

PADONKOROTUSTYÖMAAN LAADUNVARMISTUS
URAKOITSIJAN NÄKÖKULMASTA

Juvén Toni

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri AMK

VUOSI 2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri AMK

| | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------|------|
| Tekijä | Toni Juven | Vuosi | 2021 |
| Ohjaaja(t) | Janne Poikajärvi | | |
| Toimeksiantaja | Veljekset Kellola Oy | | |
| Työn nimi | Padonkorotustyömaan laadunvarmistus | | |
| Sivu- ja liitesivumäärä | 29 + 13 | | |

Opinnäytetyön tavoitteena oli selventää tilaajan ja urakoitsijan välistä työmaan aikaisia tehtäviä, vastuita ja laatuvaatimusten asettamia vaatimuksia padonkorotustyömaan työnaikaisen laadunvalvonnan osalta käytännössä.

Työssä käsiteltiin moreenin ominaisuuksia ja erityisominaisuuksien merkitystä padonkorotuksen tiivistystyön laadun kannalta, työmenetelmien vaikutusta laatuun ja työmaan valvontavastuita. Työmaan laadunhallinnassa on huomattu olevan haasteita. Työn tarkoituksena oli selventää ja helpottaa tulevaisuudessa urakoitsijan oman laadunvalvontasuunnitelman tekoa sekä tuoda uusia huomioitavia näkökohtia laadunhallintaan ja työmaan johtamiseen.

Moreenin soveltuvuus rakenteeseen analysoitiin ennakkokokeina maanäytteistä tehtävinä rakeisuuskyrän, kiintotilavuuspainon ja vedenläpäisevyys arvojen laboratorikokeiden perusteella. Moreenin kiintotilavuuspainoa määrittäystä tarvittiin tiivistystyön laadun valvontaan.

Työn tuloksena saatiin parempi ymmärrys, kuinka tärkeää työohjeiden ja suunnitelmien noudattaminen on laadullisesti hyvin onnistuneen lopputuloksen kannalta. Työmaan toteuttamisen aikana on työmenetelmien ja laadunvalvontamenetelmien on oltava oikeita. Työ- ja laatusuunnitelmaa toteutettaessa on otettava huomioon materiaalien ominaisuudet ja rakenteiden vaatimukset.

Avainsanat: patorakentaminen, moreeni, laatu, valvonta

Degree Programme in Civil Engineering

Bachelor of Engineering

| | | | |
|--------------------------|--|-------------|------|
| Author | Toni Juven | Year | 2021 |
| Supervisor | Janne Poikajärvi | | |
| Commissioned by | Veljekset Kellola Oy | | |
| Subject of thesis | Quality Assurance of the Dam Lift Work | | |
| Number of pages | 29 + 13 | | |

The objective of the study was to find out the division of tasks, responsibilities and requirements between the contractor and the customer on a dam construction site. Actions were described in terms of quality control actions during working on the dam lift site. Work site quality management is often challenging. The purpose of this study was to clarify and facilitate working with the contractor's own quality control plan in the future and to bring new aspects to quality management and site management.

The study concerned the properties of moraine and the significance of its special properties for the quality of compacting work of dam, the impact of working methods on quality and site control supervising. The suitability of the moraine for the dam structure was analysed with preliminary tests on soil samples. Laboratory tests were run regarding the granularity curve, solid volume weight and water permeability values. The determination of the bulk density of the moraine was needed to control the quality of the compacting work.

The result of the study was a better understanding of the importance of following the work instructions and plans in terms of a qualitatively very successful outcome. During the construction of the site, the working methods and quality control methods must be correct. The work and quality plan implementing must include the properties of the materials and the requirements for the structures must be taken into account.

Key words: dam construction, moraine, quality, supervising

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 PATORAKENTAMINEN | 8 |
| 2.1 Yleistä | 8 |
| 2.2 Padon rakentaminen..... | 8 |
| 2.3 Patoluokat..... | 8 |
| 2.4 Homogeenisen maapadon rakenne..... | 9 |
| 2.5 Rakennuskohde..... | 10 |
| 3 MOREENI PATORAKENTEESSA..... | 12 |
| 3.1 Moreenimaalajit | 12 |
| 3.2 Moreenimaalajien ominaisuudet | 12 |
| 3.3 Patomoreenin ominaisuuksien määrittäminen | 13 |
| 3.4 Näytteiden GEO-luokitus ja kuivairtotehdyys | 14 |
| 3.5 Vedenläpäisevyys..... | 15 |
| 3.6 Kitkakulma ja koheesio | 16 |
| 4 TYÖNAIKAINEN LAADUNHALLINTA | 18 |
| 4.1 Laadunvalvonnan järjestäminen | 18 |
| 4.2 Laadunvalvontatyöt..... | 18 |
| 4.3 Laatuviikot | 19 |
| 4.4 Laadunvalvonnan raportointi..... | 20 |
| 4.5 Laatuvaatimukset..... | 20 |
| 4.6 Patorakenteen työnaikainen laadunvalvonta | 21 |
| 4.7 CASE Eroosiovaurion korjaus..... | 23 |
| 5 POHDINTA | 25 |
| LIITTEET | 29 |

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| m^3 rtr | teoreettinen rakennetilavuus m^3 |
| PL | poikkileikkaus |
| +xx.xx m | korko merenpinnasta |
| φ' | kitkakulma |
| c | koheesio kPa |
| D | tiiveysaste |
| γ_{dmax} | Proctortiiveys |
| W_{op} | optimivesipitoisuus |
| k_{20C} , m/s | vedenläpäisevyyden keskiarvo |
| k | vedenläpäisevyys |
| # | raekoko |
| As-Buit | toteumapiirustus |
| Troxler | säteilymittauslaite |

1 JOHDANTO

Veljekset Kellola Oy on vuonna 1998 perustettu maanrakennus-, puunkorjuu- ja korjaamopalveluihin erikoistunut yritys. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2019 n.12.1 milj. € ja yritys työllistää n. 40 henkilöä. Yritys on perheyritys, jonka omistavat kolme veljestä. Yrityksen liikeideana on toimittaa ammattitaitoista ja laadukasta maanrakennus- ja puunkorjuupalvelua nykyaikaisella kalustolla mm. 3D-laitteistoilla varustetuilla koneilla. Yrityksen asiakaskunta on laaja kattaen asiakkaat omakotirakentajista aina teollisuuden vaatimiin palveluihin. Nykyisin yritys on pääasiassa keskittynyt suurempiin työmaihin. Yrityksen päätoimialueena Pohjois-pohjanmaa, mutta yrityksen toimialue kattaa koko Suomen.

Työssä käsitellään moreenipatorakenteen työn aikaista laadunhallintaa, laadunvalvonnan mittauksiin käytettäviä menetelmiä ja rakennusmateriaalina huomioidaan moreenimaa-aineksen vaatimat erityisominaisuudet, erityisesti tehtävän tiivistystyön laadun kannalta. Työssä pyritään selventämään homogeenisen maapadon korotusosan rakentamisen liittyvien laadunhallinnan toimenpiteiden toteutusta patorakenteen mahdollisimman laadukkaana lopputuloksen kannalta. Työ sisältää rakennuskohteena olevan kaivoksen rikastushiekka-altaan reunapadon korotustyölle asetetut laatuvaatimukset, laadunvalvontatoimenpiteet ja mahdollisimman luotettavia, työn aikaisia laadunhallinnan menetelmiä käytännön toteutukseen työmaalle. Työssä keskitytään käsittelemään padonkorotustyötä alkaen pengerrysvaiheesta pinta- ja päällysrakenteisiin.

Laadunvalvontasuunnitelman järjestelmällinen toimenpiteiden noudattaminen on merkitykseltään tärkeää, mutta laadunvalvontamenetelmien on oltava oikeita ja soveltuvia tarkoitukseensa. Erityisesti moreenirakentaminen antaa omat haasteensa rakenteiden laadulle. Laadunvalvontamenetelmiä valitessa täytyy huomioida mm. kohteen erityisvaatimukset, rakennus materiaalien ominaisuudet ja rakenteen toimivuudelle asetetut vaatimukset. Työn tarkoituksena on selventää tehtävien työn aikaisten laadunvalvontamittausten merkitystä ja toteutustapaa. Laatusuunnitelman tekijänä on geotekniseen suunnitteluun erikoistunut yritys, mutta laatusuunnitelmassa ei yleensä määritellä laadunvalvonnan menetelmiä

kovinkaan yksityiskohtaisesti ja vastuu laadunhallinnasta ja laadunvarmistamiseen käytettävistä laadunvalvontamenetelmistä työn aikana on käytännössä urakoitsijan ratkaistavissa.

2 PATORAKENTAMINEN

2.1 Yleistä

Patoturvallisuuslaissa määritellään, että padon rakenne on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei sen käyttäminen aiheuta vaaraa turvallisuudelle tai ympäristölle. Laadittaessa padon rakentamista koskevaa suunnitelmaa, suunnitelman tulee täyttää lain mukaiset patoturvallisuusvaatimukset (Patoturvallisuuslaki 7 § ja 8 §).

2.2 Padon rakentaminen

Pato tulee rakentaa noudattaen hyvää rakennustapaa, rakennustyön vaatimien laatumääritelmien mukaisesti. Patorakentamisessa on noudatettava suunnitelmia ja rakentamiseen osallistuvan henkilökunnan tulee olla pätevää ja tehtäviin perehtynyttä. Hyvä rakentamistapa edellyttää, että rakennustyöllä ja laadunvalvonnalla on valvoja, joka on riippumaton rakennustyön suorittajaan. Valvojalla täytyy olla edellytykset tarvittaessa keskeyttää työt. (Patoturvallisuusopas s.15.)

2.3 Patoluokat

Padot luokitellaan kolmeen eri luokkaan riippuen vahingonvaaran perusteella. Luokittelua ei tehdä, mikäli padosta ei aiheudu vaaraa. (Patoturvallisuusopas s.18.)

