

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SORATEIDEN STABILOINTI KUNNOSSAPITOTÖISSÄ

TEKIJÄ: Joona Kellberg

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Joona Kellberg	
Työn nimi Sorateiden stabilointi kunnossapitotöissä	
Päiväys 3.5.2023	Sivumäärä/Liitteet 28 + 4
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppanit Destia Oy, Tapojärvi Oy	
Tiivistelmä Sorateiden stabilointi on työtehtävä, jossa soratien pintarakennetta vahvistetaan stabiloimalla soratien kantavuuden parantamiseksi. Näin vähennetään kunnossapitotarvetta. Sorateiden stabiloinnilla voitaisiin vähentää soranajoa sorateille ja samalla vähentää ympäristöpäästöjä, jota soranajo aiheuttaa. Opinnäytetyö tehtiin käytännön kokeiden pohjalta, jotka toteutettiin Nurmeksien alueurakalla. Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla käytännön kokeissa käytettäviä sideaineita laboratorikokeilla. Laboratorikokeista oli tavoitteena selvittää sideaineiden käyttömäärät ja puristusvoimat eri ajanjaksojen jälkeen. Opinnäytetyössä tehtiin alustavat työt hakemalla maa-ainesta käytännön kokeilun kohteesta Nurmeksien alueurakalta, sekä sideaineet Tapojärveltä. Laboratorikokeet tehtiin näillä materiaaleilla. Puristuskokeita varten selvitettiin maa-aineksen geotekninen maalajiluokitus pesuseulonnalla, sekä optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino proctor-kokeilla. Maa-aineksella ja molemmilla sideaineilla valmistettiin 9 näytekappaletta, joista testattiin puristusvoimat. Näytekappalet jaettiin kolmeen testiryhmään, joista ensimmäiset puristettiin 3 vuorokauden, toiset 7 vuorokauden ja kolmannet 28 vuorokauden kohdalla. Puristuskokeiden tuloksena ilmeni, miten erilaisia kyseiset sideaineet olivat. Tuloksista huomattiin toisen sideaineen tarvitsevan enemmän aikaa lujittuakseen kuin toinen. Ajan kanssa kuitenkin kyseinen sideaine antoi huomattavasti paremmat puristusvoimat kuin toinen sideaine. Näytteiden teko tuloksien perusteella vaikutti onnistuneelta, sillä rinnakkaiskappaleiden välillä ei ollut paljoa erilaisuuksia. Tuloksista ja menetelmistä saa hyvän pohjan mahdollisia jatkotutkimuksia varten.	
Avainsanat sideaine, maasementti, laboratoriotyö, soratie, stabilointi	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author Joona Kellberg	
Title of Thesis Stabilization of gravel roads as a work method	
Date 3 May 2023	Pages/Appendices 28 + 4
Client Organisation /Partners Destia Oy, Tapojärvi Oy	
Abstract Stabilization of gravel roads is a task in which the surface structure of a gravel road is strengthened by stabilization, to improve the bearing capacity of the gravel road and thus to reduce the need for maintenance. Stabilization of gravel roads could reduce the need for gravel coating, so it would reduce emissions caused by gravel trucks. This thesis was made on the basis of practical tests, which are carried out on the gravel roads of Nurmes. The aim of the thesis was to compare binders used in practical experiments with laboratory experiments. The aim of the laboratory experiments was to find out the amount of adhesive to use, and the compression forces after different periods of time. In this thesis, the preliminary work was done by obtaining the soil material from the practical experiment site in Nurmes, as well as the adhesives from Tapojärvi. The laboratory experiments were done with these materials. For these compression tests, the soil materials' soil type was determined by sieving. The optimum water content and maximum dry volumetric weight were determined by proctor tests. Samples were prepared with soil and adhesive, and compression forces were tested after three time periods: 3 days, 7 days, and 28 days. As a result of the compression tests, it became clear how different the adhesives in question were. The results showed that one adhesive needed more time to solidify than the other. Over time, however, the adhesive in question gave significantly better compression forces than the other adhesive. Based on the results, making of these samples seemed successful, as there were not many differences between the parallel samples. The results and methods of this thesis provide a good basis for possible further studies.	
Keywords adhesive, stabilization, gravel road, laboratory	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Tavoitteet.....	6
1.2	Destia Oy	6
1.3	Tapojärvi Oy.....	6
2	SORATEIDEN KUNNOSSAPITO JA LAATUVAATIMUKSET	8
2.1	Soratie	8
2.2	Kunnossapito.....	8
2.3	Laatuvaatimukset.....	9
2.3.1	Soratieluokat.....	9
3	STABILOINTI TYÖMENETELMÄNÄ.....	10
3.1	Stabilointi	10
3.2	Sorateiden stabilointi Nurmeksessa	10
4	TUTKIMUSMENETELMÄT	12
4.1	Soratien maalajin määrittäminen	12
4.2	Parannettu proctor-koe	13
4.3	Sideainemäärät.....	13
4.4	Alustavat puristuskokeet.....	14
5	TUTKIMUSTULOKSET	16
5.1	Alustavat kokeet	16
5.2	Vesipitoisuuden määrittäminen	19
5.3	Sideainemäärä määrittäminen	22
5.3.1	Lopulliset sideainemäärät	22
5.4	Näytekappaleiden valmistus.....	23
5.4.1	Puristuskokeet.....	24
6	YHTEENVETO JA POHDINTA	26
6.1	Yhteenveto	26
6.2	Tulokset	26
6.2.1	Maasementti 1.....	26
6.2.2	Maasementti 2.....	26
6.3	Pohdinta.....	27
	LÄHTEET	28

LIITTEET	29
----------------	----

KUVALUETTELO

Kuva 1: Soratien kunnon osatekijät (Väylävirasto 2021, 25)	9
Kuva 2: Stabiloitu tie Nurmeksessa (Kellberg 2023)	11
Kuva 3: Pesuseulonta laboratorio olosuhteissa (Kellberg 2023)	12
Kuva 4: Näytteen humuspitoisuuden määrittäminen (Kellberg 2023)	18
Kuva 5: Rakeisuuden määrittäminen areometrillä (Kellberg 2023)	19
Kuva 6: Proctor iskuvasara (Kellberg 2023)	20
Kuva 7: Proctor-koe sylinteri ja näyte (Kellberg 2023)	21
Kuva 8: Näytemuotti ja näytteen puristaminen (Kellberg 2023)	23
Kuva 9: Näytteiden säilytys (Kellberg 2023)	24
Kuva 10: Puristettu näyte (Kellberg 2023)	25

1 JOHDANTO

1.1 Tavoitteet

Nurmeksien alueurakalla toteutetaan sorateiden stabilointia käytännössä, johon opinnäytetyöni liittyy. Nurmeksessa stabiloitiin kaksi soratietä, tarkoituksena vähentää sorateiden kunnossapitotarvetta. Stabiloimalla sorateiden kantavuus paranee, eikä teille tarvitse jatkuvasti ajaa soraa. Tämä kaikki on osa isompaa tutkimusta sorateiden stabiloinnista ja stabilointiaineista. Tämä opinnäytetyö käsittelee vain osaa sideaineiden vertailusta.

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena vertailla TAPOEKO-sideaineita, osana sorateiden stabilointia. Selvittämällä maa-aineksen puristusvoimat sideaineilla eri ajankohtina, voidaan nämä tiedot yhdistää tienkantavuuteen. Tutkimukset toteutetaan laboratoriotyönä, tutkimukset tehdään Nurmeksien alueurakan sorateista, joilla stabilointi toteutetaan käytännössä. Tulokset sorateiden stabiloinnista ja niiden vertailusta laboratoriotöihin tapahtuu myöhemmin ja tämä opinnäytetyö ei niitä käsittele.

1.2 Destia Oy

Destia on osa kansainvälistä Colas-konsernia, ja on Suomen suurin infra-alan palveluyhtiö. Destia suunnittelee, rakentaa ja ylläpitää elintärkeää infrastruktuuria, kuten sähköverkkoja, siltoja, teitä ja ratoja. Destian asiakkaita ovat niin teollisuus- ja liikeyritykset, kunnat ja kaupungit kuin valtionhallinnon organisaatiot. (Destia julkaisuaika tuntematon.)

Destia on ollut toiminnassa jo yli 200 vuotta. Vuonna 1799–1809 Kustaa IV Adolf perusti Kuninkaallisen Suomen Koskenperkausjohtokunnan, jonka toiminta vuosien saatossa laajentui myös infra-alalle. Vuonna 1925 perustettiin Tie- ja vesirakennushallitus (TVH), jota seurasi Tie- ja vesirakennelaitos (TVL) ja Tielaitos. Vuonna 2001 Tielaitoksen tuotanto ja hallinto erotettiin kahdeksi erilliseksi organisaatioksi, ja Tielaitoksen toimintaa jatkoa Tiehallinto. Tielaitos siirtyi kilpailemaan urakoista nimellä Tieliikelaitos. Destia sai nimensä ystävänpäivänä 2007, kun Tieliikelaitos otti sen käyttöön markkinointinimenään. Vuonna 2008 Destiasta tuli valtion kokonaan omistama osakeyhtiö, ja vuonna 2014 Suomen valtio myi Destian suomalaiselle sijoitusyhtiö Ahlström Capitalille. Vuonna 2021 kansainvälinen Colas-konserni osti Destian Ahlström Capitalilta. (Destia julkaisuaika tuntematon.)

Destia pyrkii jatkuvasti parantamaan infra-alan töitä ja olemaan edelläkävijä tällä suurella toimialalla. Hiilidioksidipäästöjen ja muiden luontoa ja ilmastoa rasittavien haittojen vähentäminen on Destialle tärkeää, kun rakennetaan tulevaisuuden infraa. Näiden syiden takia Destia etsii jatkuvasti uusia tapoja yleisiin toimenpiteisiin, kuten sorateiden kunnossapitoon, jotta voitaisiin vähentää kunnossapitotarvetta ja hiilidioksidipäästöjä.

