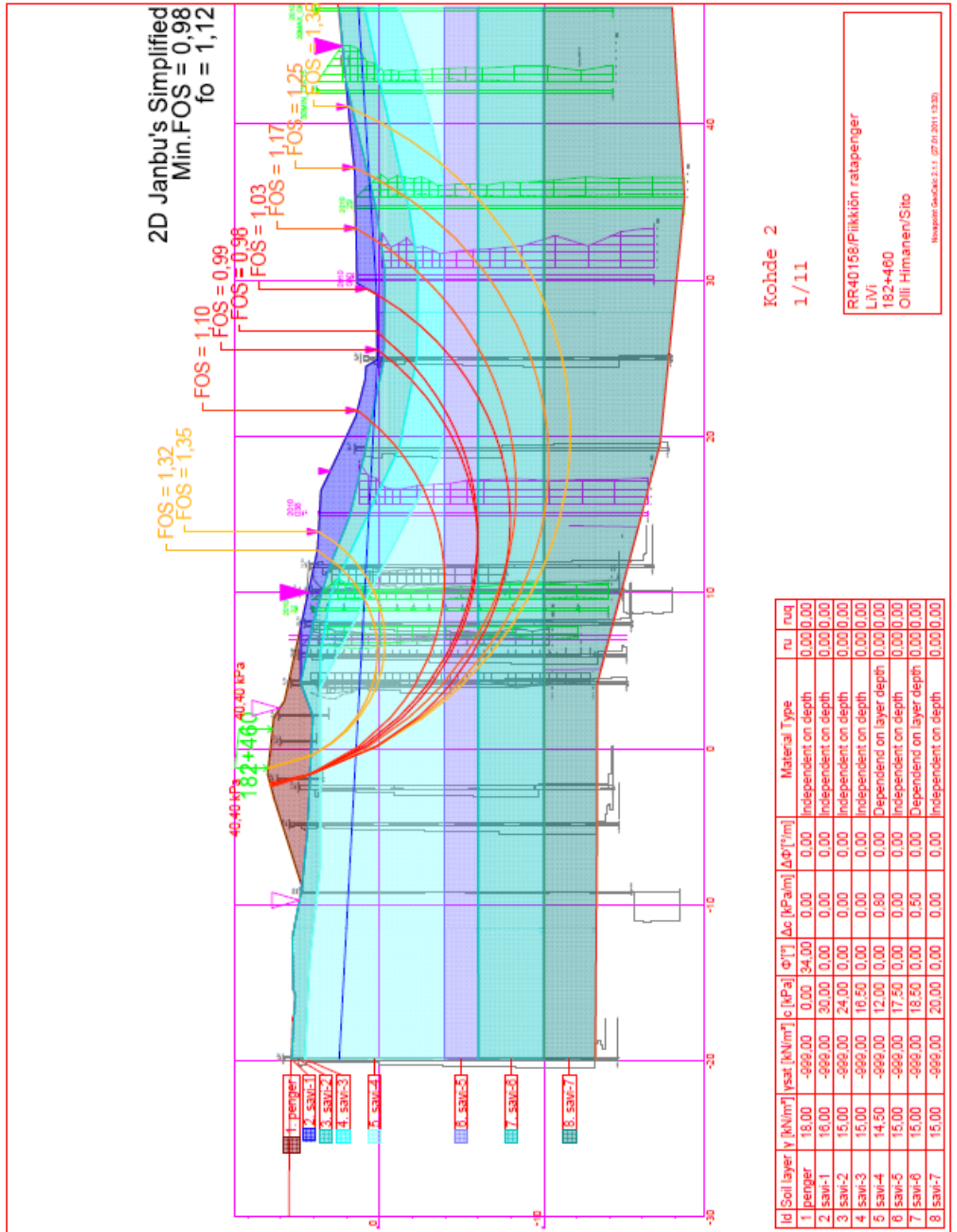


LÄHTÖARVOJA			
Junakuorma	q	40,4	kPa
Junakuorma	a	10	m
Lamellin etäisyys ymp.kaarien keskipisteestä	x		m
Ympyrän säde	R	16	m
Leikkauslujuus	s		kPa
Lamellin alapinnan pituus	Δl		m
Lamellin leveys	Δx		m
Saven tilavuuspaino	γ		kN/m ³
Savikerroksen paksuus	Δh		m
Lamellin massa	w		kN

LAMELLIT	s (kPa)	Δl (m)	s* Δl (kN)	x (m)	W (kN)	W*x (kNm)
1	58,7	3,4	199,58	15,6	18	280,8
2	24	0,8	19,2	15,1	16,2	244,720667
3	12	6,5	78	13,5	357,0	4818,825
4	17,5	3	52,5	10,9	266,4	2903,215
5	18,5	11	203,5	4,96	1023,1	5074,576
6	18,5	11	203,5	-4,9	656,2	-3215,135
7	17,5	2,9	50,75	-8,7	79,7	-693,129
8	16,5	3,7	61,05	-12,9	45,2	-583,08
9	24	1,4	33,6	-14,3	4,1	-59,202
10	30	0,47	14,1	-14,6	0,8	-11,388
		$\Sigma s * \Delta l$	396,98		$\Sigma W * x$	8760,20267