Luokittelu:

1. 1-luokan pato, onnettomuustilanteessa aiheuttaa vaaran ihmishengelle ja terveydelle tai huomattavan vahingon ympäristölle ja omaisuudelle (Patoturvallisuusopas s. 18).
2. 2-luokan pato, onnettomuustilanteessa voi aiheuttaa vaaraa terveydelle. Ei kuitenkaan aiheuta hengenvaaraa. Aiheuttaa vähäistä suuremman vaaran ympäristölle ja omaisuudelle. (Patoturvallisuusopas s. 19.)

3. 3-luokan pato, onnettomuustilanteessa ei aiheuta vaaraa terveydelle. Aiheuttaa vähäisen vaaran ympäristölle ja omaisuudelle. (Patoturvallisuusopas s. 19.)

Padon luokittelematta jättämiselle yleensä pidetään maksimissaan 3 metrin korkeuseroa padon ylimmän pinnan ja maanpinnan välillä. Padon vesistötilavuus on myös vähäinen. (Patoturvallisuusopas s.19.)

2.4 Homogeenisen maapadon rakenne

Homogeeninen maapato on mahdollisimman samanlaisesta maamateriaalista rakennettu patorakenne. Patorakenteessa ei käytettä eri kerroksia tai tiivistäviä kalvoja. Patoranteen luiskat on yleensä eroosiosuojattu, johtuen moreeni maa-ainekselle ominaisesta eroosio herkkyydestä. Maapadon rakentamiseen käytetään yleensä moreenia tai muuta mahdollisimman homogeenista maa-ainesta (savea tai silttiä). Yleensä maapatojen korkeus on alle 10 metriä, mutta hyvinkin massiivisenkin rakenteen rakentaminen on mahdollista. Alla kuvassa on kuvattuna moreenista rakennettu maapato korotettuna tasoon +98.00 m.



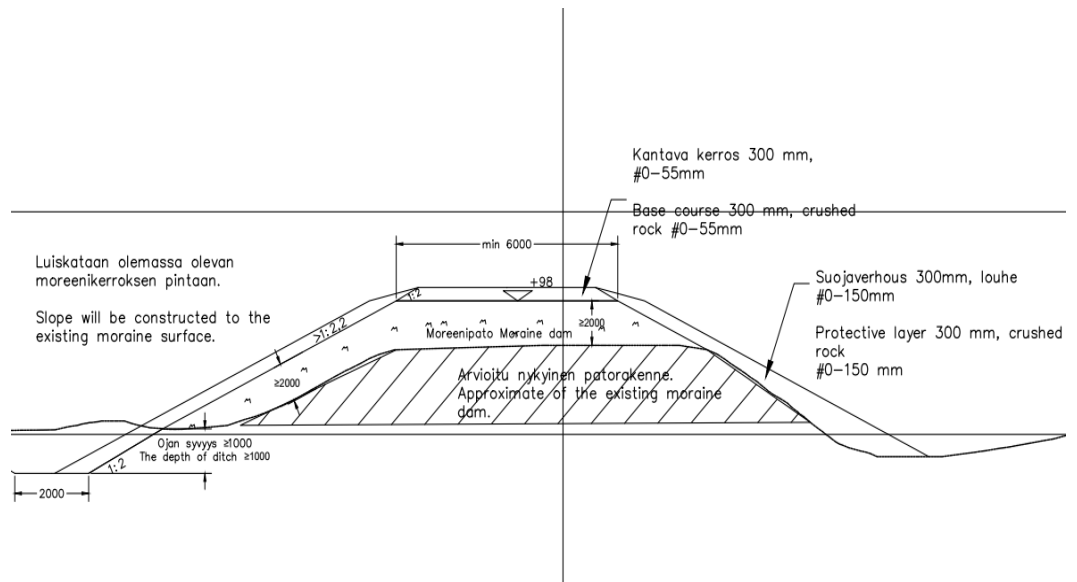
Kuva 1. Padonkorotus tasoon +98.00 m

2.5 Rakennuskohde

Rakennuskohteena on Laivakankaan kaivoksen rikastushiekka-altaan moreenipato. Rakennusvaiheessa korotetaan rikastushiekka-allasta ympäröivää moreenipatorakennetta. Pohjois-padon harjakorkeus on paaluvälillä PL 0-520 huomattavasti muuta patoa alhaisempi ja patoa korjataan kriittisimmistä paikoista korkoon +98.00 m. Tuotannon käynnistyessä on pohjois-osan patoa tarkoitus korottaa vielä lisää kauttaaltaan tasoon +102.00 m. (Geobotnia 2018.)

Työssä käsiteltävän korotettavan maapadon rakenne on seuraava:

1. vanhan patorakenteen päälle tiivistetystä moreenista oleva maavalli
2. padon luiskia suojaava louhe
3. padon harjalla oleva kantavan kerroksen murske.
4. suotovesille suoto-oja



Kuva 2. Poikkileikkaus paaluvälillä PL 0-520 korotettavasta maapadosta tasoon +98.00 m (Geobotnia 2018)

Pato on luokiteltu 2 luokan patorakenteeksi seuraavilla kriteereillä:

1. Onnettomuuden sattuessa, voi aiheuttaa vaaraa terveydelle taikka vähäästä suurempaa vaaraa ympäristölle tai omaisuudelle (Geobotnia 2018).

2. Padon sortuminen voi aiheuttaa haittaa ympäristölle. Rikastushiekka-altaassa oleva vesi ja rikastushiekka voivat levitä suo- ja metsäalueille päästen tällöin suoraan vesistöön ilman käsittelyä (Geobotnia 2018).

Massalaskelmissa padon korottamiseen +98.00 m tasoon on suunnitelmissa laskettu tarvittavan moreenia 13211 m³ rtr, mursketta #0-55 mm 841 m³ rtr ja louhetta #0-150 3677 m³ rtr (katso liite 3).

3 MOREENI PATORAKENTEESSE

3.1 Moreenimaalajit

Luonnontilaisena sora- ja hiekkamoreenin vesipitoisuus on välillä 5–15 %, mutta silttimoreenissa vesipitoisuus voi olla jopa 25 %. Moreenin käyttäytymiseen maarakentamisessa ratkaisevimmat tekijät ovat tiiveys ja vesipitoisuus. Moreenit ovat välimaalajeja, mutta moreenin leikkauslujuuteen vaikuttaa enimmäkseen moreenin sisäinen kitka. Moreenin leikkauslujuus on luonnontilaisena suuri tai vähintäänkin kohtalainen, sekä kokoonpuristuvuus pieni. Moreeni on rakennuspohjana kantava maalaji. (Rantamäki, Jääskeläinen, Tamminne 1979, 160.)

Moreeni on kuivana hankalasti kaivettavaa, mutta irrotettuna sen kuormaaminen ja kuljetus onnistuu helposti. Märkä moreeni on sensitiivisyytensä vuoksi erittäin vaikeaa käsitellä, sillä se häiriintyy helposti ja muuttuu juoksevaksi. Häiriintynyttä moreenia ei voi kuljettaa, pengertää tai läjittää. Märkä moreeni on myös herkkää menettämään kantavuutensa, erityisesti jos moreenin aiheutetaan tärinää. (Rantamäki ym. 1979, 160.)

Moreenia käytettäessä pengerrys tai täyttömateriaalina täytyy tiivistäminen tehdä optimivesipitoisuudessa, jotta tiivistäminen onnistuu ongelmitta ja on ylipäänsä mahdollista tiivistää. Moreeni on eroosioherkkä materiaali ja sen eroosioherkkyys erityisesti luiskarakenteissa tulisi ottaa huomioon suunnitelmissa. (Rantamäki ym. 1979, 160.)

3.2 Moreenimaalajien ominaisuudet

GEO-luokituksen mukaisesti moreenit jaetaan sora-, hiekka- ja silttimoreeneihin. Lajitepitoisuudesta riippuen moreeneille annetaan lisämääreet sorainen, hiekkainen ja silttinen, mikäli lajitteen määrä ≥ 30 %. (Korkiala-Tanttu, Juvankoski, Kivikoski, Eskola ja Kiviniemi 2008, 13.)

Moreenin koostumukseen vaikuttaa alueen kallioperä, moreenin mineraalikoostumus, hienoaineisuuden ja savisuuden määrä on suoraan verrannollinen alueen

kallioperään. Suomessa moreenin savipitoisuus on yleensä 0–5 %. Moreenin rakkeet ovat särmikkäitä tai terävsärmäisiä, syntytavasta johtuen. (Korkiala-Tanttu ym. 2008, 13.)