1.3 Tapojärvi Oy

Tapojärven osaamisalueita ovat kaivos- ja tehdaspalvelut sekä kiertotalouden ratkaisut. Tapojärven tavoitteena on olla maailman johtava teollisuuden kiertotalouden yhtiö vuoteen 2035 mennessä. Tätä tavoitetta tukevat yrityksen toiminnot, sillä Tapojärvi luo jatkuvasti uusia ratkaisuja kaivosalan tarpeisiin, sekä hyödyntää teollisuuden sivutuotteita. Juuri tämän vuoksi Destia testaa Tapojärven uusia maasegmenttejä, ja tässä opinnäytetyössä tutkitaan näiden ominaisuuksia. Tapojärvi-yhtiöihin

kuuluu seitsemän yritystä, joista konserniin kuuluvat Tapojärvi Oy, Tapojärvi Italia S.r.l, Tapojärvi Sverige Ab ja Hannukainen Mining Oy. (Tapojärvi julkaisuaika tuntematon.)

Tapojärvi on lähes 70-vuotias suomalainen perheyritys, jonka palvelut aktiivisesti vähentävät ilmaston kuormitusta ja säästävät luontoa. Vuonna 1955 Esko Tapojärvi aloitti Tapojärven yritystoiminnan ja laajensi sitä vuosien mittaan. 1980-luvulla toiminimeksi muutettiin Maansiirtoliike Tapojärvi Ky, ja Eskon poika Markku tuli mukaan yhtiökumppaniksi. 1980-luvun loppupuolella Maansiirtoliike Tapojärvi Ky alkoi tutkia kuonankäsittelytapoja, joten tästä voitaisiin olettaa Tapojärven kiertotalousratkaisujen alkaneen. Vuonna 1995 yrityksessä tehtiin sukupolvenvaihdos, ja samalla Eskon poikien omistama Veljekset Tapojärvi Oy sulautettiin yhtiöön. 2000-luvulla vuosituhatosen vaihteessa, yhtiön nimeksi vaihdettiin Tapojärvi Oy, ja 2010-luvulla Tapojärven toiminta jakautui kolmeen palveluun: kiertotalous, kaivospalvelut ja tehdaspalvelut. Tällä toimintaperiaatteella Tapojärvi Oy toimii tänäkin päivänä edistäen tulevaisuuden kiertotaloutta ja parantaen ilmastoamme ja luontoamme. (Tapojärvi julkaisuaika tuntematon.)

2 SORATEIDEN KUNNOSSAPITO JA LAATUVAATIMUKSET

2.1 Soratie

Maailmassa on paljon yleiseen käyttöön tarkoitettuja sorateita, yksinomaan Suomessa jo n. 27 000 km:n edestä. Soratiet tarvitsevat paljon enemmän kunnossapitoa kuin tavalliset asfalttitiet, sillä soratien pintakerrokseen vaikuttavat sääolosuhteet ja tien käyttäjät. Sorateiden tekeminen on paljon nopeampaa ja helpompaa kuin asfalttiteiden, ja se on huomattavasti halvempi vaihtoehto. Vaikka soratiet tarvitsevat enemmän kunnossapitoa, niin ne silti tulevat halvemmaksi kuin tavalliset asfalttintaisemat tiet ja ovat ajettavuudeltaan kohtuullisen hyviä. Sorateilla nopeusrajoitukset pysyvät aina alle 80 km/h. Vähän liikennöitävillä ja harvaan asutuilla alueilla käytetään sorateita juuri tämän takia. (ELY-keskus 2023.)

Sorateiden kunnossapidosta vastaa kunnat, kaupungit ja valtio. Suomen tiestöt jaetaan alueurakoihin. Alueurakat ovat kunnan tai valtion vastuulla olevia urakoita, joille kilpailutetaan tekijät. Suomen tiestöt on jaettu 79 erilliseen alueurakkaan. Pienillä paikkakunnilla on useasti paljon enemmän sorateita, joten sorateiden kunnossapito on suurin vastuu näillä paikkakunnilla. Destia vastaa suurimmasta osasta Suomen alueurakoista vuonna 2023, ja on vastannut jo vuosikymmenien ajan. (Väylä 2022.)

2.2 Kunnossapito

Soratiet ovat alttiimpia kulumiselle, sillä niissä ei ole sidottua pinnoitetta. Tämän vuoksi ne ovat myös alttiimpia ympäristön vaikutuksille. Jokaisen talven jälkeen soratiet ovat huonossa kunnossa roudan ja routanousun takia. Tämä vaikeuttaa ainakin logistiikkaa soratieseudulla, kun rekat eivät voi ajaa kelirikkoisilla sorateilla painorajoitusten takia. Vasta kun tiet ovat huollettu, pääsee logistikkaliikenne taas jatkumaan. Sorateiden kunnossa tarkkaillaan enimmäkseen tienpinnan tasaisuutta, kiinteyttä ja pölyävyyttä. (ELY-keskus 2023; Väylä 2022.)

Suurin osa sorateiden kunnossapidosta on sorastusta tielle. Yleisimpiä sorateiden vaurioita ovat urautuminen, pölyävyys ja kuopat. Suomen ilmastossa sorateille tulee paljon urautumista ja kuoppia, sillä sadesäällä soratien pinta elää ja pehmenee. Ilman kunnollista kuivatusta vesi kerääntyy tien uriin ja kuoppiin aiheuttaen vaarallisia vahinkoja tiehen. Soratiet, joihin on ilmestynyt epätasaisuuksia, huolletaan lanaamalla, soraamalla tai molemmilla. Nämä työtehtävät ovat hyvin yleisiä ja vievät paljon aikaa ja resursseja. (Väylä 2022.)

Sorateiden kunto jaetaan rakenteelliseen kuntoon ja pintakuntoon. Rakenteellinen kunto tarkoittaa kulkukelpoisuutta, ja pitää sisällään runkokelirikon, pintakelirikon, sekä tierakenteet ja pohjamaat. Pintakunto eli ajamiseen vaikuttavat ominaisuudet ovat tasaisuus, pölyävyys ja pinnan kiinteys. Muita sorateiden kuntoon vaikuttavia tekijöitä ovat tien leveys, sivukaltevuus, pystygeometria ja kuivatus. (Väylävirasto 2021, 25; kuva 1.)



Kuva 1: Soratien kunnon osatekijät (Väylävirasto 2021, 25)

2.3 Laatuvaatimukset

Sorateiden laatuvaatimukset muuttuivat vuonna 2021, kun siirryttiin kolmesta hoitoluokasta kahteen soratieluokkaan. Ilmastonmuutoksen myötä talvet ovat olleet leudompia ja sulan ajan hoitokausi on pidentynyt, ja maatalouskeskittymät ovat lisääntyneet. Näiden muutoksien seurauksena tarvittiin uudet laatuvaatimukset. Luokittelussa pyritään välttämään liittymävälejä eri hoitoluokkien välillä.

Liikennemääriä kuvataan vuoden keskimääräisen vuorokausiliikenteen mukaan käyttäen yksikköä KVL. Soratiet luokitellaan kahteen luokkaan sen perusteella, miten vilkas ja verkollisesti merkittävä soratie on. Yleisesti keskimääräisenä vuorokausiliikenteen määrärajana soratieluokkien välillä on 150 KVL. Mikäli tie on kuitenkin verkollisesti merkittävä, vaikka se ei ylitäkään 150 KVL, se voidaan laittaa 1. soratieluokkaan. (Väylävirasto 2021.)

2.3.1 Soratieluokat

Soratieluokkaan 1 kuuluu pääsääntöisesti kaikki soratiet, joilla on yli 150 KVL. Myös tien verkollinen asema voi nostaa tien tähän soratieluokkaan, jos se on tarpeeksi merkittävä. Esimerkkinä, jos tien läheisyydessä on merkittävää maankäyttöä tai jos kesäisin tien KVL nousee merkittävästi. Raskaan liikenteen määrä tiellä voi nostaa tien 1. soratieluokkaan. Tässä soratieluokassa tavoitelevydeksi määritetään 7,0 m.

Soratieluokka 2 eli perussoratiet pitää sisällään pääsääntöisesti kaikki soratiet, joissa ajot pysyvät alle 150 ajoneuvoa/vrk (KVL). Vuonna 2021 88 % sorateista kuului tähän soratieluokkaan. 150 KVL ylittävä soratie voi kuulua tähän luokkaan, jos tie on lyhyt tai se ei ole verkollisesti merkittävä. Tässä soratieluokassa tavoitelevydeksi määritetään 6,5 m. Tavoitelevyys on kuitenkin tiekohtaisesti määritetty ja hyvin perustelluista syistä voidaan yksittäisillä teillä tässäkin luokassa määrittää 7,0 m tavoitelevyys, tai myös 5,75–6,25 m tavoitelevyys. (Väylävirasto 2021, 26.)

3 STABILOINTI TYÖMENETELMÄNÄ

3.1 Stabilointi

Stabilointi on työmenetelmä, jota käytetään maan kantavuuden parantamiseen. Stabilointia on monenlaista, esimerkiksi massa-, pilari-, ja syvästabilointia. Stabilointia voidaan käyttää pohjarakentamiseen rakennuksia varten, stabiliteetin tai kantavuuden parantamiseksi. Stabilointia voidaan myös käyttää teiden, katujen ja rautateiden penkereiden kantavuuden parantamiseksi. Sorateilla stabilointia voidaan käyttää haitallisten painumien ehkäisemiseksi, ja täten turhan soranajon vähentämiseksi. Stabilointia tehdään käyttäen sideaineita, joiden tarkoituksena on sitoa maa-ainesta ja tiivistää käyttökohdetta. (Tiehallinto 2007.)

