



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Antti-Sakari Pietikäinen

Pystysalaojitus Mt132 – Klaukkalan ohikulkutien työmaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

9.3.2021

Tekijä Otsikko	Antti-Sakari Pietikäinen Pystysalaojitus Mt132 – Klaukkalan ohikulkutien työmaalla
Sivumäärä Aika	57 sivua + 9 liitettä 9.3.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Projektipäällikkö Sami Laakso Lehtori Anu Ilander
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli pystysalaojitus Klaukkalan ohikulkutien työmaalla. Pystysalaojitus on aikaa vaativa pohjanvahvistustapa ja sen käyttö Suomessa on lähes kokonaan unohdettu. Pystysalaojitus vaatii pitkän painuma-ajan ja rakennushankkeet ovat niin tiukasti aikataulutettuja, että sen käyttäminen on lähes mahdotonta. Pystysalaojituksella tarkoitetaan maahan painettavia pystysalaojia, jotka nopeuttavat veden poistumista savisesta maakerroksesta. Pystysalaojituksen päälle rakennetaan lähes aina esikuormituspenker, joka nopeuttaa veden poistumista vielä lisää puristamalla savikerrosta kasaan.</p> <p>Insinööriyö toteutettiin yhteistyössä Klaukkalan ohikulkutien työmaan pääurakoitsijan Kreate Oy:n kanssa. Kreate Oy on suomalainen infra-alan rakennusyhtiö, joka on erikoistunut vaativiin infrakohteisiin.</p> <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli perehtyä pystysalaojituksen yleisesti sekä sen toteutukseen Klaukkalan ohikulkutien työmaalla. Insinööriyössä tutkittiin Klaukkalan ohikulkutien pystysalaojitus suunnitelmia, työvaiheita ja työn toteutusta sekä vertailtiin suunniteltua ja laskettua painumaa todelliseen. Insinööriyön tavoitteena oli laatia kokonaisvaltainen raportti pystysalaojituksen suunnittelusta ja rakentamisesta, joka on hyvin vähän tutkittu aihe. Lisäksi tavoitteena oli, että pystysalaojitus saataisiin tulevaisuudessa enemmän käyttöön.</p> <p>Insinööriyön tuloksista huomataan, että pystysalaojitus todellakin on aikaa vaativa toimenpide ja se vaatii hyvää rakentamisen aikaista suunnittelua. Tuloksista tulee lisäksi ilmi, että rakentamista ennen lasketut painumat eivät aina pidä paikkansa, vaan ne voivat todellisuudessa olla paljonkin pienempiä. Klaukkalan ohikulkutiellä pystysalaojakentillä olleet savikerrokset olivat parempia kuin oletettiin.</p> <p>Jos rakennushankkeella on riittävästi aikaa painumille, niin pystysalaojitus on hyvä ja kustannustehokas tapa vahvistaa pohjamaata. Hyvällä suunnittelulla ja rakentamisen aikaisella seurannalla saadaan aikaan vastaavanlainen lopputulos kuin mitä saataisiin kalliimmalla pohjanvahvistusmenetelmällä.</p>	
Avainsanat	pystysalaojitus, painuminen, konsolidaatio, esikuormitus

Author Title	Antti-Sakari Pietikäinen Vertical Drainage at the Construction Site of Klaukkala Bypass – Mt 132
Number of Pages Date	57 pages + 9 appendices 9 March 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Infrastructure
Instructors	Sami Laakso, Project Manager Anu Ilander, Principal Lecturer
<p>The subject of this engineering work was vertical drainage at the construction site of the by-pass at Klaukkala. Vertical drainage is a time-consuming method of subgrade reinforcement, and its use in Finland has been wholly forgotten. Vertical drainage requires an extended settlement period, and construction projects are so tightly scheduled that their service is impossible. Vertical drainage means vertical drains that are pressed into the ground, which accelerate the removal of water from the clay soil layer. A preloading embankment is always built on top of the vertical drainage, which accelerates the drainage of water even more by squeezing the clay layer.</p> <p>The thesis was conducted in co-operation with Kreate Oy, the main contractor of the by-pass at Klaukkala. Kreate Oy is a Finnish infrastructure constructor that is specialized in demanding infrastructure projects.</p> <p>This thesis aimed to get acquainted with vertical drainage in general and its implementation at the by-pass at Klaukkala. The plans, work stages and performance of vertical drainage at the by-pass at Klaukkala were studied, and the calculated ones were compared with the actual ones. The aim of thesis was to prepare a comprehensive report on the plans and construction of vertical drainage, which is a minimally researched topic. In addition, the goal was to make vertical drainage a more available choice in the future.</p> <p>The results of the thesis indicate that vertical drainage is indeed a time-consuming operation and requires good planning during construction, and the settlement calculated before construction is not always correct but may, in fact, be much smaller. The clay layers on the by-pass at Klaukkala in the vertical drainage fields were better than expected.</p> <p>If the construction project has enough time for the settlement, then vertical drainage is the right and cost-effective way to strengthen the subsoil. Good planning and monitoring during construction provide a result similar to that of the more expensive subgrade reinforcement.</p>	
Keywords	vertical drainage, settlement, consolidation, preload

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pystysalaojitus	2
2.1	Teoriaa pystysalaojituksesta	2
2.2	Lähtötiedot pystysalaojituksen mitoitusta varten	6
2.3	Pystysalaojituksen mitoitus	9
2.4	Esikuormituksen suunnittelu ja painumien laskennat	13
2.5	Pystysalaojituksen rakentaminen	15
2.5.1	Kalusto ja tarvikkeet	16
2.5.2	Asennustyöt	18
2.5.3	Laatuvaatimukset	20
2.5.4	Pystysalaojakentän instrumentointi	21
3	Klaukkalan ohikulkutien työmaa	24
3.1	Pystysalaojitus Klaukkalan ohikulkutiellä	25
3.2	Suunnittelu	27
3.2.1	Lähtötiedot	27
3.2.2	Pystysalaojituksen mitoitus	29
3.2.3	Kenttien rakennussuunnitelmat	30
3.3	Toteutetut pystysalaojakentät	31
3.3.1	Työmaalla käytetty kalusto ja tarvikkeet	33
3.3.2	Pystysalaojien toteutuneet syvyudet	35
3.3.3	Esikuormitus- ja ylikuormituspenkereet	36
3.4	Huokosvedenpainemittaukset pystysalaojakentillä	38
3.5	Painumien seuranta pystysalaojakentillä	43
3.5.1	Laskennalliset painumat	46
3.5.2	Toteutuneet painumat	47
4	Yhteenveto	51
	Lähteet	56

Liitteet

Liite 1. Ödömetrikoe Klaukkalan ohikulkutieltä

Liite 2. MSmura-laskennan parametrit

Liite 3. Kartiokoe Klaukkalan ohikulkutieltä

Liite 4. Pystysalaojituksen rakennussuunnitelma

Liite 5. Pystysalaojanauhan tuoteselostus

Liite 6. Pystysalaojien toteutuneita syvyyksiä

Liite 7. Pystysalaojakentän 2 poikkileikkaus – huokosvedenpainemittareiden sijainti

Liite 8. Huokosvedenpaineiden mittauspöytäkirja

Liite 9. Laskennallisia painumia

1 Johdanto

Pystysalaojitus on 1920-luvulla Yhdysvalloissa kehitetty pohjanvahvistusmenetelmä, jossa salaojina käytettiin sylinterimäisiä hiekkasalaojia. Tätä salaojatyyppeä käytettiin 1970-luvulle asti, jonka jälkeen nauhapystyjojat alkoivat yleistyä. Nauhapystyjoituksen edeltäjänä voidaan pitää 1930-luvulla Ruotsissa kehitettyä pahviojaa. [1.] Tässä insinööriydessä pystysalaojituksista puhuttaessa tarkoitetaan nauhapystyjoitusta.

Pystysalaojitus ei ole kovin yleinen pohjanvahvistustapa Suomessa. Sitä käytettiin 1980-luvulla enemmän, mutta on sittemmin lähes kokonaan unohdettu. Syynä tähän voidaan pitää muun muassa sitä, että tänä päivänä rakennushankkeet on aikataulutettu erittäin tiukasti. Pystysalaojitus on aikaa vaativa toimenpide, sillä maaperän pitää antaa painua ojituksen jälkeen ja tähän voi kulua useampia kuukausia, jopa vuosia. Lisäksi pystysalaojituksen aiheuttaman painuman laskenta on haastavaa ja riskinä on pystysalaojitettun kohteen liiallinen painuma käyttöönoton jälkeen. Pystysalaojitusta käytetään enemmän esimerkiksi muualla Euroopassa, kuten Ruotsissa. [1.]

Pystysalaojituksen kanssa käytetään esikuormituspengertä ja joissakin tapauksissa yli-pengertä. Esikuormituspenkereen tarkoitus on nopeuttaa konsolidaatiota. [1.]

Pystysalaojitusta ennen tehdään kokeita maaperästä, kuten ödometrikokeita ja kartiokokeita, myös pohjavettä tutkitaan. Lisäksi tehdään huokosvedenpainekokeita, joita varten maahan asennetaan huokosvedenpainemittari. Pystysalaojituksen aikana ja sen jälkeen seurataan huokosvedenpainetta ja kuormituspenkereen asennuksen jälkeen seurataan lisäksi pystysalaojakentän painumista. [1.]

Pystysalaojitusta tehdään kaivinkoneella, mihin on yhdistetty pystysalaojituksen soveltuva puomi. [1.]

Tämä insinööriyö käsittelee pystysalaojitusta Klaukkalan ohikulkutien työmaalla ja insinööriyön toimeksiantaja on hankkeen pääurakoitsija Kreate Oy. Insinööriyössä tarkastellaan pystysalaojitusta Klaukkalan ohikulkutien työmaan osalta; sen suunnitelmia, toteutusta ja lopputulosta. Lisäksi verrataan suunniteltua toteutuneeseen. Insinööriyössä

tarkastellaan myös pystysalaojakentiltä saatuja huokospaine- ja painumamittauksia sekä esikuormituspenkereitä, jotka ovat oleellinen osa pystysalaojitusta.

Klaukkalan ohikulkutiellä valittiin yhdeksi pohjanvahvistusmenetelmäksi pystysalaojitus, koska sillä pystytään nopeuttamaan painuma-aikaa. Hankkeella haluttiin, että painuminen tapahtuisi rakentamisen aikana, eikä käytön aikaisia painumia tulisi lainkaan tai ne pysyisivät sallituissa rajoissa.

Kreate on suomalainen infrarakentamisen yritys, joka tarjoaa kaikki infrarakentamisen palvelut. Kreate tunnetaan projekteista, jotka ovat haastavia ja vaativat rakennusalan ammattilaisten erikoisosaamista. Kreate syntyi vuonna 2015 kun kolme infrarakentamisen yritystä Fin-Seula Oy, Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy ja Kesälahden Maansiirto Oy sulautuivat yhteen. Myöhemmin Kreate on ostanut myös Varkauden Louhinta Oy:n sekä Railtek Oy:n, mistä tuli myöhemmin Kreate Rata Oy. Kreate työllistää noin 500 infrarakentamisen ammattilaista ja sen liikevaihto oli vuonna 2019 noin 220 miljoonaa euroa. [15.] Klaukkalan ohikulkutien työmaalla Kreaten organisaatiosta oli mukana louhinta-, silta-, sekä väyläyksikkö. Pystysalaojituksen toteuttamiseen osallistui työntekijöitä myös pohjarakentamisen puolelta.

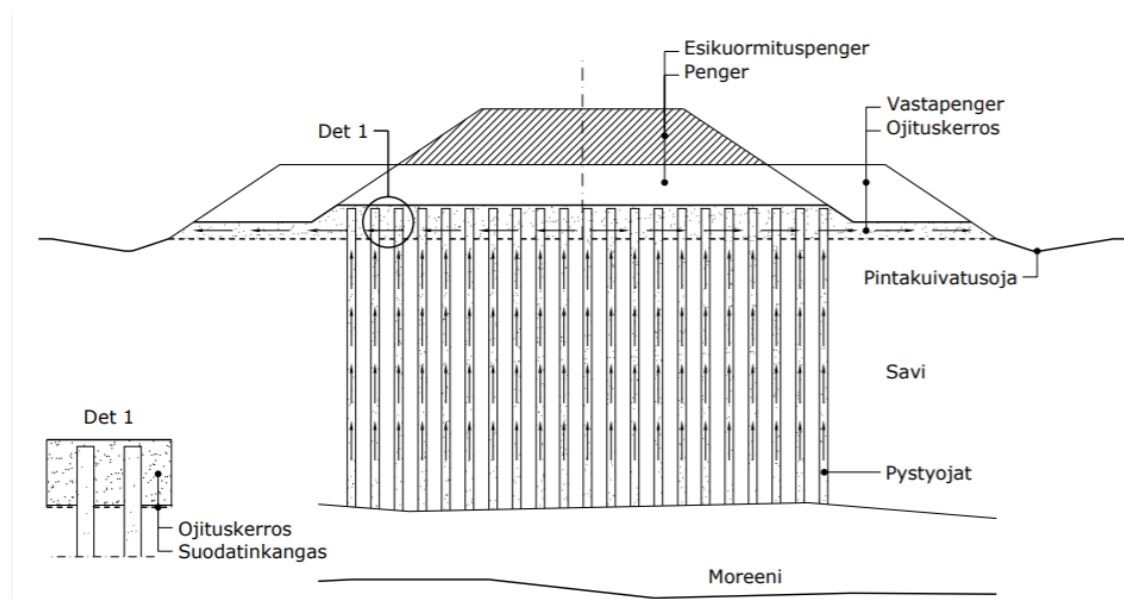
Tämän insinööriyön tavoitteena oli tehdä kokonaisvaltainen raportti pystysalaojituksen suunnittelusta ja rakentamisesta, jota on aikaisemmin tutkittu hyvin vähän. Lisäksi tavoitteena oli, että menetelmä saataisiin mahdollisesti enemmän käyttöön infrarakentamisessa tulevaisuudessa.

2 Pystysalaojitus

2.1 Teoriaa pystysalaojituksesta

Pystysalaojitus on aikaa vaativa 1980-luvulla Suomessa yleistynyt pohjanvahvistusmenetelmä. Pystysalaojituksella tarkoitetaan maakerrokseen tehtyä pystysuoraa ojitusta (Kuva 1). [3, s. 196] Pystysalaojien tarkoituksena on kiihdyttää pehmeiden, huonosti vetäläpäisevien maakerrosten, kuten savikerrosten konsolidaatiota. [3, s. 196.] Konsolidaatiolla tarkoitetaan maaperän tiivistymistä veden poistumisen johdosta ja siten sen

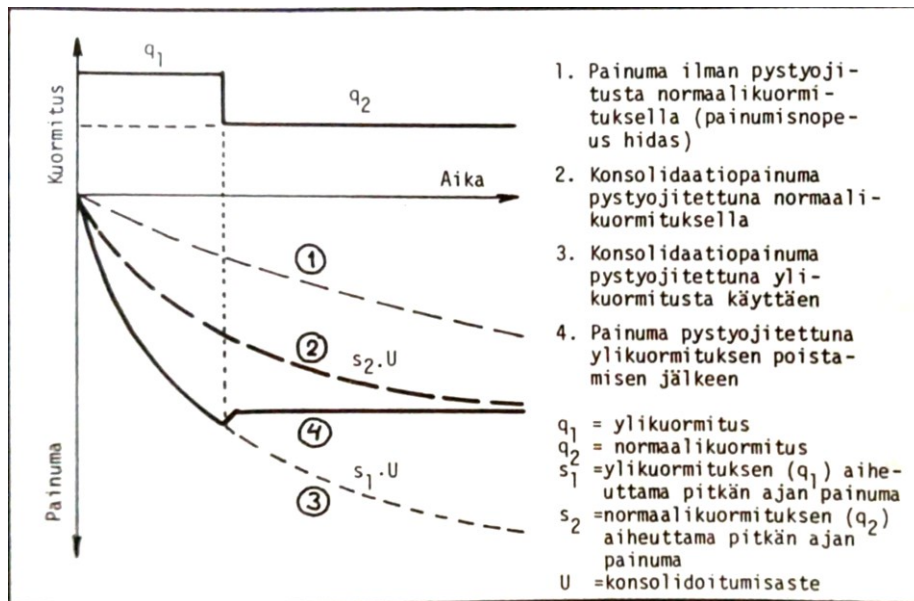
lujittumista kuormituksen vaikutuksesta. [9.] Nauhapystyöjituksessa maahan työnnetään pystysalaojakoneella nauhaa, jonka tarkoituksena on nopeuttaa veden poistumista pehmeästä maakerroksesta. Pystysalaojien yläpään rakennetaan ojitus- tai suodatinkerros, jonka tarkoituksena on johtaa vesi ojia pitkin pois pystysalaojitetulta alueelta. Ojituskerroksen päälle rakennetaan lopuksi esikuormituspenger, jonka tarkoituksena on edelleen nopeuttaa maakerroksen konsolidaatiota ja painumista. Kuormitusta käyttämällä voidaan saavuttaa rakennusaikana painumia, jotka eivät enää kasva kuormituksen purkamisen jälkeen. [3, s. 197.]



Kuva 1. Poikkileikkaus pystysalaojituksesta. [2, s. 92]

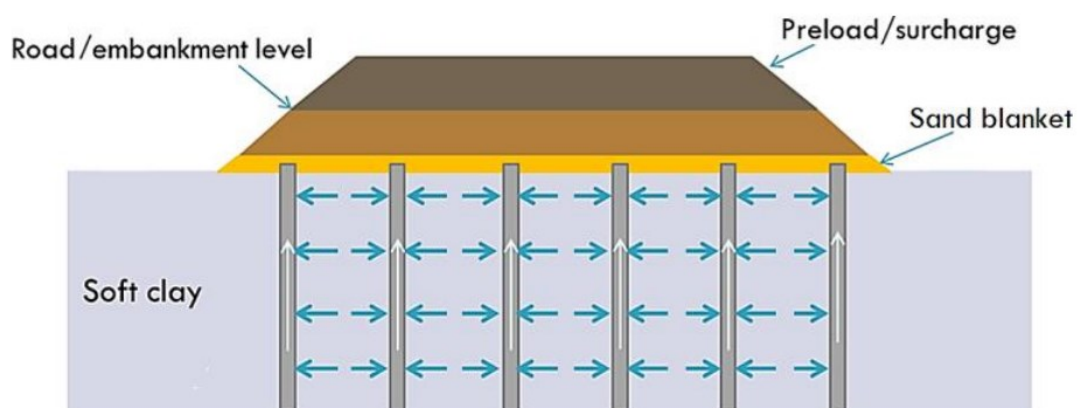
Jos rakennusvaiheessa on riittävästi aikaa käytössä, on pystysalaojitus silloin hyvä vaihtoehto pohjanvahvistukseen. Se on kustannustehokasta ja sen yhteydessä esimerkiksi ei tarvitse tehdä massanvaihtoa ollenkaan. [1.]

Kuvassa 2 on esitetty penkereen alla tapahtuvan painumisen käyttäytymistä tapauksissa ilman pystysalaojitusta ja sen kanssa. Normaalikuormituksella ilman pystysalaojitusta maapohjan painuminen kuormituksen seurauksena tapahtuu hitaasti useiden vuosien kuluessa. Pystysalaojitetussa rakenteessa kuormituksen koko vaikuttaa painumiseen. Normaalikuormituksella painuminen ja maapohjan konsolidaatio on hitaampaa kuin esikuormituksella. Kun esikuormitus poistetaan voi painuminen hidastua merkittävästi tai jopa lakata kokonaan.



Kuva 2. Rakenteen painumiskäyttäytyminen ilman pystysalaoitusta ja sen kanssa. [3, s. 197]

Pystysalaoituksen tarkoituksena on nopeuttaa maaperän konsolidaatiota lyhentämällä veden virtausmatkaa. [1.] Huokosveden poistuminen tapahtuu pystysalaoitetulla alueella nopeammin myös siksi, että savessa oleva vesi kulkee lähinnä vaakasuoraan. Saven vaakasuuntainen vedenläpäisevyys on huomattavasti suurempi kuin sen pystysuuntainen vedenläpäisevyys. [3, s.197.] Pystysalaoituksen tarkoituksena onkin kasvattaa saven pystysuuntaista vedenläpäisevyyttä. Kuvassa 3 on esitetty teoreettinen periaate, miten vesi kulkee savessa vaakasuunnassa kohti pystysalaojia ja mitä kautta se poistuu pystysuuntaisesti savesta. [6.]



Kuva 3. Pystysalaoituksen toimintaperiaate. [6.]

Pystysalaojituksella pyritään yleensä sellaiseen lopputulokseen, että konsolidaatiopainuminen tapahtuisi 80...85-prosenttisesti kokonaispainumasta 1–2 vuoden kuluessa. Tällöin pystysalaojakenttien kohdalla tapahtuva painuminen tapahtuisi suurimmaksi osaksi jo rakentamisen aikana. [3, s. 197.]

Pystysalaojitusta ei yleensä käytetä yksinään, vaan sen yhteydessä rakennetaan lähes aina esikuormituspenger. Esikuormituspenger rakennetaan kasaamalla jotain maamassaa, yleensä louhetta tai kalliomursketta riittävän paksu kerros pystysalaojakentän päälle. Esikuormitus voidaan tehdä myös muista maamassoista kuten savesta tai moreenista. [1.] Tarkemmin ottaen kuormitus rakennetaan kuivatuskerroksen päälle. Tämä on pystysalaojituksen kriittinen vaihe. Kuormitus ei saa aiheuttaa maapohjan vakauden vaarantumista, eli esikuormituspenger ei saa olla massaltaan liian iso maaperän geotekniseen kantavuuteen nähden. Esikuormituksen koko tarkistetaan stabiliteetilaskelmilla. [8, s. 222.] Esikuormituspenkereen tarkoituksena on puristaa alla olevaa, heikommin kantavaa maakerrosta, yleensä silttiä tai savea, kasaan ja näin tiivistää sitä. Pystysalaojituksessa esikuormituspenger aiheuttaa sen, että maaperässä oleva vesi nousee salaojia pitkin pois tiivistäen maaperää ja parantamalla sen kantavuutta. [1.]

Esikuormituspenkereen tarkoituksena on myös vähentää sekundääristä painumaa, eli painumaa, joka tapahtuu penkereen purkamisen jälkeen, kun kaikki konsolidaatiopainuma on tapahtunut. Tällöin penkereen tulee yleensä olla ylipenger eli suurempi kuin suunniteltu maaperään kohdistuva pysyvä kuorma. Konsolidaatiopainumalla tarkoitetaan veden poistumista maakerroksista. [8, s. 228.]

Pystysalaojitus soveltuu hyvin koheesiomaalajeille ja erittäin hyvin silttisille mailla. Koheesiomaalajeilla tarkoitetaan hienorakeisia maalajeja, kuten silttiä, jota pitää koossa rakeiden välinen koheesio eli keskinäinen vetovoima. Pystysalaojitusta voidaan käyttää myös savisilla mailla, mutta tällöin painuma-aika voi kasvaa merkittävästi. Painuma-aikaa voidaan kuitenkin lyhentää tihentämällä pystysalaojien väliä tai kasvattamalla ylikuormituksen kokoa. [1.]