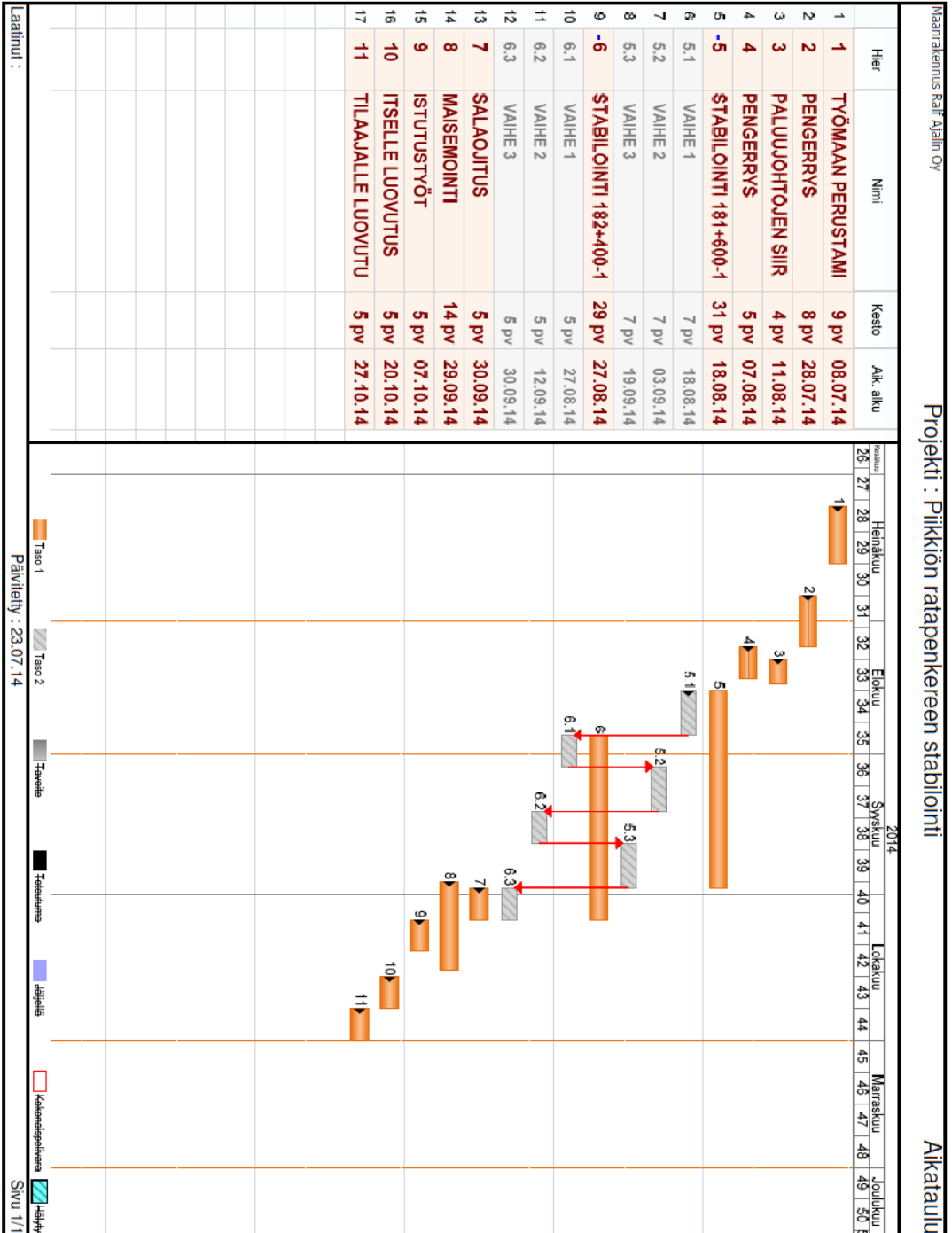
VAKAVUUSTARKASTELUN TULOKSET			
Aktiivinen momentti	M_a	9568,202667	kNm
Passiivinen momentti	M_p	6351,68	kNm
Kuorma	Q	808	kNm
Kokonaisvarmuusluku	F	0,66	