3.2 Sorateiden stabilointi Nurmeksessa

Nurmeksien alueurakalla tehdään sorateiden stabilointia, johon tämä opinnäytetyö liittyy. Sorateiden stabilointi eroaa yleisistä stabiloinneista, sillä tässä työmenetelmässä tarkoitus on stabiloida vain tien pinta n. 30 cm syvyydestä, kun taas yleisesti rakennusten pohjarakentamisessa stabiliteetin ja kantavuuden parantaminen tehdään syvälle maahan.

Nurmeksien sorateiden stabilointi aloitetaan harauksella kivien ja kallion varalta. Tavoitteena on saada stabiloitua 30 cm syvyyteen, joten siinä välissä ei saisi olla liian isoja kiviä tai kalliota. Tie jyrksitään auki 30 cm syvyyteen, sideainetta varten. Sideaine levitetään kuorma-autolla tasaiseen tahhtiin. Tässä työvaiheessa suuri pölyävyys osoittautui haitaksi, sillä se vaarantaa työturvallisuutta päästessään hengitysteihin. Kun sideaine on levitetty soratien pinnalle, maa jyrksitään uudestaan sekoitusjyrsinnällä, jotta saadaan sideaine leviämään soratien pintarakenteisiin. Sekoitussyrsinnän jäljiltä tie on epätasainen, joten ensiksi tie tasataan ja muotoillaan hyvin, jotta kuivatus toimii. Kun tie on muotoiltu ja tasoitettu, voidaan tie ja sideaine kastella, jotta tien lujittuminen voi alkaa. Kasteltaessa pyritään mahdollisimman tasaiseen kasteluun ympäri soratietä. Viimeisessä vaiheessa soratien pinta tulee tiivistää uudelleen parhaimman lujuuden saavuttamiseksi. Tiekohtaisesti voidaan vielä miettiä ajaako murskekerroksen tien päälle vai ei.



Kuva 2: Stabiloitu tie Nurmeksessa (Kellberg 2023)

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Soratien maalajin määrittäminen

Tutkimuksen kannalta ensimmäinen ja tärkein tehtävä oli geoteknisen maalajiluokituksen määrittäminen. Maalajin määrittäminen mahdollisimman tarkasti on hyvin tärkeää, jotta tutkimustulokset ovat sovellettavissa muihin tutkimuksiin, sekä opinnäytetyön mahdollisiin jatkotutkimuksiin.

Geoteknisen maalajiluokituksen määrittäminen tehtiin standardien mukaisesti ja aloitettiin pesuseulontatestillä. Ensin otettiin näytettä, joka edustaa maa-ainesta hyvin ja mitattiin paino tarkasti. Näyte pestiin 0,063 mm:n seulan läpi ja mitattiin paino uudestaan. Näin saatiin hienoaineksen osuus. Tämä pesty massa kuivattiin ja seulottiin seulasarjan avulla, jotta saatiin hiekan ja soran raekokojen määrät selvitettyä ja pystyttiin määrittämään geotekninen maalajiluokitus. Lisäksi suoritettiin areometrikoe, jotta saatiin tietää tarkemmin hienoainesten määrä eri raekoilla. Areometrikokeen tarkoituksena oli selvittää maahiukkasten laskeutumisnopeus. Tässä laitettiin alle 0,2 mm raekokoiset maahiukkaset testiputkeen standardien mukaisesti 50 g tai 100 g riippuen maalajista ja lisättiin vettä n. 1 l. Tätä ravistettiin ja pyöritettiin standardien mukaisesti, jonka jälkeen areometrimittarilla katsottiin uppoutuminen eri ajanjaksojen jälkeen (heti, 2 min, 6 min, 20 min, 1 h, 1 vrk ja 4 vrk). Tuloksia tulokitaan tarkastamalla, miten syväälle areometri vajoaa vedessä. Näin selvitettiin hiukkaskoot näytteestä.

Humuspitoisuuden eli eloperäisen aineksen pitoisuus selvitettiin polttokokeella. Polttokokeessa otettiin kuivaa näytettä kulhoon ja sen paino mitattiin. Tämän jälkeen näyte laitettiin 800 asteiseen polttouuniin vähintään tunnin ajaksi, jolloin näytteestä paloi kaikki eloperäinen aines pois. Näyte punnittiin tämän jälkeen, ja saatiin selville humuspitoisuus painosta hävinneenä määränä. (GTK, julkaisuaika tuntematon)



Kuva 3: Pesuseulonta laboratorio olosuhteissa (Kellberg 2023)

4.2 Parannettu proctor-koe

Parannettu proctor-koe tai lyhennettynä proctor-koe on menetelmä, jolla selvitetään maa-aineen maksimikuivatilavuuspaino. Maksimikuivatilavuuspaino saadaan, kun selvitetään, miten kosteaa maa-aineen täytyy olla, jolla maa tiivistyy parhaiten. (Rantamäki ym. 2008)

Geoteknisen maalajiluokituksen määrittämisen jälkeen tehtiin parannettu proctor-koe. Proctor-koetta varten oli tärkeää tietää maalaji, jota kokeessa käytetään. Näin saatiin suuntaa antavat vesipitoisuudet, joilla proctor-kokeet toteutettiin. Maalajin selvitettyä tehtiin maalajin optimivesipitoisuuden ohjealueen mukaan proctor-kokeet.

Kokeen toteutus alkoi seulomalla yli 16 mm:n kivirakeet, sillä kokeessa käytettiin 100 mm halkaisijan koesylinteriä, ja silloin standardien mukaan tuli poistaa yli 16 mm:n kivirakeet. Seuraavana selvitetiin maalajin kosteuden ohjealue, esimerkiksi hiekkamoreenilla (HkMr) ohjealue on 5–15 %. Maalajin ohjealueet ilmenevät standardeissa, mutta kokeessa käytettiin asiantuntijan avustusta.

Kokeita tehtiin jokaisella kosteudella 2 rinnakkaisnäytettä, jotta välttyttäisiin virheellisiltä tuloksilta. Asiantuntijan avustuksella käytettiin n. 1,5 kg näytettä standardien mukaiseen 100 mm:n halkaisijan koesylinteriin. Näytettä tiivistettiin lyömällä 25 kertaa proctor-vasaralla. Kokeessa oli käytössä virallinen automaattinen proctor-vasara, jotta tiivistys on samanlainen jokaisen näytteen kohdalla. Tämän jälkeen näytteen tulisi olla juuri sylinterin puolivälin korkeudella. Kun sylinterin päällisosa poistetaan ja näytteen pinta tasataan, tulee näytteen ja astian paino mitata. Tämä siksi, jotta tiedetään näytteen tarkka paino, kun astian paino poistetaan. Seuraavaksi näyte kaivettiin ulos sylinteristä mahdollisimman tarkasti ja paino mitattiin, jonka jälkeen näyte laitettiin toisessa astiassa uuniin kuivumaan. Kuivan näytteen painon mitattua voitiin laskea tarkka kosteusmäärä, kun verrattiin painoa kostean näytteen painoon.

Kokeen tulosten avulla tehtiin taulukkoon kuvaaja, josta näkee huippupisteen, eli maksimikuivatilavuuspainon ja millä kosteudella tähän päästiin, eli mikä on optimivesipitoisuus. Kuvaajan ollessa nouseva tai laskeva, tarvitaan lisätutkimuksia käyttäen eri vesipitoisuuksia.

4.3 Sideainemäärät

Maankantavuus kokeita varten päätettiin selvittää, millä sideainemäärällä saadaan paras puristusvoima. Tulevissa testeissä täytyi tietää, millä sideainemäärällä saavutettaisiin paras lujuus. Ennakoon oli jo tiedossa, että mahdollisesti korkein tulos tulisi välillä 4–8 %, joten kokeet päätettiin toteuttaa sideainemäärillä 4, 6, ja 8 %. Todellisessa kokeessa vertaillaan kahta erilaista maasementtiä, joista toista tiedetään käytettävän 8 %, ja toisen sideainemäärä tulisi vielä selvittää.

Sideainemäärän testaamiseen tulee tietää optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino. Kokeessa ei kuitenkaan ollut tarkoitus käyttää maksimikuivatilavuus painoa, sillä siihen ei käytännön tilanteessa koskaan tulisi pääsemään, joten päätettiin käyttää 90 % maksimikuivatilavuuspainosta. Koska aikaa ei ole runsaasti, ja maa-ainesta on rajallisesti, niin päätettiin testata vain 3 vrk lujuus kullakin sideainemäärällä.

Koe tehtiin katkaistun kartion muotoiseen koesylinteriin, jonka pohjan halkaisija on 72 mm ja pinta 70 mm. Katkaistua kartiota käytetään, jotta näyte irtoaa sylinteristä, vaikka sitä puristetaan suurella

voimalla. Koetta varten laskettiin sylinterin tilavuus 70 mm:n korkeudella, jotta voidaan laskea millä massamäärällä saadaan maksimikuivatilavuuspainosta 90 %, kun puristetaan näytteet 70 mm korkeiksi.

Näytteiden teko aloitettiin jakamalla näytteet jakolaatikolla, jotta näytteet ovat mahdollisimman tasalaatuiset. Tehtiin 3 rinnakkaisnäytettä jokaiselle sideainemäärälle, jotta tulokset ovat luotettavia. Näytettä tehtiin hieman enemmän kuin on tarve, sillä on lähes mahdotonta saada jaettua näyte tasanaisesti ja puolueettomasti, sekä varmistaakseen, että näyte ei lopu kesken. Kun maa-ainesta oli saatu jaettua kolmeen osaan jokaiseen tarpeeksi kolmea näytettä varten, laskettiin, paljonko tähän määrään tulee lisätä sideainetta, jotta sitä on oikea määrä (4, 6, ja 8 %). Tästä kokonaispainosta laskettiin, paljonko on oikea veden määrä, jotta saavutetaan optimivesipitoisuus. Aineet sekoitettiin keskenään, ja mitattiin hyvin tarkasti oikea määrä sekoitusta kolmea samanlaista näytettä varten, ja jaettiin kolmeen osaan, mahdollisimman tasaisesti eli ei kaatamalla. Seuraavana näytteet puristettiin sovittuun 70 mm korkeuteen ja kirjattiin ylös, miten paljon voimaa se vaati. Tämä toistettiin vielä toisten sideainemäärien kanssa.