Moreenin hienoainespitoisuudesta johtuen moreenit ovat herkkiä häiriintymään, etenkin paljon hienoainesta sisältävät moreenit häiriintyvät erittäin helposti märkänä tai kosteana käsitellessä. Yleensä vesipitoisuuden noustessa yli 11–13 % häiriintymistä alkaa esiintyä. (Korkiala-Tanttu ym. 2008, 13)

Moreenin yleisiä geoteknisten ominaisuuksien arvoja on esitetty alla olevassa taulukossa.

| GEO-luokituksen mukainen nimi | SiMr | HkMr | SrMr |
|---|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Huokoisuus, n , % | 23 - 41 | 29 - 47 | |
| Huokosluku, e , - | 0,3 - 0,7 | 0,4 - 0,9 | |
| Kiintotiheys, ρ_s , kN/m^3 | 2,69 - 2,70 | 2,69 - 2,70 | 2,69 - 2,70 |
| Tilavuuspaino, ρ , kN/m^3 | 19 - 22 | 18 - 22 | 20 - 22 |
| Vedenläpäisevyys, k , m/s ¹⁾ | 10^{-6} - 10^{-8} | 10^{-4} - 10^{-6} | 10^{-2} - 0^{-4} |
| Luonnontilainen vesipitoisuus, w , % | 5 - 25 | 5 - 15 | 5 - 15 |
| Proctortiiviys, $\gamma_{d \max}$, kN/m^3 | 20 - 23 | 20 - 23 | 20 - 23 |
| Optimivesipitoisuus, w_{opt} , % | 8 - 12 | 5 - 10 | 5 - 8 |
| Koheesio, c , kPa | 2 - 29 | 2 - 29 | 0 |
| Kitkakulma, φ , ° ²⁾ | 32 ± 6 | 35 ± 6 | 37 ± 6 |
| Kapillaarinen nousukorkeus, h_c , m ³⁾ | > 1 | (> 1) $0,5 - 2$ | (> 1) $0,5 - 2$ |
| ¹⁾ Vedenläpäisevyys vaihtelee riippuen moreenien tiivyydestä ja hienoainespitoisuudesta. ²⁾ Tiiviyden vaikutus: hyvin tiivis $+6^\circ$, tiivis $+3^\circ$, keskitiivis $+0^\circ$, löyhä -3° , hyvin löyhä -6° ³⁾ Löyhässä, epähomogeenisessa moreenissa $0,5 - 2$ m; tiiviissä hienorakeisessa moreenissa kapillaarinen nousukorkeus voi olla useita metrejä. | | | |

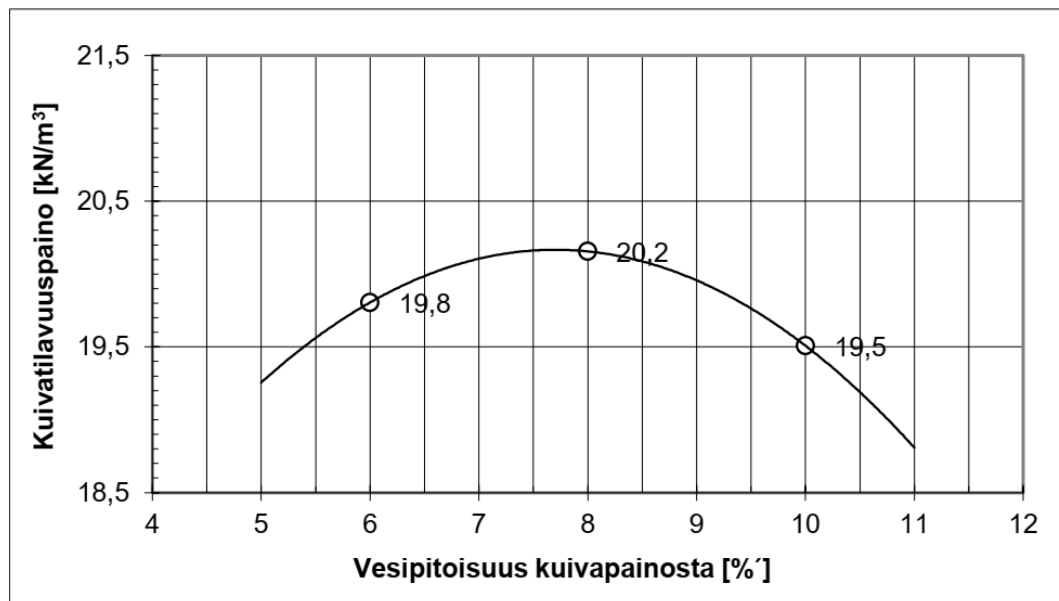
Kuva 3. Moreenien geoteknisiä ominaisuuksia (Tielaitos 1993)

3.3 Patomoreenin ominaisuuksien määrittäminen

Rakentamisessa käytetyn moreenin soveltuvuus patorakenteeseen varmistettiin koekuoppa näytteillä moreeninottoalueelta. Näytteet otettiin syvyysväliltä 1,0–2,0 m. Analysoitavia koekuoppänäytteitä oli 7 kpl, eli vaatimusten mukainen määrä verraten käytettävän moreenin määrään (1 näyte/alkava 2000m³ rtr).

3.4 Näytteiden GEO-luokitus ja kuivairtoisuus

Näytteiden perusteella määritettiin rakeisuuskäyrän perusteella maalajiluokitukseksi muiden näytteiden osalta siHkMR silttinen hiekkamoreeni ja KK6 näyte oli HkMr hiekkamoreenia (katso liite 1). Parannetulla Proctor-sullonta kokeella määritettiin patopenkereen tiivistystyön kannalta oleelliset arvot. Näytteiden kuivatilavuuspaino vaihteli 20,0–20,4 kN/m³ välillä ja optimivesipitoisuuden ollessa 7-8 %, Proctor-sullonta koe tehtiin kolmella eri vesipitoisuudella.



Kuva 4. Näytteen KK2 Kuivatilavuuspainon käyrä, eri vesipitoisuuksilla (Liite 1)

Alla olevassa taulukossa 1., on listattu koekuopista otetuiden moreeninäytteiden KK1, KK2, KK4, KK6, KK7 ja KK8 laboratoriokokeessa määritettyjä geoteknisiä arvoja (katso liite 1).

Taulukko 1. Moreeninäytteiden maalajiluokitus, kuivairtitiheys optimivesipitoisuudessa (Liite 1)

| Näyte | Maalaji GEO-Luokitus | Kuivairtitiheys kN/m ³ | Optimivesipitoisuus % |
|-----------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| | | γ_{dmax} | W_{op} |
| KK1 2,0 m | siHkMr | 20,1 | 7,0 % |
| KK2 2,0 m | siHkMr | 20,2 | 8,0 % |
| KK4 2,0 m | siHKMr | 20,0 | 7,0 % |
| KK6 2,0 m | siHkMr | 20,3 | 7,0 % |
| KK7 1,0 m | siHkMr | 20,4 | 7,0 % |
| KK8 1,0 m | siHkMr | 20,2 | 7,0 % |

3.5 Vedenläpäisevyys

Moreenin vedenläpäiseväisyys tutkittiin laboratoriossa käyttämällä muuttuvan paineen menetelmää määrittämään moreenin vedenläpäisevyyden arvo k_{20c} . Ohjearvoksi on asetettu patorakenteessa $k \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Näytteet testattiin tiiveysasteessa $D=92$ % mikä on tiiveysaste vaatimus kyseisen patorakenteen moreeni penkereelle.

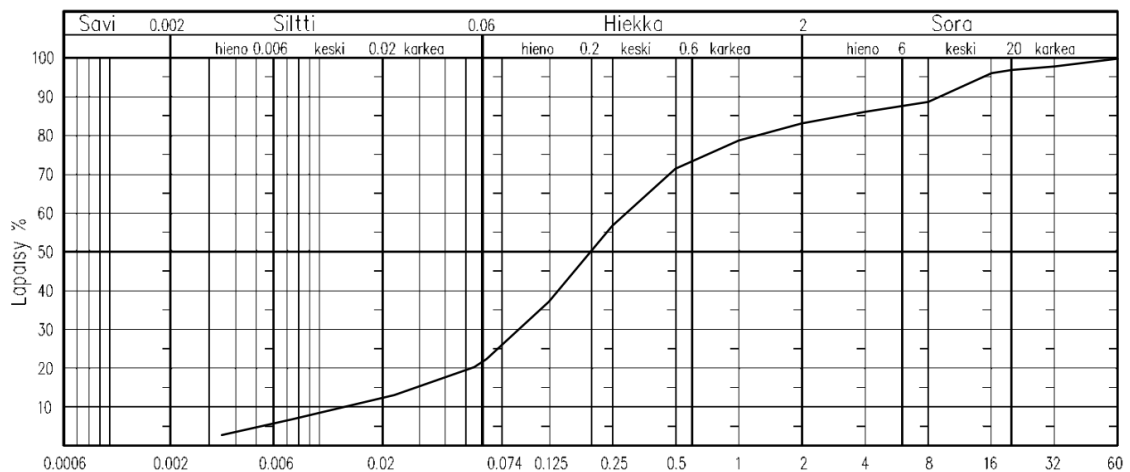
Koe tuloksista huomattiin moreenin muilta osin soveltuvan patorakenteeseen, mutta KK6 näytteen vedenläpäisevyyden keskiarvo $k_{20c} = 5,83 \cdot 10^{-7}$ on liian suuri eikä sovellu käyttötarkoitukseen.

Alla olevassa taulukossa 2. on listattu koekuopista otetuiden moreeninäytteiden KK1, KK2, KK4, KK6, KK7 ja KK8 laboratorikokeessa määritettyjä vedenläpäisevyyden k_{20c} -arvoja ja kokeen suoritushetkellä näytteiden tiiveysasteessa 92 % oleva kuivairtitiheys kN/m³ (katso liite 2).

Taulukko 2. Moreeninäytteiden vedenläpäisevyys (Liite 2)

| Näyte | Maalaji GEO-Luokitus | Kuivairtotiheys kN/m ³ tiiveysaste D =92 % | Vedenläpäisevyyden Keskiarvo k_{20c} , m/s |
|-----------|-------------------------|---|---|
| KK1 2,0 m | siHkMr | 18,49 | $8,75 * 10^{-8}$ |
| KK2 2,0 m | siHkMr | 18,58 | $1,13 * 10^{-7}$ |
| KK4 2,0 m | siHKMr | 18,41 | $9,92 * 10^{-8}$ |
| KK6 2,0 m | HkMr | 18,67 | $5,83 * 10^{-7}$ |
| KK7 1,0 m | siHkMr | 18,76 | $2,90 * 10^{-8}$ |
| KK8 1,0 m | siHkMr | 18,58 | $1,07 * 10^{-8}$ |

KK6 näytteen patomoreenille asetetun arvon ylitys selittyy todennäköisesti raekokojakauman erolla vastaaviin muihin näytteisiin. KK6 näytteen GEO- luokitus on HkMr, joten jo luokituksen perusteella näytteen moreeni omaa karkeamman raekokojakauman, pienempien rakeiden alle 0,06 mm osuus on n. 22 %. Vedenläpäisevyyden vertailu raekoon perusteella on kuitenkin verraten epätarkkaa erityisesti moreeneissa (Jääskeläinen 2011, 69).