Pystysalaojitusta voidaan tehdä myös veden alle ja se soveltuu hyvin muun muassa esirakentamiskohteisiin sekä sellaisiin kohteisiin, jossa pidempi painuma-aika ei ole ongelma. [1.]

Suomessa pystysalaojitusta käytetään melko vähän, johtuen esimerkiksi siitä, että hankkeet ovat tänä päivänä niin kiireellisiä ja niihin varatut aikataulut eivät tue pystysalaojituksen valitsemista pohjanvahvistusmenetelmänä. Kansainvälisesti pystysalaojitus on yleistä, muun muassa Ruotsissa ja muualla Euroopassa. [1.]

Pystysalaojitus on edullinen ja ekologinen pohjanvahvistusmenetelmä. Riskejä ovat muun muassa suuret jälkipainumat. [1.] Pystysalaojitusta voidaan käyttää myös pohjaveden alentamiseen. [8, s. 193.]

Oleellista pystysalaojituksessa on myös se, että pystysalaojakentän pinnalla on tehokas kuivatuskerros, toiselta nimeltään ojituskerros, jonka kautta maaperästä nouseva vesi ohjataan pois. Ojituskerros tehdään murskeesta, joka tukee samalla pystysalaojakonetta, koska yleensä pystysalaojakenttä on pehmeämpää maa-ainesta, kuten savea. [1.] Kuivatuskerroksen ongelmia ovat liian isorakeinen murske tai murskeen alla käytetty liian paksu suodatinkangas. Jos pystysalaojitusta tehdään vielä maan ollessa jäässä, ei koneen puomi pääse haluttuun syvyyteen. Pystysalaojakone ei välttämättä pysty työntymään puomillaan jäisestä pintamaasta tai liian isorakeisesta murskeesta läpi, tällöin avuksi tarvitaan kaivinkone. Kaivinkone tekee niin kutsutun aloitusreiän, jolloin pystysalaojakoneen on helpompi työntää nauha maan sisään. Toisen kaivinkoneen käyttäminen nostaa pystysalaojituksen kustannuksia. [11.]

2.2 Lähtötiedot pystysalaojituksen mitoitusta varten

Pystysalaojituksen mitoitukseen tarvittavat lähtötiedot saadaan pohjatutkimuksilla ja laboratorikokeilla. Pohjatutkimuksilla, kuten painokairauksilla selvitetään maakerrosten rajat ja maalajit. Pohjatutkimuksilla voidaan myös todeta pohjaveden korkeus ja korkeuden vaihtelevuus sekä huokosveden purkautumisreitit, jotka selvitetään pohjavesiputkilla ja huokospainemittauksilla. Porakairauksilla voidaan ottaa maasta näytteitä, mutta yleensä siihen käytetään näytteen ottamiseen erityisesti tarkoitettua näytteenotinta. Näytteet tutkitaan myöhemmin laboratoriossa tehtävillä kokeilla, joita ovat muun muassa ödömetrikoe, millä selvitetään painumaominaisuuksia häiriintymättömälle savinäytteelle,

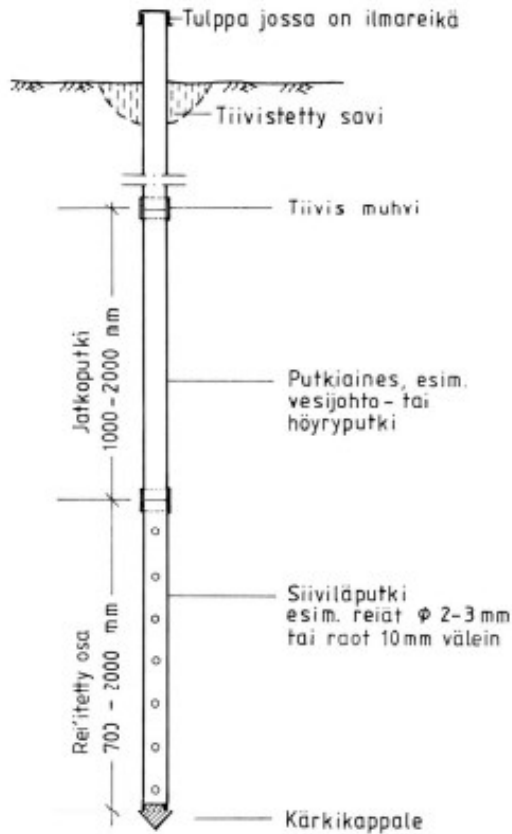
tai kartiokoe, millä selvitetään lujuusominaisuuksia. Lähtötietojen perusteella ratkaistaan, millaisia toimenpiteitä maapohjalle pitää tehdä. [1.]

Ödömetrikoe kertoo savinäytteen kokoonpuristuvuusominaisuuden. Kokeella siis selvitetään, kuinka paljon aines puristuu kasaan tietyin aikaväleihin. Ödömetrikokeessa kuormitusta lisätään tietyin aikaväleihin, yleensä noin 24 tunnin välein ja siinä tutkittavaa maa-aines on jatkuvasti vedessä. Kokeessa mitataan kuormituksen aiheuttamaa muodonmuutosta eri kuormitusportaita. [4, s. 146.]

Kartiokoe taas kertoo maa-aineksen suljetun leikkauslujuuden. Näyte on kartiokokeessa häiriintymätön, mutta ensimmäisen mittauksen jälkeen toisessa mittauksessa oletetaan, että näyte on häiriintynyt. Kartiokoe kertoo lisäksi näytteen hienousluvun. Kartiokokeen leikkauslujuutta hyödynnetään esikuormituspenkereen stabiliteettilaskennassa. [1.]

Näytteen vesipitoisuus määritetään laboratoriossa ensin punnitsemalla märkä näyte, jonka jälkeen näyte kuivatetaan uunissa ja punnitaan uudelleen. Märän näytteen paino jaetaan kuivan näytteen painolla, jolloin saadaan selville näytteen vesipitoisuus. Vesipitoisuus ilmoitetaan prosenteissa. [1.]

Laboratoriokokeiden lisäksi pystysalaojitettavalta alueelta tehdään pohjavesitutkimuksia. Pohjavesitutkimukset ovat tärkeitä aina ennen pohjarakentamisen aloittamista. Pohjavedestä selvitetään yleensä sen korkeus, pinnan vaihtelu ja huokosvedenpaine, joka mitataan huokosvedenpainemittarilla. Tapauskohtaisesti pohjavedestä voidaan lisäksi selvittää pohjaveden laatu ja virtausmäärät. Pohjavedestä tehtävät tutkimukset suoritetaan maahan tehdyistä pohjavesiputkista (Kuva 4). [4, s. 280.]



Kuva 4. Pohjavesiputki. [17, s. 11]

Pohjatutkimuksista ja laboratoriokokeista saatavat tulokset, parametrit, ovat lähtötietoja pystysalaojituksen mitoitukselle. Parametreja ovat esimerkiksi kartiokokeesta saatava maa-ainesnäytteen leikkauslujuus. Tärkeä mitoitukseen saatava tulos ödömetrikokeesta on näytteen vaakasuuntainen konsolidaatiokerroin, c_h ja pystysuuntainen konsolidaatiokerroin C_v . Vaakasuuntaisen kertoimen määrittämiseksi kohteesta otettu savinäyte on asetettava ödömetrikokeessa vaakasuuntaisesti.

Konsolidaatiokerroin on keskeisessä osassa pystysalaojituksen laskennassa, koska se kertoo konsolidoitumisnopeudesta joko pysty- tai vaakasuunnassa. Konsolidaatiokertoimen lisäksi tärkeitä parametreja ovat t , jota käytetään painuma-ajan laskennassa. Pystysalaojituksen mitoituksessa parametrina t käytetään hankkeessa olevaa rakennusaikaa. Mitoituksessa D esittää pystysalaojan vaikutusalueita. [1.] Taulukossa 1 on esitetty pystysalaojituksen mitoitukseen tarvittavia parametreja.

Taulukko 1. Pystysalaojituksen mitoitukseen, painuman ja vakavuuden laskentaan tarvittavia parametreja.

Paramet- rin sym- boli	Parametrin nimi	Millä kokeella selvitetään
C_h	vaakasuuntainen konsolidaatiokerroin (m^2/a)	ödömetrikoe
C_v	pystysuuntainen konsolidaatiokerroin (m^2/a)	ödömetrikoe
m	moduuliluku	ödömetrikoe
β	jännityseksponentti	ödömetrikoe
$C_{\alpha\varepsilon}$	sekundääripainuman kerroin	ödömetrikoe
$w\%$	vesipitoisuus (%)	luokitusominaisuus: punnitsemalla ja kuivattamalla näyte uunissa
$Hu\%$	humuspitoisuus (%)	humuspolto uunissa
S_u	suljettu leikkauslujuus (kPa)	siipikairalla tai kartiokokeella

Lähtötietojen koonnin jälkeen voidaan valita myös oikeanlainen pystysalaojanauha kohteeseen. Nauhan valintaan vaikuttavat maaperän ominaisuudet. Maaperän häiriintymistä yritetään estää muun muassa suosittelemalla pystysalaojakoneen suojaputkelle sekä ankkurille maksimikoko, suojaputken tärytystä ei sallita. [1.]

Pystysalaojanauhoja on erilaisia ja ne eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan. Pystysalaojanauhan olennaisia ominaisuuksia ovat sen vetolujuus, venymä, nauhan aukon koko, vedenläpäisevyys, veden virtauskapasiteetti ja kestävyys. Eniten pystysalaojanauhojen välillä vaihtelee sen vedenläpäisevyys, virtauskapasiteetti ja venymä. Venymää tapahtuu, kun nauhaan kohdistuu tietty määrä voimaa F . Esimerkkinä MebraDrain MD7007 nauha venyy noin 1,6 prosenttia, kun siihen kohdistuu 1,0kN voima. [14.]

2.3 Pystysalaojituksen mitoitus

Pystyojituksen mitoituksessa on tavoitteena löytää sellainen ojaväli eli keskeltä keskelle (k/k), jolla päästään kyseiselle kohteelle mahdollisella rakennusajalla t noin konsolidaatioastetta $U = 80 \dots 90 \%$ vastaavaan konsolidaatiopainumaan. Pystysalaojituksen mitoitus perustuu tavallisesti yhtälöön

$$t = \frac{1}{c_h} \times \frac{d^2}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{d}{r\sqrt{\pi}} \right) - \frac{3}{4} \right) \ln \left(\frac{1}{1-U} \right), \quad (1)$$

jossa

t	konsolidoitumiseen kuluva aika (a)
U	saavutettu konsolidoitumisaste (%)
c_h	konsolidaatiokerroin (m^2/a)
d	pystysalaojan leveys (m)
r	pystysalaojaleikkauksen säde (m).

[3, s. 198]

Pystysalaojan vaikutusalue D (Kuva 5), jota tarvitaan pystysalaoituksen mitoitukseen, saadaan laskettua Hansbon 1981 kehittämän yhtälön 2 sekä yhtälöiden 3–5 avulla. [1.]

$$U = 1 - \exp \left(\frac{-8T}{F(n)} \right), \quad (2)$$

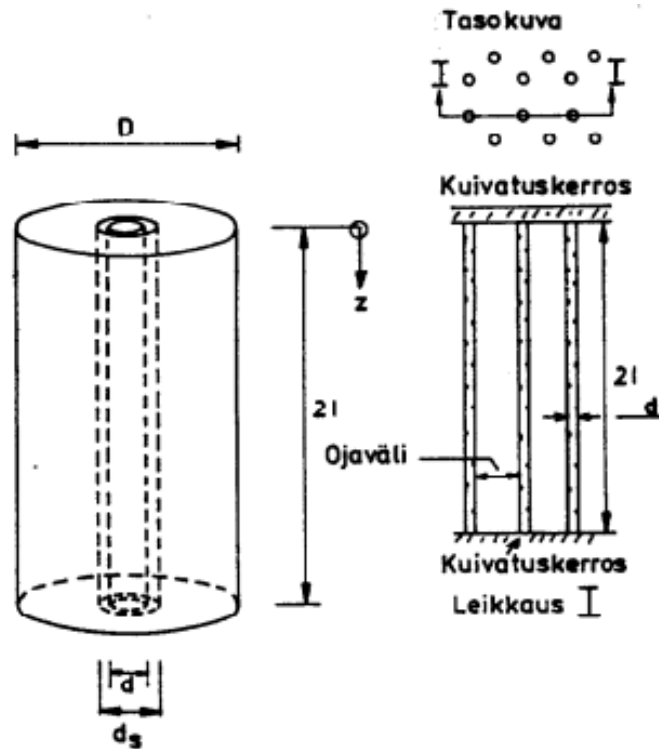
$$T_h = \frac{c_h t}{D^2}. \quad (3)$$

$$F(n) = \ln(n) - 0,75 \quad (4)$$

$$n = \frac{D}{d}. \quad (5)$$

, jossa

U	konsolidaatioaste
T	aikakerroin
d	pystysalaojan ekvivalenttihalkaisija
D	pystysalaojan vaikutusalue
c_h	konsolidaatiokerroin
t	konsolidoitumiseen kuluva aika



Kuva 5. Pystysalaojan vaikutusalue. [1.]

Pystysalaojakentän mitoitus on prosessi, missä huomioidaan mahdollinen rakennusaika ja tavoiteltava konsolidaatioaste, joka vaatii painuman laskennan eri kokoisilla pengerkorkeuksilla.

Sekundaarinen konsolidaatiopainuma lasketaan Buismanin menetelmällä kaavalla 6 ja sekundaaripainuman aikakerroin $C_{\alpha\varepsilon}$ määritetään ödometrikokeen avulla kaavalla 7. Sekundaarisen painuman laskenta on tärkeää, koska se tapahtuu veden poistumisen jälkeen. Painuma ei saa olla liian iso, koska se on huono rakenteen kannalta. [1.]

$$S_s(t) = H \times c_{\alpha\varepsilon} \times \log\left(\frac{t}{t_p}\right) \quad (6)$$

$$C_{\alpha\varepsilon} = \frac{\Delta h/h_0}{\log(\Delta t)} \quad (7)$$

Missä

$S_s(t)$ painuma hetkellä t

H kerrospaksuus

t_p primääristä konsolidaatiota vastaava aika

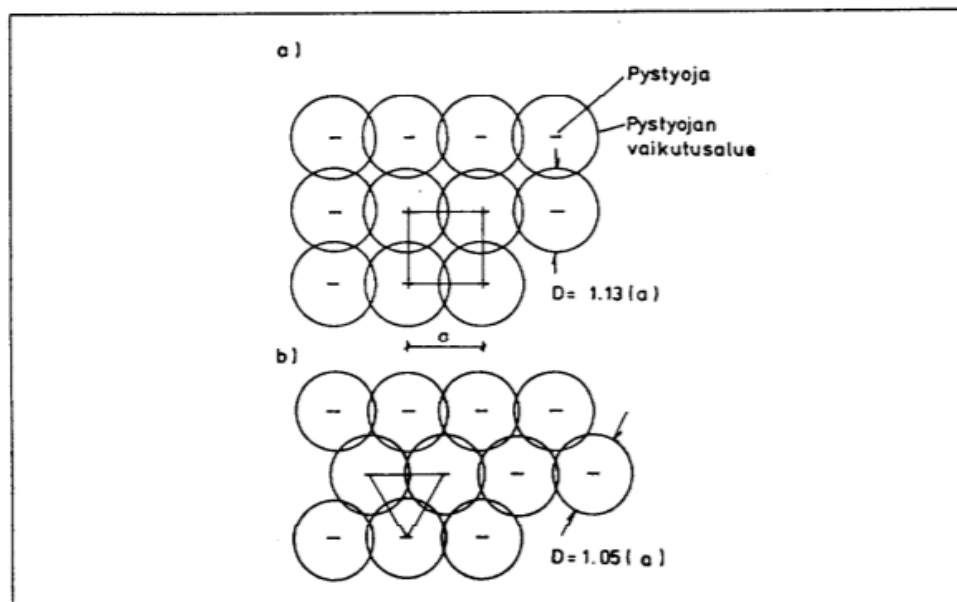
Δh ödömetrinäytteen korkeuden muutos sekundäärisen konsolidaation aikana

h_0 ödömetrinäytteen alkuperäinen korkeus

Δt sekundäärisen konsolidaation tarkastelu-aika ödömetrikokeessa.

Suunnitteluvaiheessa ennen asennustöiden aloitusta selvitetään, tehdäänkö pystysalaojitus kolmio- vai neliöverkossa (Kuva 6). Valinta vaikuttaa käytettävään pystysalaojan vaikutusalueeseen D . [1.]

$$D = \frac{2(b+t)}{\pi} \quad (8)$$



Kuva 6. Pystysalaojitusta voidaan tehdä kolmio- tai neliöverkossa. [1, s. 30]

Asentamiseen annettu pystysalaojen välinen säde saadaan yhtälöstä

$$r_{c,eq} = \sqrt{\frac{S_x S_y}{\pi}} \quad (9)$$

, jossa

S_x pystysalaojen välinen etäisyys vaakasuunnassa

S_y pystysalaojen välinen etäisyys pystysuunnassa.

Säteen noudattaminen on tärkeää, sillä pystysalaojan vaikutusalue on vakio. Jos säde esimerkiksi suurenee liikaa pystysalaojitusta tehdessä, voi rakenteeseen tulla heikompia kohtia. [6.]

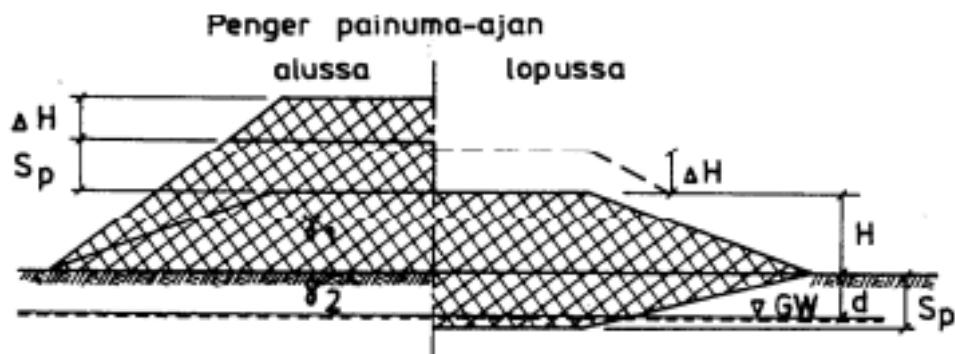
2.4 Esikuormituksen suunnittelu ja painumien laskennat

Esikuormituksen tarkoituksena on saada suurin osa painumasta tapahtumaan hankkeen rakennusaikana, jolloin se takaa hyvän teknisen ja taloudellisen lopputuloksen. Esikuormituspenkereen korkeuden, laajuuden ja mahdollisen vaiheittain rakentamisen suunnittelussa huomioidaan seuraavat asiat:

- konsolidaatiopainuman laskennat eri pengerkorkeuksilla
- saven painumisnopeus (mm/a) pystyojilla
- kuormituspenkereen vakavuus
- painumavaran jättäminen
- käytetäänkö ylikuormaa
- millä materiaalilla kuormitus tehdään

- sekundaaripainuman suuruus. [1.]

Esikuormituksenä voidaan käyttää normaalia esikuormituspengertä (Kuva 7), jolloin se rakennetaan teoreettisesti ajateltuna tulevaan tasaukseen huomioiden laskettu painumisvara. Kuormitus voidaan rakentaa myös ylipenkereenä, jolloin se toimii suurempana kuormana pohjamaalle ja nopeuttaa painumista enemmän. [1.]



Kuva 7. Esikuormituspenger painuma-ajan alussa ja lopussa. [1.]

Penkereen aiheuttamalla pysyvällä kuormituksella tarkoitetaan pohjamaahan kohdistuvaa kuormitusta Q , joka koostuu väylärakenteen omasta painosta eli kaavan 10 mukaan

$$Q = \gamma \times H \quad (10)$$

jossa

γ pengermateriaalin tilavuuspaino (kN/m^3)

H penkereen korkeus (m).

Liikenteen aiheuttama kuorma on penkereen kannalta muuttuva kuorma ja sitä ei kaikissa tapauksissa huomioida painuman laskennassa. [1.]

Konsolidaatiopainuman laskenta tehdään yleensä tietokoneella. Yleisimmät käytetyt ohjelmat ovat Geocalc ja MSmura, joilla painumat voidaan määrittää sekä vesipitoisuus menettelyllä, että tangenttimoduulimenetelmällä, jolloin hyödynnetään ödömetrikokeesta saatuja parametreja. Tärkeintä on saada selville painuman riippuvuus ajasta, johon vaikuttaa konsolidaatiokerroin. Sekundaaripainuma arvioidaan laskemalla ödömetriko- keesta saadun $C_{\alpha\epsilon}$ avulla. [1.]

Esikuormituspenkereen mitoittaminen on teknistaloudellinen mitoitusmenettely, jossa huomioidaan tarvittavan painuman suuruus ja rakennettavan ja purettavan materiaalin määrä ja laatu kustannuksia ajatellen. [1.]

2.5 Pystysalaojituksen rakentaminen

Pystysalaojituskentän tekeminen alkaa poistamalla alueelta pintamaakerros, jonka jäl- keen poistetaan maamassoja suunnitelmissa esitettyyn syvyyteen asti. Yleensä esimer- kiksi pehmeillä savikoilla pintamaakerroksen poistaminen riittää, sillä esikuormituspen- kereeseen käytettävät maamassat toimivat myös lopullisen rakenteen rakennekerrok- sina. [1.]

Maaleikkauksen pohjalle asennetaan suodatinkangas, jonka päälle rakennetaan ojitus- kerros. Ojituskerros on tietyn kokoista mursketta, mutta kuitenkin sen kokoista, että pys- tysalaojituskalustolla päästään kerroksesta läpi. Joissakin tapauksissa ojituskerroksen yläpintaan voidaan asentaa geolujite, joka lisää maan kantavuutta. [1.] Jos pystysalaoji- tus tehdään talvella, täytyy ennen esikuormituspenkereen rakentamista huolehtia, että ojituskerroksessa ei ole lunta tai jäätä. Lumi tai jää voi vaikuttaa pystysalaojien toimin- taan, siten etteivät ne toimi enää oikein. [1.]

Ojituskerrokseen nouseva vesi johdetaan purkuojia pitkin pystysalaojakentältä pois. Oji- tuskerroksen päälle tehdään esikuormituspenger, joka voidaan tehdä niin louheesta, murskeesta kuin koheesiomaistakin, kuten savesta. Jos painumat on arvioitu pieneksi, kannattaa esikuormituspenger rakentaa jakavan kerroksen materiaalista, jolloin sitä ei tarvitse siirtää pystysalaojitusalueelta pois painumisen hidastuttua riittävästi. Tällöin ma- teriaali jää osaksi tien rakennekerroksia. [1.]