Suunnitelmiin lukeutuva poikkileikkaus

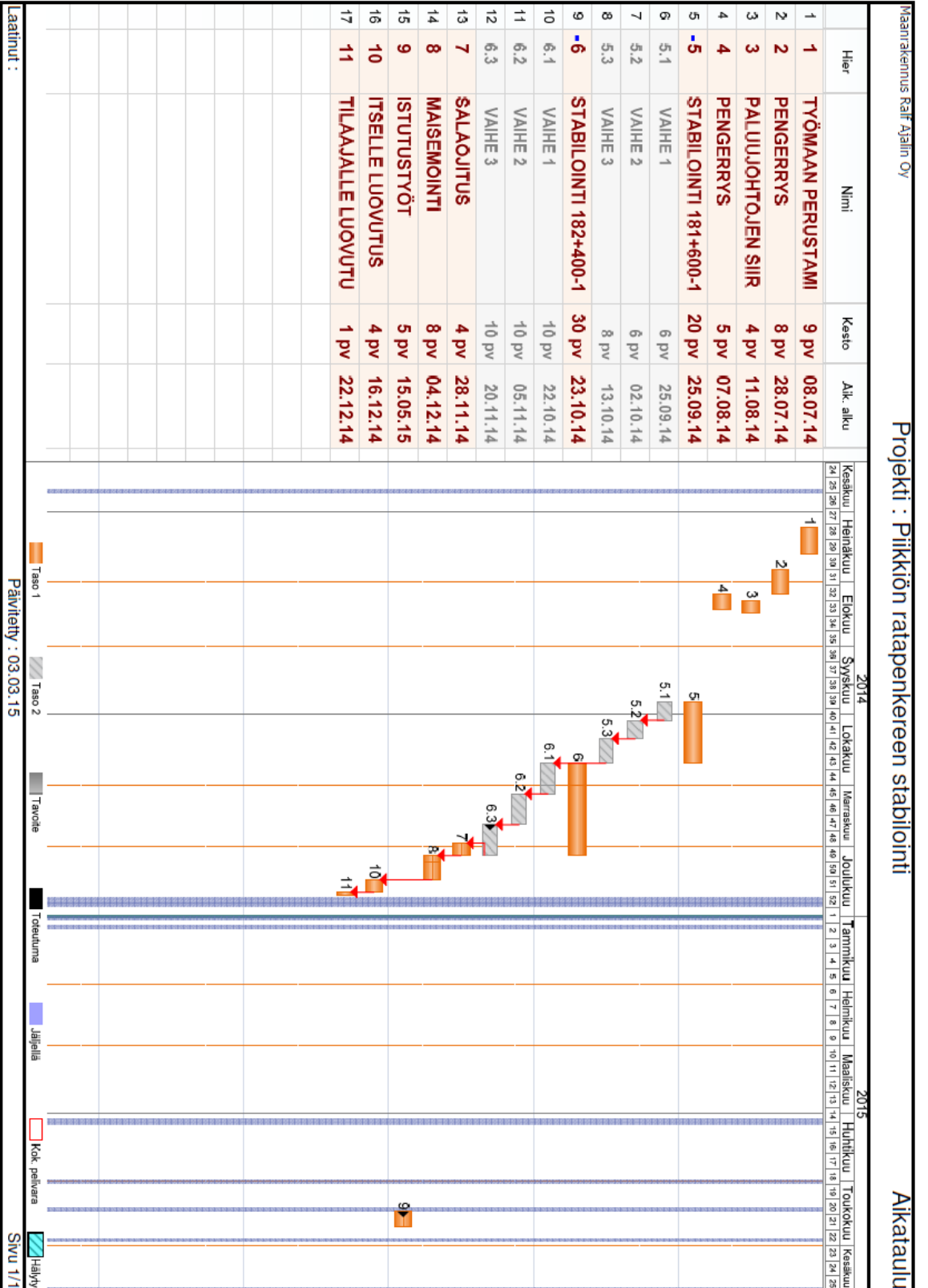


Aikataulut

Alkuperäinen aikataulu

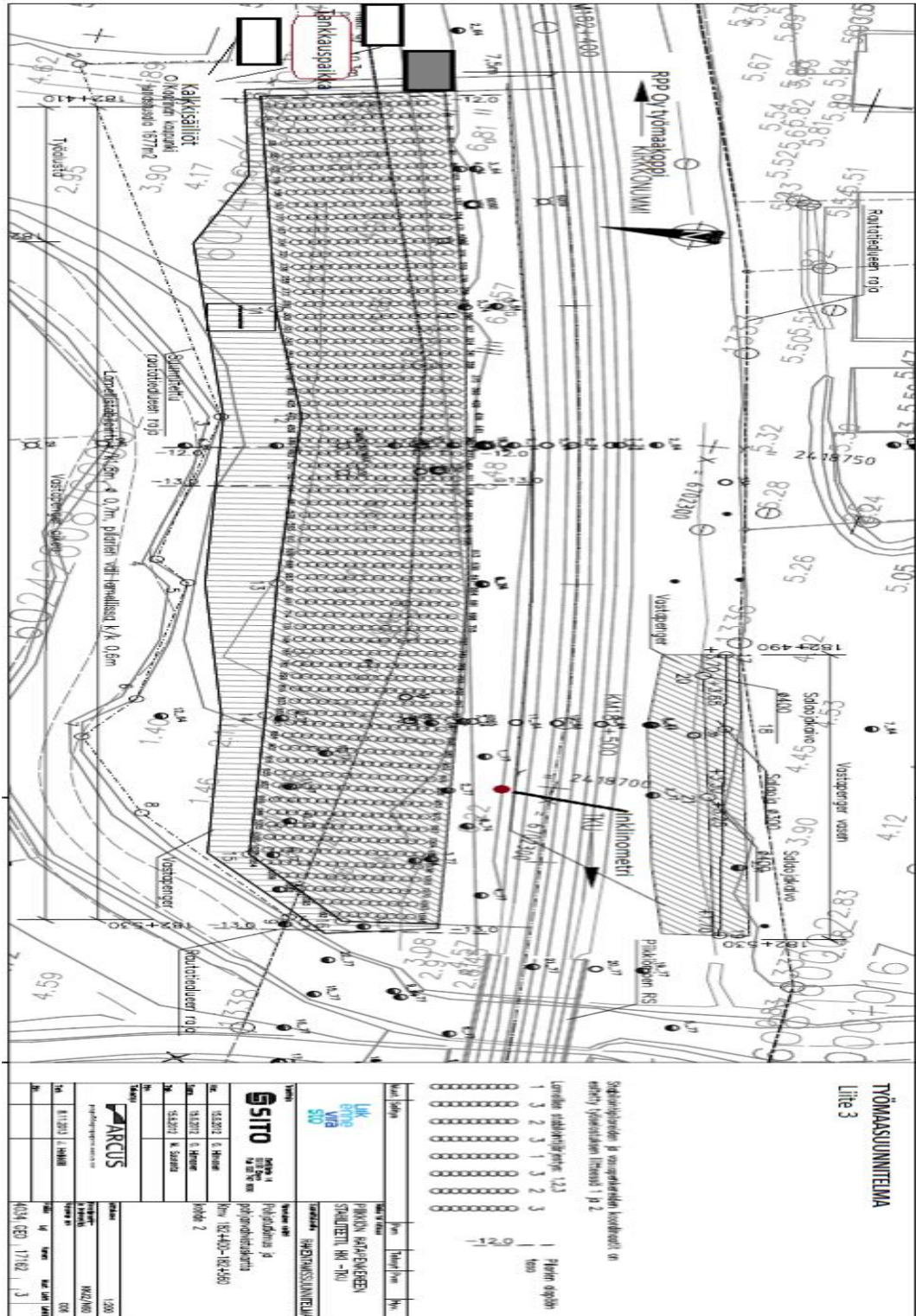


Toteutunut aikataulu

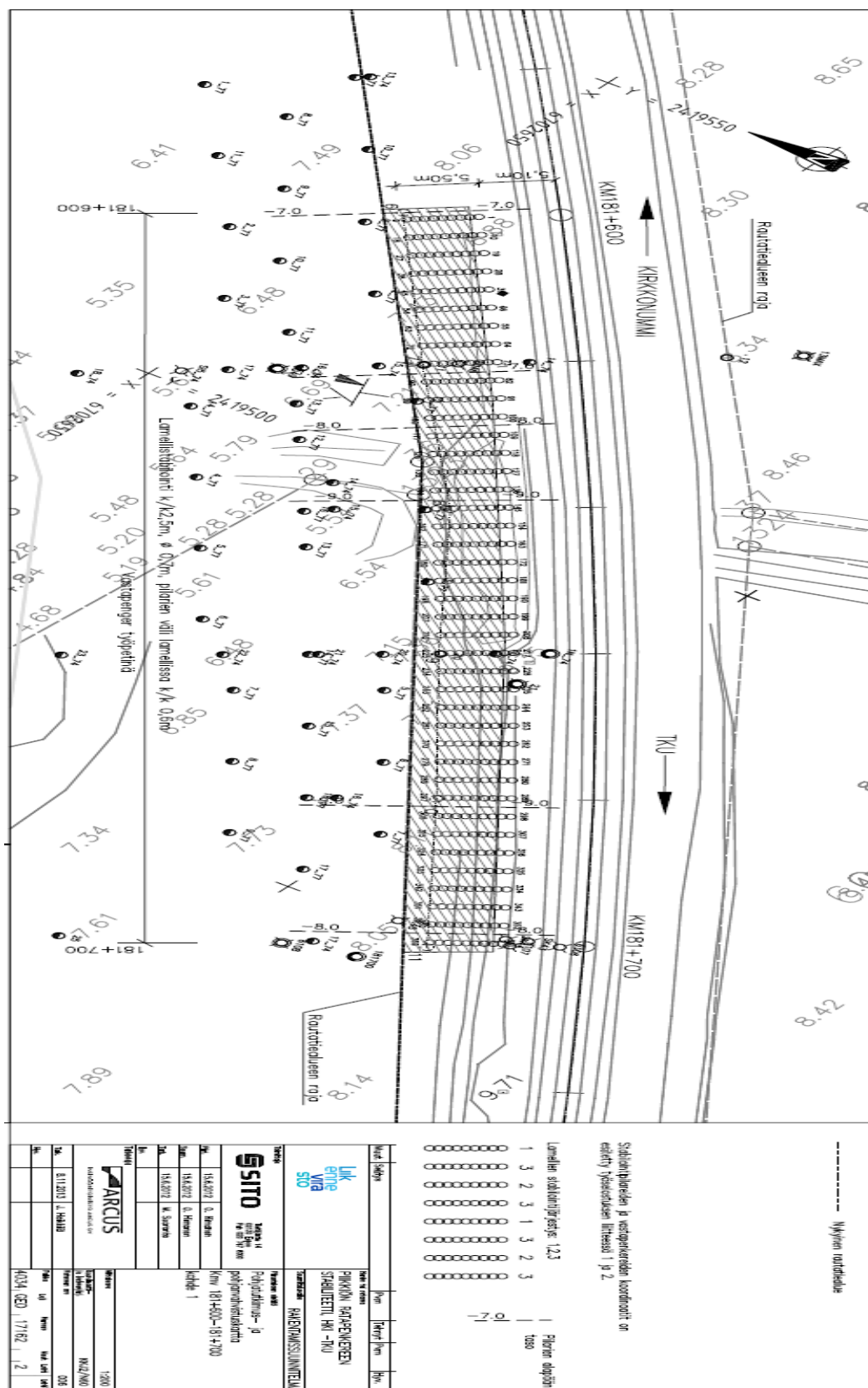


Työmaasuunnitelmat

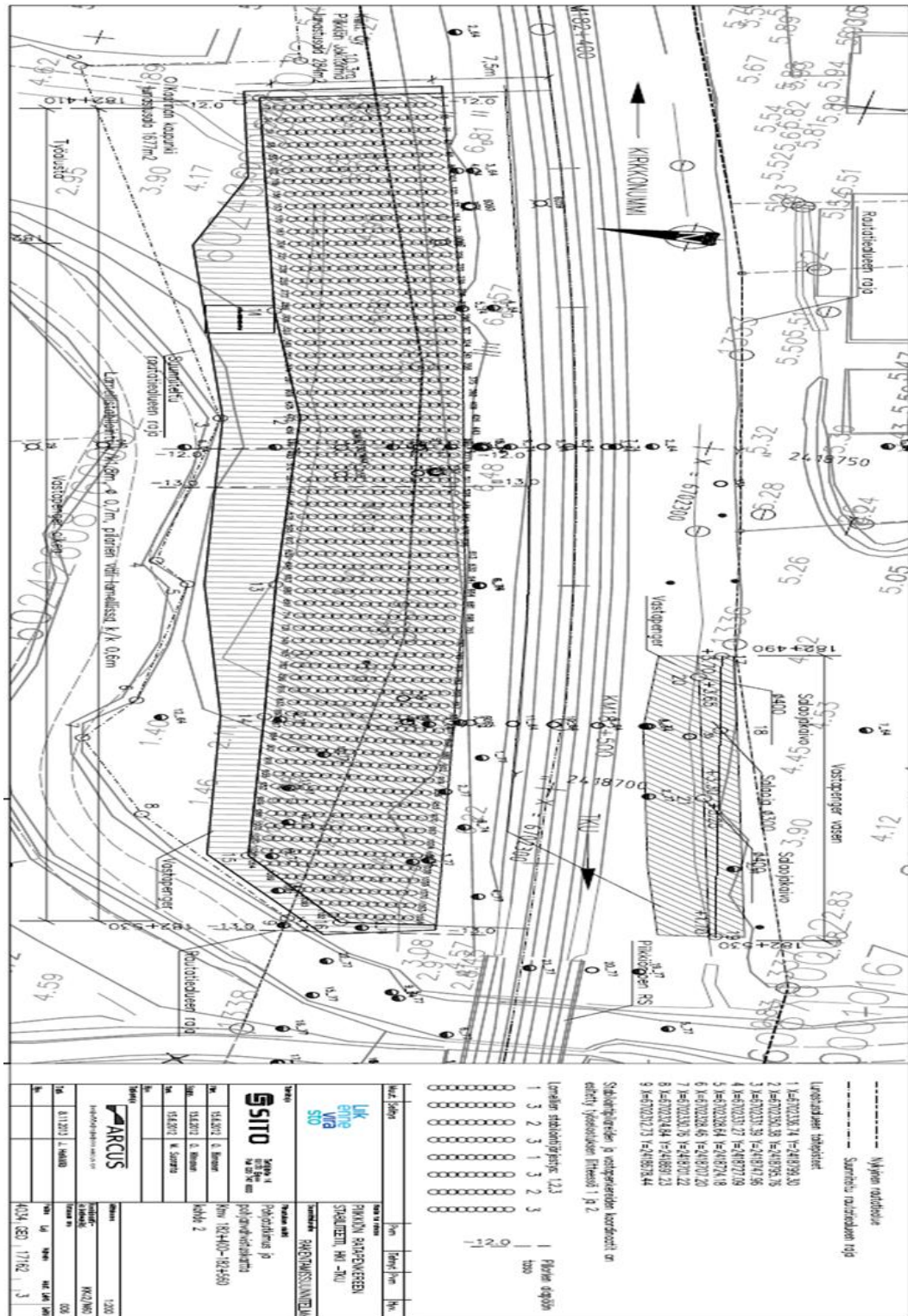
Työmaasuunnitelma 2



Piirustus 17161-2



Piirustus 17161-3



Stabilointipöytäkirjat

RAKENTAJAT PIIPPO & PAKARINEN OY

Tilaaaja: piikkiio ratatyomaa muutosla Työ nro: 3009 Kuljettaja: jj

Työpäivän aloitus 30.09.2014

Alkumassa 402 kg

Työpäivä: 30.09.2014 Kone: 3

1. Tankattu yhteensä 5009 kg

Alkumassa		5411 kg									
TUN	ALAPÄÄ	YLÄPÄÄ	PITUUS	MASSA	MASSA/PIT.	PIT/°	LEV/°	A-AIKA	MM	RPM	
364	-17.1 m	-0.3 m	16.8 m	649.0 kg	38.6 kg/m	+0.3	+0.2	08:47			
365	-17.1 m	-0.3 m	16.8 m	643.5 kg	38.3 kg/m	+0.3	+0.2	08:57			
366	-16.9 m	-0.3 m	16.6 m	637.5 kg	38.4 kg/m	+0.2	+0.1	09:11			