Kuva 5. KK6-näytteen raekoko jakauma (Liite 1)








3.6 Kitkakulma ja koheesio

Moreenit luetaan yleensä käytännössä kitkamaalajeiksi, mutta moreenin leikkauslujuuteen vaikuttaa sisäisen kitkan lisäksi koheesio. Moreenin koheesio vai-

kutus on kitkaan verrattuna pieni, joten käytännön geotekniikan laskelmissa moreeneita käsitellään kitkamaalajeina. Virallisesti moreenit ovat välimuotomaalajeja. (Rantamäki ym. 1979, 124.)

Stabiiliteetti laskelmissa kitkan ja koheesion huomioiminen voi monesti antaa arveluttavan suuria leikkauslujuuden arvoja. Välimuotomaan lujuusparametrit tulisi selvittää huolellisesti kokeellisesti ennen niiden käyttöä laskelmiin. (Rantamäki ym. 1979, 124).

Patomoreenille oli käytetty laskelmissa kitkakulman arvoa $\varphi' = 36^\circ$ ja koheesiolle $c = 3$ kPa. Laskelmissa käytetyt maa-ainesten geotekniset parametrit ovat keskiarvoja yleisesti käytetyistä kirjallisuustiedoista. (Geobotnia 2018.)

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) |
|---|--------------|-------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|----------|
|  | Louhe | Mohr-Coulomb | 20 | | 0 | 42 |
|  | Moreeni | Mohr-Coulomb | 20 | | 3 | 36 |
|  | Pasta1 | Undrained (Phi=0) | 20,5 | 22,5 | | |
|  | Pasta2 | Undrained (Phi=0) | 20,5 | 8,5 | | |
|  | Pasta3 | Undrained (Phi=0) | 20,5 | 15 | | |
|  | Pohjamoreeni | Mohr-Coulomb | 20 | | 3 | 36 |
|  | Turve | Mohr-Coulomb | 12 | | 0 | 20 |

Kuva 6. Stabiiliteettilaskelmissa käytettyjen maalajien geotekniset arvot (Geobotnia 2018)

4 TYÖNAIKAINEN LAADUNHALLINTA

4.1 Laadunvalvonnan järjestäminen

Padonkorotustyön työn aikainen laadunvalvonta on järjestetty rakennuttajan, viranomaisen, urakoitsijan ja riippumattoman laadunvalvojan kesken. Viranomaiset, eli ELY-keskus ja kaupungin rakennusvalvonta suorittavat viranomaisvalvontaa. Viranomaisella on oikeus puuttua havaitsemiinsa epäkohtiin ja ehdottaa mahdollisia korjaustoimenpiteitä. (Geobotnia 2018.)

Rakennuttajan osalta laadunvalvonta on ulkoistettu rakennuttaja edustajana toimivalle konsultille/projektijohtajalle. Rakennuttaja vastaa projektin johdosta ja tiedottaa valvovia viranomaisia. (Geobotnia 2018.)

Urakoitsijan laadunvalvonnan järjestämiseen kuuluu työsuunnitelman, oman laadunvalvontasuunnitelman ja laatupäiväkirjan esittäminen rakennuttajalle ja riippumattomalle laadunvalvojalle, ennen työmaan aloittamista. Urakoitsijan on esitettävä tiedot materiaaleista, työmenetelmistä ja aikatauluista ja muista mahdollisesti laatuun vaikuttavista tekijöistä. Urakoitsijan täytyy esittää laatusuunnitelmassaan mm. laadunvalvonnan vastuuhenkilö, laadunvalvontakokeiden suorittajat ja laadunvalvontakoemäärät alueittain. (Geobotnia 2018.)

Riippumaton laadunvalvoja valvoo ja kontrolloi rakennustyön suoritusta ja urakoitsijan laadunvalvonta työn suorittamista ja työn laadun toteutumista. Riippumaton laadunvalvoja teettää omia laadunvalvonnan kontrollikokeita laadun toteutuksen seuraamiseen. (Geobotnia 2018.)

4.2 Laadunvalvontatyöt

Työn laatuvaatimukset esitetään erillisessä laadunvalvontataulukossa kunkin työvaiheen kohdalta. Laadunvalvontaa suoritetaan materiaalien osalta käyttämällä valmistajien antamia laatutodistuksia, joista selviävät materiaalin ominaisuudet ja materiaalin laadunvarmistuksessa käytetty menetelmä. Maamateriaalien ennakkokokeilla osoitetaan materiaalin soveltuvuus kohteeseen, tutkimalla

maa-ainesten rakeisuuskäyrät ja vedenläpäisevyydet. Rakenteiden oikea muoto, toteuma, sijainti ja korkoasema todennetaan rakenteille suoritettavilla tarkemittauksilla. Työn aikana työmenetelmiä ja työn tulosta arvioidaan visuaalisesti. Valmiille rakenneosille suoritetaan mittauksia, joilla varmistetaan rakenteen täyttävän sille asetetut laadulliset vaatimukset, mm. rakenteen tiivistystyön laatua mittaavat tiiveysastemittaukset. (Geobotnia 2018.)

Urakoitsijan laadunvalvontatöihin kuuluu työn aikaisen laadunhallinnan järjestäminen työmaalla. Urakoitsijan tulee tarkastaa materiaalit työmaalla, tehdä koetiiivistystyöt ja kokeet työmaalla, suorittaa oman työn jatkuvaa työmenetelmien silmäääräistä laadunvalvontaa, seurata toimenpiteiden vaikutuksia lopputuloksen laatuun ja tasalaatuisuuteen, suorittaa rakenteiden toteumien tarkkailua tarkemittauksen avulla, teettää laadunvalvontakokeita kentällä, päivittää suunnitelmapiirustukset toteuman mukaisiksi, ns. As-Built piirustukset. Urakoitsijan on pidettävä työmaalla laadunvalvontapäiväkirjaa, mihin havainnot, tarkastukset ja poikkeamat kirjataan. (Geobotnia 2018.)

Riippumaton laadunvalvoja valvoo urakoitsijan työn laatua ja kontrolloi urakoitsijan suorittamia laadunvalvontakokeita. Riippumaton laadunvalvoja suorittaa myös omia laadunvalvonnan kokeita, arvioidakseen urakoitsijan suorittamien laadunvalvonta kokeiden laatua. (Geobotnia 2018.)

4.3 Laatupoikkeamat

Laatupoikkeaman sattuessa urakoitsija ryhtyy korjaamaan virheen välittömästi sen havaitessaan. Laatupoikkeama raportoidaan työmaanpäiväkirjaan ja ilmoitetaan rakennustyön valvojalle ja riippumattomalle laadunvalvojalle poikkeamasta (Geobotnia 2018). Laatupoikkeaman vakavuudesta riippuen, otetaan tarvittaessa yhteyttä rakenteen suunnittelijaan ja sovitaan tarvittavat toimenpiteet rakenteen korjaamiseksi vaatimukset täyttävälle tasolle. Kaikki laatupoikkeamien korjaukset dokumentoidaan tehtävine toimenpiteineen laatukansioon.

4.4 Laadunvalvonnan raportointi

Laadunvalvontasuunnitelman perusteella urakoitsija edellytetään kokoavan laadunvalvonta-aineisto laatukansioksi, joka luovutetaan rakennuttajalle. Laatukansiolle on määritelty siihen sisältyvä materiaali. Laatukansion sisältää: työ- ja laatusuunnitelmat, laadunvalvontapäiväkirjan, toteumapiirrustukset, tarkemittaukset, laadunvalvontakokeiden tulokset, poikkeama raportit ja rakennusmateriaalien laatu- ja kelpoisuustodistukset. (Geobotnia 2018.)

4.5 Laatuvaatimukset

Työssä käsiteltävälle maapadon rakenteelle on asetettu rakenteen lopputuloksen toimivuuden kannalta seuraavia laatuvaatimuksia padonkorotuksen rakenteelle. Laatuvaatimusten arvot ja toimenpiteet on määritetty perustuen Infra RYL 2010 mukaisen työselitykseen, padon suunnitelmiin ja stabiliteetilaskelmiin (Geobotnia 2018).

MOREENIPATO

- korkeustaso/ -mitat suunnitelmien mukaiset
- moreeniluiskan kaltevuus 1:2
- kerrallaan levitettävän moreenikerroksen paksuus 500-700 mm
- uudelleen levitettävän kerroksen levittämisajankohta, kun edellinen kerros tiivistynyt
- tiivistäminen, tiiviysaste $D = 92 \%$
- kantavuus, kerroksissa muodonmuutoksia ei sallita
- materiaalin raekoko $< 300 \text{ mm}$ (moreeni)
- patomoreenin veden läpäisevyys $k \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
- rakentaminen sulan maan aikana

SUOJAVERHOUS

- materiaalin rakeisuus Louhe #0-150 mm
- kerrospaksuus 300 mm

- kerroksen tiivistys kaivinkoneen kauhalla

KANTAVA KERROS

- materiaali Murske #0–55 mm
- pinnan korkeusasema +98.00 m
- rakenteen leveys min. 6000 mm
- kerrospaksuus >300 mm
- tiivistäminen systemaattisesti esim. jyräämällä
- kantavuus $E_2 \geq 120 \text{ MPa}$, $E_1 / E_2 \leq 2,2$

4.6 Patorakenteen työnaikainen laadunvalvonta

Moreenipatorakenteen osalta laadunvalvonta toteutetaan korkojen ja padon suunniteltujen mittojen ja rakennekerrosten paikkaansa pitävyyden osalta suorittamalla tarkemittaukset sekä hyödyntämällä patorakenteesta tehtyä 3D-mallia koneohjausjärjestelmässä. Moreenipadon luiskien kaltevuus varmennetaan tarkemittauksilla. Tarkemittauksen tulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan ja tulosten perusteella tehdään toteumasta tarkepiirustukset (Geobotnia 2018).