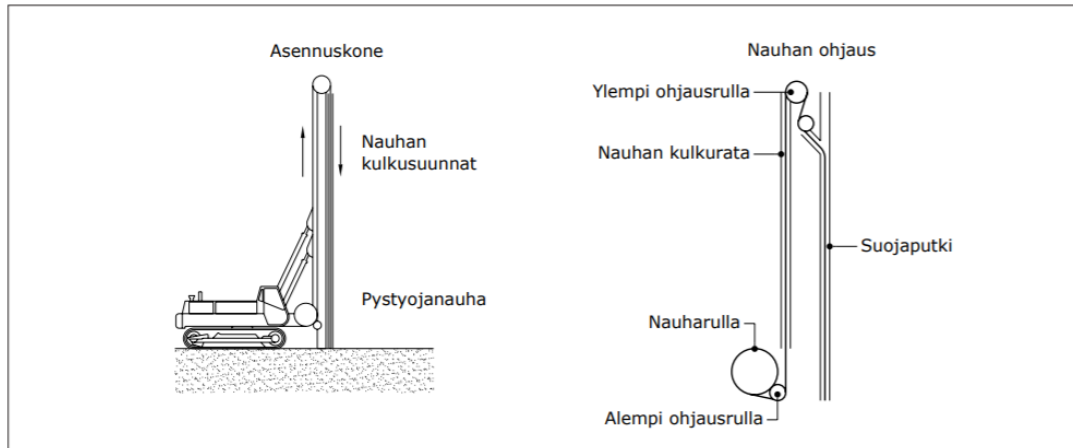
2.5.1 Kalusto ja tarvikkeet

Pystysalaojat ovat maahan painettavia nauhamaisia muoviliuskoja [3, s.198]. Nauha on letkumaista ja sen pintamateriaali on esimerkiksi kuitua (Kuva 8), joka toimii suodattimena, jotta maa-aines ei pääse pystysalaojan sisään ja tuki sen uria. Nauhan sisällä olevat urat johtavat konsolidoitunutta vettä pois savi- tai silttikerroksesta. [1.]



Kuva 8. Nauhapystyöjan rakenne. [1, s. 10]

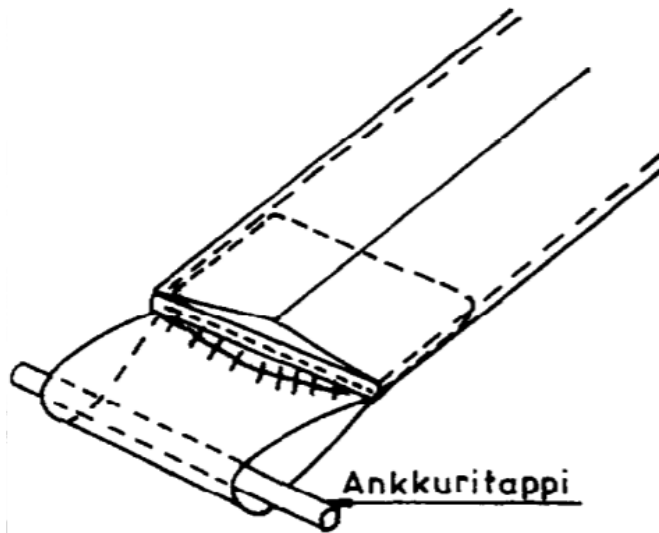
Pystysalaojituksessa käytetään siihen tarkoitettua muunneltua kaivinkonetta (kuva 9), jolla työnnetään pystysalaojanauhaa ojitettavaan maakerrokseen. Kaivinkoneeseen on asennettu korkea puomi ja ohjausrullia, mitä pitkin nauha kulkee puomissa olevaan suo-
japutkeen. [1.] Nauhan tullessa suo-
japutkesta ulos asennetaan sen päähän ankkurilevy (Kuva 10) tai ankkuritanko (Kuva 11). [8, s. 194.]



Kuva 9. Pystysalaojakoneen ja sen puomin rakenne. [2, s. 93]



Kuva 10. Pystysalaojanauhan ankkurilevy.



Kuva 11. Ankkuritangon asennus pystysalaojakoneen suojaputken päähän. [1, s. 17]

Pystysalaojia voidaan työntää maahan joko staattisesti eli vain työntämällä tai käyttämällä konetta, joka lyö tai täryttää samalla. Lyöminen ja täryttäminen helpottavat koneen suojaputken tunkeutumista maahan, mutta sitä ei suositella häiriintymiselle herkässä maaperässä. [8, s. 210.]

Ankkurointitankoa käytettäessä nauha pujotetaan tangon ympäri ja nidotaan kiinni. Ankkurointilevyä käytettäessä nauha työnnetään sen aukosta ja pujotetaan takaisin suojaputken sisään. Ankkurointitanko tai -levy asennetaan siten, että se tulee kiinni suojaputken päähän. Ankkuroimalla estetään maa-aineksen pääseminen suojaputkeen ja nauha saadaan työnnettyä haluttuun syvyyteen. [1.]

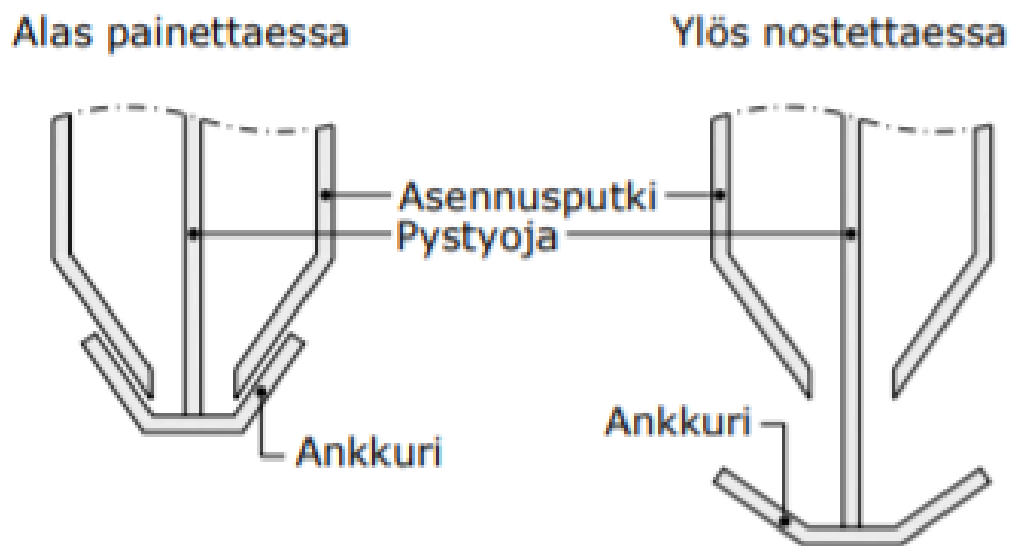
Pystysalaojanauha saadaan pystysalaojanauharullasta. Yhdessä rullassa on yleensä noin 300 metriä nauhaa. Pystysalaojien pituudet Suomessa ovat yleensä alle 20 metriä, sillä koneiden puomipituudet eivät mahdollista syvempiä pystysalaojia. [1.]

2.5.2 Asennustyöt

Ojituskerroksen alapintaan asennetaan suodatinkangas, jonka läpi pystysalaojat asennetaan maahan. Pystysalaojat työnnetään maan sisään käyttämällä pystysalaojakonetta. Suunnitteluvaiheessa on määritelty pystyojille haluttu syvyys. Syvyyttä ei

välttämättä aina saavuteta, joten pystysalaojien asentajien on tärkeää pitää pöytäkirjaa asennusvaiheesta. Pöytäkirjaan kirjataan pystyojien sijainti, ala- ja yläpäiden taso sekä asennusajankohta. Kirjattavat tiedot saadaan tekemällä työnaikaisia tarkemittauksia. [2.]

Pystysalaojitukseen käytettävän ankkurin täytyy olla sellainen, että pystysalaoja jää haluttuun syvyyteen ja pysyy siellä. Ankkuri asennetaan pystysalaojanauhan päähän siten, että koneen suoja-putken päästä jää näkyviin vain ankkurilevy tai -tanko (Kuva 12). [2.] Suoja-putki ja ankkuri tulee sovittaa siten, että maa-aines ei tunkeudu suoja-putken sisään. Maa-aineksen päästessä koneen suoja-putken sisään, voi se aiheuttaa pystysalaojan liian suuria vetovoimia nostettaessa puomia ylös. [8, s. 210.]



Kuva 12. Ankkurilevyn asennus ja toimintaperiaate. [2, s. 93]

Asennusvaiheessa on tärkeää, että pystysalaojakoneen puomia ei nosteta liian nopeasti ylös. Puomia pidetään hetki paikallaan, jotta ankkuri ehtii asettua ja ankkuroida pystysalaojan paikoilleen. [1.]

Kun pystysalaoja on ankkuroitu maahan ja suoja-putki nostetaan pois, katkaistaan nauha noin 20 senttimetriä ojituserroksen yläpuolelta. Tämän jälkeen voidaan asentaa seuraava pystysalaoja. Pystysalaojien etäisyys ei saa poiketa suunnitellusta yli 50 senttimetriä. [7.]

2.5.3 Laatuvaatimukset

Pystysalaojituksesta on annettu Suomessa laatuvaatimuksia, jotka on esitetty InfraRYL nimikkeessä 14120 – Liuskapystyöjitetut maarakenteet. [2.]

Pystysalaojituksessa käytettävän pystysalaojanauhan on oltava tasalaatuista ja se ei saa rikkoutua asennuksen aikana. Jos nauha vaurioituu, on vaarana, että sen sisään pääsee maa-ainesta, joka tukkii nauhan. Nauhan tukkeutumisen seurauksena nauha ei toimi oikein. Pystysalaojituksessa käytettävän ankkurilevyn on oltava sellainen, että nauha jää haluttuun syvyyteen. Pystysalaojanauhat on varastoitava auringon paisteelta ja kosteudelta suojattuina. [2.]

Pystysalaojakentän asennusalusta täytyy raivata kaikesta ylimääräisestä, kuten puista, kannoista ja isoista kivistä. Myös humuspitoinen pintamaa täytyy poistaa suunniteltuun syvyyteen asti. Maanpinnalla olevat ylimääräiset esteet ja ojitusta haittaavat rakenteet voivat aiheuttaa muun muassa työalustan alle asennettavan suodatinkankaan rikkoutumisen. [2.]

Pystysalaojakentän edessä saattaa joissakin paikoissa olla myös maakaapeleita, ilma-johtoja ja vesi- tai viemäriputkia. Ne täytyy kartoittaa ennen ojituksen aloittamista ja tarvittaessa siirtää tai poistaa kokonaan. [2.]

Pystysalaojitus vaatii vettä läpäisevän kerroksen oijen yläpään tasoon. Kerros tehdään hyvin vettäläpäisevästä materiaalista, esimerkiksi kalliomurskeesta. Murskeen raekoolle ei ole esitetty vaatimuksia. Ojituskerroksen täytyy olla vähintään 0,5 metriä paksu. Ojituskerrosta ei tiivistetä ja sen tulee olla sellaista paksuudeltaan sellainen, että se on läpäistävässä pystysalaojakoneella. Ojituskerros ei saa jäätymä ja pystysalaojat tehdään siten, että penger voidaan rakentaa kentän päälle ennen maan jäätymistä. [2.]

Leikatun tason yläpintaan mihin vettä läpäisevä kerros tehdään, laitetaan suodatinkangas. Pystysalaojat työnnetään murskekerroksen ja sen alla olevan suodatinkankaan läpi. Nauhan pään on tultava näkyviin murskekerroksen yläpuolelle. Pystysalaojituskentälle tehdään avo-ojat suunnitelmien mukaan, jotta alemmissa maakerroksissa oleva vesi voidaan ohjata pois pystysalaojitettavalta alueelta. [2.]

Pystysalaojanauhojen asennuksen aikana tulee seurata, että nauhan sydäntä ympäröivä suodatin pysyy ehjänä. Pystysalaojan tulee myös pysyä paikallaan, kun puomi nostetaan pois maasta. Vaurioitunut nauha täytyy korvata uudella. Pystysalaojien jatkaminen olisi mahdollista, mutta InfraRYLissä esitettyjen laatuvaatimusten mukaan kiellettyä. [2.]

Valmis pystysalaoja ei saa poiketa suunnitelmista korkeussuunnassa yli 0,5 metriä. Pystysalaojien keskinäinen etäisyys ei saa poiketa suunnitellusta yli 0,1 metriä ja nauhojen kaltevuus ei saa poiketa yli 20 millimetriä metrin matkalla. Jos poikkeama on enemmän kuin laatuvaatimukset määrittelevät, täytyy ottaa yhteyttä suunnittelijaan. [2.]

Ojituksesta on pidettävä pöytäkirjaa ja niistä otetaan työn aikana tarkemittauksia. Pöytäkirjassa ilmoitetaan sijainti, ala- ja yläpäiden korkotaso ja ojitusajankohta. [2.]

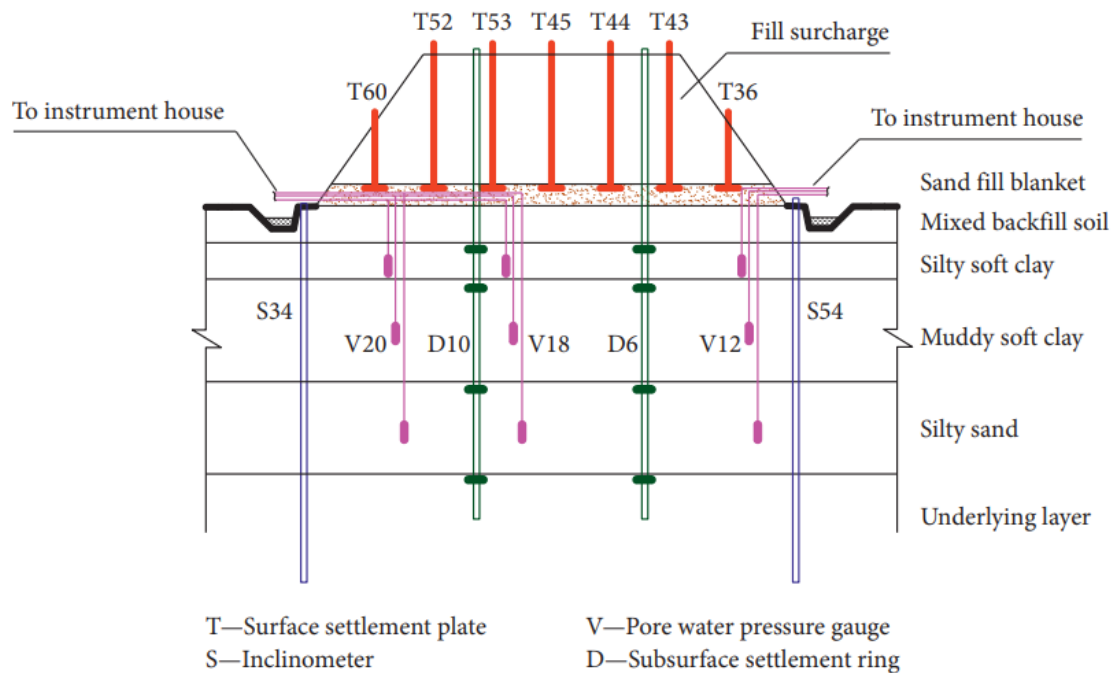
2.5.4 Pystysalaojakentän instrumentointi

Pystysalaojakentän instrumentoinnilla tarkoitetaan seurantalaitteiden asennusta pystysalaojakentälle. Pystysalaojakenttiä seurataan tarkasti painuma-ajan pituuden takia, sillä painumisen hidastuttua riittävästi pystysalaojakenttien päälle aletaan rakentaa muita rakennekerroksia, kuten tien kantavaa kerrosta ja päällystettä. Painumisen ei siis tarvitse olla täysin loppunut, vaan sen riittävä hidastuminen riittää penkereen purkuluvan saamiseksi ja ylempien rakennekerroksien rakentamisen aloittamiseksi. [1.]

Pystysalaojituksen vaikutusten seurantaan kuuluu oleellisimpana painumamittaukset ja yleensä myös huokosvedenpainemittaukset. Huokosvedenpainetta ei välttämättä aina seurata, mutta huonon stabiliteetin omaavilla maaperillä huokosvedenpaineita kannattaa seurata. Huokosvedenpaineen mittausta maakerroksesta paljastaa myös konsolidatiopainuman vaiheen mittaushetkellä. [12.]

Painumamittarit asennetaan yleensä esikuormituspenkereen alapintaan eri kohdille pystysalaojakenttää. Huokosvedenpainemittarit taas asennetaan pystysalaojitettuun maaperään eri korkeuksille, pystysalaojien keskelle. Kuvassa 13 on esitetty eräs instrumentoitu pystysalaojakenttä. T36-60 kuvassa esittää painumamittareita ja V12-20 esittävät eri korkeuksille asennettuja huokosvedenpainemittareita. Lisäksi pystysalaojakentälle

voidaan asentaa kaltevuusmittareita, kuvassa S34 ja S54, sekä pinnanalaisia painumarenkaita, kuvassa D6 ja D10. [16.]



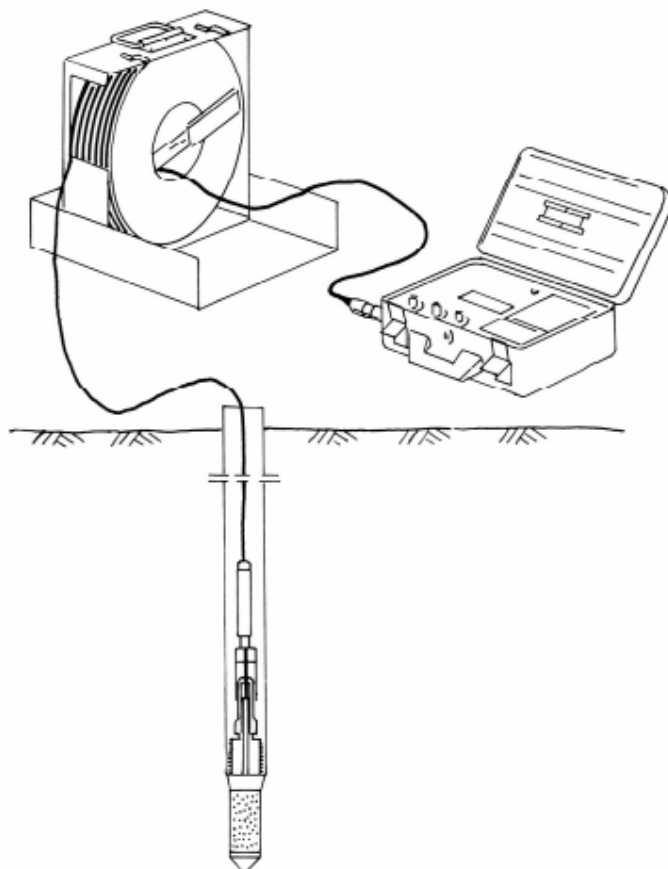
Kuva 13. Erään penkereen instrumentointi. [16.]

Mitattuja painumia- ja huokosvedenpainearvoja käytetään tarkistettaessa todellisia konsolidoitumisnopeuksia. Huokosvedenpaineen seurantalaitteet tulisi asentaa hyvissä ajoin ennen pystysalajien asentamista, sillä jo pystysalajien asennus saattaa vaikuttaa huokosvedenpaineisiin ja vakauteen maaperän mahdollisen häiriintymisen vuoksi. [8, s. 223] Lisäksi huokosvedenpaineiden pitää antaa tasaantua ennen esikuormitustöiden aloittamista. [13.]

Eri syvyyksille asennetut huokosvedenpainemittarit ovat paras tapa tarkistaa onko konsolidoitumisaste saavuttanut halutun tason. Mittarit tulisi asentaa pystysalajien välille, missä konsolidoitumisnopeus on pienin. [8, s. 223.]

Maapohjan kehittyvän huokosvedenpaineen suuruus maksimissaan tulee tietää jo ennen pystysalajitusta maarakenteiden vakavuuden määrittämiseksi, mutta paineita seurataan myös pystysalajituksen aikana. [4, s. 281.] Huokosvedenpaineen sähköisessä mittauslaitteessa (Kuva 14) huokosvedenpaine mitataan suoraan huokosjärjestä

anturilla. Anturi voi olla joko kiinteänä huokoskärjessä tai se voidaan laskea alas mittauksen ajaksi ja liittää huokoskärkeen. Anturista lähtee kaapeli, jonka toisessa päässä on laite, josta paineen muutokset voidaan lukea. [17, s. 16.]



Kuva 14. Huokosvedenpaineen mittauslaite. [17, s. 17]

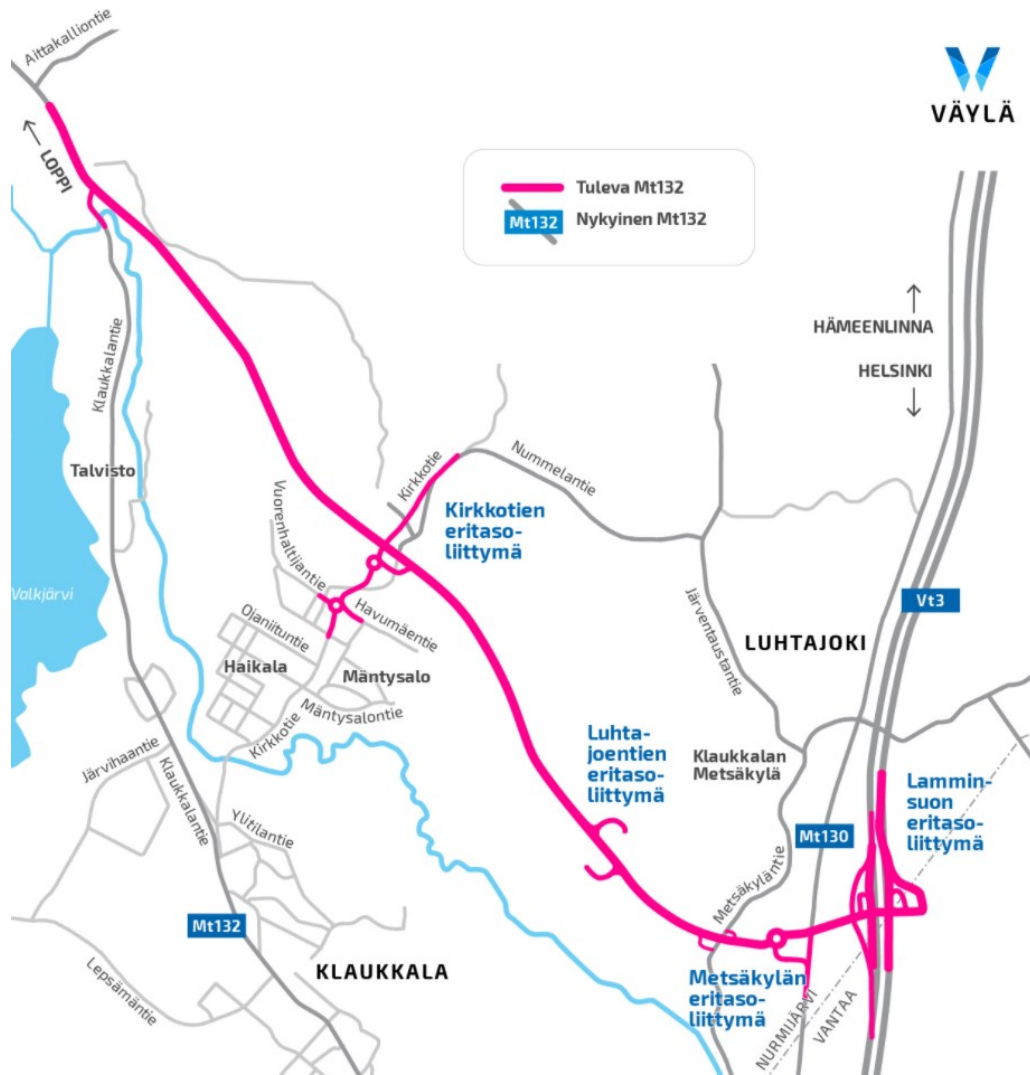
Pystysalaojakentän painumamittaukset kertovat kentän alueella tapahtuvat painumat ja niitä seuraamalla saadaan selvitettyä, milloin painuminen alkaa hidastua riittävästi tai päättyy kokonaan. Pystysalaojakentille annetaan yleensä vähintään vuoden painumaaika, mutta joissakin tapauksissa painumat tapahtuvat nopeammin. Painumaa saadaan mitattua esimerkiksi painumalevyillä, joita asennetaan pystysalaojakentän alueelle esikuormituksen alapintaan. Painumalevyissä on kiinni painumatankoja, joista saadaan mitattua korkeus, joka kertoo, kuinka paljon rakenne on painunut. [4.]