367	-16.8 m	-0.3 m	16.5 m	636.0 kg	38.5 kg/m	+0.5	+0.1	09:21			
368	-16.5 m	-0.3 m	16.2 m	621.5 kg	38.4 kg/m	-0.2	+0.3	09:52			
369	-16.8 m	-0.3 m	16.5 m	633.0 kg	38.4 kg/m	-0.3	+0.1	10:02			
325	-16.9 m	-0.3 m	16.6 m	638.0 kg	38.4 kg/m	+0.3	+0.8	10:09			
326	-16.7 m	-0.3 m	16.4 m	633.0 kg	38.6 kg/m	+0.9	+0.7	10:18			

8 kpl 132.4 m 5091.5 kg 38.5 kg/m

Loppumassa 297 kg

Työpäivä 30.09.2014 /Kone : 3

2. Tankattu sideainetta 5843 kg

Alkumassa 6140 kg

Tunnus	Alapää	Yläpää	Pituus	Massa	Massa/m	pit/ø	lev/ø	A-aika
327	-16.7 m	-0.3 m	16.4 m	630.5 kg	38.4 kg/m	+0.6	+0.4	11:29
328	-16.8 m	-0.3 m	16.5 m	639.0 kg	38.7 kg/m	+0.1	+0.3	11:39
329	-16.5 m	-0.3 m	16.2 m	622.5 kg	38.4 kg/m	-0.4	+0.4	11:48
330	-16.7 m	-0.3 m	16.4 m	635.0 kg	38.7 kg/m	-0.2	+0.4	11:58
331	-16.6 m	-0.3 m	16.3 m	626.0 kg	38.4 kg/m	+0.0	+0.5	12:09
332	-16.5 m	-0.3 m	16.2 m	623.0 kg	38.5 kg/m	+0.3	+0.7	12:18