Näytteet puristettiin 3 vuorokauden kuluttua ja tuloksista selvisi, millä voimalla näytteet hajosivat. Parhaiten pärjännyt sideainemäärä päättyi lopulliseen testiin.

4.4 Alustavat puristuskokeet

Kun maalaji ja sideainemäärät olivat selvinneet ja näytteiden pitoisuudet laskettu, seuraa opinnäytetyön aiheen päätarkoitus, eli puristuskokeet. Tämän tarkoituksena oli selvittää soratien kantavuus kyseisellä sideaineella ja tiettyjen ajanjaksojen jälkeen. Kuitenkaan suoraan ei voida testata kantavuutta laboratoriossa pelkästään pienellä määrällä maa-ainesta, mutta selvittämällä puristusvoimat, tällä tarkasti määritetyllä maa-aineksella, voidaan tuloksia verrata maankantavuuteen.

Koe aloitettiin tekemällä 9 näytettä molemmilla sideaineilla. Näytteiden tuli olla lähes identtisiä keskenään. Näytteet valmistettiin samalla tavalla kuin sideainemäärän selvityksessä, mutta tällä kertaa kaikkiin näytteisiin laitettiin saman verran sideainetta, eli parhaimmaksi todettu määrä ensimmäisellä sideaineella ja 8 % toisella. Tämän jälkeen laskettiin yhden näytteen määrät. Näytteet valmistettiin kolme kerrallaan kokoamalla kolmen näytteen vaatimat määrät ja n. 20 % ylimääräistä varmuuden vuoksi. Tästä määrästä otettiin tarkasti yhden näytteen vaatimat määrät kolme kertaa, jakamalla puolueettomasti pienissä osissa, jotta näytteiden koostumus pysyisi samanlaisena.

Aiemmin on laskettu näyteastian tilavuus 70 cm korkeudessa katkaistua kartiota, jonka pohja on halkaisijaltaan 72 cm ja pinta 70 cm, sekä maksimikuivatilavuuspainon maamassalla. Näistä tiedoista laskemalla saatiin oikea määrä yhtä näytettä kohden, kun käytimme 90 % maksimikuivatilavuuspainosta. Näytteet puristettiin haluttuun 70 cm:n korkeuteen ja tätä varten käytetty voima merkittiin ylös.

Yhteensä valmistettiin 18 näytettä ja nämä näytteet säilytettiin muovilaatikoissa, joiden pohjalla on reikämatto ja n.3 cm korkea vesipinta, jotta kosteus pääsee nousemaan alta, mutta ei osu näytteisiin. Muovilaatikon päällä oli kansi, jotta kosteus ei haihdu. Näytteitä seurattiin ja vettä lisättiin tarvittaessa. Näytteitä säilytettiin n. 20 °C:ssa.

Näytteiden puristusvoimat testattiin 3 vuorokautta, 7 vuorokautta ja 28 vuorokautta näytteiden teon jälkeen. Jokaista ajankohtaa varten tehtiin 3 näytettä molemmilla sideaineilla, jotta saatiin luotettavimmat tulokset. Puristaessa näytteitä suurin voima, jolla näytteitä puristettiin ennen näytteen hajoamista, on näytteen puristusvoima. Jokaisen ajankohdan näytteiden puristusvoimat otetaan ylös, jotta niitä voidaan verrata ja saada selville, paraneeko puristusvoima ajan kanssa.

5 TUTKIMUSTULOKSET

5.1 Alustavat kokeet

Tutkimusmenetelmät-luvun mukaisesti ensimmäisenä tuli selvittää maa-aineksen geotekninen maa-lajiluokitus. Tämä työvaihe alkoi pesuseulonnalla. Ensimmäisenä tuli kerätä sopiva määrä näytettä, joka kuvastaa maa-ainesta todellisesti. Näyte jaettiin jakolaatikolla, kunnes saatiin sopiva määrä näytettä, jota ei ollut mitenkään manipuloitu. Pesuseulontaan käytettävän näytteen kuivapainoksi tuli 1625,5 g. Määrä on normaalia pienempi, koska tarkoitus oli varmistaa, että maa-aines riittää muihinkin kokeisiin. Seulalle jääneet rakeet kuivatettiin uunissa ja niiden painot mitattiin. Pesussa alkuperäisestä painosta katosi 201,5 g, eli siis alle 0,063 mm raekoko määrä on 201,5 g. Taulukoiden avulla (taulukko 1) seulonnan tulokset, tuli selville, että käytettävä maa-aineksen geotekninen maa-lajiluokitus on HkMr eli hiekkamoreeni.

Taulukko 1: Pesuseulonnan tulokset taulukoituna (Kellberg 2023)

Pesuseulonta NK=		1625,5 g	
Seula	Seulalle jäi (g)	%	Läpäisy %
32	0	0	100
16	257	15,81	84,19
8	195	12,00	72,19
4	179	11,01	61,18
2	164	10,09	51,09
1	148	9,10	41,99
0,5	127	7,81	34,17
0,25	143	8,80	25,38
0,125	124	7,63	17,75
0,063	87	5,35	12,40
Pohja	201,5	12,40	0,00
yht:	1625,5	100,00	
Hiekkamoreeni HkMr			
>2		48,91	%
0,063-2		38,70	%
<0,063		12,40	%
Humuspitoisuus		0,9	%

Tulevia kokeita ja jatkotutkimuksia varten oli tärkeää tietää maalaji mahdollisimman tarkasti, joten seuraavana kokeena selvitettiin humuspitoisuus polttokokeella. Koetta varten otettiin näytettä n.100 g kolmeen astiaan, jotta saataisiin selkeämpi tulos. (Kuva 4) Astiat laitettiin uuniin 800 °C:seen, jossa ne olivat n. 2 tuntia. Jokaisen astian näytteen paino mitattiin uudestaan polttokokeen jälkeen, kun kaikki eloperäinen maa oli palanut pois. Tuloksista (taulukko 2) selviää humuspitoisuuden olevan keskiarvoltaan 0,9 %.

Taulukko 2: Humuspitoisuuden määrittäminen polttokokeella (Kellberg 2023)

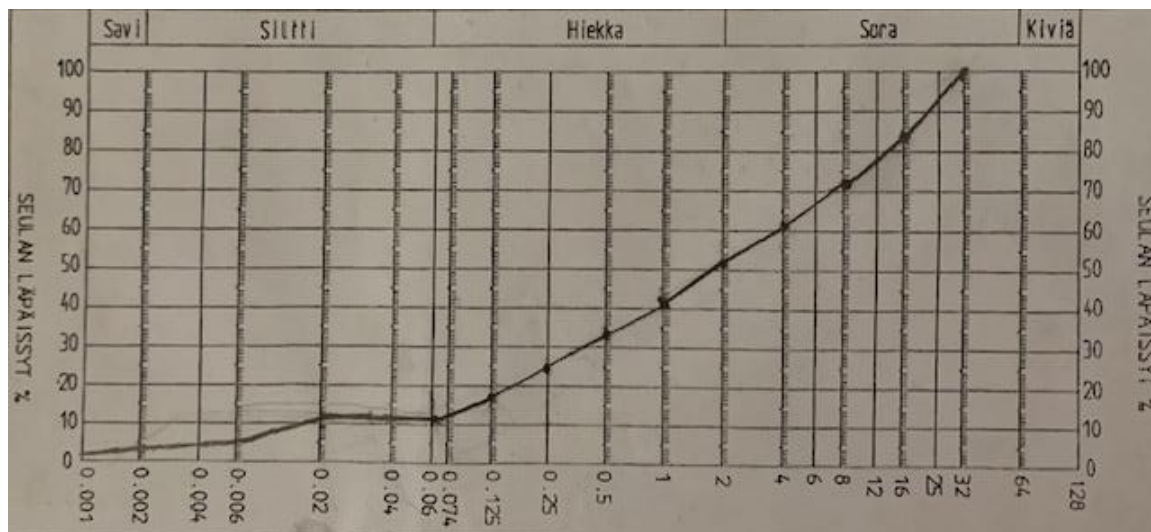
Humuspitoisuus		Polttokoe 800°C					
Näytteet	Astia+Kn	Astia	Kn	Astia+Pn	Hävinnyt osuus		
Näyte 1	103,8	45,4	58,4	103,2	0,6	1,03	%
Näyte 2	89,1	27,8	61,3	88,6	0,5	0,82	%
Näyte 3	93,5	28,1	65,4	93	0,5	0,76	%
					Ka	0,9	%

Aikaisemmin selvitettiin näytteen raekokojen $>0,063$ mm olevat määrät, joten seuraavana tuli selvittää pesuseulonnan läpimenneiden rakeiden koot. Tätä varten käytetään areometrikoea. Koetta varten otettiin 100 g 0,2 mm seulan läpäissyttä maa-ainesta, ja laitettiin ne koeputkeen, jossa on 1 litra vettä. Näyte sekoitettiin kuvan 5 mukaisesti laitteella (kuva 5), joka pyöritti näyteputkea 40 minuutin ajan.

Välittömästi kun näyte otettiin pois laitteesta ja sekoitus loppui, laitettiin areometri näyteputken pinnalle, jotta saataisiin tulos heti sekoituksen jälkeen. Areometrillä mitattiin tulokset vielä 2 min, 6

min, 20 min, 1 h, 1 vrk ja 4 vrk sekoituksen jälkeen. Taulukko 3 näyttää raekoot 0,063 mm alittavalta osuudelta, sekä pesuseulonnan tulokset.