3 Klaukkalan ohikulkutien työmaa

Klaukkalan ohikulkutie (myöhemmin Klaukkalan kehätie) on marraskuussa 2020 Nurmijärven Klaukkalaan valmistunut maantie, jonka tarkoituksena oli vähentää Klaukkalan keskustan läpi ajavaa liikennettä ja mahdollistaa Klaukkalan ja sen lähialueiden maankäytön kehittäminen. Ennen Klaukkalan ohikulkutien valmistumista Klaukkalan keskustan läpi ajoi vuorokaudessa noin 18 000 ajoneuvoa, josta 10 prosenttia oli raskasta liikennettä, kuten kuroma-autoja. [5.]

Hanke on Väyläviraston ja Nurmijärven kunnan yhteishanke, jonka tiesuunnitelman mukainen kustannusarvio oli 44 miljoonaa euroa, josta Nurmijärven kunnan osuus oli noin 10 miljoonaa euroa. Pääurakoitsijana toimi Kreate Oy, jolle myös tämä insinöörityö on tehty. Hanke käsitti noin 8 kilometriä uutta maantietä, 4 eritasoliittymää ja 6 uutta siltaa. Lisäksi hankkeessa tehtiin paljon uusia yksityisteitä ja kunnostettiin vanhoja sekä toteutettiin Klaukkalassa sijaitsevan Kirkkotie -nimisen kadun uudet liikennejärjestelyt. [5.]

Klaukkalan ohikulkutie kulkee vanhalta Lopentieltä uutta linjaa pitkin Valtatielle 3 (Kuva 15). Työmaalla mittalinjan paalutus (0-paalu) alkoi Lopentieltä ja päättyi Valtatielle 3. Paalutuksella kuvataan etäisyyttä työmaan alkupäästä, esimerkiksi paalu 1100 on 1100 metriä työmaan alkupäästä.



Kuva 15. Klaukkalan ohikulkutie. [5.]

3.1 Pystysalaojitus Klaukkalan ohikulkutiellä

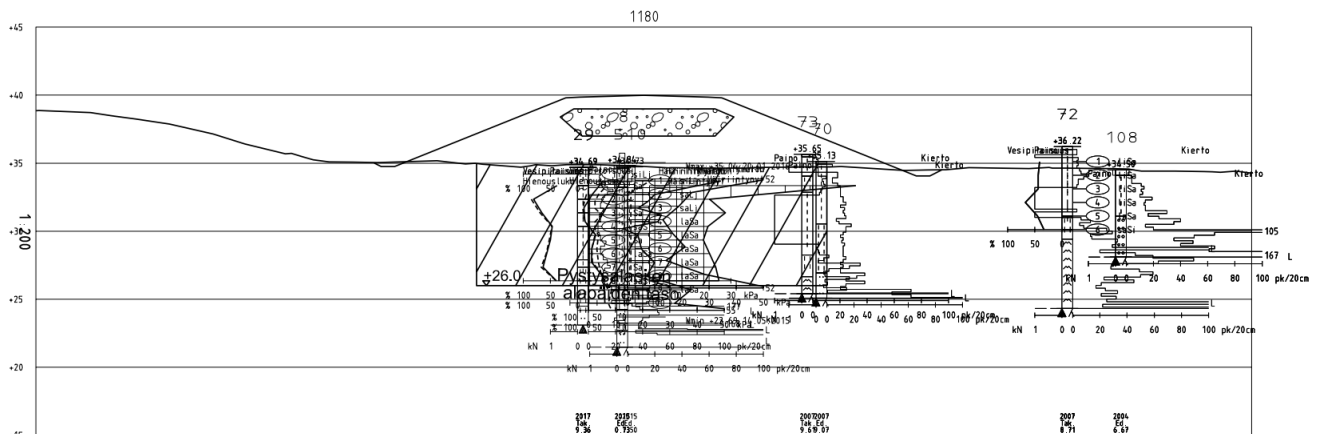
Hankkeessa tehtiin pystysalaojitusta neljällä alueella, jotka ovat esitetty alla olevassa taulukossa 2. Suunnitelmissa oli aluksi useampia pystysalaojitusalueita, mutta osasta luovuttiin hankkeen kehitysvaiheen aikana. Pystysalaojitukseen päädyttiin näillä neljällä alueella siksi, että savikon painumista haluttiin nopeuttaa, joka on mahdollista pystysalaojittamalla savikerros. Hankkeessa haluttiin, että painumat tapahtuisivat rakentamisen aikana, eikä käytön aikaisia painumia juuri enää tulisi.

Taulukko 2. Pystysalaojakenttien sijainti, kuormitustapa ja kuormituksen materiaali.

Pystysalaojakenttä	Paaluväli	Kuormitustapa	Kuormituksen materiaali
1	1160–1220	ylipenger	louhe
2	1540–1680	ylipenger	savi ja moreeni
3	1830–1940	ylipenger	savi ja moreeni
4	4140–4280	esikuormituspenger	louhe

Pystysalaojakentät tehtiin vuoden 2019 aikana ja niiden päälle rakennettiin asennuksen jälkeen esikuormituspenkereet. Penkereisiin asennettiin painuma- sekä huokosvedenpainemittareita. Kenttien annettiin painua noin vuosi ja välittömästi, kun penkereiden purkulupa saatiin, esikuormituspenkereet purettiin tarvittavilta osin ja niissä käytetyt maainekset hyödynnettiin muualla hankkeessa. Heti purkamisen jälkeen pystysalaojakenttien päälle alettiin rakentaa tien rakennekerroksia.

Klaukkalassa käytettiin osaksi myös ylipenkereitä eli rakennettiin pystysalaojakenttien päälle kuormaltaan suurempi penger kuin tuleva pysyvä kuorma oli. Kuvassa 16 on suunnitelmapoikkileikkaus Klaukkalan ohikulkutiellä ja siinä on käytetty kuormituksena ylipengertä. Poikkileikkaus on pystysalaojakentältä 1, paalulta 1180. Poikkileikkauksesta huomataan, että pengerkorkeus oli lähes viisi metriä, kun tien pengerkorkeus tässä kohdalla oli noin 3 metriä. Pystysalaojakentällä käytettiin siis kahden metrin ylipengertä. Poikkileikkauksessa ylipenkereessä on kevennys, mutta sitä ei todellisuudessa lopulta tehty suunnitelmamuutosten vuoksi.



Kuva 16. Ylipenger pystysalaojakentällä 1.

Pystysalaojitus aloitettiin hankkeessa maaliskuussa 2019. Pystysalaojituksen rakentamisen nopeus vaihteli pystysalaojakentän koon mukaan, mutta esikuormitus päästiin rakentamaan noin kuukausi työvaiheen aloittamisen jälkeen. Viimeiset esikuormitus- ja ylikuormituspenkereet purettiin tarvittavilta osin kesällä 2020.

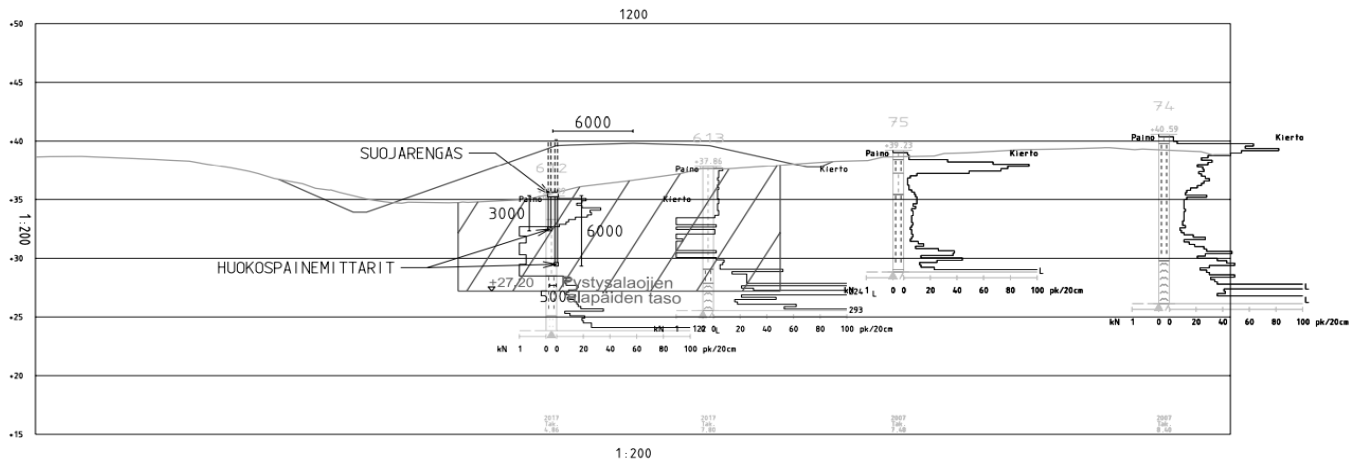
3.2 Suunnittelu

Klaukkalan ohikulkutien pystysalaojituksen suunnittelusta, mitoituksesta ja lähtötietojen hankinnasta vastasi Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy.

3.2.1 Lähtötiedot

Klaukkalan ohikulkutiellä lähtötietojen saamiseksi maastossa tehtiin siipi- ja painokairauksia, joiden perusteella saatiin selville maakerrosten rajat ja maalajit. Kohteista oli jo selvillä maa- ja kalliopinnan pintamalli. Stabiiliteetteja ja painumia laskettiin ennen pystyöjitystä. Lähtötietojen perusteella valittiin pystysalaojitettavat alueet ja lähtötietojen perusteella voitiin selvittää pystysalaojakenttien pohjasuhteet. Pystysalaojakentän 1 läpi kulki avoin laskuoja, minkä oletettiin olevan mitoittavin kohta pystysalaojan stabiiliteetin kannalta.

Pystysalaojakentällä 1 paalulla 1200 (Kuva 17) maakerrokset koostuivat noin kahden metrin kuivakuorikerroksesta, jonka alla oli noin kahdeksan metriä savea ja siltistä savea. Saven alapuolella oli moreenikerros. Pystysalaojakentän kohdalta mitattu pohjaveden korko oli +35,23, pystysalaojien alapääät asennettiin noin +26,0 tasoon eli lähes 10 metriä pohjavedenpinnan alapuolelle.



Kuva 17. Pystysalaojien rakenteen 1 poikkileikkaus.

Kairausten yhteydessä otettiin häiriintymättömiä maanäytteitä, jotka toimitettiin laboratorioon. Näytteille tehtiin laboratoriossa ödömetrikokeita painumaparametrien määrittämiseksi ja luokituskokeina kartiokokeita sekä määritettiin näytteiden vesipitoisuus. Liitteessä 1 on esitetty yksi Klaukkalan ohikulkutien ödömetrikokeiden tuloksista. Samasta kohtaa otettiin kaksi näytettä, joille molemmille tehtiin ödömetrikoe. Näytteet otettiin eri syvyyksiltä: 3.18 metristä ja 4.11 metristä. Ödömetrikoe on yksi keskeisistä kokeista mitoituksen kannalta. Ödömetrikokeiden yhteydessä tehtyjen luokituskokeiden perusteella huomattiin, että näytteiden vesipitoisuudet olivat korkeita. Saven vesipitoisuudet vaihtelivat kuivakuoren alapuolisissa kerroksissa jopa 50 ja 110 prosentin välillä.

Taulukossa 3 on esitetty Klaukkalan ohikulkutiellä käytettyjä parametreja paalulla 1900. Parametrit saatiin ödömetrikokeista. Lisäksi liitteessä 2 on esitetty paalun 1900 painumalaskennan tuloksia. Painumalaskenta on toteutettu MSmura-työkalulla sekä vesipitoisuusmenetelmällä, että tangenttimoduulimenetelmällä. MSmura -laskennan tuloksena paalulle 1900 saatiin kokonaispainumaksi noin 550 mm.

Taulukko 3. Pystysalaojituksen mitoitukseen käytettyjä parametreja.

Laskentakerros		1	2	3	4
vesipitoisuus	w (%)	10	90	93	93

tilavuuspaino	γ (kN/m ³)	23,1	14,9	14,8	14,8
moduuliluku (NK)	m1	175,2	8,1	7,7	7,7
jännitysekspONENTIT (NK)	β_1	0,6	-0,3	-0,3	-0,3
moduuliluku (NK)	m2	1	1	1	1
jännitysekspONENTIT (NK)	β_2	1	1	1	1

Liitteessä 3 on esitetty Klaukkalan ohikulkutien maanäytteestä tehty kartiokoe. Kartiokoea varten otettiin samasta kohtaa kolme eri näytettä, kukin eri syvyydeltä. Jokainen näyte tutkittiin häiriintymättömänä ja häiriintyneenä. Kokeiden tuloksista voidaan tulkita, että savinäytteiden leikkauslujuus oli suurempi, kun näyte oli häiriintymätön.

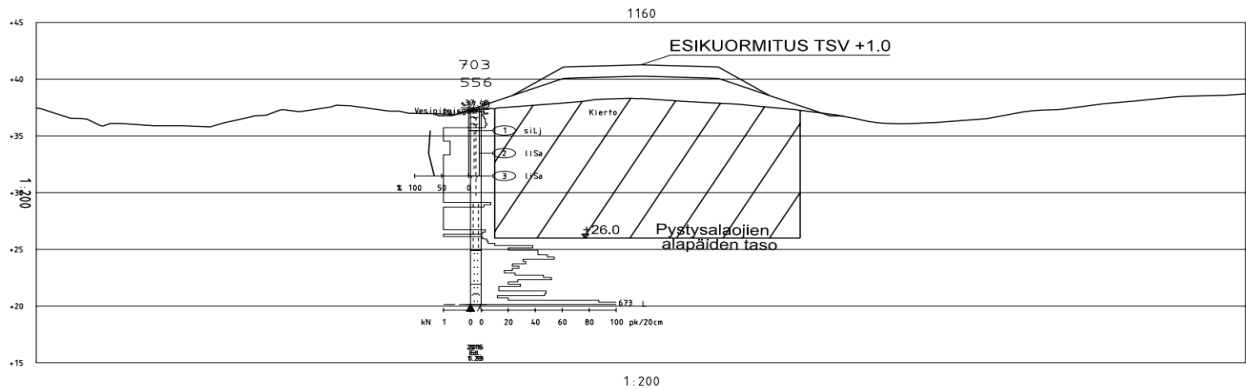
3.2.2 Pystysalajoituksen mitoitus

Konsolidaatiopainuma Klaukkalan ohikulkutiellä määriteltiin pystysalajojakkentän 1 kohdalla sieltä otetun ödömetrinäytteen parametrien perusteella. Pystysalajojen k/k-väli mitoitettiin vuoden rakennusajan ja primaarisen konsolidaation tavoitteen $U = 95\%$ mukaan ja sen lisäksi tarkastettiin sekundaaripainuman suuruus rakennusajan päättymisen jälkeen tulevien painumavaatimusten takia. Pystysalajoittamalla painumaan päästiin mitoituksen mukaan 200 vuorokaudessa 110 cm pystysalajojavälillä.

Laskennalliseksi sekundääripainumaksi saatiin vuosi yliperkeseen purkamisen jälkeen noin 2,8 mm, 5 vuoden jälkeen 7,2 mm, 10 vuoden jälkeen 9,6 mm ja 50 vuoden jälkeen 15,7 mm. Tilaajan vaatimuksen mukaan sekundääripainuma sai olla suurimmillaan 6 millimetriä vuodessa. Pystysalajoituksen kannalta sekundäärinen painumanopeus oli siis alle vaatimuksen, vaikka vaatimus olikin todella tiukka.

3.2.3 Kenttien rakennussuunnitelmat

Kuvassa 18 on esitetty esimerkkipoikkileikkaus pystysalaojacentältä 1. Poikkileikkauksessa on esitetty suunniteltu pystysalaojitus ja pystysalaojien alapäiden taso paalulla 1160. Lisäksi kuvasta voidaan tulkitä tien pengerkorkeus, joka on noin 2,5 metriä sekä sen päällä olevan esikuormituspenkereen korkeus, joka on noin metrin. Esikuormituspenker rakennettiin tällä kohdalla metri tasausviivan yläpuolelle.



Kuva 18. Poikkileikkaus pystysalaojacentältä 1.

Liitteessä 4 on pystysalaojacentän 2 rakennussuunnitelman kartta. Rakennussuunnitelmassa on esitetty pystysalaojitettavan alueen reunojen koordinaatit. Rakennussuunnitelmassa pystysalaojacenttä on jaettu paaluittain 20 metrin välein. Jokaisella 20 metrin paalulla on kerrottu pystysalaojien alapään suunniteltu taso syvyytenä, esimerkiksi +30,0 tai +29,5. Lisäksi rakennussuunnitelmasta nähdään, miten pystysalaojitusta tehtiin. Klaukkalan ohikulkutiellä pystysalaojitusta tehtiin kolmioverkossa, jonka k/k väli eli pystysalaojien keskipisteiden välien etäisyys oli 1,2 m. Suunnitelmassa on myös esitetty, millainen työalusta pystysalaojacentälle tehtiin. Ohjeistuksena rakennussuunnitelmassa oli, että pystysalaojia asennettaessa pystysalaojakoneen puomia tuli pitää hetken paikallaan, kun saavutettiin pystysalaojan haluttu syvyys. Tämä takasi pystysalaojan ankuroitumisen maahan.

3.3 Toteutetut pystysalaojakentät

Pystysalaojitusta tehtiin neljällä alueella. Kaksi pystysalaojakenttää sijaitsi peltoalueella ja kaksi metsäalueella. Kolmelle pystysalaojitetuista alueista tehtiin kahden metrin yli-penger ja yhdelle alueelle esikuormituspenger. Kaksi kuormituksista tehtiin louheesta ja kaksi muista maamassoista, kuten savesta ja hiekasta.

Pystysalaojakenttien päältä poistettiin pintamaakerros ja sen mukana pystysalaojitusta mahdollisesti haittaavat kivet, kannot ja puiden juuret. Lisäksi tehtiin johtoselvityksiä eli selvitettiin, kulkiko pystysalaojitettavilla alueilla maakaapeleita, viemäriputkia tai vesijoh-toja.

Osa pystysalaojakentistä oli ennen työvaiheen aloittamista vaikeakulkuisissa paikoissa, joten pystysalaojakentille tehtiin kulkureitit, jotta niille pääsi pystysalaojakoneella, kaivinkoneella ja muilla kulkuneuvoilla.

Ennen pystysalaojituksen aloittamista pystysalaojakentille tehtiin ojituserros. Klaukkalan ohikulkutiellä ojituserros tehtiin 56 mm murskeesta eli murskeesta, jonka raekoko on enintään 56 millimetriä. Ojituserroksen alle asennettiin N3-luokan suodatinkangas. Lisäksi pystysalaojakentille kaivettiin purkuojat, jota kautta savikerroksesta noussut vesi ohjattiin pois (Kuva 19).



Kuva 19. Pystysalaojakentän ojituskerros ja purkuoja.

Pystysalaojituksen nopeuttamiseksi rakennettiin puusta kolmion muotoinen apuväline, jolla pystysalaojituksen rakentajat saivat itse selville seuraavan pystysalaojan paikan. Näin säästettiin myös mittamiehen työaika, sillä hänen ei tarvinnut merkitä jokaisen pystysalaojan paikkaa maastoon erikseen. Apuväline rakennettiin siten, että pystysalaojitusta voitiin toteuttaa halutun kokoisessa kolmioverkossa ja että pystysalaojien k/k -väli pysyi suunnitelmien mukaisena. Klaukkalan ohikulkutiellä käytetyssä pystysalaojakoneessa ei ollut laitteita, joilla koneohjaus olisi onnistunut. Uudemmissa koneissa on laite, johon saa syötettyä pystysalaojituksen suunnitelmamallin suoraan. Mallista näkee, mihin kohtaan pystysalaojat tulee asentaa, jolloin ne saadaan asennettua tarkasti haluttuun kohtaan.

Pystysalaojakentän 4 poikki kulki vesijohto (Kuva 20). Vesijohdolle oli määritelty suojaetäisyys ja sen välittömässä läheisyydessä ei pystysalaojitusta voitu tehdä. Tälle pystysalaojakentälle tehtiin pystysalaojituksen jälkeen esikuormitus louheesta. Kun painuminen oli kentällä loppunut tai merkittävästi hidastunut vesijohto siirrettiin uuteen sijaintiin.



Kuva 20. Vesijohto pystysalaojakentällä.

Pystysalaojitusta ei voitu aina tehdä halutulla tahdilla. Pystysalaojakoneessa ei ollut ilmastointia mikä oli ongelmallista varsinkin kesän helteisinä päivinä. Pystysalaojitusta tehnyt työryhmä ei myöskään voinut henkilökohtaisista syistä tehdä sen pituisia työpäiviä kuin olisi toivottu, joka jo itsessään hidasti pystysalaojituksen toteuttamista.