333	-16.7 m	-0.3 m	16.4 m	629.0 kg	38.4 kg/m	-0.3	+0.5	12:27
289	-16.5 m	-0.3 m	16.2 m	623.0 kg	38.5 kg/m	+0.2	+0.5	12:39
290	-16.6 m	-0.3 m	16.3 m	624.5 kg	38.3 kg/m	+0.1	+0.8	12:50

9 kpl 146.9 m 5652.5 kg 38.5 kg/m

Loppumassa 468 kg

Työpäivä 30.09.2014 /Kone : 3

3. Tankattu sideainetta 6017 kg

Alkumassa 6485 kg

Tunnus	Alapää	Yläpää	Pituus	Massa	Massa/m	pit/ø	lev/ø	A-aika
291	-16.6 m	-0.3 m	16.3 m	630.5 kg	38.7 kg/m	-0.3	+0.1	14:29
292	-16.8 m	-0.3 m	16.5 m	639.0 kg	38.7 kg/m	-0.4	+0.0	14:38
293	-17.0 m	-0.3 m	16.7 m	644.5 kg	38.6 kg/m	-1.0	-0.1	14:48
294	-17.0 m	-0.3 m	16.7 m	640.0 kg	38.3 kg/m	-0.1	+0.0	14:58

295	-17.4 m	-0.3 m	17.1 m	655.0 kg	38.3 kg/m	+0.1	-0.2	15:22
296	-16.5 m	-0.3 m	16.2 m	622.0 kg	38.4 kg/m	+0.0	-0.2	15:32
297	-16.4 m	-0.3 m	16.1 m	622.5 kg	38.7 kg/m	+0.7	-0.2	15:41
253	-16.6 m	-0.3 m	16.3 m	624.5 kg	38.3 kg/m	+0.2	+0.1	15:54