Moreenipadon kerrokset levitetään 500–700 mm paksuisina kerroksina ja kerrospaksuuden toteutumista tarkkaillaan työmaalla olevien korkomerkkien tai suoritettavien mittausten avulla (Geobotnia 2018). Mittaustulokset kirjataan ylös ja merkitään mittauspöytäkirjaan. Rakentaminen on tehtävä sulan maan aikaan.

Tiivistystyön laadunvarmistus toteutetaan selvittämällä kokeellisesti tiivistettävälle materiaalin ominaisuudet, ennen materiaalin käyttöä rakenteessa. Testien tuloksien perusteella voidaan materiaalin tiiveysaste mitata Troxler-laitteella, hyödyntämällä parannetusta Proctor-kokeesta saatuja tuloksia. Tiivistystyö on suunniteltu tehtäväksi vähintään 30 T kaivinkoneella tai maansiirtoautoilla yliajamalla (Geobotnia 2018). Tiiveysasteen toteumaa suhteessa yliajokertojen määrään voidaan hyödyntää tekemällä kokeellisia tiivistyksiä ja hyödyntämällä niiden tuloksia tiiveyden laadun varmistuksessa. Tehdyistä mittauksista on tehtävä mitta-

pöytäkirja, johon mittaustulokset ja yliajokertojen määrä on merkitty. Tapauksessa, jossa tiivistystyön laadun varmistus tehdään pääasiassa yliajokertojen perusteella on moreenin kantavuutta seurattava silmämääräisesti, eikä moreenin häiriintymistä sallita.

Kantavuuden avulla tarkkaillaan moreenin tiivistymisen toteutumista visuaalisten muodonmuutosten avulla (Geobotnia 2018), sillä moreeni on erittäin häiriintymisherkkää märkänä ja silloin materiaali menettää kantavuutensa ja tiivistymiskykyä. Tulokset merkataan työmaapäiväkirjaan/tarkkailuraporttiin.

Moreenin oikea vedenläpäisevyys varmistetaan vedenläpäisevyyttä määrittävällä vakiopainemenetelmällä laboratoriossa. Näytteet otetaan aina alkavalta 2000 m³ rtr ja merkitään tarkkailuraporttiin (Geobotnia 2018).

Suojaverhousrakenteen rakentamisen aikana tarkkaillaan suojakerroksen paksuuden toteutumaa korkomerkkien tai tarkemittausten avulla. Rakenne tiivistetään kaivinkoneen kauhalla. Materiaalina täytyy olla riittävän karkeaa louhetta # 0–150 mm. Materiaalin soveltuvuus varmistetaan raekokojakauman perusteella (Geobotnia 2018).

Kantavan kerroksen rakentamisen aikana tarkkaillaan kantavan kerroksen paksuuden, padon harjan leveyden ja padon harjan koron toteutumaa ja leveys toteutumaa korkomerkkien ja tarkemittausten avulla. Mikäli rakenteen kantavuudessa huomataan deformatumista, tulee kerroksen kantavuus mitata levykuorimituskokeella (Geobotnia 2018).



Kuva 7. Tiiveyden mittausta työmaalla Troxler-laitteella

4.7 CASE Eroosiovaurion korjaus

Padon sivuluiskien suojaverhous oli jäänyt osittain tekemättä ennen talven tuloa. Moreenin eroosioherkkyydestä johtuen sade ja sulamisvedet aiheuttivat eroosiovauriota padon suojaamattomiin luiskien osiin ja osa luiskassa olevasta moreenista oli valunut suotovesien keräilyjojan.

Vauriot korjattiin kaivinkonetyönä, luiskaamalla padon luiskat uudelleen oikeaan kaltevuuteen ja tekemällä eroosiosuojaus louheesta. Sivuluiskien louheen rakeisuusvaatimus oli #0–150 mm, mutta poikkeuksellisesti korjauksessa käytettiin #0–90 mm mursketta. Materiaalin laadun vaihto hyväksyttiin padon suunnittelijalla. Rakenteen tiiveys varmistettiin tekemällä luiskiin tiiveysmittaukset Troxler-laitteistolla n. 50 m välein. Padon muodon toteumaa seurattiin kaivinkoneen 3D-

laitteiston mallin perusteella ja lopullisesta padon muodosta otettiin tarkemittaukset. Korjaustyön toteutustapa, työmenetelmät ja laadunvalvontamittaukset raportoitiin laatukansioon.



Kuva 8. Eroosion aiheuttamaan vauriota

5 POHDINTA

Patorakentaminen on tiukasti säädeltyä ja valvottua, mahdollisten rakennusvirheiden aiheuttamien vaurioiden seurausten laajuudesta ja vakavuudesta johtuen. Padon rakentamiseen ja suunnitteluun osallistuvien henkilöiden tulee olla päteviä ja hyvin tehtäviinsä perehtyneitä. Padonrakennushanketta urakoidessa ei kuitenkaan käytännössä voida olettaa, että kaikki rakentamiseen osallistuvat henkilöt olisivat padonrakennuksen ammattilaisia. Tämä tekijä aiheuttaa työmaan valvonnalle haasteita ja vaatimuksia. Työssä urakoitsijalta vaaditaankin kokemusta osaa-vaan työmaan johtoa, jotta työ onnistuisi tehdä mahdollisimman hyvin. Työmaan valvontaa tekevien rakennuttajan valvojan ja riippumattoman valvojan tekemästä valvontatyöstä huolimatta ratkaisevin vastuu työnaikaisesta valvonnasta on työtä suorittavalla urakoitsijalla. Urakoitsija vastaa mahdollisista laatupoikkeamien korjauksista ja mikäli laatupoikkeamaa ei havaita ajoissa voi sen korjaaminen olla erittäin kallis toimenpide.

Yksityiskohtaisen laadunvalvonta- ja työsuunnitelmien avulla helpotetaan työmaan edistymistä ja suunnitelmien mukaisuutta, koska työvaiheiden ja laadunvalvontamittausten tekeminen on suunniteltu etukäteen. Padonrakentamisen työmaan aikainen laadunvalvonta on suhteellisen haasteellista ja sitä suoritettaessa täytyy huomioida olosuhteiden vaikutus työmenetelmien onnistumiseen. Yhtenä hyvänä keinona valvonnan apuna on käyttää valokuvia työn edistymisen ja toteutuksen seuraamiseen. Valokuvien täytyy olla otettuna siten että, ne voidaan jälkeinpäin kohdentaa, esimerkiksi paalumerkein.

Tiivistystyö pitäisi tehdä moreenin ollessa mahdollisimman lähellä optimivesipitoisuutta. Tässä kohteessa tiivistyön vaatimus oli 92 %, joten vesipitoisuus testien perusteella täytyy olla karkeasti välillä 5–11 %, jotta vaadittu tiiveysaste saavutetaan. Tiiveysasteen ja muiden ominaisuuksien määrittämiseksi täytyy ennen työmaan aloitusta tehdä käytettävälle moreenille ennakkoon laboratoriokokeet, moreenin rakenteeseen soveltuvuuden määrittämiseksi. Työn tekeminen vaatii moreenin ominaisuuksien selvittämisen kokeellisesti. Kokeellisten tulosten perusteella moreeninottoaikan moreeni oli soveltuvaa lukuun ottamatta yhtä näytettä.

Laadunvalvonnan tukena on oltava mittausmenetelmät, joilla vaaditun laadun toteutuminen voidaan todeta. Moreenin ominaisuuksista johtuen tiivistystyön laatuun on kiinnitettävä erityistä huomioita. Tiivistystyön laadun tarkkailuun on aluksi hyvä tehdä muutama kokeellinen tiivistys yliajamalla ja mittaamalla saavutettu tiiveysaste Troxler-laitteistolla, näin yliajokertojen määrän suhde saavutettuun tiiveysasteeseen voidaan määrittää. Yliajokertojen perusteella tehty tiiveysasteen toteuma ei kuitenkaan ole kovin luotettava ja herkkä olosuhteidenmuutoksille, joten Troxler-laitteella tulisi tehdä kuitenkin aina määrävälein ns. valvontakokeita, vaikka työnaikainen tiivistys perustuukin yliajokertojen määrään. Näin pystytään reagoimaan ajoissa mahdollisiin poikkeamiin. Työn tekemisen aikana korostuukin jatkuvan laadunvalvonnan merkitys ja kyky reagoida muuttuvien tekijöiden aiheuttamiin muutoksiin.

Toisena tärkeänä asiana työssä esille tullee padon rakeenteellisen muodon ja kerrospaksuuksien todentamiseen käytettävät tarkemittaukset tehdään käyttämällä täkymetriä. Hyvänä apuna on urakoitsijan ajanmukaisissa koneissa oleva padon 3D-mallia hyödyntävä 3D-kaivuu-laitteisto. Käytännössä kaivinkoneella pystytään tekemään luotettavat tarkemittaukset työn aikana, mikäli koneen oma laitteisto on kalibroitu, mutta tässä hankkeessa koneen tulokset todennettiin mittamiehen tekemillä omilla tarkemittauksilla.

Työssä käsiteltiin pääosin padonkorotustyömaan työnaikaisen laadun valvonnan toteuttamista käytännön tasolla ja työvaiheiden toteuttamista. Työmenetelmät täytyy suunnitella ennen työmaan aloittamista laatuvaatimusten, materiaalien ja ajankohdan mukaisesti mahdollisimman hyvin vastaamaan tarvetta. Työmaan työnjohdon on kiinnitettävä huomiota työmenetelmien oikeellisuuteen ja niiden suorittamiseen oikein. Työn aikana muutoksiin ja poikkeamiin on reagoitava ja tehtävä korjaustoimenpiteet. Työmaan raportointia varten on kirjattava työmaan eteneminen päiväkirjaan ja tehtävä mittauksista mittauspöytäkirjat, raporteista ja muista materiaaleista kerätään myöhemmin laatukansio.