3.3.1 Työmaalla käytetty kalusto ja tarvikkeet

Klaukkalassa pystysalaojitusta tehtiin Kreaten osittain omistaman KFS Finlandin kalustolla. Työmaalla käytettiin KFS:n pystysalaojakonetta (Kuva 21). Lisäksi pystysalaojakentillä, joita tehtiin 2019 alkuvuodesta, jouduttiin avuksi ottamaan tela-alustainen kairavinkone. Maa oli alkuvuodesta vielä jäässä ja pystysalaojakoneen puomi ei päässyt tunkeutumaan pintamaan läpi. Pystysalaojakoneen puomia ei myöskään haluttu työntää väkisin maahan, koska kone oli vanha ja tiukan aikataulun takia ei haluttu ottaa riskiä, että pystysalaojakone hajoaisi. Koneen puomia jouduttiin korjaamaan pystysalaojituksen aikana useampaan kertaan, mutta tämä ei lopulta hidastanut pystysalaojitusta merkittävästi.



Kuva 21. Klaukkalan ohikulkutiellä käytetty pystysalaojakone.

Liitteessä 5 on esitetty Klaukkalassa käytetyn MebraDrain MD7007⁺ -pystysalaojanauhan tuoteselostus. Tuoteselostuksessa kerrotaan muun muassa pystysalaojanauhan ominaisuuksista. Pystysalaojanauhan vetolujuus on 2,4 kN, vedenläpäisevyys 25 mm/s ja veden virtauskapasiteetti 0,0016 m²/s. MebraDrain -pystysalaojanauhan (Kuva 22) halkaisija on noin 100 mm ja sen rakenne koostuu ulommasta kankaasta, joka toimii suodattimena sekä sen sisällä olevasta muoviosasta, jonka uria pitkin vesi nousee savi-kerroksesta pois. Pystysalaojanauhan tuoteselostuksen mukaan pystysalaojat tulee

peittää kahden viikon sisällä asentamisesta. Pystysalaojanauhan käyttöikä on viisi vuotta. Pystysalaojanauhat ankkuroitiin maahan aiemmin esitetyillä ankkurilevyillä.



Kuva 22. MebraDrain-pystysalaojanauhan rakenne.

3.3.2 Pystysalaojien toteutuneet syvyydet

Klaukkalan ohikulkutien työmaalla joillakin alueilla pystysalaojien suunnitellut syvyydet poikkesivat hieman pystysalaojien toteutuneista syvyyksistä. Tarkkaa syytä sille, miksi joillakin kohdilla ei päästy suunniteltuun syvyyteen, ei tiedetä, mutta oletetaan, että syynä oli vastaan tullut kova savikerros, johon pystysalaojakoneen puomi ei enää pystynyt tunkeutumaan. Liitteessä 6 on esitetty pystysalaojakentän 2 toteutuneita syvyyksiä. Suunnitelmissa esitetyt tavoitesyvyydet olivat 9,5 metristä 11 metriin. Liitteestä nähdään tavoitellut syvyydet 20 metrin paaluväleihin. Ensimmäisellä paaluvälillä tavoitesyvyys oli 9,5 metriä, mutta saavutettu syvyys pystysalaojille oli 5–9 metriä. Voidaan siis todeta, että

tällä välillä tavoitellusta syvyydestä jäätin korkeimmillaan jopa 4,5 metriä. Joissakin tapauksissa tavoitellusta syvyydestä mentiin myös syvemmälle, mikäli savikerros sen salli.

Pystysalaojakentillä enimmillään tavoitelluista syvyyksistä poikettiin ylöspäin jopa 7 metriä eli pystysalaojat olivat lyhyempiä kuin oli suunniteltu. Alaspäin poikettiin enimmillään noin 2 metriä eli pystysalaojat asennettiin syvemmälle kuin oli suunniteltu. Suunnitellut syvyydet olivat siinä mielessä suuntaa antavia, että savikerroksesta ei täysin tiedetty, missä savi oli löysempää ja missä kovempaa. Tämän takia pystysalaojakentillä oli kohtia, missä pystysalaojat eivät saavuttaneet suunniteltua syvyyttä tai menivät tavoitellusta syvyydestä jopa syvemmälle.

3.3.3 Esikuormitus- ja ylikuormituspenkereet

Esikuormituspenkereet tehtiin Klaukkalan ohikulkutiellä osin louheesta ja osin maamassoista, kuten savesta ja moreenista. Pystysalaojakentillä 2 ja 3 käytettiin penkereessä koheesiomaamassoja, kuten savea. Työmaalla ei saatu louhittua riittävästi kiviainesta pystysalaojituksen aikana, jotta jokaisen pystysalaojakentän esikuormituspenker olisi voitu tehdä tien rakennekerrokseen tulevista materiaaleista. Esikuormituspenkereitä hyödynnettiin maamassojen väliaikaiseen säilyttämiseen ja maamassoja käytettiin työmaalla myöhemmin muun muassa maaston muotoiluun ja meluvallien tekemiseen. Esikuormitukset täytyi rakentaa nopeasti pystysalaojituksen jälkeen, jolloin leikattuja maamassoja oli helpommin ja nopeammin saatavilla. Lisäksi ajomatkat louheen kuljettamiseksi pystysalaojakenttien päälle olivat joissakin tapauksissa niin pitkiä, että ne olisivat aiheuttaneet lisäkustannuksia ja pitkiin ajomatkoihin olisi kulunut liikaa aikaa. Pystysalaojakenttien 2 ja 3 esikuormituspenkereet jouduttiin esikuormitusajan jälkeen purkamaan ja rakentamaan tien rakennekerrokset uudelleen tienrakennekerrokseen tulevista materiaaleista, kuten louheesta ja murskeesta.

Pystysalaojakentällä 4 käytettiin pystysalaojituksen päällä esikuormitusta, joka tehtiin louheesta (Kuva 23). Esikuormituspenkereen annettiin jäädä paikoilleen esikuormitusajan jälkeen osaksi tien rakennekerroksia: louheesta tuli osa tien jakavaa kerrosta. Penkerkorkeus pystysalaojakentällä oli noin kolme metriä.



Kuva 23. Esikuormituspenger louheesta pystysalaojakentällä 4. Kuvassa näkyy myös maahan asennettujen pystysalaojanauhojen päät.

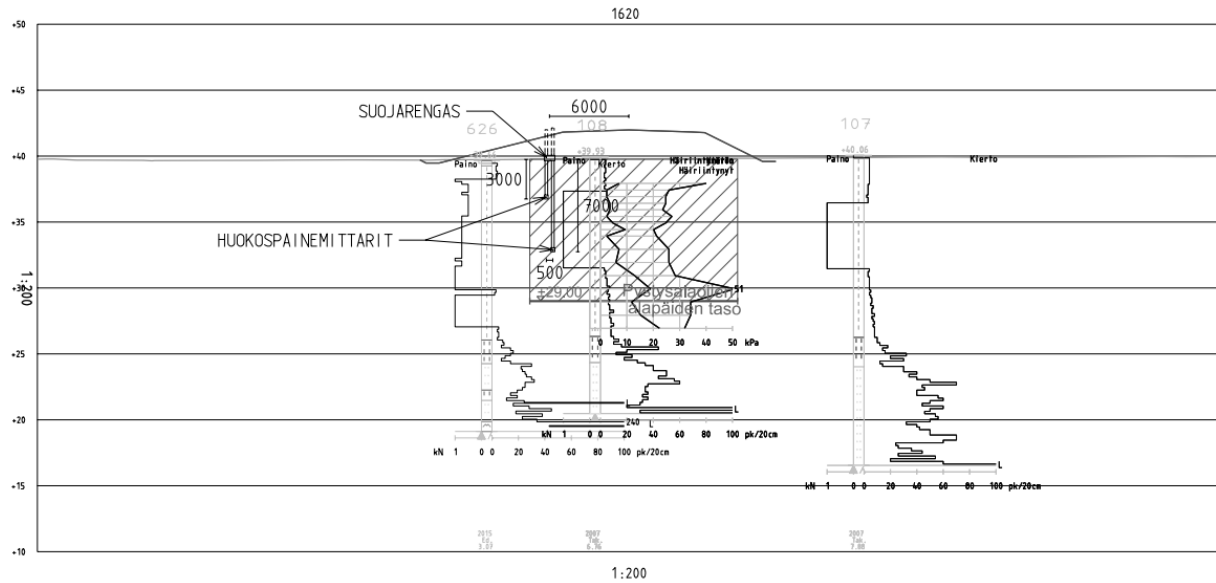
Klaukkalan ohikulkutiellä käytettiin myös ylipengertä (Kuva 24). Ylipenger painoi alapuolista maakerrosta isommalla kuormalla kuin mitä liikenteen kuorma tuli olemaan. Ylipenkereen avulla päästiin myös hieman nopeammin sellaiseen painuman hidastumiseen, että kuormituksen purkulupa saatiin aiemmin. Kahden metrin ylipengertä käytettiin pystysalaojakentillä 1, 2 ja 3. Pystysalaojakentän 1 ylikuormitus tehtiin louheella ja pystysalaojakenttien 2 ja 3 muilla maamassoilla, kuten savella.



Kuva 24. Savesta tehty kahden metrin korkuinen ylijpenger.

3.4 Huokosvedenpainemittaukset pystysalaojakentillä

Huokosvedenpainemittauksilla selvitettiin huokosvedenpaineen muutoksia esikuormituksen aikana ja niitä seurattiin suunnitelmissa esitetyillä syvyyksillä. Työmaalle tehtiin huokospaineiden tarkkailuohjelma pystysalaojakenttien kohdalle. Kuvassa 25 on poikkileikkaus tarkkailuohjelmasta mistä nähdään huokosvedenpainemittareiden sijainti pystysalaojakentän 2 kohdalla.



Kuva 25. Huokosvedenpainemittareiden sijainti pystysalaojakentällä 2, paalulla 1620.

Huokosvedenpainetta seurattiin Klaukkalan ohikulkutiellä BAT-kärjillä (Kuva 26). Mittarit asennettiin noin viikko ennen pengerrystöiden aloittamista ja huokosvedenpainemittaukset tehtiin pengerrystöiden aikana viikoittain. Huokosvedenpainemittauksia tehtiin kahden viikon välein.



Kuva 26. Klaukkalan ohikulkutiellä käytetty huokospainemittari: BAT-kärki.

Mittarit suojattiin teräksisillä putkilla (Kuva 27) tai betonisilla renkailla. Kärjet asennettiin pareittain puolen metrin etäisyydelle toisistaan ja tuhoutuneet mittauspisteet korvattiin uusilla. BAT-kärkiä asennettiin yhteensä kahdeksan, kaksi yhtä pystysalaojakkentää kohden ja ne asennettiin pystysalaojien muodostaman kolmion keskelle, missä konsolidationopeus oli hitain. Pystysalaojakkenttien huokosvedenpainemittarit asennettiin eri

syvyyksille. Liitteessä 7 on esitetty esimerkkipoikkileikkaus pystysalaojakentältä 2, josta nähdään mihin ja miten huokosvedenpainemittarit olivat asennettu. Huokosvedenpainemittareita ei sijoitettu pystysalaojien alapäiden tasolle, vaan siitä hieman ylemmäs. Lisäksi huokosvedenpainemittarit oli asennettu pystysalaojien keskelle ohjeistuksen mukaisesti.



Kuva 27. Huokosvedenpainemittarin suojaus teräspukella.

Huokosvedenpainemittareiden teräksinen putkiosa oli jatkettava ja sitä täytyi jatkaa niin pitkälle, että putki tuli esiin esikuormituspenkereen pinnalle. Huokospainetta mitattaessa BAT-kärki pudotettiin putken sisään. BAT-kärjen päähän asennettiin apteekista haettu kertakäyttöinen neula. BAT-kärjen perään asennettiin säiliö, joka täytettiin vedellä siten, ettei sinne jäänyt ilmakuplia. Putkessa oli sisällä kumi-istukka, josta neula meni läpi aiheuttaen tuntuvan alipaineen. Kumi-istukasta eteenpäin neula ei enää mennyt. BAT-kärjestä lähti johto mittauslaitteeseen, josta saatiin mittaustulos (Kuva 28). BAT-kärjen annettiin olla putkessa niin kauan, että lukema mittarissa tasaantui: tämä saattoi joskus kestää pitkäänkin.

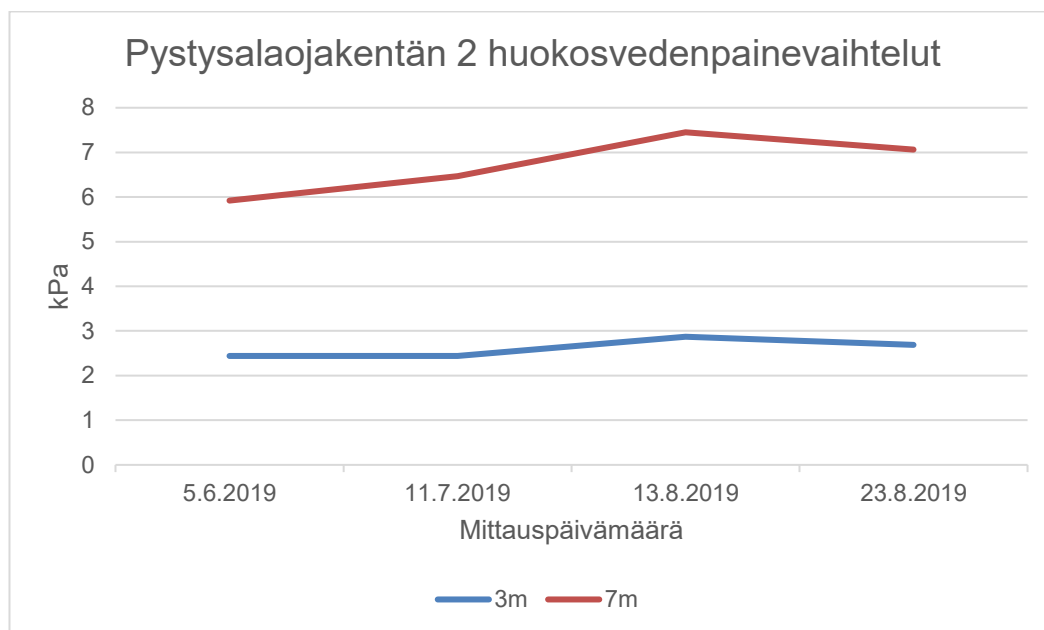


Kuva 28. Huokosvedenpaineen mittauslaite.

Liitteessä 8 on esitetty pystysalaojakenttien mitattuja huokosvedenpaineita. Pöytäkirjasta nähdään huokosvedenpainemittareiden sijainti ja syvyys. Huokosvedenpaineen tulos on esitetty kärjen ollessa yhdessä metrissä ja kalvon alapinnassa. Huokosvedenpaine on ollut metrissä käytännössä nolla, mutta kalvon alapinnassa se vaihtelee suuresti. Voidaan todeta, että huokosvedenpaine on jopa yli kaksinkertainen syvemmällä olevassa huokosvedenpaineputkessa. Pystysalaojakentän 4 kohdalla paine oli matalampi syvemmällä olevassa putkessa, joka saattoi johtua esimerkiksi siitä, että pystysalaojakentällä 4 käytettiin esikuormitusta ylikuormituksen sijaan.

Huokosvedenpaine ei vaihdelleet rajusti mittausajankohtien välillä, mutta joitakin muutoksia havaittiin. Esimerkiksi pystysalaojakentällä 1 ensimmäisen mittauksen aikana huokosvedenpaine on ollut kolmen metrin syvyydessä 2 kPa ja seitsemän metrin syvyydessä 6,21 kPa. Kuukauden päästä tehdyissä mittauksissa huokosvedenpaineet olivat 2,36 kPa ja 6,57 kPa. Paine siis hieman kasvoi kuukauden aikana.

Kuvassa 29 on esitetty pystysalaojakentän 2 huokosvedenpaineen muutokset ajan kuluessa 3 metrin ja 7 metrin syvyydellä. Kuvasta huomataan, että aluksi huokosvedenpaineet ovat hieman nousseet, mutta lähteneet myöhemmin odotetusti laskuun.



Kuva 29. Huokosvedenpaineen muutokset pystysalaojakentällä 2.

3.5 Painumien seuranta pystysalaojakentillä

Huokosvedenpainemittausten lisäksi pystysalaojakentillä seurattiin myös esikuormituspenkereiden painumaa. Klaukkalan ohikulkutien työmaalla pystysalaojakenttien painumia seurattiin painumalevyjen avulla. Painumalevyistä lähti tankoja, joiden päästä mittamiehet mittasivat esikuormituspenkereen painumia kahden viikon välein. Painumatangot olivat pieniä teräksisiä tankoja, jotka oli suojattu teräksisillä putkilla. Tankojen yläpäät

jäivät näkyviin esikuormituspenkereiden yläpuolelle. Painumatangot suojattiin vielä teräsputken lisäksi muovisilla suojaputkilla (Kuva 30).



Kuva 30. Painumatanko suojaputkessa.

Joistakin painumatangoista oli vaikea mitata painumaa tai sitä ei saatu mitattua ollenkaan. Tangot olivat herkkiä vääntymään tai menemään vinoon esimerkiksi valssijyrän ajaessa liian läheltä tankoa. Myös tiepenger aiheutti niin suuria jännitteitä ja voimia painumatankoihin, että ne saattoivat rikkoutua tai mennä vinoon (Kuva 31). Vinoon menneet tangot suoristettiin ja rikkoutuneet korvattiin uusilla.



Kuva 31. Vinoon mennyt painumatanko.

3.5.1 Laskennalliset painumat

Ennen pohjanvahvistustöiden aloittamista tehtiin arvio kuormitettavien alueiden painumista. Koska pystysalaojakenttien päälle rakennettiin esikuormituspenger tai ylipenger, arvioitiin laskennassa myös niille painuma. Laskennalliset painumat vaihtelivat alueittain. Taulukossa 4 on esitetty pystysalaojakenttien laskennalliset kokonaispainumat.

Taulukko 4. Pystysalaojakenttien laskennalliset kokonaispainumat.

Pystysalaojakenttä	Laskennallinen kokonaispainuma	Pengerkuorma
1	500 mm	4 m penger (2 m ylipengertä)
2	400 mm	4 m penger (2 m ylipengertä)
3	400 mm	4 m penger (2 m ylipengertä)
4	450 mm	2 m esikuormituspenger

Liitteessä 9 on esitetty Klaukkalan ohikulkutien maapohjan laskennallisten painumien tuloksia pengerkuorman vaikutuksesta ennen töiden aloittamista. Painumat on esitetty 5 ja 50 vuoden ajalle molemmissa taulukoissa. Lisäksi taulukoissa on esitetty painumanopeus mm/a. Taulukoista voidaan havaita, että eri laskentamenetelmät antoivat erilaisen arvioidun painuman samasta kohdasta. Esimerkiksi pystysalaojakentältä 1 paalulta 1180 lasketut painumat ovat 5 vuoden ajalle Geocalc-menetelmällä 156 mm ja MSmura-menetelmällä 139 mm. 50 vuoden ajalle lasketut painumat ovat 430 mm ja 382 mm. Pitää kuitenkin huomioda, että laskennalliset painumat ovat suuntaa antavia ja todelliset painumat sekä painumanopeudet nähdään vasta rakennettaessa.

Pystysalaojakenttä 1 sijaitsi alueella, jonka painumavaatimusluokka oli V3. Vaatimusten mukaan kyseisellä alueella suurin sallittu painuma 5 vuotta käyttöönotosta on 480 mm ja 50 vuotta käyttöönotosta 600 mm. Laskennan mukaan kokonaispainumat siis eivät tule olemaan lähelläkään vaatimusten mukaista suurinta sallittua painumaa.

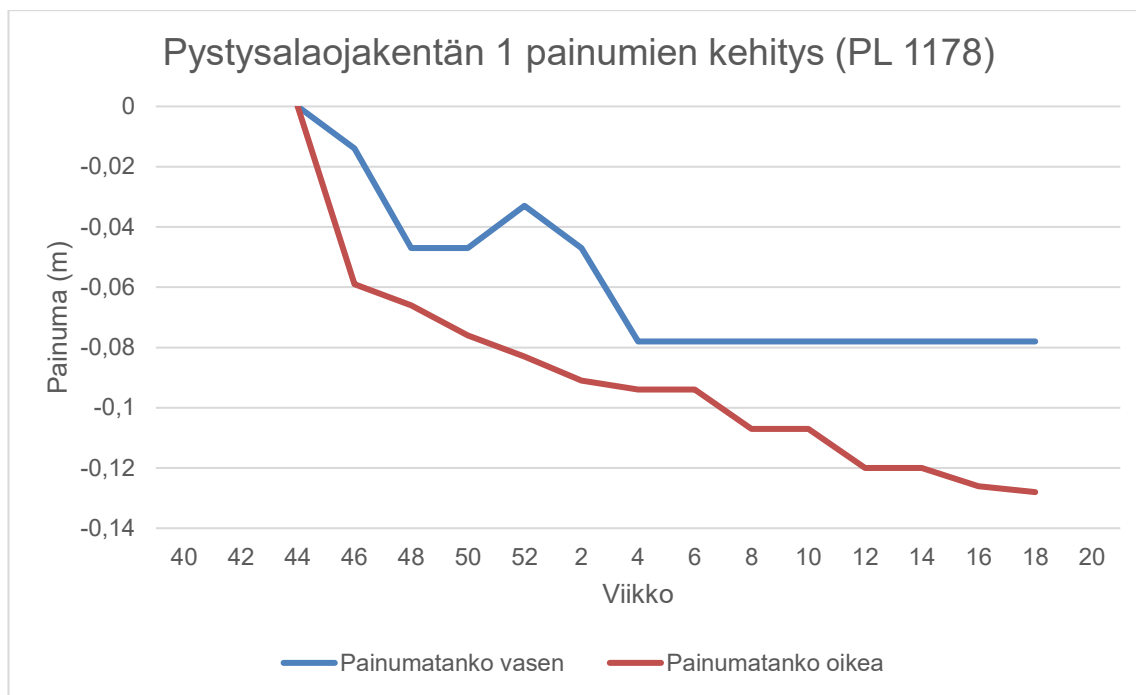
Pystysalaojakenttien laskennallinen kokonaispainuma Klaukkalan ohikulkutiellä vaihteli pystysalaojittettavan alueen mukaan. Pystysalaojakentällä 1 laskennallinen kokonaispainuma oli noin 500 mm. Vastaava luku pystysalaojakentillä 2 ja 3 oli noin 400 mm sekä

pystysalaojakentällä 4 noin 450 mm. Laskennallisiin painumiin ei pystysalaojakentillä kuitenkaan täysin päästy, koska osa savikerroksista oli niin ylikonsolidoituneita, että painumia ei juurikaan tapahtunut. Savikerros oli siis parempaa painumiskäyttäytymisen kannalta kuin osattiin odottaa.