Taulukko 3: Rakeisuuskäyrä (Kellberg 2023)



Kuva 4: Näytteen humuspitoisuuden määrittäminen (Kellberg 2023)



Kuva 5: Rakeisuuden määrittäminen areometrillä (Kellberg 2023)

5.2 Vesipitoisuuden määrittäminen

Kun maalaji oli selvitetty mahdollisimman tarkasti, selvitettiin maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus proctor-kokeen avulla. Tässä toimittiin tutkimusmenetelmät-luvun mukaisesti. Aikaisemmin selvitettiin maalajin olevan HkMr, eli hiekkamoreeni, ja asiantuntijan avustuksella selvisi tällä maalajilla yleensä olevan optimivesipitoisuus n. 7 %.

Näytettä varattiin kokeeseen n. 15 kg, josta seulottiin pois yli 16 mm rakeet. Kokeessa valitaan vesipitoisuudet kyseiselle maalajille HkMr väliltä 5–15 %, mutta koska pystyttiin oletamaan asiantuntijan avustuksella kosteuden olevan n. 7 %, pystyttiin tekemään koe hieman tarkemmilla prosenttimäärillä. Kokeeseen päätyi halutuiksi kosteuksiksi 5, 6, 7 ja 8 %. 15 kg näytettä jaettiin jakolaatikolla 4 osaan, jotta kaikki näytteet pysyisivät samanlaisina. Näytteisiin lisättiin vedet, jotta saatiin halutut kosteudet. Jokainen näyte tehtiin samalla tavalla, laittamalla koesylinteriin maa-ainekset viidessä osassa, ja välissä tasoittamalla näytettä 25 iskulla proctor-iskuvasaralla (kuva 6). Viiden tiivistyksen jälkeen näyte oli koesylinterin kauluksen kohdalla, kuten pitikin. Kun kaulus poistettiin, näyte tasattiin tarkasti sylinterin huippuun (kuva 7), jonka jälkeen näytteen paino muotin kanssa merkittiin ylös. Tästä valmiista näytteestä kerättiin maa-ainesta erilliseen kulhoon ja näytteen paino mitattiin

uudestaan, ennen kuin se asetettiin kuivausuuniin. Tämä toistettiin kaikkien näytteiden kohdalla.



Kuva 6: Proctor iskuvasara (Kellberg 2023)

Kuivatusuunissa kuivuneet maa-ainekset mitattiin uudestaan, kun vesi oli haihtunut. Näin saatiin laskettua todelliset näytteiden kosteudet laskemalla veden massa jaettuna kuivannäytteen massalla kerrottuna 100 %:lla. Kaikki kosteudet olivat prosentin kymmenyksien verran erilaiset kuin mitä oli tarkoitus, mutta juuri tätä varten selvitettiin todelliset kosteudet.

Todellisilla kosteusmäärillä laskettiin ensin näytteen massa kuivana, jossa m =kostean näytteen massa w = näytteen vesipitoisuus

$$md = \frac{m}{1 + \frac{w}{100\%}} \quad (1)$$

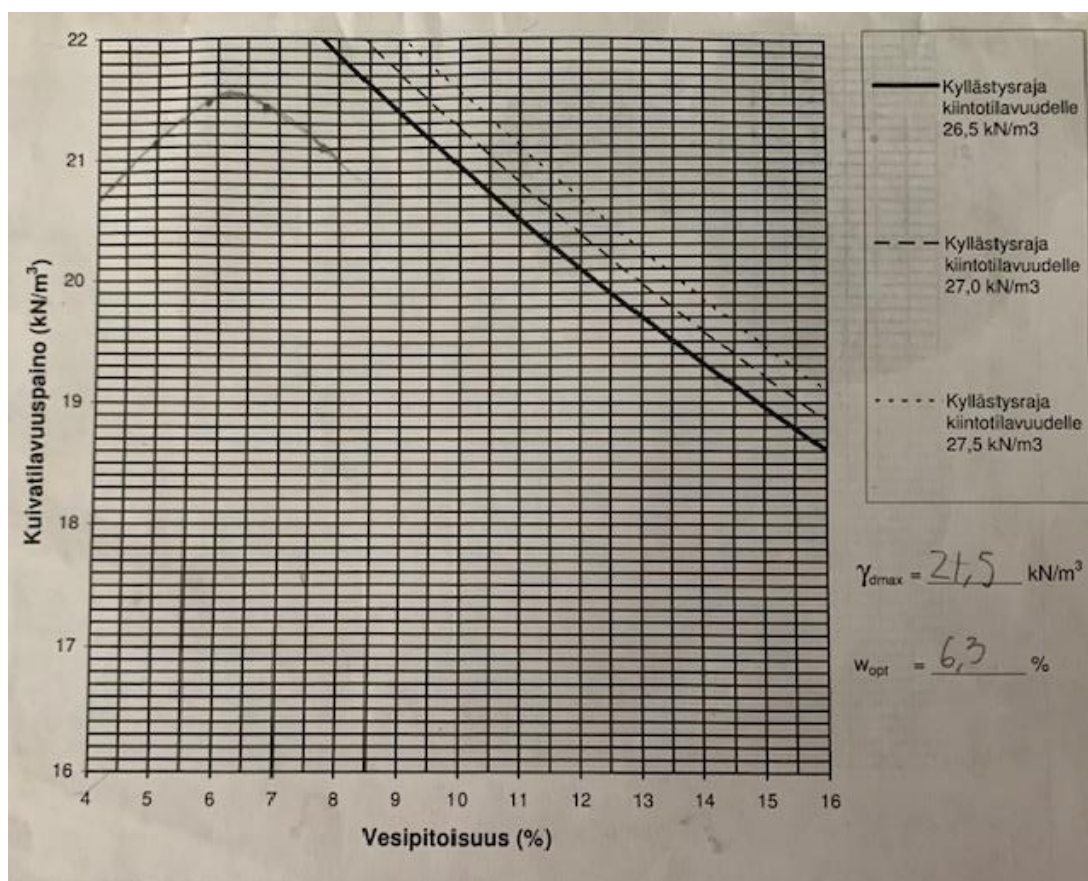
, sitten voitiin laskea näytteen kuivatilavuuspaino kaavalla:

$$\gamma_d = \frac{md * g}{v} \quad (2)$$

Jossa m_d =näytteen massa kuivana, g =maanvetovoima 9,81 ja V = muotin tilavuus 948,88cm³.

Asettamalla näytteiden kuivatilavuuspainot taulukkoon, saatiin selville optimivesipitoisuuden olevan n. 6,3 %, ja maksimikuivatilavuuspainon 21,5 kN/m³ (taulukko 4).

Taulukko 4: Proctor-kokeen tulokset (Kellberg 2023)



Kuva 7: Proctor-koe sylinteri ja näyte (Kellberg 2023)

5.3 Sideaineen määrittäminen

Sideainemäärät määritettiin tutkimusmenetelmät-luvun mukaisesti. Kokeeseen tarvittiin molemmat sideaineet, tarpeeksi maa-ainesta, koeylinteri ja puristin. Tavoitteena oli selvittää parhaat sideainemäärät sideaineiden vertailua varten. Toisen sideaineen määrä on ennalta määritetty 8 %.

Näytteitä tehtiin kullakin sideainemäärällä 3 rinnakkaiskappaletta. Ensimmäisenä laskettiin näytemuotin tilavuus 70 mm:n korkeudessa. Näytemuotti oli katkaistu kartio, jonka pohja oli 72 mm halkaisijaltaan ja pinta 70 mm halkaisijaltaan. Tilavuus ratkaistaan käyttäen katkaistun kartion tilavuuden kaavaa:

$$\pi h(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)/3 \quad (3)$$

Jossa h=korkeus, r1=pohjan halkaisija, r2=pinnan halkaisija

Laskutoimituksen tuloksena selvisi tilavuuden olevan $V=277,17 \text{ cm}^3$ tai n. 0,28 l.

Seuraavana laskettiin, paljonko tarvitaan näytettä 0,28 litran tilaavuuteen, kun näyte oli tarkoitus puristaa käyttäen 90 %:a aikaisemmin selvitetystä maksimikuivatilavuuspainosta. Tällöin näytteen maksimikuivatilavuuspainona käytettiin $19,35 \text{ kN/m}^3$. 90 % maksimikuivatilavuuspainolla veden, maan ja sideaineen sekoituksen kokonaispainoksi määritettiin 0,54669 kg.

Tehtiin kolme rinnakkaisnäytettä, joten määrä 546,69 g kerrottiin kolmella, ja laitettiin varmuuden vuoksi n. 20 % ylimääräistä. Kokonaisuudessaan näytettä tarvittiin 1,968 kg tai n. 2 kg. Jaettiin maa-ainesta jakolaatikolla, niin että saatiin kolme n. 2 kg:n annosta. Maa-aineksen määrä oli lopulta hieman pienempi kuin oli tarkoitus, kun kaikkiin kolmeen annokseen tuli n. 1,6 kg maa-ainesta, mutta nopealla laskutoimituksella selvisi määrän riittävän hyvin, kun maa-ainekseen lisätään vielä sideaine ja vesi.

Keskitytään nyt ensimmäiseen sideainemäärään eli 4 %:iin. Maa-ainesta oli 1,578 kg ja siihen oli tarkoitus lisätä 4 % sideainetta. Laskemalla saatiin sideainemääräksi 63,12 g. Lisättiin oikea määrä sideainetta ja lopullinen painon tulisi olla 1,641 kg. Laskettiin tästä määrästä aikaisemmin määritetty optimivesipitoisuus, joka lisättiin näytteeseen ja saatiin veden määräksi 103,38 g. Näytteen olisi nyt painettava 1,7445 kg. Näyte sekoitettiin tarkasti, niin että kaikkialta oli varmasti sekoittunut. Nämä vaiheet toistettiin myös muilla sideainemäärillä: 6 % ja 8 %.