Työn tarkoituksena oli selventää urakoitsijan vastuulla olevia padonkorotustyömaan laatuvaatimuksia, urakoitsijan vastuulla olevia tehtäviä ja niiden toteuttamista. Näiden tavoitteiden saavuttamisessa onnistuttiin ja työ onkin hyvä kuvaus kyseisen työmaan suorittamisen kannalta tärkeiden vaiheiden selvennys. Työn

tekeminen oli mielenkiintoista ja opettavaista. Moreenin geoteknisten ominaisuuksien analysointi oman osaamisen kannalta mielekkäintä. Mielestäni analysointi onnistui hyvin ja tärkeimmät vaikuttavat tekijät huomioitiin.

Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää suunniteltaessa seuraavien vaiheiden toteuttamisia kyseisessä projektissa. Työ helpottaa tulevaisuudessa urakoitsijan oman laatusuunnitelman laatimista ja opinnäytetyötä voidaan käyttää projektin jatkovaiheissa pohjana työvaihekohtaisen suunnitelman teossa. Moreenin soveltuvuutta kohteeseen voidaan arvioida myös tämän työn perusteella. Mielestäni myös stabiiliteetti laskelmien kannalta tärkeät moreenin lujuusparametrit koheesion osalta tulisi selvittää kokeellisesti. Tässä tapauksessa koheesion vaikutus on pieni, mutta sillä varmistettaisiin stabiiliteettilaskelmien paikkansa pitävyys.

LÄHTEET

Patoturvallisuuslaki 26.6.2009/494

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R., Tammirinne, M. 1979 Geotekniikka. 22. painos. Helsinki. Otatieto Oy

Jääskeläinen, R. 2011 Geotekniikan perusteet. 3. painos. Jyväskylä. Tammer-tekniikka.

Korkiala-Tanttu, L., Juvankoski, M., Kivikoski, H., Eskola, P., Kiviniemi, M. 2008 Tutkimusraportti VTT-R-07854–08, Moreeni tehokäyttöön.

Tielaitos, 1993, Moreenin jalostaminen, Tielaitoksen selvityksiä 77/1993

Isomäki, E., Maijala, T., Sulkakoski, M., Regina, T., Torkkel, M. 2012 Kainuun elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Patoturvallisuus opas

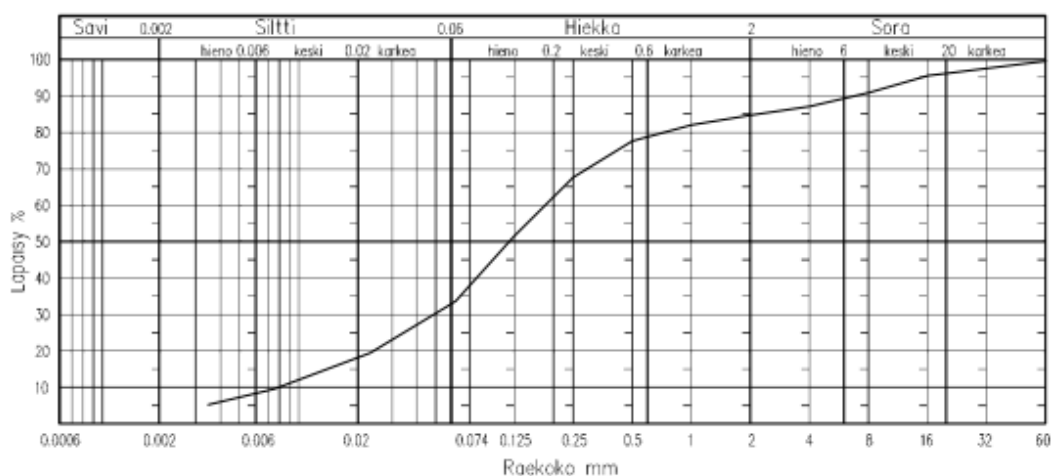
Geobotnia Oy 2018 Laivan kaivos, Reunapadon korottaminen tasoon +98, +99 ja +102.

LIITTEET

- Liite 1. Parannettu Proctor-sullonta
- Liite 2. Vedenläpäisevyys
- Liite 3. Massalaskelmat

Liite 1 1(6)

| | | |
|------------------|---|---------------|
| Geobotnia | PARANNETTU PROCTOR-SULLONTA | Työ n:o 12099 |
| Tilaaaja: | Nordic Gold Oy | |
| Tutkimus: | Moreeninottoalueen koekuopat - Laivan kaivos, Raahе | |
| Materiaali | KK1 2,0m | |



Maalaji GEO-luokituksen mukaan

siHkMr

Näytteen laboratorionumero

6846/1

| PROCTOR-SULLONTA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|------|------|------|---|---|---|
| Näytteen paino | 3000 | 3000 | 3000 | | | |
| Haluttu kosteus | 5 | 7 | 10 | | | |
| Lisättävä vesimäärä | 150 | 210 | 300 | | | |
| Kosteaa näyte + muotti | 3044 | 4015 | 3985 | | | |
| Muotti | 1930 | 1930 | 1930 | | | |
| Näytteen märkäpaino | 2014 | 2085 | 2055 | | | |
| Kuivatilavuuspaino | 19,8 | 20,1 | 19,3 | | | |

Proctor-muotin tilavuus

$$V = 950 \text{ cm}^3$$

$$V = 2020 \text{ cm}^3$$

TULOKSET:

Optimivesipitoisuus

$$W_{\text{opt}} = 7,0 \text{ paino-\%}$$

Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,1 \text{ kN/m}^3$$

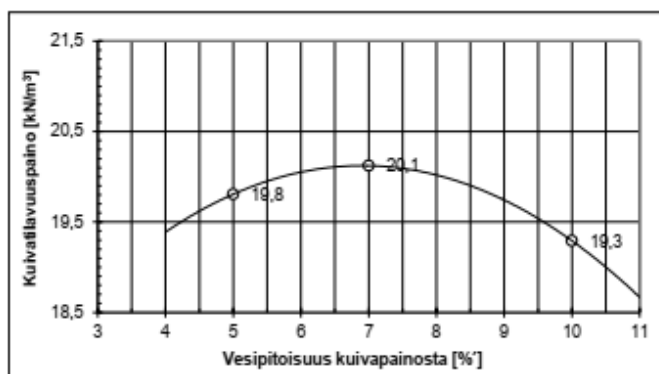
Kivisyys yli #16 mm

4,0 %

Kivisyyskorjaus

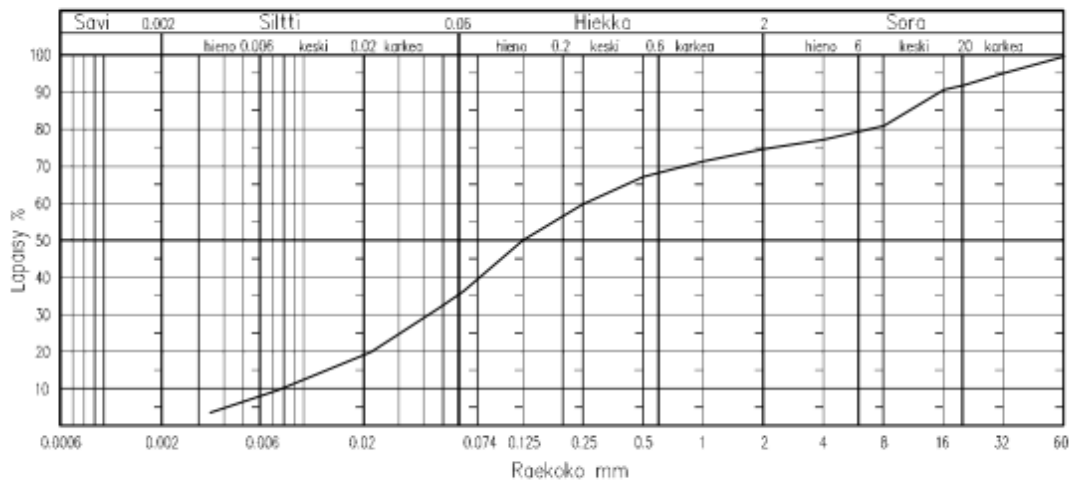
Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,30 \text{ kN/m}^3$$



Liite 1 2(6)

| | | |
|------------------|---|---------------|
| Geobotnia | PARANNETTU PROCTOR-SULLONTA | Työ n:o 12099 |
| Tilaaaja: | Nordic Gold Oy | |
| Tutkimus: | Moreeninottoalueen koekuopat - Laivan kaivos, Raahe | |
| Materiaali | KK2 2,0m | |



Maalaji GEO-luokituksen mukaan

siHkMr

Näytteen laboratorionumero

6846/2

| PROCTOR-SULLONTA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|------|------|------|---|---|---|
| Näytteen paino | 3000 | 3000 | 3000 | | | |
| Haluttu kosteus | 6 | 8 | 10 | | | |
| Lisättävä vesimäärä | 180 | 240 | 300 | | | |
| Kosteaa näyte + muotti | 3963 | 4038 | 4008 | | | |
| Muotti | 1930 | 1930 | 1930 | | | |
| Näytteen märkápaino | 2033 | 2108 | 2078 | | | |
| Kuivatilavuuspaino | 19,8 | 20,2 | 19,5 | | | |

Proctor-muotin tilavuus

$$V = 950 \text{ cm}^3$$

$$V = 2020 \text{ cm}^3$$

TULOKSET:**Optimivesipitoisuus**

$$W_{\text{opt}} = 8,0 \text{ paino-\%}$$

Maksimikuivatilavuuspaino

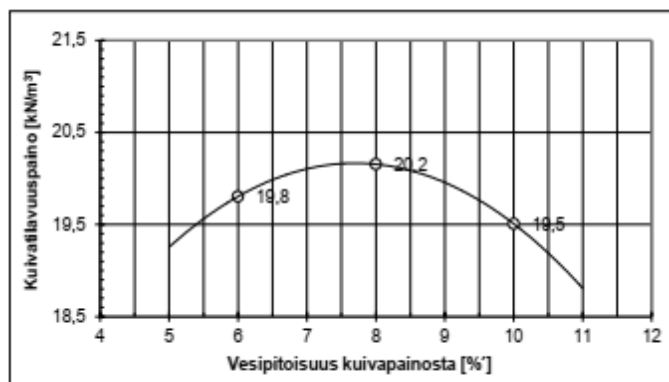
$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,2 \text{ kN/m}^3$$