3.5.2 Toteutuneet painumat

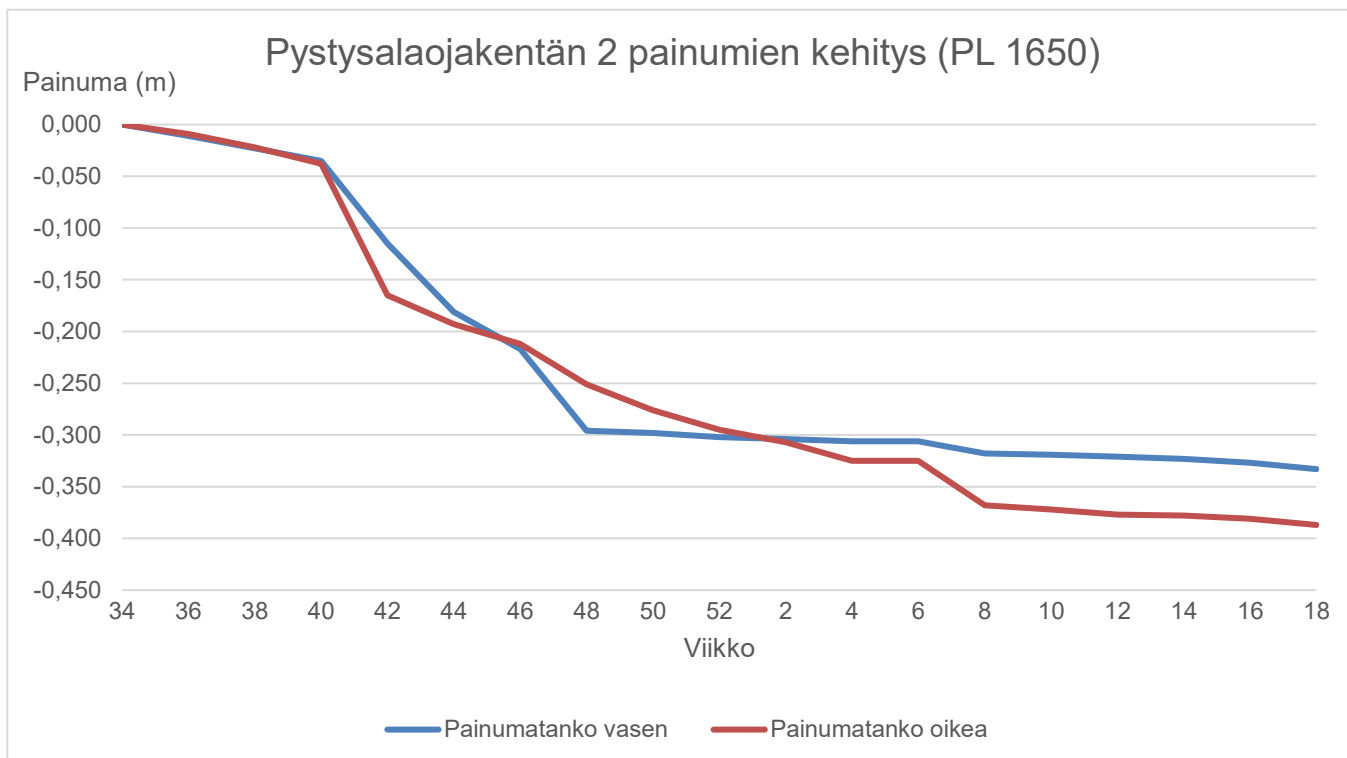
Klaukkalan ohikulkutiellä pystysalaojakenttien toteutuneet painumat erosivat joiltakin osin paljonkin laskennallisista painumista, enimmillään jopa 370 mm. Painumia mitattiin painumatangoista ja jokaisen kentän kohdalla painumatankoja oli asennettu esikuormituspenkereen oikeaan ja vasempaan laitaan. Kun painumat olivat hidastuneet riittävästi, ylipenger purettiin tarvittavilta osin ja tierakenteiden rakentamista jatkettiin pystysalaojakenttien kohdalla.

Kuvassa 32 on esitetty pystysalaojakentän 1 painumien kehitys metreissä kahden viikon välein. Kuvasta nähdään, että painumat ovat aluksi tapahtuneet hyvin nopeasti, mutta alkaneet sitten hidastua. Kuvasta voi myös havaita, että toisessa tangossa oli mahdollisesti jotain vikaa, sillä sen mukaan painuminen olisi loppunut jo 12 viikkoa seurannan aloittamisen jälkeen. Painuma oli viimeisten mittausten aikana, 28 viikkoa seurannan aloittamisen jälkeen, suurimmillaan vain noin 130 mm. Todettiin, että painuma on hidastunut niin merkittävästi, että pystysalaojakentän päälle tehty ylipenger voidaan purkaa. Pystysalaojakentän 1 osalta todellinen painuminen oli paljon vähäisempää, kuin mitä laskennallinen painuma oli. Eroa laskennallisen ja todellisen painuman välillä oli jopa 370 mm.



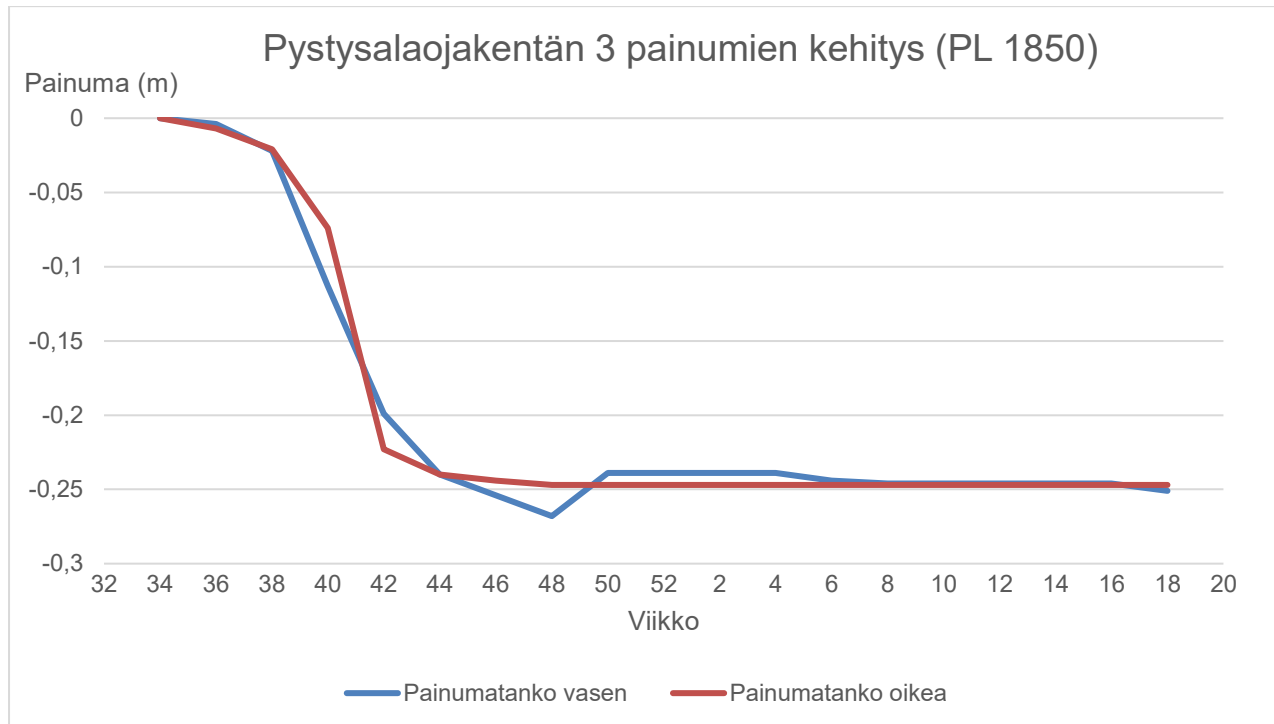
Kuva 32. Pystysalaojakentän 1 painumien kehitys.

Kuvassa 33 on esitetty pystysalaojakentän 2 painumien kehitys. Pystysalaojakentän kohdalla tien pengerkorkeus oli noin 2 metriä ja kentän päällä käytettiin 2 metrin yliperertä. Kuvasta havaitaan, että painuminen on aluksi tapahtunut nopeasti ja sitten hidastunut. Tällä pystysalaojakentällä painumia havaittiin pidempään kuin ensimmäisellä kentällä. Viimeiset havainnot ovat 41 viikkoa painumaseurannan aloittamisesta, jolloin painumat ovat olleet noin 395 mm. Painumat olivat pystysalaojakentän 2 osalta hyvinkin lähellä laskennallista kokonaispainumaa, sillä laskennallinen kokonaispainuma oli 400 mm. Seurannan lopussa todettiin, että painuminen on hidastunut merkittävästi ja yliperger voidaan purkaa. Taulukosta voidaan lisäksi havaita, että painuminen on ollut todella hidasta seurannan loppuvaiheessa viimeiset 14 viikkoa.



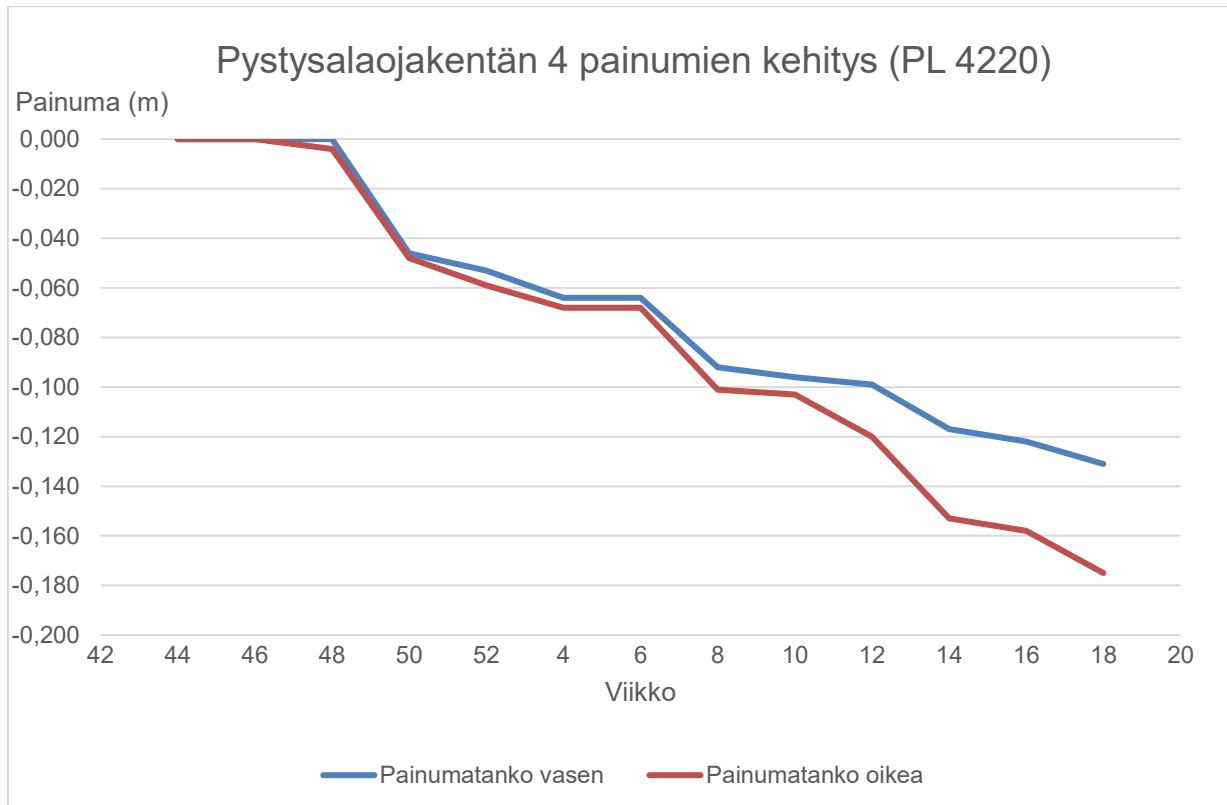
Kuva 33. Pystysalaojakentän 2 painumien kehitys.

Kuvassa 34 on esitetty pystysalaojakentän 3 painumien kehitystä. Pystysalaojakentän päällä käytettiin 2 metrin ylipengertä. Painumaa tapahtui aluksi todella paljon, sillä seurannan ensimmäisten 8 viikon aikana ylipenger on painunut jopa noin 230 mm. Viimeisten mittausten aikana, 30 viikkoa seurannan aloittamisesta, painumat olivat suurimmillaan 247 mm. Painumat eivät kasvaneet enää viimeisten 3 viikon aikana eli painuminen oli käytännössä pysähtynyt. Todettiin, että yliperkeren voi purkaa ja rakentamista jatkaa. Todelliset painumat pystysalaojakentällä 3 erosivat laskennallisista kokonaispainumista 153 mm, laskennallisten painumien ollessa 400 mm.



Kuva 34. Pystysalaojakentän 3 painumien kehitys.

Kuvassa 35 on esitetty pystysalaojakentän 4 painumien kehitys. Pystysalaojakentällä käytettiin esikuormitusta. Tällä pystysalaojakentällä painuminen on tapahtunut hieman tasaisemmin. Viimeisten mittausten aikana, 36 viikkoa seurannan aloittamisesta, painumia oli tapahtunut suurimmillaan noin 210 mm. Painumat eivät kasvaneet viimeisen 4 viikon aikana eli painuminen oli käytännössä pysähtynyt. Todettiin, että lisätoimenpiteitä ei tarvittu ja rakentamista päästiin jatkamaan. Esikuormitus tehtiin louheesta, joten kuormitusta ei tarvinnut erikseen purkaa ja rakentamista päästiin suoraan jatkamaan. Louhe jätettiin osaksi tien rakennekerroksia. Pystysalaojakentän 4 laskennallinen painuma oli 450 mm eli todellinen painuma oli noin puolet laskennallisesta.



Kuva 35. Pystysalaojakentän 4 painumien kehitys.

4 Yhteenveto

Insinööriö tehtiin yhteistyössä Kreate Oy:n kanssa ja se käsitteli pystysalaojitusta Klaukkalan ohikulkutien työmaalla. Valitsin pystysalaojituksen insinööriöni aiheeksi, koska se on hyvin vähän tutkittu aihe ja Klaukkalan ohikulkutien työmaalla siihen tutustuttuani kiinnostukseni pohjanvahvistusmenetelmää kohtaan heräsi.

Pystysalaojitus on 1900-luvun alussa keksitty pohjanvahvistustapa, jonka jälkeen se on kehittynyt nykymuotoonsa 1970- ja 1980-luvun vaihteessa. Ensiksi pystysalaojina käytettiin vain hiekkaojia, mutta nykyään pystysalaojina käytetään enemmän nauhapystyöjia. Nauhapystyöjan edeltäjänä voidaan pitää pahviojaa, joka kehitettiin Ruotsissa 1930-luvulla. Pystysalaojitus on vähän käytetty pohjanvahvistustapa, koska se vaatii pitkän, jopa vuosien painuma-ajan. Tänä päivänä rakennushankkeet ovat niin tiukasti

aikataulutettuja, että pystysalaojituksesta aiheutuvaa pitkää painuma-aikaa ei ole mahdollista toteuttaa.

Pystysalaojitus nopeuttaa savikerroksen konsolidaatiota. Savikerroksessa vesi kulkeutuu nopeammin vaakasuunnassa kuin pystysuunnassa. Pystysalaojien tehtävä on nopeuttaa veden virtausta pystysuunnassa ja poistaa ylimääräinen vesi savesta.

Pystysalaojituksen yhteydessä käytetään lähes aina esikuormitusta. Esikuormituksen tehtävä on nopeuttaa veden poistumista yhä enemmän, jolloin myös pystysalaojitettun rakenteen painuma-aika lyhenee. Esikuormitusta käytettäessä pystysalaojitetulle rakenteelle on määritelty painuma-aika. Kun painuminen on hidastunut tarpeeksi, voidaan pystysalaojituksen päälle tulevia rakenteita alkaa rakentaa.

Joskus esikuormituksena käytetään ylikuormitusta, joka on suurempi kuin rakenteeseen kohdistuva pysyvä kuorma. Ylikuormituksen purkamisen jälkeen painumista ei välttämättä tapahdu enää ollenkaan. Pystysalaojituksessa pyritään siihen, että suurin osa painumista tapahtuisi rakentamisen aikana.

Pystysalaojitetuille rakenteille on määritetty myös sekundääripainuma, joka tapahtuu yleensä silloin, kun esimerkiksi tie on jo otettu käyttöön. Sekundääripainumat ovat yleensä niin pieniä, etteivät ne vaikuta enää rakenteeseen huomattavasti. Liian suuria sekundääripainumia pyritään välttämään.

Pystysalaojituksen suunnittelua ja mitoitusta varten tarvitaan lähtötietoja. Lähtötiedot saadaan maastossa tehtävistä maaperätutkimuksista, kuten kairauksista ja laboratoriossa tutkittavista näytteistä. Kairauksilla saadaan selville muun muassa maakerrosten rajat ja materiaali. Laboratorionäytteitä ovat muun muassa ödömetrikoe ja kartiokoe. Ödömetrikoe kertoo näytteen painumiskäyttäytymisen ja kartiokoe kertoo näytteen lujuusominaisuudet. Laboratoriokokeista saatavia tuloksia, parametreja, käytetään pystysalaojituksen mitoitukseen. Mitoituksella selvitetään muun muassa rakenteen arvioitu painuma tietyllä aikavälillä. Mitoituksessa selvitetään myös pystysalaojien väli ja esikuormituksen koko.

Ennen pystysalaojitusta alueelta poistetaan muun muassa puut, kivet ja kannot sekä tehdään kaapeli- ja johtokartoitus. Pystysalaojakentältä poistetaan pintamaat, asennetaan suodatinkangas ja tehdään ojituskerros. Ojituskerros tehdään murskeesta ja sen tarkoituksena on ohjata pystysalaojia pitkin nouseva vesi pois alueelta.

Pystysalaojitusta tehdään kaivinkoneella, johon on asennettu pystysalaojitukseen soveltuvat laitteet. Ennen pystysalaojitusta on valittu myös kohteeseen sopiva pystysalaojanauha, joka työnnetään koneella suunniteltuun syvyyteen ja ankkuroidaan sinne ankkurilevyllä tai -tangolla. Pystysalaojitukselle on asetettu vaatimuksia muun muassa niiden väliselle etäisyydelle ja sille, kuinka paljon nauhan täytyy tulla esiin ojituskerroksen yläpuolelle.

Pystysalaojakentälle asennetaan instrumentteja seurannan vuoksi. Pystysalaojakentällä seurataan yleisimmin painumia ja huokosvedenpaineita. Painumia seurataan painumamittareiden avulla ja huokosvedenpaineita huokosvedenpainemittareilla. Painumia seurataan lähes aina ja huokosvedenpaineiden seurantakin on yleistä, mutta ei välttämättä. Seuranta on tärkeää, sillä esimerkiksi painumien riittävä hidastuminen kertoo, milloin esikuormituksen voi purkaa ja muita rakenteita voi alkaa rakentaa pystysalaojitettun rakenteen päälle.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli luoda kokonaisvaltainen raportti vähän tutkitusta aiheesta. Lisäksi tavoitteena oli tuoda pystysalaojitusta enemmän esille, jotta sitä käytettäisiin enemmän tulevaisuudessa. Insinööriyössä tarkasteltiin Klaukkalan ohikulkutien työmaan pystysalaojitussuunnitelmia ja toteumia. Lisäksi perehdyttiin hieman mitoitukseen sekä verrattiin laskettuja painumia ja muita suunnitelmia toteutuneeseen.

Klaukkalan ohikulkutien työmaalla tehtiin pystysalaojitusta neljällä alueella. Pystysalaojitusta tehtiin vuoden 2019 ja 2020 aikana. Lähtötiedot pystysalaojituksen mitoitukseen saatiin kairauksista ja laboratoriokokeista. Kolmelle pystysalaojakentälle valittiin kuormitukseksi ylikuormitus ja yhdellä käytettiin esikuormitusta. Esikuormitus ja yksi ylikuormitus tehtiin louheesta, kaksi muuta ylikuormitusta maamassoista, kuten savesta ja moreenista. Maamassoista tehdyt ylikuormitukset jouduttiin painumisen jälkeen purkamaan,

mutta maamassat käytettiin hyödyksi muualla työmaalla. Viimeiset kuormitukset päästiin purkamaan kesän 2020 aikana.

Pystysalaojakentillä seurattiin Klaukkalan ohikulkutiellä painumia ja huokosvedenpaineita. Huokosvedenpaineita alettiin seurata jo ennen pystysalaojituksen aloittamista. Painumamittarit asennettiin kuormituksen alapintaan ennen kuormituspenkereen rakentamista.

Insinööriyössä vertailtiin laskettuja painumia ja toteutuneita painumia sekä pystysalaojien suunniteltua syvyyttä toteutuneisiin syvyyksiin. Lisäksi insinööriyössä tutkittiin pystysalaojituksen rakentamista, sen vaiheita ja huokosvedenpaineita.

Tuloksista huomataan, että lasketut painumat olivat joissakin tapauksissa merkittävästi suurempia kuin toteutuneet painumat. Eroa toteutuneisiin painumiin saattoi olla jopa 400 mm. Toteutuneet painumat olivat osin pienempiä sen takia, että pystysalaojakentillä sijainneet savikerrokset olivat ylikonsolidoituneempia kuin osattiin odottaa, jolloin savikerrokset eivät painuneet niin paljon kuin odotettiin.

Pystysalaojakentän 1 painuma oli vain 130 mm, kun odotettu kokonaispainuma oli noin 500 mm. Pystysalaojakentän 3 painuma oli vain 153 mm, kun odotettu kokonaispainuma oli noin 400 mm ja pystysalaojakentän 4 painuma oli 210 mm, kun odotettu painuma oli 450 mm. Ainoastaan pystysalaojakentällä 2 päästiin lähelle odotettua kokonaispainumaa. Pystysalaojakentällä 2 laskettu kokonaispainuma oli noin 400 mm, kun viimeisten mittausten aikana painumaa oli tapahtunut 395 mm.

Painumien nopean hidastumisen ja osittain pysähtymisen takia tien rakennekerroksia päästiin rakentamaan ajoissa ja tie saatiin käyttöön aikataulussa.

Pystysalaojien syvyydet vaihtelivat pystysalaojakentittäin. Osa pystysalaojista jäivät suunnitellusta syvyydestä, sillä savikerros oli syvemmillä kovempaa. Pystysalaojakooneen puomi ei päässyt tunkeutumaan suunniteltuun syvyyteen asti. Jotkin pystysalaojat jäivät useamman metrin suunnitellusta, mutta se ei vaikuttanut rakenteen käyttäytymiseen merkittävästi. Huokosvedenpaineita seurattiin huokosvedenpainemittarilla.

Huokosvedenpaineet lähtivät odotetusti laskuun muutama viikko mittausten aloittamisen jälkeen.

Pystysalaojitusta käytetään Suomessa vähän, koska painumiselle tarvitsee varata riittävästi aikaa, mitä kaikilla rakennushankkeilla ei ole. Jos aika siihen riittää niin pystysalaojituksen käyttäminen olisi kannattavaa, koska se on kustannustehokasta. Esimerkiksi isolla tiehankkeella pystysalaojitus voi tulla halvemmaksi menetelmäksi vahvistaa pohjamaata kuin useampi muu pohjanvahvistusmenetelmä. Pystysalaojitus ei vaadi hirveästi materiaaleja ja jos rakennushankkeella on käytössä omaa louhetta tai maamassoja, voidaan esikuormitus tehdä niistä. Tällöin esikuormitukseen tarvittavia materiaaleja ei tarvitse tuoda muualta. Hyvällä suunnittelulla sekä seurannalla pystysalaojitus on helppo tapa vahvistaa maata. Myös rakentamisen aikainen suunnittelu on keskeisessä roolissa, esimerkiksi tapauksissa missä kuormitusta ei voida tehdä tierakenteeseen tulevista materiaaleista, vaan se joudutaan tekemään esimerkiksi savesta.