Näytteiden puristus alkoi jakamalla aikaisemmin tehty näyteaine kolmeen osaan, niin että yksi osa oli tarkalleen 546,69 g. Ensimmäisen näytteen puristuksessa ilmeni ongelma: kun näytteen kaatoi muottiin, valmiista puristetusta näytteestä huomasi, että kaikki suuremmat kivet olivat näytteen pohjalla. Tämän jälkeen näytteet laitettiin muottiin lusikalla tasaisesti kaataen jokaisesta suunnasta. Seuraavat näytteet olivat onnistuneita.

5.3.1 Lopulliset sideainemäärät

Kaikki yhdeksän näytettä puristettiin ja asetettiin säilytykseen tutkimusmenetelmät-luvun mukaisesti (kuva 8). Tämän jälkeen odotettiin 3 vuorokautta, että näytteet olivat kerenneet hieman lujittua ennen kuin ne puristettaisiin.

Jotta taulukko olisi selkeämpi lukea, näytteet puristettiin pienimmästä sideaineprosentista suurimpaan, eli ensin 4 %, sitten 6 % ja viimeisenä 8 %. Taulukosta näkee, että puristuksia tapahtui vain 8 kpl, tämä johtuu siitä, että yksi 6 % näyte hajosi näytteiden tekovaiheessa. Näytteissä ei näkynyt suurta eroa rinnakkaisnäytteiden kesken, mutta sideainemäärissä voidaan kuitenkin huomata eroja: ainakin 4 %:n sideainesekoituksessa verrattuna 6 %:n ja 8 %:n sideainesekoituksiin. Liite 1 näyttää miten heikko 4 %:n sideainemäärä oli ja miten samanlaiset 6 %:n ja 8 %:n tulokset olivat. Näiden tuloksien perusteella yhdessä Destian ja Tapojärven yhteyshenkilöiden kanssa päädyttiin, että lopulliseen kokeeseen tulisi 6 %:n sideainemäärä, vaikka 8 %:n tulos olikin parempi, niin se ei oikeuta 8 %:n sideainemäärää, kun pienemmällä määrällä tulos oli lähes yhtä hyvä. Toisen sideaineen määrä, kuten aikaisemmin sanottiin, tulee olemaan 8 %.



Kuva 8: Näytemuotti ja näytteen puristaminen (Kellberg 2023)

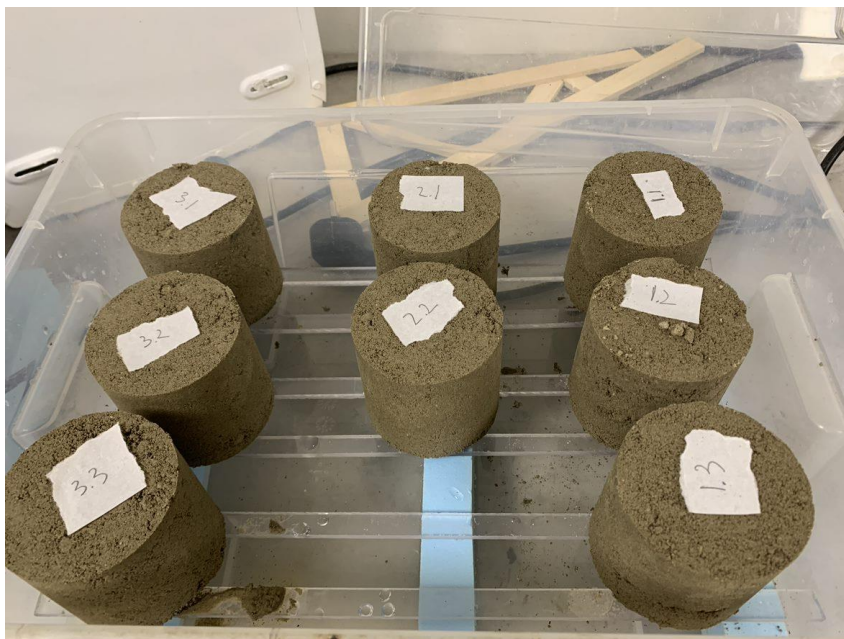
5.4 Näytekappaleiden valmistus

Kun alustavat kokeet ja tutkimukset oli tehty, selvitettiin puristusvoimat molemmilla sideaineilla kolmena eri ajankohtana. Ajankohdat ovat 3 vrk, 7 vrk ja 28 vrk. Jokaiseen ajankohtaan molemmilla sideaineilla tehtiin kolme rinnakkaiskappaletta.

Näytteet tehtiin samalla tavalla kuin sideainemäärien selvityksessä ja tutkimusmenetelmät-luvussa on kerrottu. Ensimmäistä sideainetta laitettiin 6 % ja toista 8 %. Näytteitä tehtiin yhteensä 18 kpl, ja aikaisempien laskujen perusteella tarvittiin yhtä näytettä varten 546,69 g materiaalia. Näytettä otettiin yhteensä n. 12 kg, joka oli tarkoitus jakaa 6 osaan, eli kolmen näytteen tarvitsemiin osiin. Otettiin tarkat painot ylös, ja laskettiin tarkat määrät, paljonko sideainetta kuhunkin näytteeseen tuli. Viimeisenä vedet ja näytteet sekoitettiin.

Näytekappaleet puristettiin kaikki samalla tavalla. Tira-test-puristin asetettiin puristamaan näytteet 70 cm:n korkeuteen tasaisella nopeudella 1 mm minuutissa. Näytteet laitettiin säilöön tutkimusmenetelmät-luvun mukaisesti laatikkoon, jossa kosteus on hyvin lähellä 100 %:a, mutta yksikään näyte

ei ollut kosketuksessa veteen (kuva 9).



Kuva 9: Näytteiden säilytys (Kellberg 2023)

5.4.1 Puristuskokeet

Ensimmäiset puristusvoimien määritykset tulivat ensimmäisenä ajankohtana eli 3 vuorokautta näyte-kappaleiden tekemisen jälkeen. Näytteet olivat säilyneet hyvin ja muutosta ei ollut näytteenteon jäl-keen tapahtunut ulkoisesti. Tira-test-puristimeen tehtiin valmiit asetukset, jotta kaikki näytteet voi-tiin puristaa täysin samalla tavalla. Puristin asetettiin liikkumaan 5 mm minuutissa, kunnes puristus-voima nousee 20 N, eli kunnes näyte tulee vastaan. Tässä vaiheessa nopeus putoaa 1 mm minu-u-tissa ja pysyy siinä, kunnes puristusvoima putoaa 50 % tai kunnes laitteen ohjaaja pysäyttää ko-keen. Kaikki kokeet tehtiin samassa järjestyksessä, jotta taulukot ovat paremmin luettavia. 6 %:n sideainesekoitukset puristettiin ensin, joten puristukset 1–3 ovat 6 %:n sideainesekoituksia.

Ensimmäiset kokeet tapahtuivat 3 vuorokautta näyte-kappaleiden tekemisen jälkeen. Kaikki 6 näyte-kappaletta puristettiin täysin samalla tavalla, aikaisemmin kerrottujen Tira-test-asetuksien mukaan. Tuloksista näkee, että rinnakkaiskappaleissa ei ollut paljoa eroavaisuutta, koska tulokset pysyivät hyvin samanlaisina, joten tuloksien voidaan olettaa olevan luotettavia. Liitteessä 2 voidaan nähdä, miten paljon heikommat tulokset 6 %:n sideainesekoitus sai, verrattuna 8 %:n sideainesekoitukseseen.

7 vuorokautta näyte-kappaleiden tekemisen jälkeen testattiin seuraavat 6 näyte-kappaletta. Näytteet olivat alkaneet näyttää jo hieman kuivemmilta, minkä voisi olettaa antavan parempia tuloksia kuin viimeksi. Liitteessä 3 näkyy, että 6 %:n sideainesekoituksella saatiin tällä kertaa jo paremmat tulok-set kuin toisella 8 %:n sideainesekoituksella. Voidaan päätellä, että TAPOEKO maasementti 1, jota käytetään 6 % lujittuu nopeammin, kuin TAPOEKO maasementti 2, jota käytetään 8 %, ainakin näissä kosteuksissa.

Viimeisenä 4 viikkoa eli 28 vuorokautta näyte-kappaleiden tekemisen jälkeen, kokeiltiin näytteiden puristusvoimia viimeisen kerran. Näytteet olivat selkeästi kuivemman näköisiä kuin aikaisemmin. Säi-lytyksessä ei ollut tapahtunut mitään ongelmia, eikä vesi ollut päässyt loppumaan laatikosta. 28 vrk

jälkeen 6 %:n sideainenäytteet olivat lujittuneet viime kertaan verrattuna todella paljon. 7 vuorokauden paras lujuus, joka saatiin 6 %:n sideainenäytteellä, oli 2500 N, ja nyt se oli 8200 N. 8 %:n sideainenäytteet eivät olleet vieläkaan parantaneet lujuuttaan merkittävän paljoa. 3 ja 7 vuorokauden jälkeen paras tulos oli 2100 N ja nyt se oli 2800 N. Liitteet 2, 3 ja 4 näyttävät tarkat tulokset jokaiselta puristuskerralta.