256	-16.8 m	-0.3 m	16.5 m	634.0 kg	38.4 kg/m	+0.2	+0.3	16:20
255	-16.7 m	-0.3 m	16.4 m	632.0 kg	38.5 kg/m	+0.2	+0.4	16:34

10 kpl 164.8 m 6344.0 kg 38.5 kg/m

Loppumassa 124 kg

Työpäivä 30.09.2014 /Kone : 3

4. Tankattu sideainetta 5009 kg

Alkumassa 5133 kg

Tunnus	Alapuu	Yläpuu	Pituus	Massa	Massa/m	pit/ø	lev/ø	A-aika
257	-16.5 m	-0.3 m	16.2 m	625.0 kg	38.6 kg/m	-0.1	+0.4	17:16
258	-16.7 m	-0.3 m	16.4 m	632.0 kg	38.5 kg/m	+0.0	+0.5	17:25
258	-7.8 m	-0.3 m	7.5 m	293.5 kg	39.1 kg/m	+0.0	+0.4	17:33
255	-7.8 m	-0.3 m	7.5 m	291.5 kg	38.9 kg/m	-0.1	+0.5	17:40
253	-14.2 m	-0.3 m	13.9 m	539.5 kg	38.8 kg/m	+0.7	-0.3	17:52
254	-14.5 m	-0.3 m	14.2 m	550.0 kg	38.7 kg/m	+0.5	-0.4	18:06
259	-16.4 m	-0.3 m	16.1 m	619.5 kg	38.5 kg/m	-0.4	-0.6	18:15
260	-16.4 m	-0.3 m	16.1 m	621.5 kg	38.6 kg/m	-0.5	-0.5	18:23
261	-16.4 m	-0.3 m	16.1 m	620.0 kg	38.5 kg/m	+0.1	+0.0	18:32