Klaukkalan ohikulkutiellä pystysalaojituksessa onnistuttiin hyvin, koska suurin osa painumisesta tapahtui rakentamisen aikana ja rakentamista päästiin jatkamaan ajoissa, jolloin tie saatiin avattua aikataulullaan. Painumien seurantaa ei jatkettu tien valmistumisen jälkeen, sillä se oli pystysalaojakenttien kohdalla jo käytännössä loppunut ennen tien avaamista.

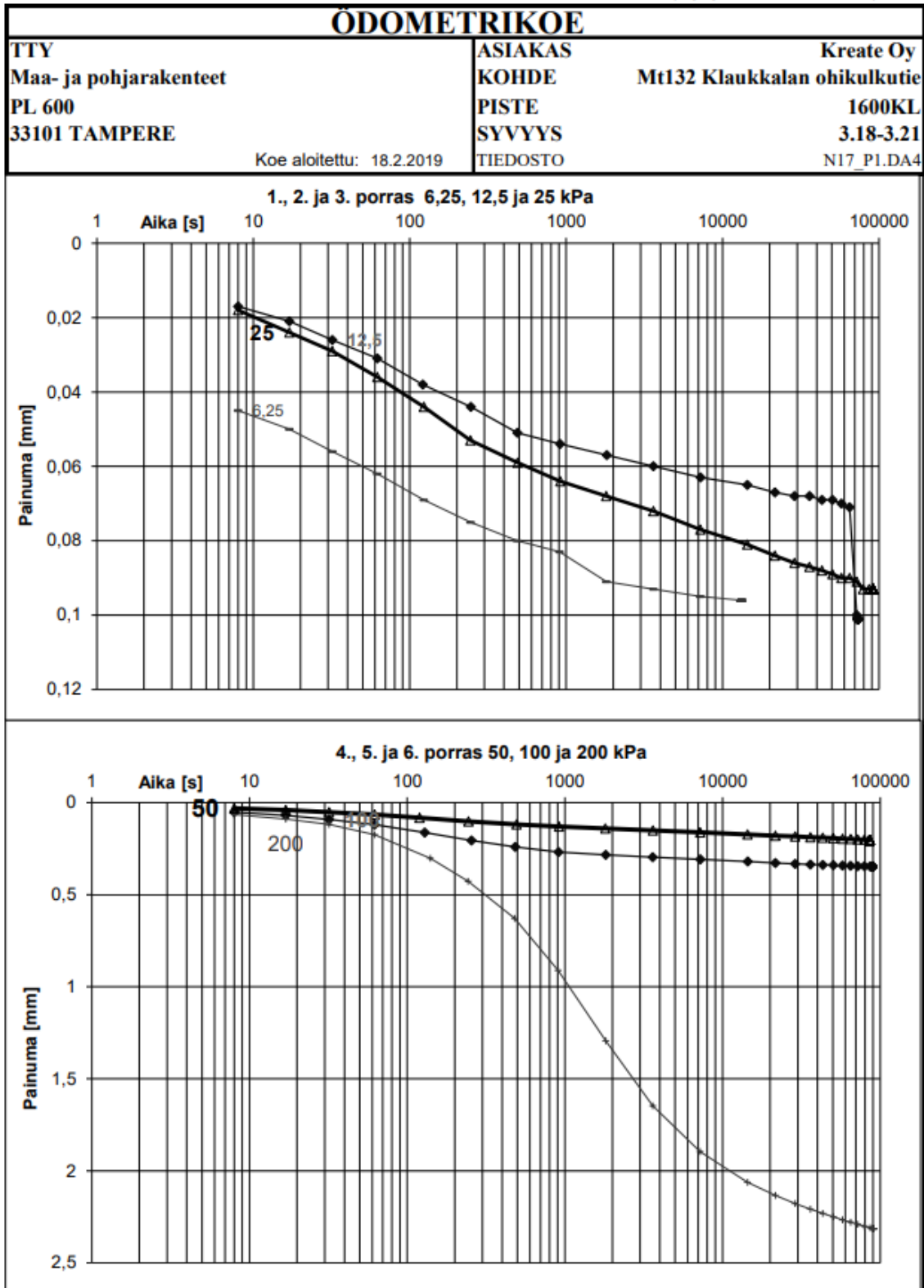
Lähteet

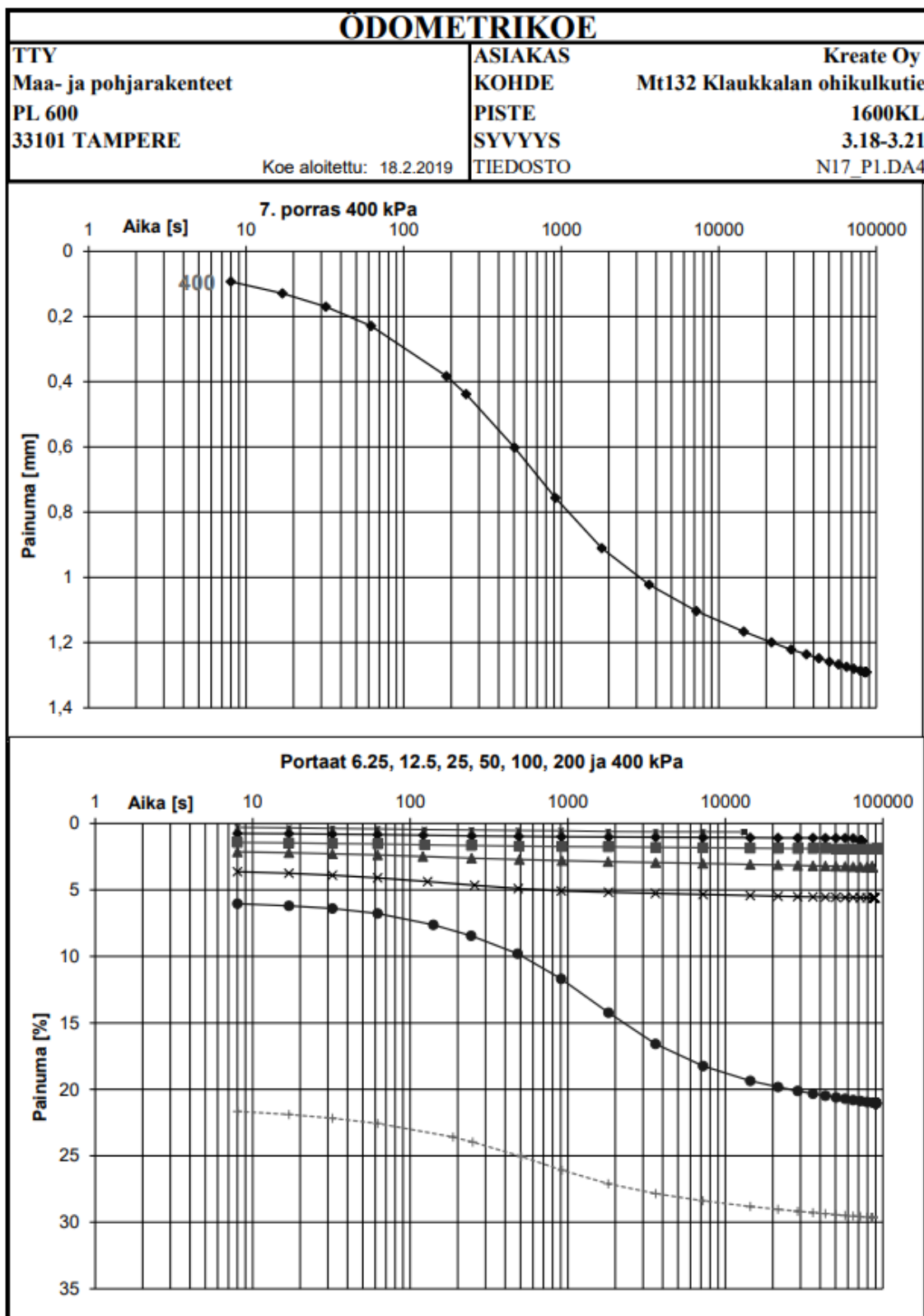
1. Väylä. 1994. Nauhapystyöjitus. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf2/nauhapystyoyjitus_3200251.pdf>. Luettu 13.10.2020.
2. RT-kortisto. InfraRYL 2010. 14120 – Liuskapystyöjitetut maarakenteet.
3. Rantamäki, Martti ym. 2006. Pohjarakennus. Helsinki: Otatiето.
4. Rantamäki, Martti ym. 2008. Geotekniikka. Helsinki: Otatiето.
5. Väylä. 2020. Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie. Verkkoaineisto. <<https://vayla.fi/klaukkalanohikulkutie>>. Luettu 2.11.2020.
6. Sakleshpur, V.A. ym. 2018. Ground Engineering Using Prefabricated Vertical Drains: A Review 3/2018.
7. Tie- ja vesirakennushallitus. 1988. Pohjanvahvistustyöt. Verkkoaineisto. <<https://core.ac.uk/download/pdf/81241845.pdf>>. Luettu 5.1.2021.
8. Pohjarakentamistöiden suorittaminen. 2008. Helsinki: Suomen standardiliitto SFS RY.
9. Suomen Kansallinen Geologian Komitea. 2020. Konsolidaatio. Verkkoaineisto. <<https://www.geologia.fi/glossary/konsolidaatio/>>. Luettu 11.1.2021.
10. Leena Korkiala-Tanttu. 2019. Maaperän mekaaniset ja rakennustekniset ominaisuudet. Luentoaineisto. <https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/940814/mod_folder/content/0/Luento-maamateriaalien%20perusominaisuudet.pdf?forcedownload=1>. Luettu 11.1.2021.
11. Kreate. Nurmijärvi. Pääurakoitsija: Klaukkalan ohikulkutie. Suullinen keskustelu. 14.10.2020.

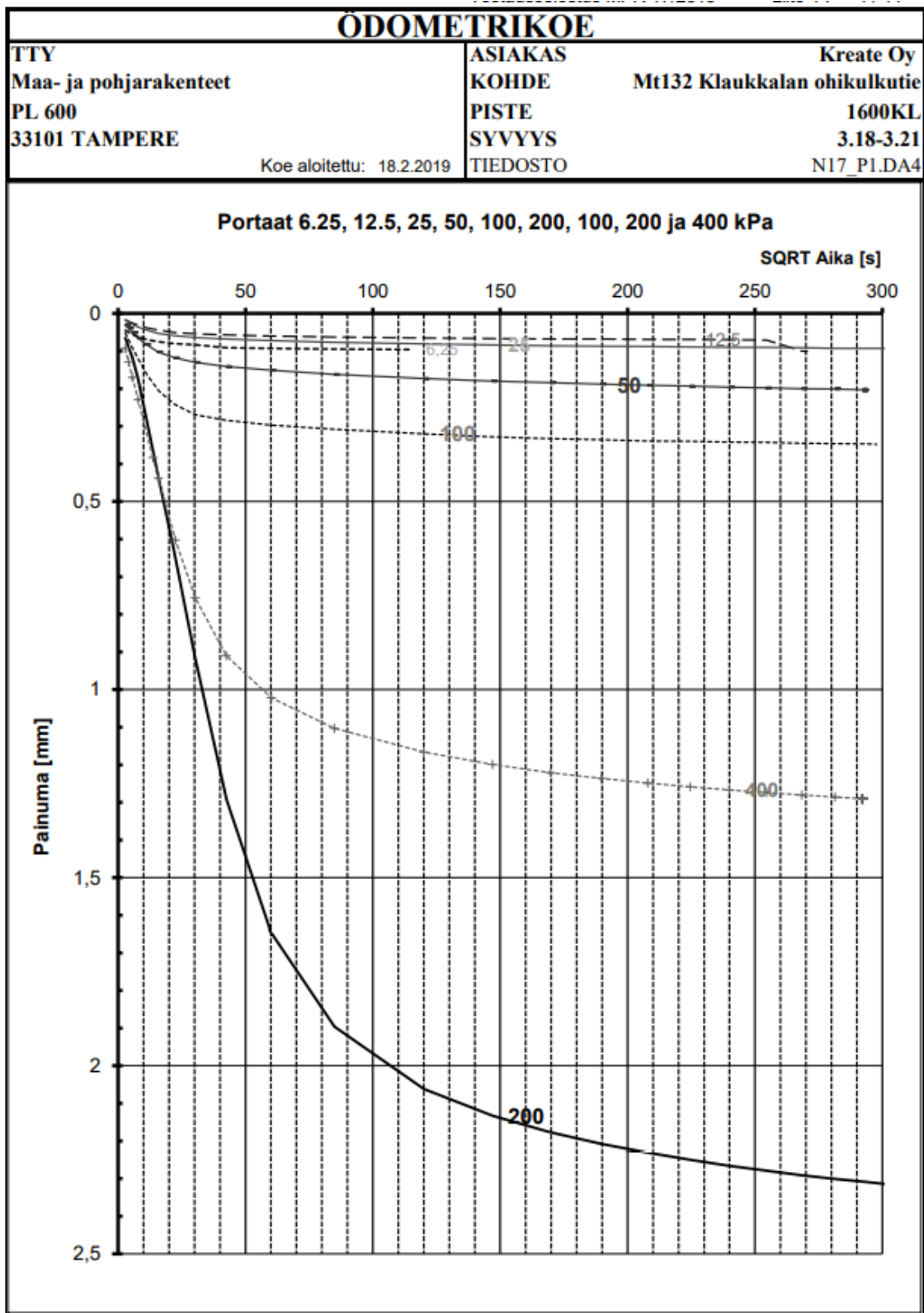
12. Seppo Rämö. Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy. Helsinki. Sähköpostikeskustelu. 7.1.2021.
13. Sami Laakso. Projektipäällikkö. Kreate. Tuusula. Sähköpostikeskustelu. 8.1.2021.
14. MebraDrain. Geotechnics MebraDrain MD7007**. Verkkoaineisto. <<http://geotechnicsworld.com/wp-content/uploads/2015/10/Spec-sheet-MD-7007-2.pdf>>. Luettu 19.1.2021.
15. Kreate. 2021. Verkkoaineisto. <<https://kreate.fi/>>. Luettu 27.1.2021.
16. Jianqing Jiang, ym. 2019. Effect of Improvement and Application of Composite Prefabricated Vertical Drain Method in Marine Soft Ground: A Case Study. 6/2019.
17. Suomen Geoteknillinen yhdistys. 1987. Kairausopas IV: Pohjavedenpinnan ja huokosvedenpaineen mittaaminen. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy.

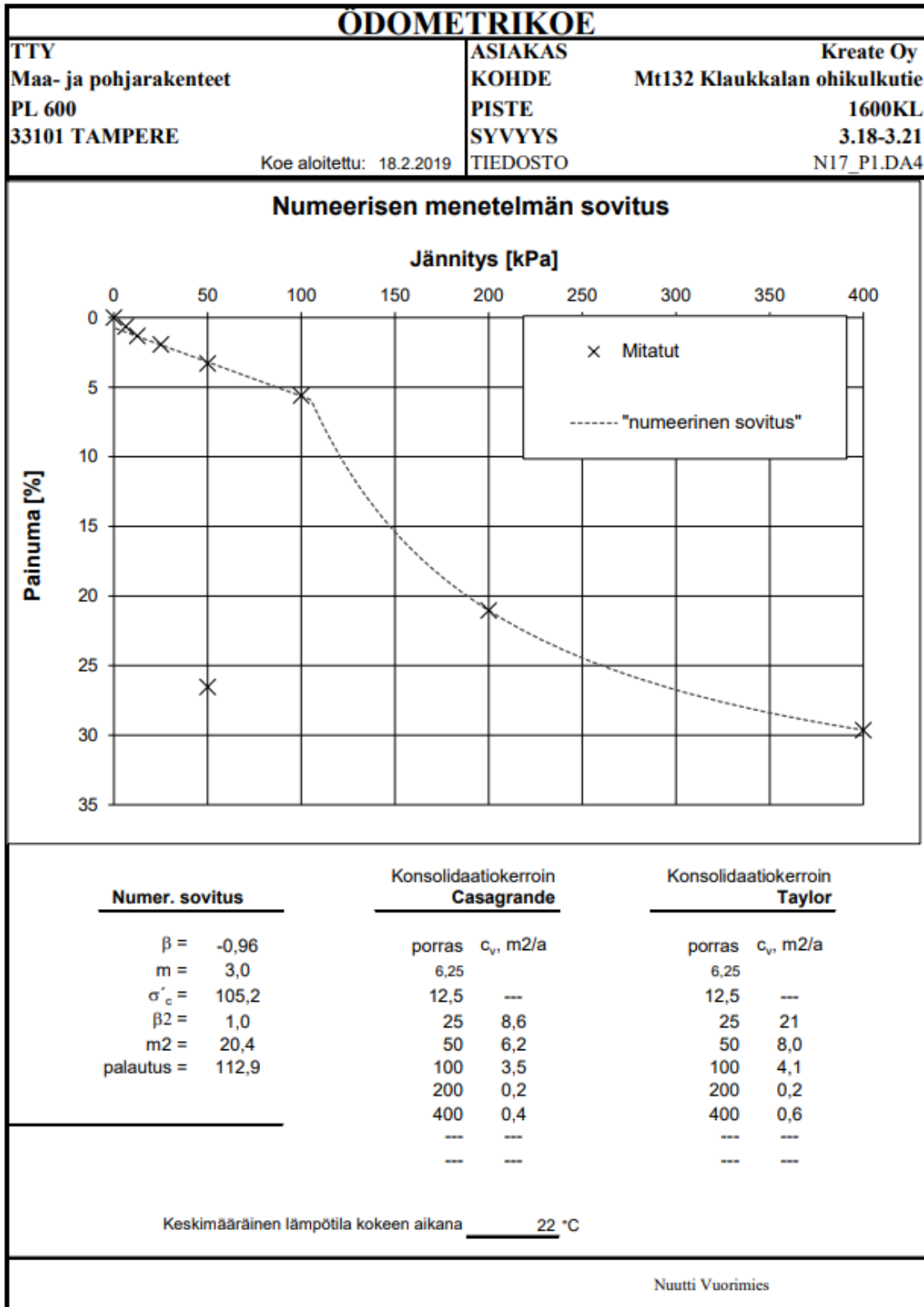
Ödömetrikoe Klaukkalan ohikulkutieltä

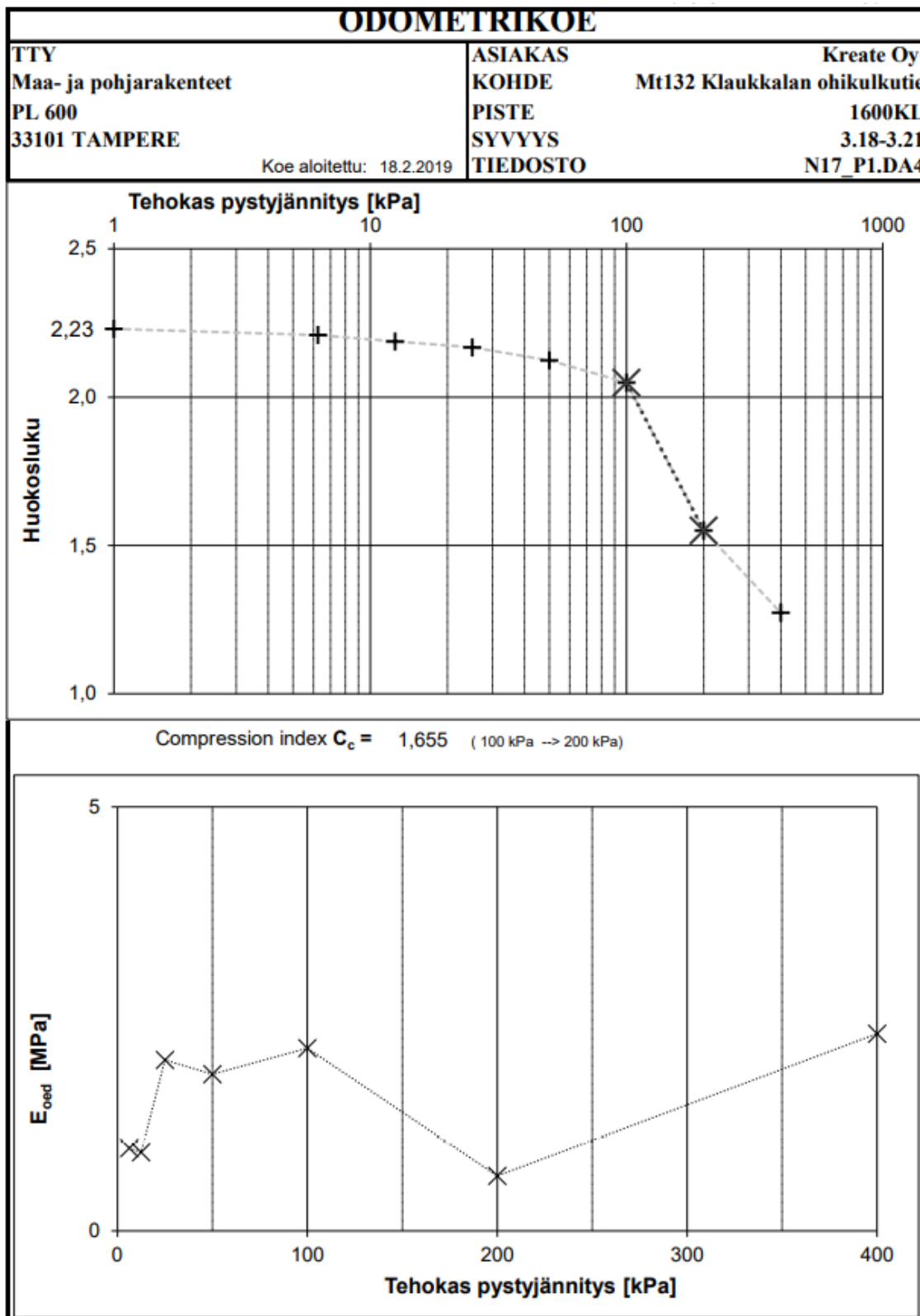
ÖDOMETRIKOE				
Tampereen yliopisto Maa- ja pohjarakenteet PL 600, 33014 Tampereen yliopisto		ASIAKAS KOHDE TYÖNUMERO		
		Kreate Oy Mt132 Klaukkalan ohikulkutie 17/2019		
ÖDOMETRIN N:O / KOETYYPPI		8 / puntti	10 / puntti	
PISTE, PAALU		1600kl	1600kl	
SYVYYS [m]		3,18 - 3,21	4,11 - 4,14	
TIEDOSTO		N17 P1	N17 P2	
NOPEUS		-	-	
KOKEEN ALUSSA: pvm/ tekijä 18.2.2019 NL 18.2.2019 NL				
NÄYTTEEN KORKEUS [mm]		15	15	
NÄYTTEEN POIKKIP.-ALA [cm**2]		15	15	
NÄYTTEEN TILAVUUS [cm**3]		22,50	22,50	
NÄYTE + RENGAS [g]		84,01	82,14	
RENKAAN PAINO [g]		49,50	49,34	
KOSTEA NÄYTE [g]		34,51	32,80	
KUIVA NÄYTE [g]		18,96	15,84	
VESI [g]		15,55	16,96	
VESIPITOISUUS [%]		82,0	107,1	
IRTOTIHEYS [g/cm**3]		1,53	1,46	
TILAVUUSPAINO [kN/m**3]		15,0	14,3	
KUIVA IRTOTIHEYS [g/cm**3]		0,84	0,70	
KUIVATILAVUUSPAINO [kN/m**3]		8,3	6,9	
OLETETTU KYLLÄSTYSASTE Sr [%] 100,00 100,00				
KIINTOTIHEYS [g/cm**3]		2,73	2,86	
HUOKOSLUKU e		2,24	3,06	
OMINAISTILAVUUS v		3,24	4,06	
OLETETTU KIINTOTIHEYS [g/cm**3] 2,70 2,70				
KYLLÄSTYSASTE Sr [%]		100,5	102,0	
HUOKOSLUKU e		2,20	2,84	
OMINAISTILAVUUS v		3,20	3,84	
KOKEEN LOPUSSA: purettu pvm 25.2.2019 25.2.2019				
ASTIAN NUMERO		N17 P1	N17 P2	
ASTIA [g]		3,27	3,19	
KOSTEA NÄYTE + ASTIA [g]		32,26	28,29	
KUIVA NÄYTE + ASTIA [g]		22,23	19,03	
VESI [g]		10,03	9,26	
VESIPITOISUUS [%]		52,9	58,5	