Kuva 10: Puristettu näyte (Kellberg 2023)

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

6.1 Yhteenveto

Destia pyrkii vähentämään kunnossapitotarvetta sorateilla, joten he kokeilevat vaihtoehtoisia tapoja ylläpitää sorateita. Yhteistyössä Tapojärven kanssa, Destia kokeilee sorateiden stabilointia Nurmeksen alueurakan sorateilla. Opinnäytetyöni päätavoitteena oli vertailla kahta eri sideainetta keskenään. Sideaineet ovat käytännön kokeilussa aikaisemmin mainitulla Nurmeksen alueurakalla, joten sieltä laboratoriokokeita varten haettiin samaa maa-ainesta suoraan soratiestä ennen kuin siihen laitettiin stabilointiaineet. Ensimmäisenä tuli selvittää tämän kyseisen maa-aineksen geotekninen maalajiluokitus mahdollisimman tarkasti, jotta testitulokset ovat jatkossa verrattavissa. Tuloksien perusteella maa-aineksen geotekninen maalajiluokitus on hiekkamoreeni HkMr.

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli vertailla sideaineita, joten sitä varten tuli saada selville maalajin maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus, jotka selvitettiin proctor-kokeella. Testiä varten tuli myös selvittää, millä sideainemäärällä saadaan parhaat lujuudet näytteille, joten täytyi tehdä alustavia kokeita eri sideainemäärille, jotta nähtiin millä määrällä kokeet tullaan tekemään. Testien tuloksena paras sideainemäärä oli 6 %.

Näytteitä tehtiin yhteensä 18 kappaletta, joita testattiin kolmena ajankohtana: 3 vrk, 7 vrk ja 28 vrk näytteiden teon jälkeen. Jokaista ajankohtaa varten oli kolme rinnakkaisnäytettä molemmilla sideaineilla.

6.2 Tulokset

Kaikista näytteistä parhaimmat tulokset saavutettiin 28 vuorokautta näytteiden teon jälkeen. Verrattavista sideaineista TAPOEKO maasementti 1, sai huomattavasti parempia tuloksia ja parhain lujuus ylitti 8000 N puristusvoiman, kun toisen vertailukohteen TAPOEKO maasementti 2, lujuus ylitti parhaimmillaan 2800 N puristusvoiman.

6.2.1 Maasementti 1

TAPOEKO maasementti 1 voidaan tehtyjen kokeiden perusteella valita vertailun voittajaksi. Kyseinen sideaine saavutti joka kerta paremmat tulokset kuin aikaisemmin. Voitaisiin olettaa puristusvoiman vielä paranevan 28 vrk:n jälkeenkin, mutta tämä vaatisi lisätutkimuksia. Kuitenkin vertailussa tarvittaisiin enemmän testejä, sillä TAPOEKO maasementti 1, tuotti todella heikot lujuudet 3 vuorokauden kuluttua tehdyissä kokeissa, joten voidaan olettaa sen tarvitsevan enemmän aikaa lujittumiseen. Liikennöitävillä teillä aikaa ei välttämättä ole, joten tarvittaisiin lisätutkimuksia, jos halutaan valita oikeasti parempi sideaine.

6.2.2 Maasementti 2

TAPOEKO maasementti 2 saavutti hyvät puristusvoimat heti 3 vuorokauden kuluttua tehdyissä kokeissa. Oletus oli, että tulokset paranisivat ajan kanssa, ja niin ne paranivatkin, mutta vain hieman verrattuna 1. sideaineeseen. 7 vuorokauden kohdalla 1. sideaine sai jo paremmat puristusvoimat kuin 2. sideaine, sillä toisella sideaineella ei juuri ollut kehitystä puristusvoimassa ja ensimmäisellä sideaineella puristusvoimat lähes tuplaantuivat.

Näytteiden tekeminen TAPOEKO maasementti 2:lla oli huomattavasti erilaista. Puristaakseen haluttuun kokoon näytteet, joissa on 2. sideainetta, tarvittiin lähes tuplasti enemmän voimaa prässillä. Tämän kaltaiset eroavaisuudet voivat hyvin näkyä tuloksissa.

6.3 Pohdinta

Jatkotutkimuksia varten jäi paljon kysymyksiä. Kokeissa selvitettiin sideaineiden kantavuuksia sora-
teiden stabiloinnissa. Kokeet tehtiin kuitenkin puristusvoimat selvittämällä. Tärkeintä olisi saada jokin
konkreettinen yhteys näiden välille. Kuinka hyvin puristusvoimat kuvastavat kantavuutta käytännön-
töissä?

Kokeet suoritettua jäi auki paljon kysymyksiä, joihin ei ollut aikaa hakea vastauksia. Sideaineet käyt-
täytyivät hyvin eri tavalla, niin näytteitä tehtäessä kuin näytteitä puristaessa. Näytteitä tehtäessä
TAPOEKO maasementti 2 tarttui kiinni maa-aineksen kiviin. Vaikuttiko tämä huonompiin tuloksiin,
jotka 2. sideaine tuotti? Koekappaleita tehtäessä tarvittiin paljon enemmän voimaa 2. sideaineen
kappaleiden kanssa, vaikka molemmilla sideaineilla oli saman verran materiaalia koekappaleissa.
Tästä ilmeni kysymys jatkotutkimuksia varten: tulisiko koekappaleet tehdä eri tavalla, sillä käytän-
nössä, kun soratietä tiivistetään, se tapahtuu samalla voimalla, oli sideaine mikä tahansa. Koekappa-
leet voisi myös tehdä samalla tavalla, eli puristettaisiin kaikki näytteet samalla lujjuudella. Jatkotutki-
muksissa voisi myös kokeilla isompia vesimääriä, sillä laskettu optimivesipitoisuus on vain maa-ai-
nesta varten, ei maa-aines sideainesekoitusta varten. Lisäksi, jotta saataisiin paremmat pohjat ver-
tailuun, olisi hyvä, jos sideainemäärät olisivat samat molemmilla sideaineilla.

Kokeet onnistuivat hyvin alkuperäisten ehtojen mukaan. Jokaisessa käänteessä kuitenkin ilmeni lisä-
kysymyksiä ja kaikkiin niistä ei kerennyt etsiä vastausta. Tästä opinnäytetyöstä saadut tulokset ker-
toivat hyvää 1. sideaineesta, mutta tulisiko erilaiset tulokset käytännöntyössä? Olisiko 2. sideaine
parempi käytännössä ja saavuttaisiko se parempia puristusvoimia, jos kokeet tehtäisiin eri lailla? Pi-
täisikö näytteitä yrittää myös säilyttää eri tavalla, kenties täysin kuivassa tai veteen kosketuksessa?
Opinnäytetyön tutkimusmenetelmät ja tulokset antavat hyvän pohjan jatkotutkimuksia varten, toi-
vottavasti niitä tehdään.

LÄHTEET

Destia julkaisuaika tuntematon. Tietoa meistä. Verkkojulkaisu. <https://www.destia.fi/tietoa-meista/> Viitattu 10.3.2023.

ELY-keskus 2023. Soratiet. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2.5.2023. <https://www.ely-keskus.fi/-/var-soratiet> Viitattu 2.5.2023.

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R., & Tammirinne, M. (1997). *Geotekniikka* (16. tark. ja korj. p.). Ota-tieto.

GTK julkaisuaika tuntematon. Maalajin määrittäminen. Verkkojulkaisu. <http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/maalajimaaritus.htm> Viitattu 20.3.2023.

Liikennevirasto 2014. Sorateiden kunnossapito. Liikenneviraston ohjeita 1/2014. Helsinki. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf Viitattu 02.05.2023

Tiehallinto 2007. Päälysrakenteen stabilointi. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Julkaistu 19.12.2007. Helsinki. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Tiehallinto/pdf/2100055-v-07paallysrakenteen_stabilointi.pdf Viitattu 2.5.2023.

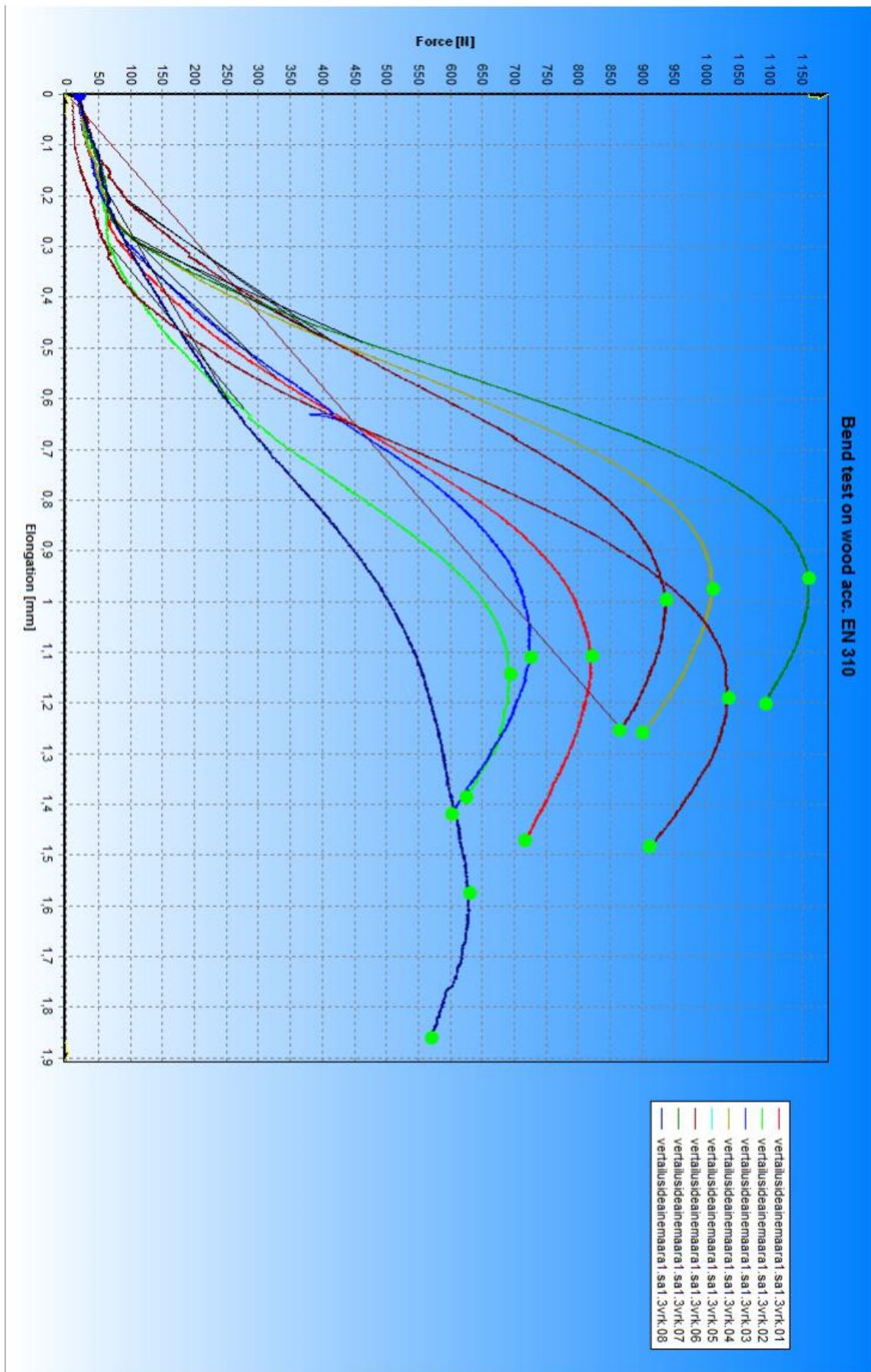
Väylä 2022. Teiden kunnossapito. Verkkojulkaisu. Päivitetty 4.8.2022. <https://vayla.fi/kunnossapito/tieverkon-kunnossapito> Viitattu 12.3.2023