9 kpl 124.0 m 4792.5 kg 38.6 kg/m

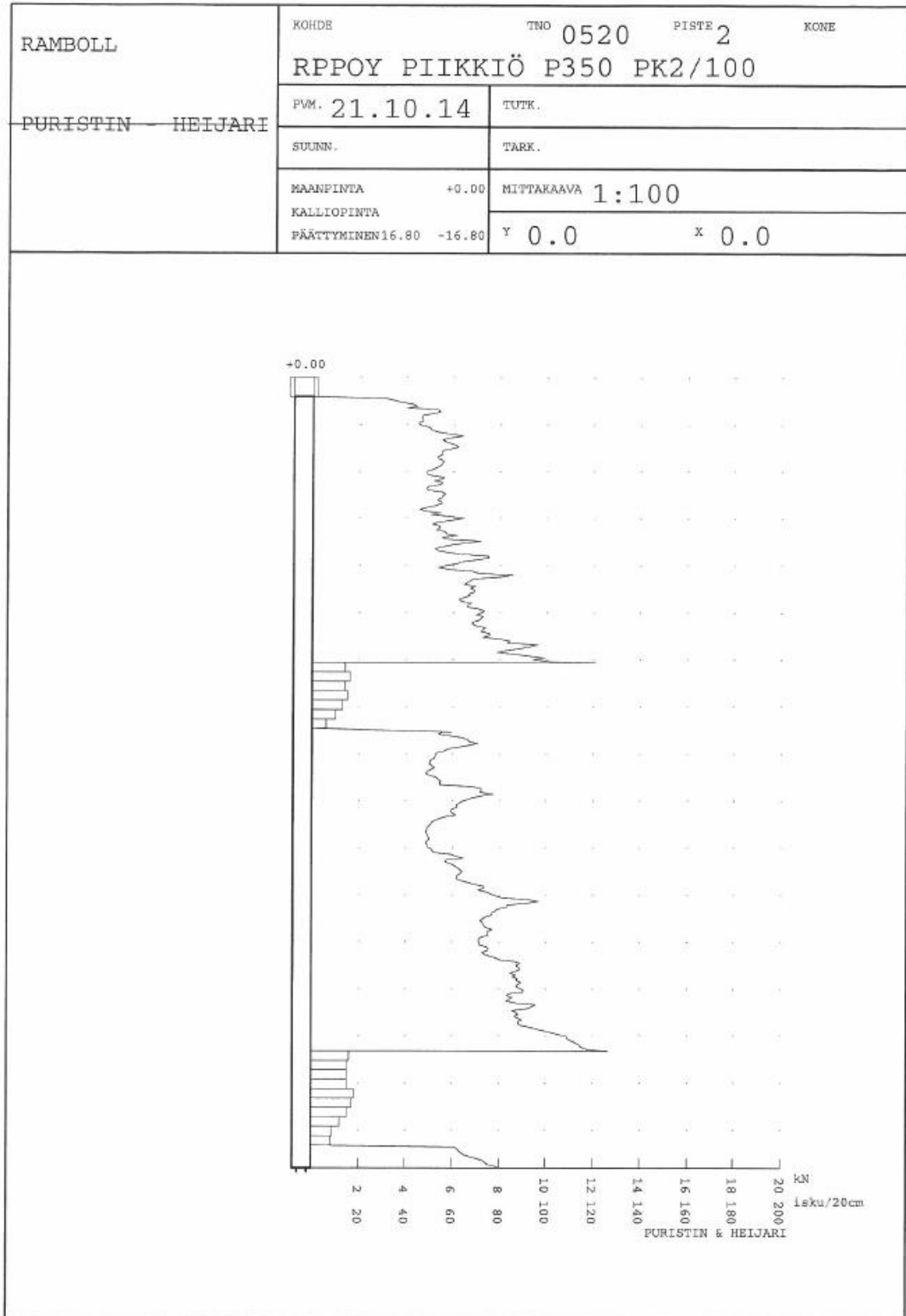
Loppumassa 316 kg

Työpäivä 30.09.2014

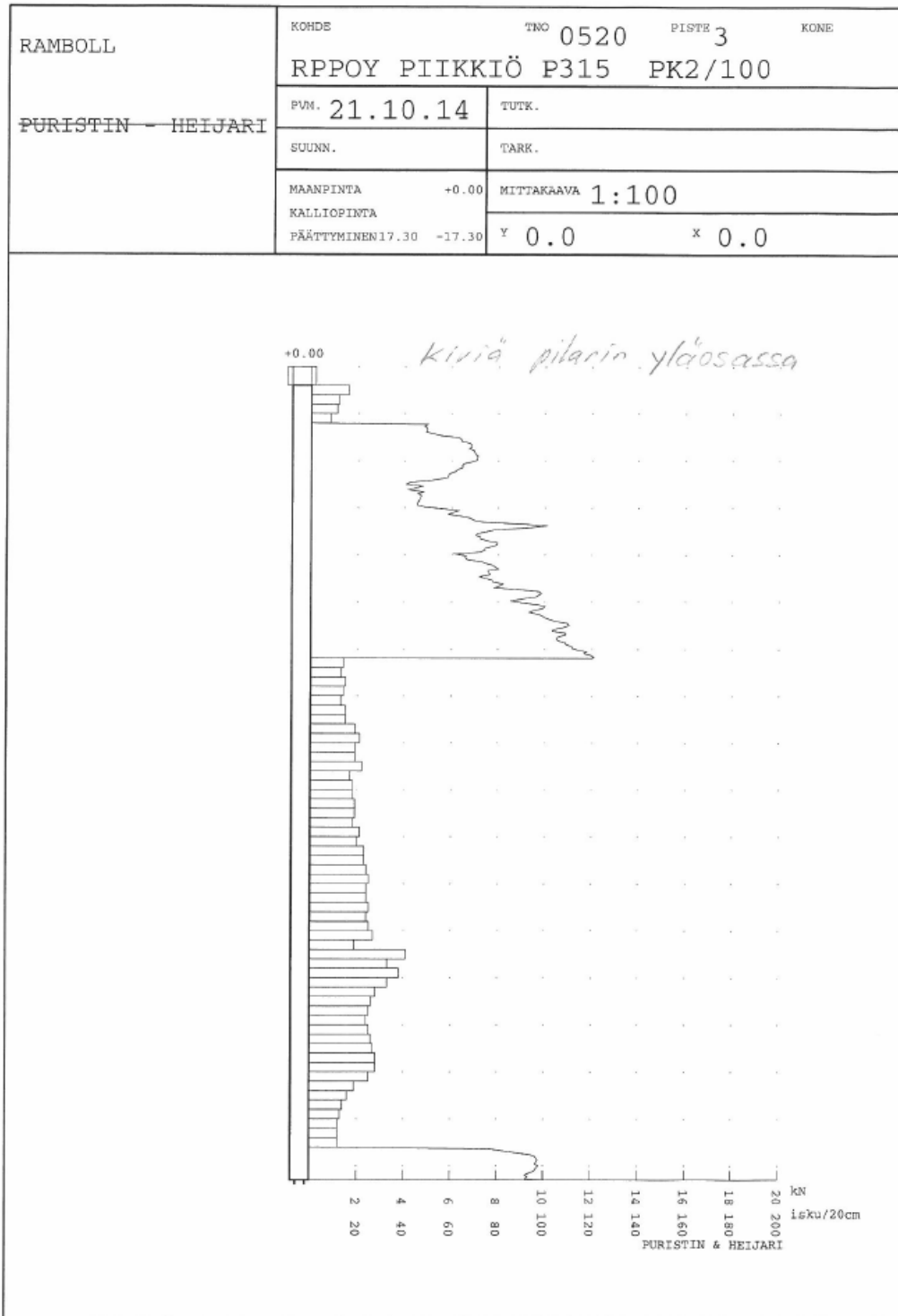
Tankattu sideainetta	21878 kg
Loppumassa	316 kg
Pilareiden lukumäärä	36 kpl
Pilareiden massa	21881 kg
Pilareiden yhteispituus	568.1 m
Nousunopeus	15 mm/r