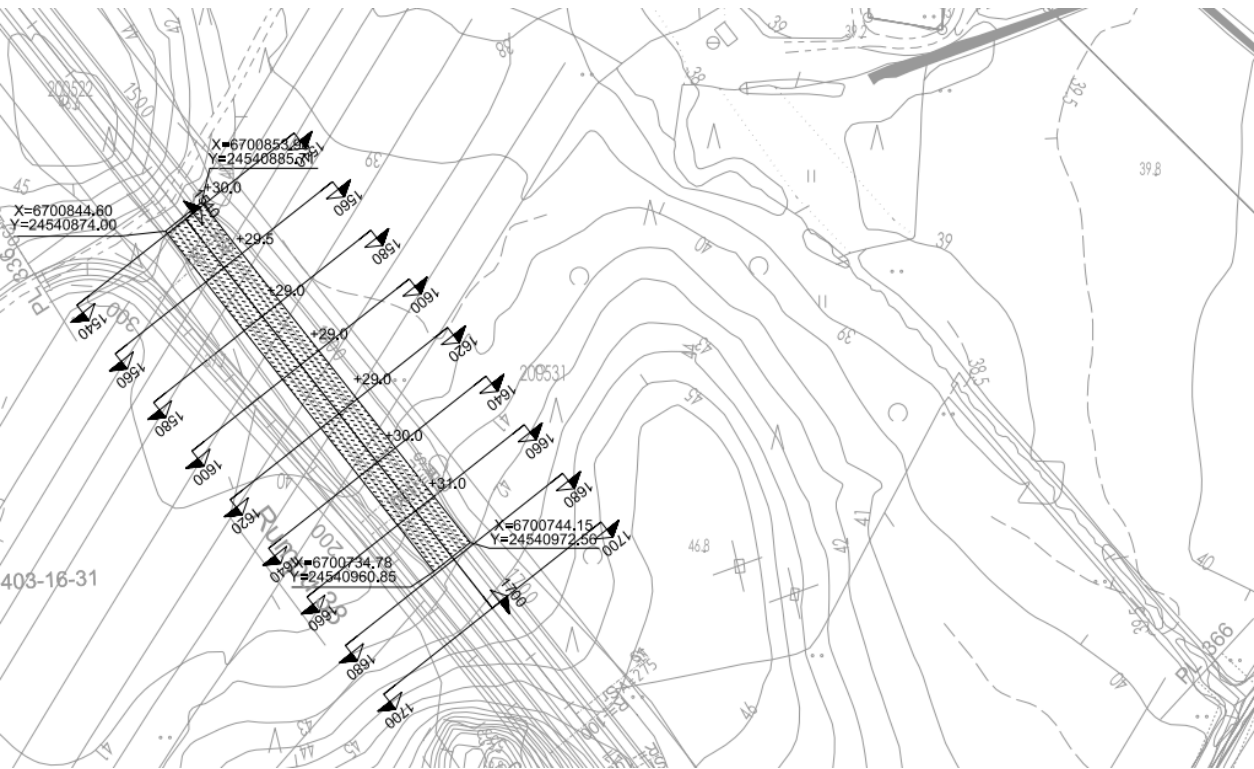
MSmura-laskennan parametrit


v. 3.2 27.9.2000 (c) M. Smura		Pohjatekniikka Oy	
26.4.2019	13:27	Laskija: Puu	
		Ostikkohedot:	
		Klaukkalan ohikulkutie PL1900	
TIEPENKEREEN PAINUMA			
Laskentapoikkileikkaus			
Maanpinnan kaltevuus M:10 Penkereen yläpinnan leveys Penkereen tilavuuspario Tasainen pintakuorma Pengerkorkeus Luiskakaltevuus 1:N Pohjavesipinnan etäisyys			
		M -0,4 B 11,48 γ 20 H 2,5 N 4 h _w 0,00	
		kPa vasen 1,67 oikea 4	
		m 0,25 m	
POHJANVAHIVISTUS VASTAPENGER KEVENNYS kevennyksen luiskakalv.:			
		korkeus: vas. oik. paksuus:	
		leveys: vas. oik. pääll.rak. γ	
		3,5 -6,5 γ	
TANGENTTIMODULI-MENETELMÄ (m - β)			
		m1 β 1 m2 β 2 Painuma mm 0/1 0	
MAAKEROKSET			
		w%-menetelmä	
		γ γ -10 Kc	
		Painuma mm	
		vas. KL oik.	
		Kerros 1 2,65 2,89 10 23,1 13,1 0,85 39 34 29	
		Kerros 2 4,0 3,6 90 14,9 4,9 0,85 248 224 159	
		Kerros 3 4,3 4,3 93 14,8 4,8 0,85 183 179 133	
		Kerros 4 2,9 3,3 93 14,8 4,8 0,85 87 92 75	
		KARKEA PAINUMA-ARVIO (w%-menetelmä) mm 557 529 396	
LASKENNAN TULOS			
		vas. KL oik.	
		Pengerkuorma kPa 50,0 41,7 33,4	
		Kokonaispainuma mm 557 529 396	
		Sivukaltevuuuden muutos % 0,5	
		2,3	
R=Reset-painike (palauttaa laskenta-automaattikan)			
		100 mm =tavoitepainuma	

Kartiokoe Klaukkalan ohikulkutieltä

KARTIOKOE						
Tampereen yliopisto Maa-, pohja- ja ratarakenteet PL 600 33014 TAMPERE			ASIAKAS		Kreate Oy	
			KOHDE		Mt132 Klaukkalan ohikulkutie	
			TYÖNUMERO		17/2019	
pvm/ tekijä 20.3.2019/ES						
Piste/ paalu		1600kl	1600kl	1600kl		
Syvyys, m		3,24 - 3,27	4,05 - 4,08	3,89 - 3,92		
HÄIRIINTYMÄTÖN NÄYTE						
Kartio	g	100	100	100		
Painumat	mm					
	1	5,64	10,48	7,23		
	2	5,56	10,77	6,90		
	3	5,78	11,31	7,05		
	4	5,83	13,11	6,49		
	5	5,72	10,42	7,44		
SFS-EN ISO 17892-6	sulj. leikkausl. C_{urfc}	kPa	24,50	6,66	15,75	
CEN ISO/TS 17892-6&12:fi 2004	l_i	mm	5,7	10,9	7,1	
	Lujuusluku H		151,0	37,1	98,5	
	suljettu leikkauslujuus, s_k	kPa	29,40	8,83	20,90	
HÄIRIINTYNYT NÄYTE						
Kartio	g	10	10	10		
Painumat	mm					
	1	4,65	6,09	6,18		
	2	5,05	6,18	6,49		
	3	4,76	6,36	5,97		
	4	4,68	6,23	6,10		
	5	5,03	6,06	6,29		
SFS-EN ISO 17892-6	sulj. leikkausl. C_{urfc}	kPa	1,13	0,70	0,66	
CEN ISO/TS 17892-6&12:fi 2004	l_i	mm	4,8	6,2	6,2	
	Lujuusluku H		6,70	4,17	4,17	
	suljettu leikkauslujuus, s_{kr}	kPa	1,27	0,76	0,76	
	H_3 / H_1		22,5	8,9	23,6	
	Sensitiivisyys, C_{urfc} / C_{urfc}		21,8	9,5	23,9	
	Sensitiivisyys, s_k / s_{kr}		23,1	11,6	27,5	
Astian numero		N17K4	K5	K6		
Astian paino	g	5,46	5,50	5,54		
Astia + kostea näyte	g	79,00	78,56	77,44		
Kostea näyte	g	73,54	73,06	71,90		
Astia + kuiva näyte	g	45,53	41,17	40,82		
Kuiva näyte	g	40,07	35,67	35,28		
Vesi	g	33,47	37,39	36,62		
Vesipitoisuus	w	%	83,5	104,8	103,8	
Kerroin	a		0,92	0,85	0,85	
Hienousluku	F	%	77	89	88	
Maalaji a-kertoimen perusteella			Sa	Sa	Sa	

Pystysalaoituksen rakennussuunnitelma



 - Pystysalaoitus

k/k = 1.2 m kolmioverkko
työalustaksi asennetaan
suodatinkangas kl. N3 ja
300 mm murskettä #0...32 mm.
Pystyojen alapääät ulotetaan
leikkauspiirustuksissa esitettyihin
tasoihin. Ojien tarttumisen
parantamiseksi neula pysäytetään
hetkeksi ennen ylösvetoa.



Pystysalaojanauhan tuoteselostus



Declaration of Performance

MebraDrain® MD7007⁺-01

- | | |
|--|--|
| 1. Unique identification code of the product-type: | MebraDrain® |
| 2. Type, batch or serial number or any other element allowing identification of the construction product as required pursuant to Article 11(4) | MD 7007+ |
| 3. Intended uses of the construction product, in accordance with applicable harmonized technical specification, as foreseen by the manufacturer | Filtration and Drainage (F + D) |
| 4. Name, registered trade name or registered trade mark and contact address of the manufacturer as required under Article 11 (5). | Geotechnics BV
Kwadranbweg 9
1042AG Amsterdam
Netherlands |
| 5. Where applicable, name and contact address of the authorized representative whose mandate covers the tasks specified in Article 12(2): | - |
| 6. System of systems of assessment and verification of constancy of performance of the construction product as set out in CPR, Annex V: | 2+ |
| 7. In case of the declaration of performance concerning a construction product covered by a harmonised standard, the notified body KIWA NV 0620 performed the initial inspection of the manufacturing plant and of factory production and continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control under system 2+ and issued the certificate of conformity of the factory production control. | KIWA Nederland NV
0620
www.kiwa.nl
0620-CPR-22826 |
| 8. In case of European Technical Assessment: | - |
| 9. Declared performance: | |

Harmonized technical specifications			
			
EN 13252 : 2014			

Essential characteristics	Test standard	Unit	Performance
Tensile Strength (MD) T_{max}	EN ISO 10319	kN	2,4 (-0,5)
Elongation (MD) at F_{max}	EN ISO 10319	%	20 ± 20
Dynamic Perforation Resistance D_2	EN ISO 13433	mm	50 (+0)
Opening Size O_{90}	EN ISO 12956	µm	<70
Water Permeability V_{vis}	EN ISO 11058	m/s	$25 \cdot 10^{-3}$ ($-5 \cdot 10^{-3}$)
Water flow capacity in the plane, $q_{(20, 1,0)}$	EN ISO 12958	m ² /s	$1,6 \cdot 10^{-2}$ ($-0,6 \cdot 10^{-2}$)
Durability in accordance with Annex B	To be covered within 2 weeks after installation. Predicted to be durable for a minimum of 5 years for non-reinforcing applications in natural soils with $4 \leq pH \leq 9$ and soil temperatures of $\leq 25^\circ C$.		
Dangerous substances	Not classified as hazardous		

10. The performance of the product identified in points 1 and 2 is in conformity with the declared performance in point 9. This declaration of performance is issued under the sole responsibility of the manufacturer identified in point 4.

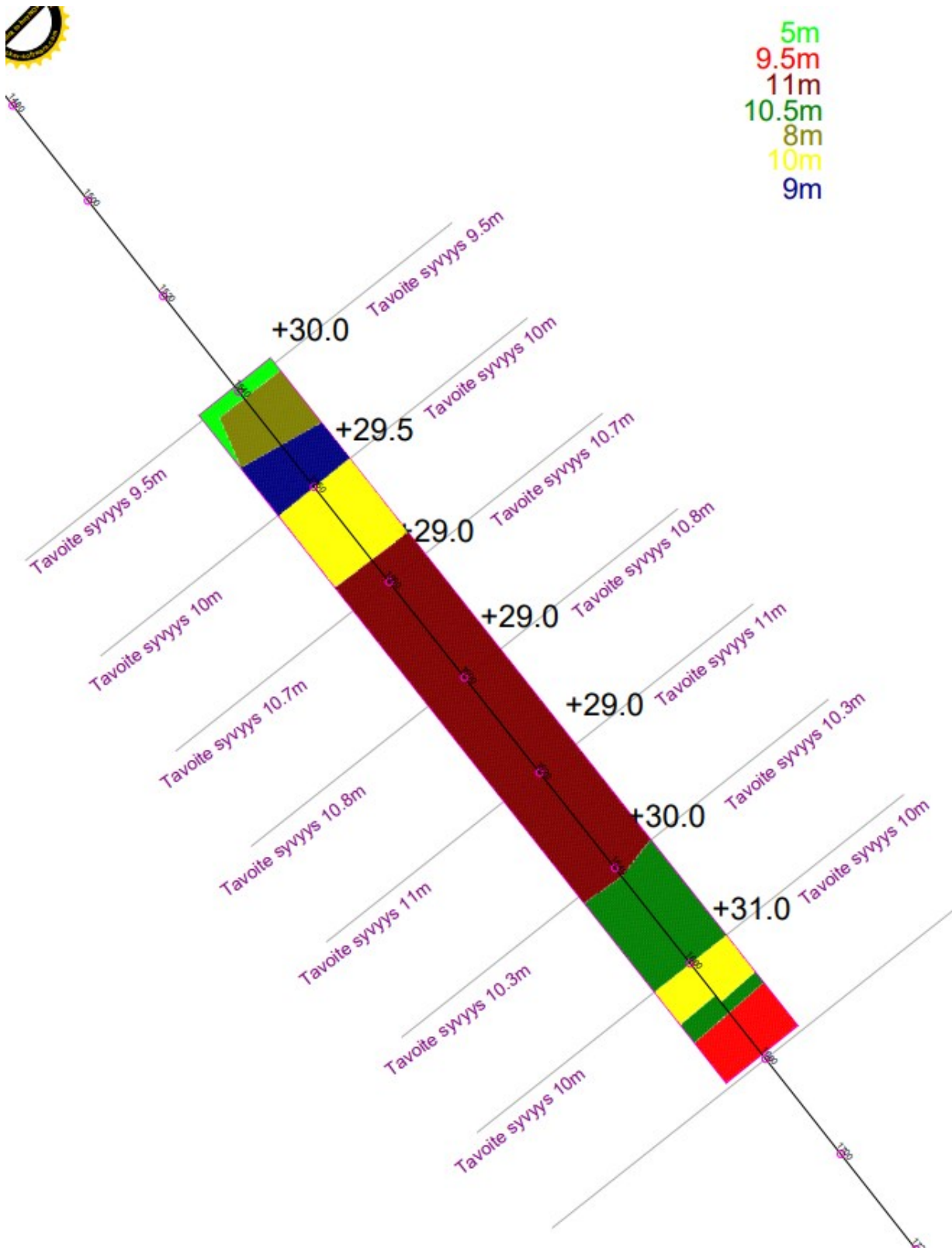
Signed for and on behalf of the manufacturer by:

Amsterdam : 15 Januari 2017

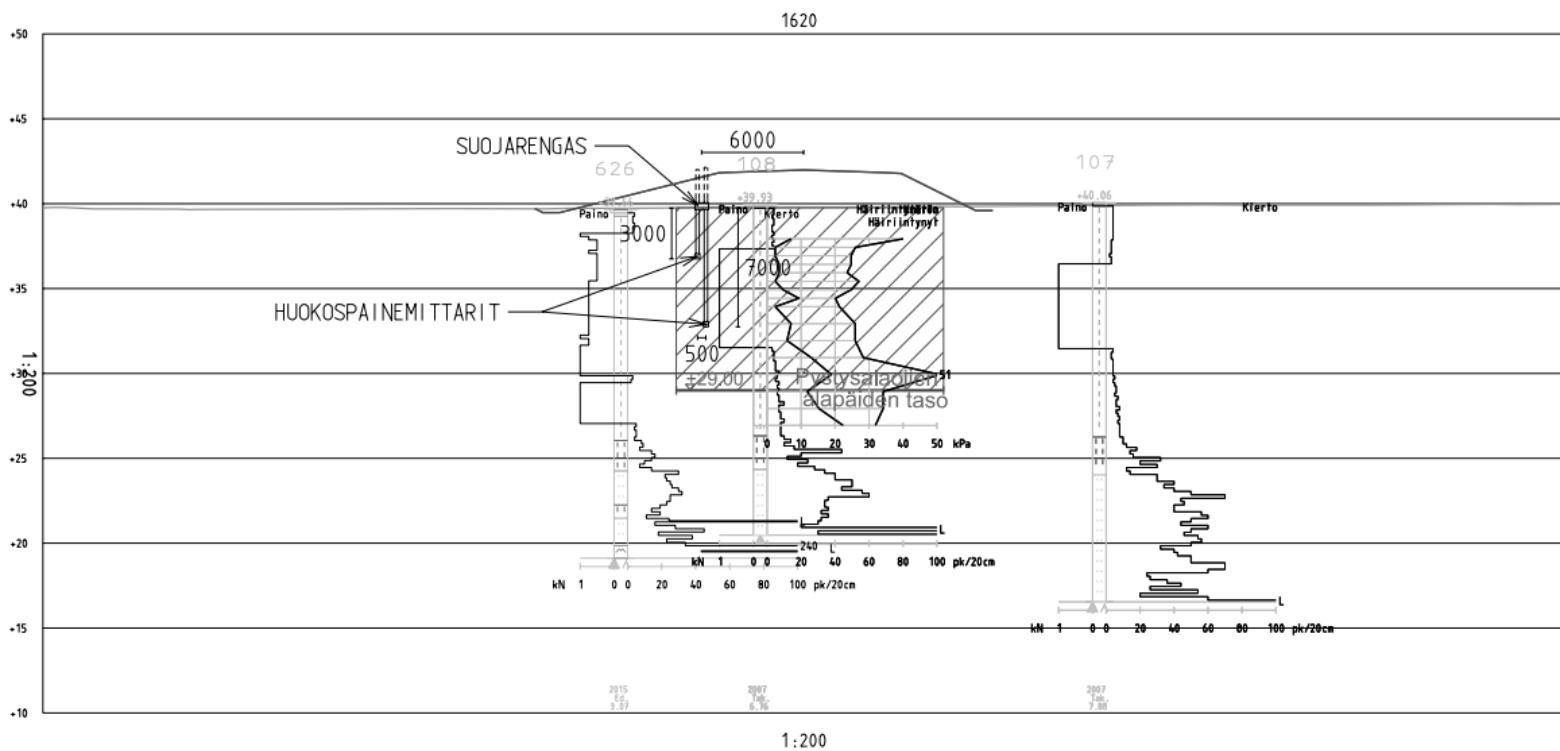
H. van Eijk
Managing director Geotechnics BV

Copyright © 2013 Geotechnics BV Amsterdam. All rights reserved. Mebradrain is a registered trademark of Geotechnics BV and of its affiliates.

Pystysalaojen toteutuneita syvyyksiä



Pystysalaojaketän 2 poikkileikkaus – huokosvedenpainemittareiden sijainti



Huokosvedenpaineiden mittauspöytäkirja



Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy
Nuijamiestentie 5B 00400, Helsinki, p.09-4777 510

Klaukkalan ohtustie, Nurmijärvi
Huokospainemittaukset

Työnro 15395

Piste n:o	Pukun syvyys	Huokoskärtten painearvo 1m	Aki		05.06.2019		JSA		11.07.2019		Pli		13.08.2019		Pli		23.08.2019	
			Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m		
PL1200	3m						2,00	-0,01	0,00	2,12	0,02	0,00	2,36	-0,01				
	7m						6,21	0,00	0,00	6,21	-0,01	0,00	6,57	0,00				
PL1620	3m	0,00	2,44	-0,02	0,00	2,44	-0,03	0,00	2,87	0,00	0,00	2,69	0,00					
	7m	0,00	5,92	0,03	0,00	6,47	0,01	0,00	7,45	0,01	0,00	7,06	0,00					
PL1900	5m	0,00	4,50	0,02	0,00	4,38	-0,02	0,00	5,70	0,00	0,00	5,18	0,00					
	9m	0,00	8,07	-0,02	0,00	8,66	-0,02	0,00	9,30	-0,03	0,00	8,94	-0,03					
PL4200	3m													0,00	2,29	-0,02		
	6m													0,00	0,31	-0,03		
Piste n:o	Pukun syvyys	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m	Kalvon ap:n painearvo	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m	Huokoskärtten painearvo 1m

Laskennallisia painumia

GEOCALC						
PL	Painuma			sivukaltevuus		pituuskalt.
	5a (mm)	50a (mm)	nopeus (mm/a)	10a (%)	50a (%)	50 a (%)
460	10	27	1,5	0,1	0,2	0,1
520	24	97	4,5	0,3	0,8	0,5
1180	156	430	56,5	0,4	1,5	1,1
1200	213	369	49,5	1,5	2,7	1,0
1600	90	402	11	0,5	2,2	1,0
1900	120	394	21,5	1,0	1,8	1,3
2140	66	110	10	0,4	0,5	0,4
SMURA						
PL	Painuma			sivukaltevuus		pituuskalt.
	5a (mm)	50a (mm)	nopeus (mm/a)	10a (%)	50a (%)	50 a (%)
460	14	43	2	0,2	0,4	0,1
520	41	164	8	0,6	1,2	0,8
1180	139	382	50	0,4	0,7	1,0
1600	70	315	9	0,2	1,3	0,8
1900	138	452	25	1,0	1,9	1,5
2140	179	298	27	0,8	1,0	1,0