Kivisyys yli #16 mm

9,0 %

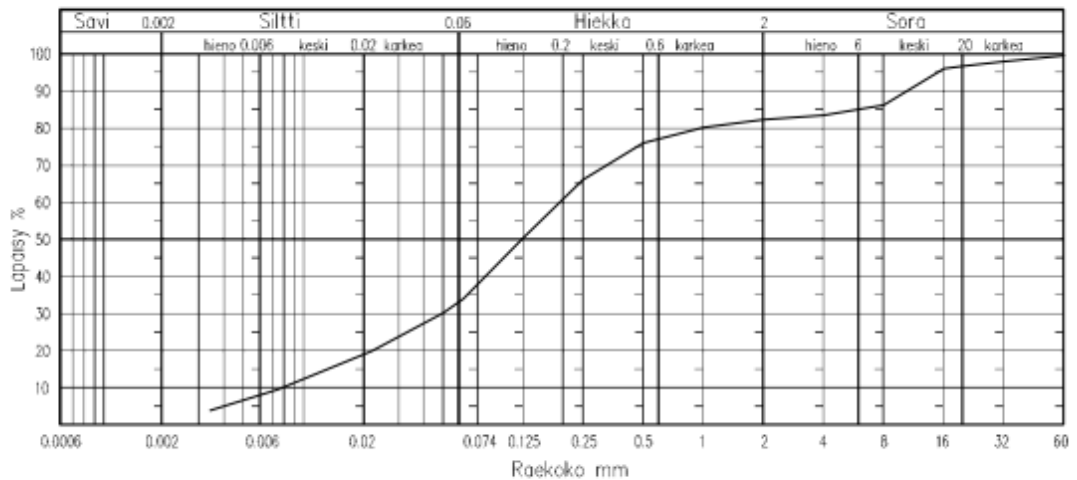
Kivisyyskorjaus**Maksimikuivatilavuuspaino**

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,64 \text{ kN/m}^3$$



Liite 1 3(6)

| | | |
|------------------|---|---------------|
| Geobotnia | PARANNETTU PROCTOR-SULLONTA | Työ n:o 12099 |
| Tilaja: | Nordic Gold Oy | |
| Tutkimus: | Moreeninottoalueen koekuopat - Laivan kaivos, Raahe | |
| Materiaali | KK4 2,0m | |



Maalaji GEO-luokituksen mukaan

siHkMr

Näytteen laboratorionumero

6846/4

| PROCTOR-SULLONTA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|------|------|------|---|---|---|
| Näytteen paino | 3000 | 3000 | 3000 | | | |
| Haluttu kosteus | 5 | 7 | 9 | | | |
| Lisättävä vesimäärä | 150 | 210 | 270 | | | |
| Kosteaa näyte + muotti | 3942 | 4008 | 4014 | | | |
| Muotti | 1930 | 1930 | 1930 | | | |
| Näytteen märkäpaino | 2012 | 2076 | 2084 | | | |
| Kuivatilavuuspaino | 19,8 | 20,0 | 19,7 | | | |

Proctor-muotin tilavuus

$$V = 950 \text{ cm}^3 \quad \boxed{x}$$

$$V = 2020 \text{ cm}^3 \quad \boxed{x}$$

TULOKSET:

Optimivesipitoisuus

$$W_{opt} = 7,0 \text{ paino-\%}$$

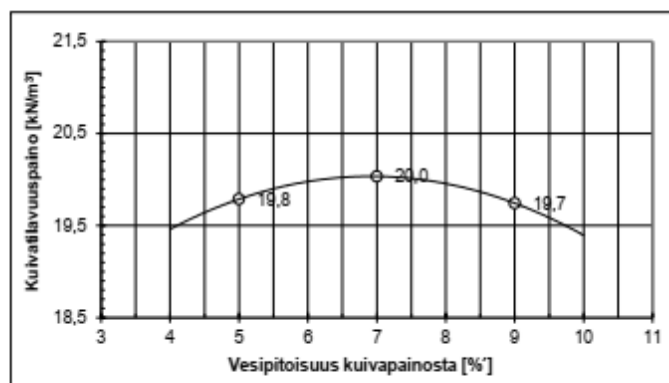
Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{dmax} = 20,0 \text{ kN/m}^3$$

Kivisyys yli #16 mm 3,5 %

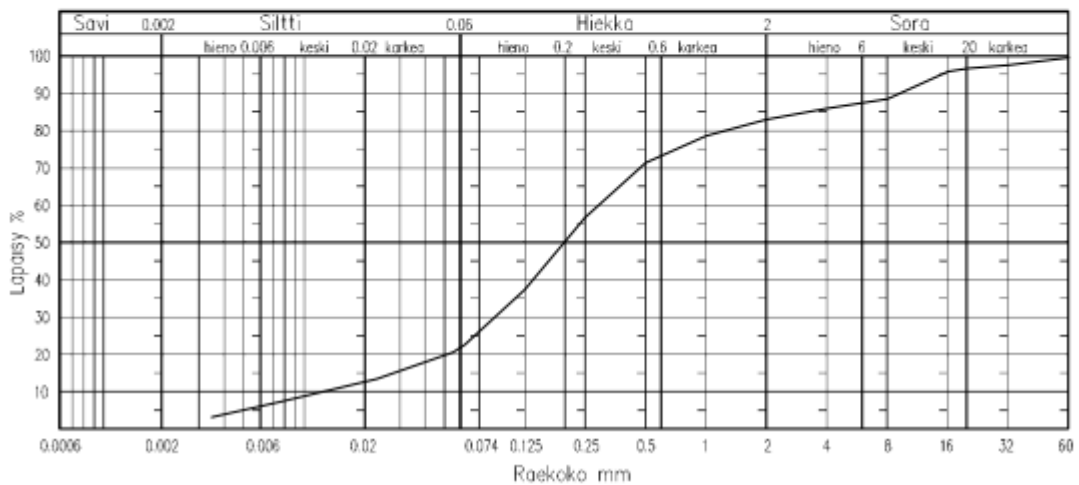
Kivisyyskorjaus

Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{dmax} = 20,17 \text{ kN/m}^3$$


Liite 1 4(6)

| | | |
|------------------|---|---------------|
| Geobotnia | PARANNETTU PROCTOR-SULLONTA | Työ n:o 12099 |
| Tilaaaja: | Nordic Gold Oy | |
| Tutkimus: | Moreeninottoalueen koekuopat - Laivan kaivos, Raahe | |
| Materiaali | KK6 2,0m | |



Maalaji GEO-luokituksen mukaan

HkMr

Näytteen laboratorionumero

6846/6

| PROCTOR-SULLONTA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|------|------|------|---|---|---|
| Näytteen paino | 3000 | 3000 | 3000 | | | |
| Haluttu kosteus | 5 | 7 | 9 | | | |
| Lisättävä vesimäärä | 150 | 210 | 270 | | | |
| Kosteaa näyte + muotti | 3968 | 4038 | 4003 | | | |
| Muotti | 1930 | 1930 | 1930 | | | |
| Näytteen märkäpaino | 2038 | 2108 | 2073 | | | |
| Kuivatilavuuspaino | 20,0 | 20,3 | 19,6 | | | |

Proctor-muotin tilavuus

$$V = 950 \text{ cm}^3$$

$$V = 2020 \text{ cm}^3$$

TULOKSET:

Optimivesipitoisuus

$$W_{\text{opt}} = 7,0 \text{ paino-\%}$$

Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,3 \text{ kN/m}^3$$

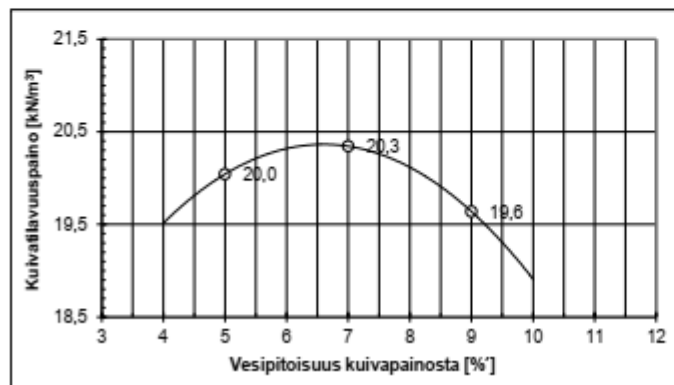
Kivisyys yli #16 mm

3,7 %

Kivisyyskorjaus

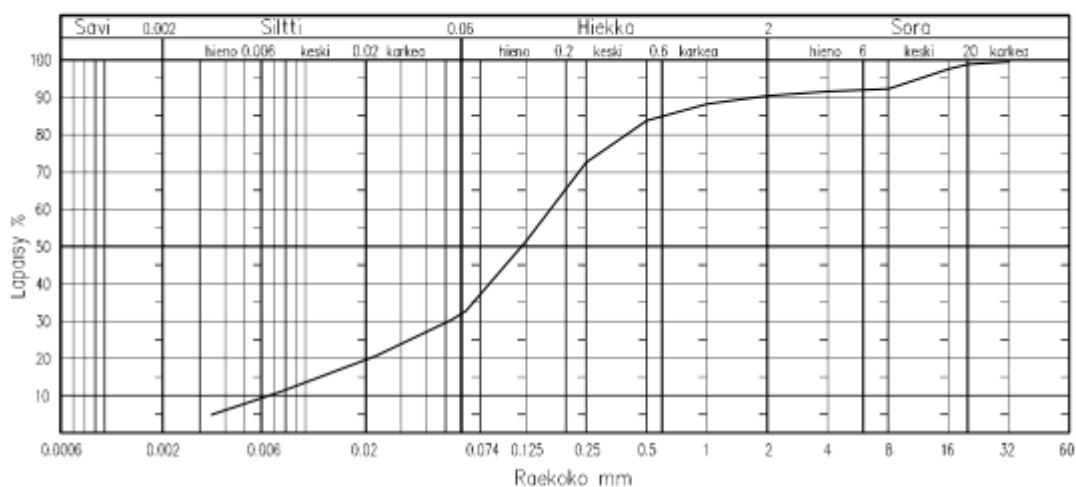
Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,48 \text{ kN/m}^3$$