Väylä 2022. Tieverkko. Verkkojulkaisu. Päivitetty 4.8.2022. <https://vayla.fi/vaylista/tieverkko> Viitattu 12.3.2023

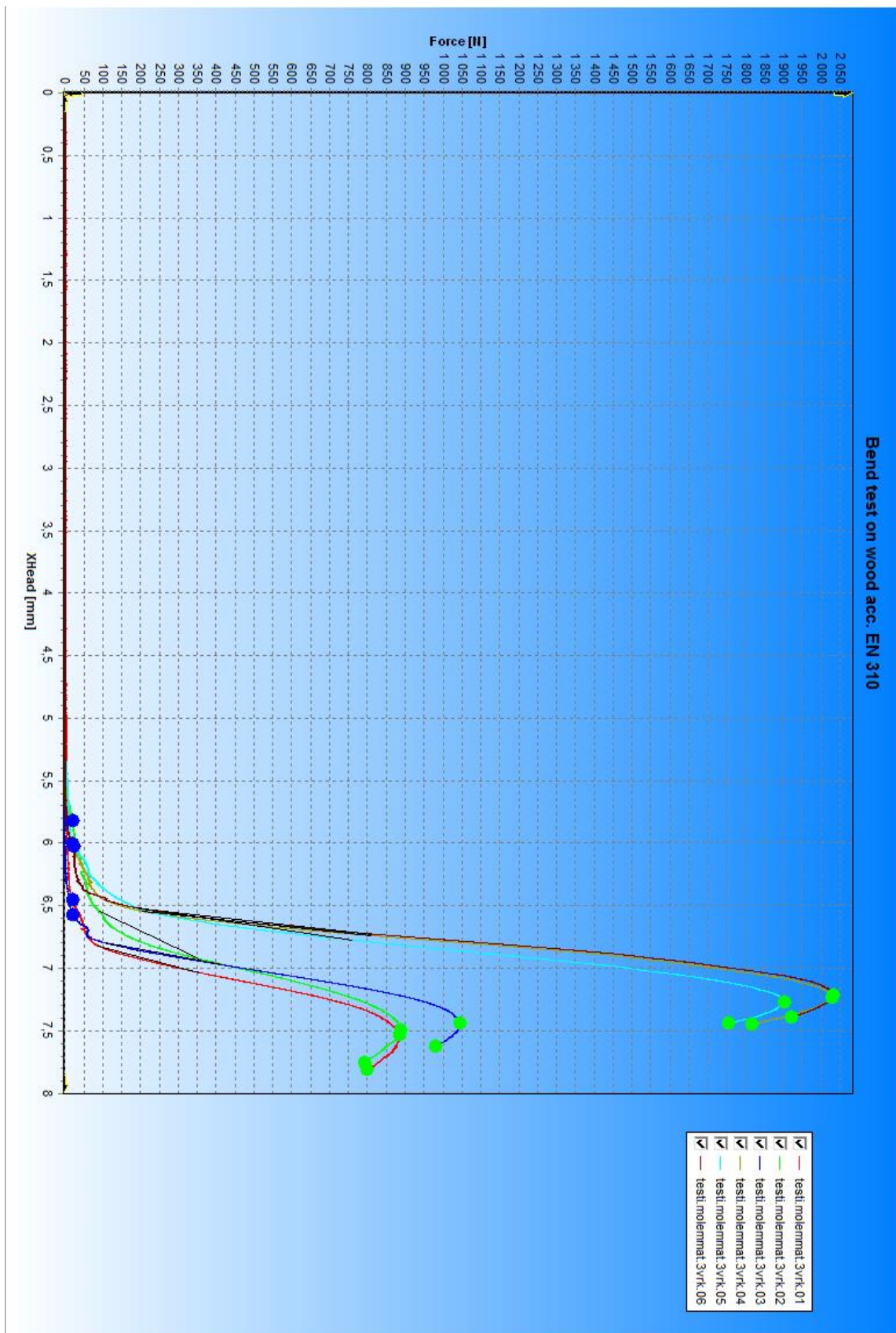
Väylävirasto 2021. Sorateiden kunnossapidon toimintalinjat. Väyläviraston julkaisuja 72/2021. Helsinki. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/183033/vj_2021-72_978-952-317-923-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 15.3.2023

LIITTEET

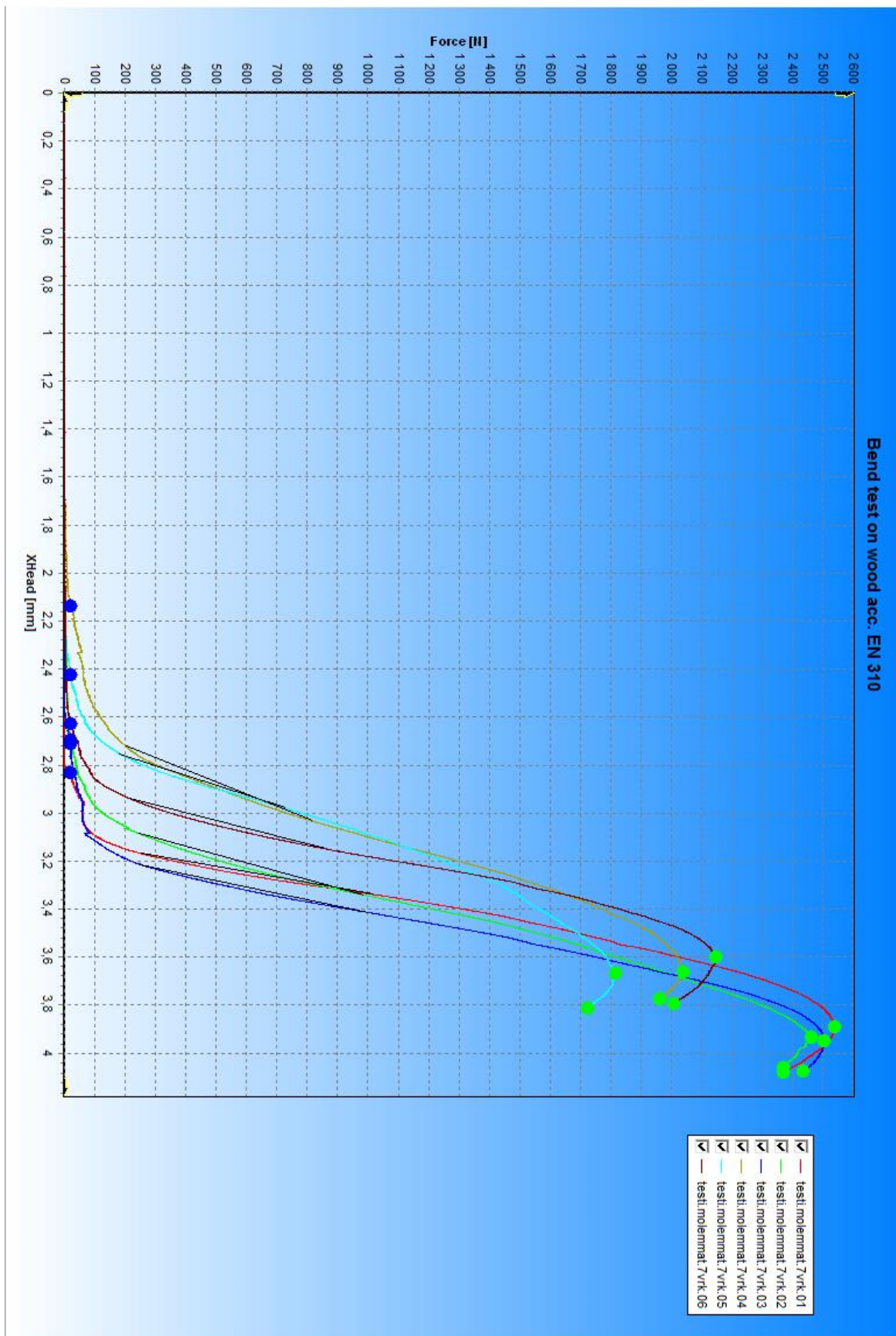
LIITE 1: SIDEAINEVERTAILU



LIITE 2: TUTKIMUSTULOKSET 1/3



LIITE 3: TUTKIMUSTULOKSET 2/3



LIITE 4: TUTKIMUSTULOKSET 3/3