Pilarikairaustulokset

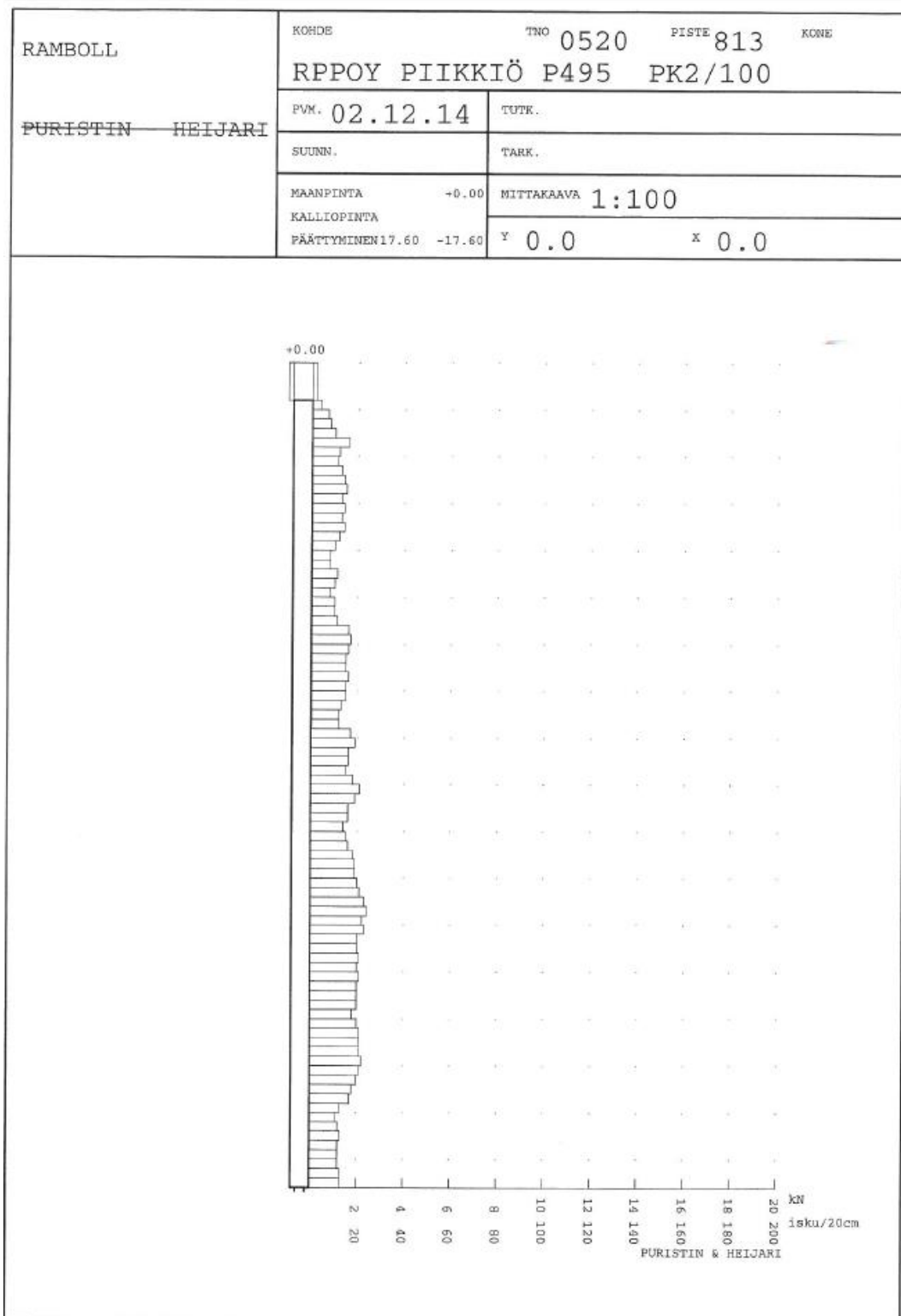
Piikkiön pilarikairaustulos



Piikkiön pilarikairaustulos

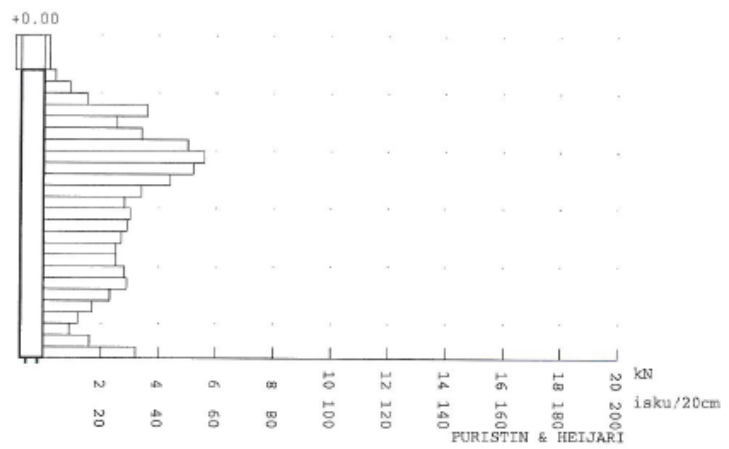


Piikkiön pilarikairaustulos

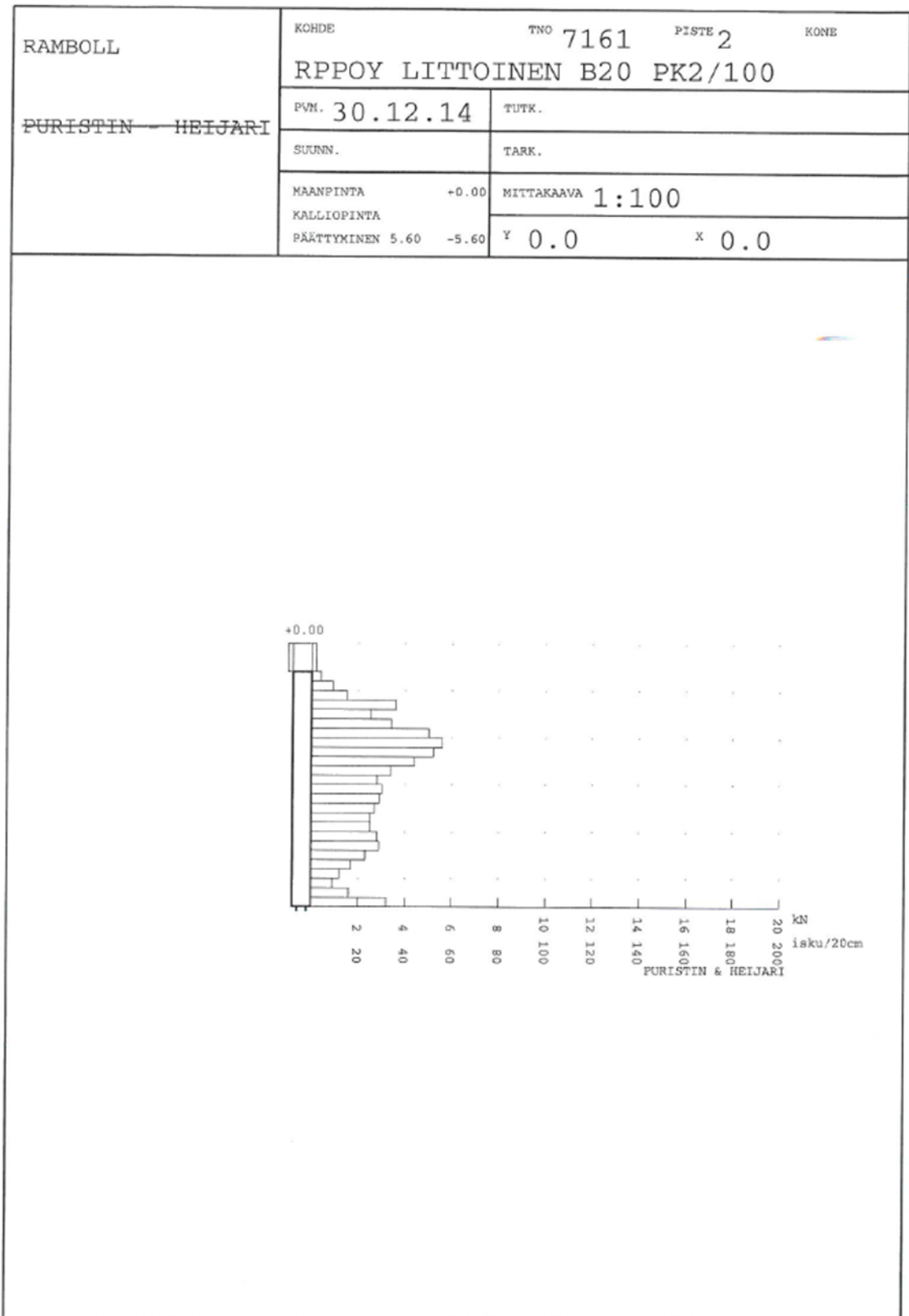


Littoisten pilarikairaustulos

RAMBOLL PURISTIN - HEIJARI	KOHDE		TNO 7161	PISTE 2	KONE
	RPPOY LITTOINEN B20 PK2/100				
	PVM. 30.12.14		TUTK.		
	SUUNN.		TARK.		
MAANPINTA +0.00		MITTAKAAVA 1:100			
KALLIOPINTA					
PÄÄTTYMINEN 5.60 -5.60		Y 0.0	X 0.0		



Littoisten pilarikairaustulos



Littoisten pilarikairaustulos