Liite 1 5(6)

| | | |
|------------------|---|---------------|
| Geobotnia | PARANNETTU PROCTOR-SULLONTA | Työ n:o 12099 |
| Tilaaaja: | Nordic Gold Oy | |
| Tutkimus: | Moreeninottoalueen koekuopat - Laivan kaivos, Raahe | |
| Materiaali | KK7 1,0m | |



Maalaji GEO-luokituksen mukaan

siHkMr

Näytteen laboratorionumero

6846/7

| PROCTOR-SULLONTA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|------|------|------|---|---|---|
| Näytteen paino | 3000 | 3000 | 3000 | | | |
| Haluttu kosteus | 5 | 7 | 9 | | | |
| Lisättävä vesimäärä | 150 | 210 | 270 | | | |
| Kosteaa näyte + muotti | 3973 | 4043 | 4012 | | | |
| Muotti | 1930 | 1930 | 1930 | | | |
| Näytteen märkäpaino | 2043 | 2113 | 2082 | | | |
| Kuivatilavuuspaino | 20,1 | 20,4 | 19,7 | | | |

Proctor-muotin tilavuus

$$V = 950 \text{ cm}^3 \quad \boxed{x}$$

$$V = 2020 \text{ cm}^3 \quad \boxed{}$$

TULOKSET:

Optimivesipitoisuus

$$W_{\text{opt}} = 7,0 \text{ paino-\%}$$

Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,4 \text{ kN/m}^3$$

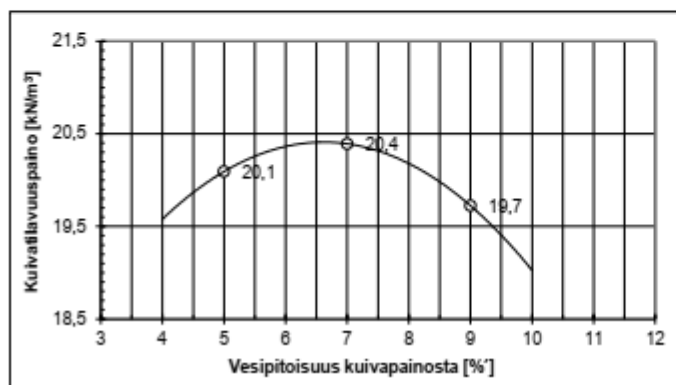
Kivisyys yli #16 mm

1,9 %

Kivisyyskorjaus

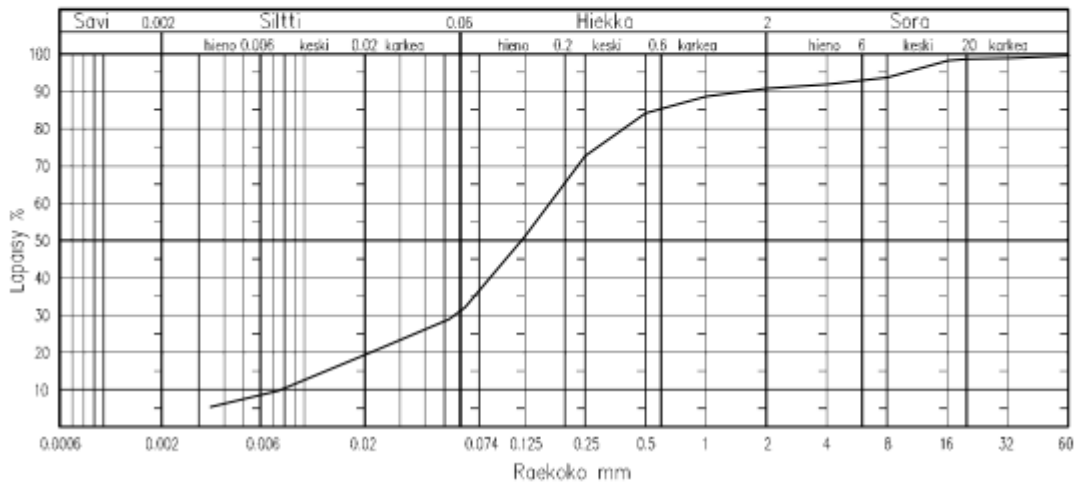
Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,49 \text{ kN/m}^3$$



Liite 1 6(6)

| | | |
|------------------|---|---------------|
| Geobotnia | PARANNETTU PROCTOR-SULLONTA | Työ n:o 12099 |
| Tilaaaja: | Nordic Gold Oy | |
| Tutkimus: | Moreeninottoalueen koekuopat - Laivan kaivos, Raahе | |
| Materiaali | KK8 2,0m | |



Maalaji GEO-luokituksen mukaan

siHkMr

Näytteen laboratorionumero

6846/10

| PROCTOR-SULLONTA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|------|------|------|---|---|---|
| Näytteen paino | 3000 | 3000 | 3000 | | | |
| Haluttu kosteus | 5 | 7 | 9 | | | |
| Lisättävä vesimäärä | 150 | 210 | 270 | | | |
| Kosteaa näyte + muotti | 3955 | 4025 | 4012 | | | |
| Muotti | 1930 | 1930 | 1930 | | | |
| Näytteen märkäpaino | 2025 | 2095 | 2082 | | | |
| Kuivatilavuuspaino | 19,9 | 20,2 | 19,7 | | | |

Proctor-muotin tilavuus

$$V = 950 \text{ cm}^3$$

$$V = 2020 \text{ cm}^3$$

TULOKSET:

Optimivesipitoisuus

$$W_{\text{opt}} = 7,0 \text{ paino-\%}$$

Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,2 \text{ kN/m}^3$$

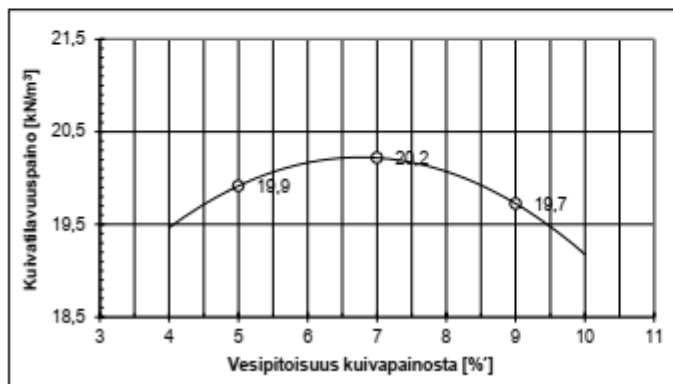
Kivisyys yli #16 mm

1,3 %


Kivisyyskorjaus

Maksimikuivatilavuuspaino

$$\gamma_{\text{dmax}} = 20,26 \text{ kN/m}^3$$



Liite 3

| | | | | | |
|---|-----------------|--------------------|------------------------------|-----------------|--------------------|
|  | | | Job n:o | 12099 | |
| | | | 28.8.2018 | | |
| | | | | | |
| Nordic Gold Oy | | | | | |
| The raise of tailings pond to level +98, +99, +102 | | | | | |
| | | | | | |
| The volume calculations +98 and +99 | | | The volume calculations +102 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Title | Quantity | Unit | Title | Quantity | Unit |
| Downstream-raise | | | Downstream-raise | | |
| Northern dam +98 | | | Northern dam +102 | | |
| PL0-PL520 | | | PL0-520 | | |
| Moraine | 13211,64 | m ³ rtr | Moraine | 57642 | m ³ rtr |
| Base course, #0-55 mm | 842,4 | m ³ rtr | Base course, #0-55 mm | 842,4 | m ³ rtr |
| Protective layer, #0-150 mm | 3677,44 | m ³ rtr | Protective layer, #0-150 mm | 6806,8 | m ³ rtr |
| | | | | | |
| Downstream-raise | | | Downstream-raise | | |
| Eastern and southern dam +99 | | | Northern dam +102 | | |
| PL1320-PL1920 | | | PL520-1120 | | |
| Moraine | 33072 | m ³ rtr | Moraine | 18390 | m ³ rtr |
| Base course, #0-55 mm | 972 | m ³ rtr | Base course, #0-55 mm | 972 | m ³ rtr |
| Protective layer, #0-150 mm | 1884 | m ³ rtr | Protective layer, #0-150 mm | 5214,6 | m ³ rtr |
| | | | | | |
| Downstream-raise | | | | | |
| Eastern and southern dam +99 | | | | | |
| PL1920-PL2590 | | | | | |
| Moraine | 53667 | m ³ rtr | | | |
| Base course, #0-55 mm | 1085,4 | m ³ rtr | | | |
| Protective layer, #0-150 mm | 2331,6 | m ³ rtr | | | |
| | | | | | |
| Total | | | Total | | |
| Moraine | 99950,64 | m ³ rtr | Moraine | 76032 | m ³ rtr |
| Base course, #0-55 mm | 2899,8 | m ³ rtr | Base course, #0-55 mm | 1814,4 | m ³ rtr |
| Protective layer, #0-150 mm | 7893,04 | m ³ rtr | Protective layer, #0-150 mm | 12021,4 | m ³ rtr |
| | | | | | |
| | | | | | |