

Kimmo Kvist

**Rikastushiekka-altaan alkupatorakenteiden rakentaminen ja laadunvalvonta**

# **Rikastushiekka-altaan alkupatorakenteiden rakentaminen ja laadunvalvonta**

Kimmo Kvist  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, yhdyskuntatekniikka

---

Tekijä: Kimmo Kvist  
Opinnäytetyön nimi: Rikastushiekka-altaan alkupatorakenteiden rakentaminen ja laadunvalvonta  
Työn ohjaaja: Lehtori Jarmo Erho, Oulun ammattikorkeakoulu  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018  
Sivumäärä: 44

---

Sodankylässä sijaitsevalla Kevitsan nikkeli- ja kuparikaivoksella rakennettiin kesällä 2017 rikastushiekka-altaan viimeiset rakentamattomat alkupatorakenteet. Opinnäytetyön tavoitteena oli käydä läpi, mitä eri rakennusvaiheita alkupatorakenteet sisältävät ja minkälaisia laatuvaatimuksia eri rakenteille on asetettu. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, miten urakoitsija suorittaa laadunvalvontaa.

Alkupatojen rakentaminen aloitettiin toukokuussa ja hanke saatiin päätökseen elokuussa. Alkupadot koostuivat louhetukipenkereestä ja moreenitiivisteestä. Tiivisteiden ja tukipenkereiden väliin tuli kaksiosainen suodatin.

Hankkeen laadunvalvontaa suoritettiin tarkemittauksin, työtapatarkkailuna sekä valokuvaamalla työmaan eri rakennusvaiheita. Kaikki laadunvalvontatoimenpiteet kirjattiin ylös työmaan laatupäiväkirjaan, joka toimitettiin tilaajalle ja muille työmaata valvoville päivittäin. Laadunvalvojen työ oli vaativaa, sillä tiukat laatuvaatimukset asettivat suuria haasteita. Lisäksi olosuhteet toivat ongelmia, sillä runsaat vesisateet vaikeuttivat moreenitiivisten rakentamista. Laatuvaatimusten kertominen ja työohjeiden jakaminen työntekijöiden kanssa edesauttoivat ja helpottivat laatuvaatimusten täyttymistä ja valvomista. Laadunvalvojan työtä helpottivat myös 3D-koneohjausjärjestelmällä olevat kaivinkoneet.

Opinnäytetyössä havaittiin, että alkupatorakenteiden rakentaminen vaatii paljon maa-ainemateriaalien ennakkokokeita sekä rakennekerroksien koetiivistyksiä. Lisäksi tiukat laatuvaatimukset olivat päivittäisenä haasteena rakentamisen toteuttamisessa. Alkupatorakenteiden hankkeesta sai paljon käytännön näkökulmia rakentamisen eri vaiheisiin ja haasteisiin.

Opinnäytetyön tarkoituksena on herättää ajatuksia patorakenteiden tiukoista laatuvaatimuksista sekä kuvata yleisesti, mistä rikastushiekka-altaan alkupatorakenteet koostuvat.

---

Asiasanat: infrarakentaminen, laadunvalvonta, vyöhykepato

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Municipal Engineering

---

Author: Kimmo Kvist

Title of thesis: Building and Quality Control of Initial Earth Dams for Storage Facility of Tailings

Supervisor: Lecturer Jarmo Erho, Oulu University of Applied Sciences

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 44

---

The initial earth dams were built for the Kevitsa Mine. The mine is owned by Boliden Ltd. The Kevitsa Mine is located in the Finnish Lapland, in a town named Sodankylä.

Maarakennus Kamara Ltd. built the initial earth dam constructions in the summer 2017. The initial earth dams are zoned dams. In them there is a support edge that has been made from blasted rock and moraine sealing coat in slope. There is a two-piece filter between moraine sealing coat and support edge.

The objective was to go through the building stages of the initial earth dam and quality requirements that have been set for different structures. The second objective was to clarify how the contractor carries out quality control.

The quality control of the project was carried out by surveying, by method observation and by photographing the different building stages of the site.

In the thesis it was noticed that the building of initial earth dam requires many preliminary tests of earth materials and test compaction of structure layers. The quality requirements bring many daily challenges. The purpose is to tell about the strict quality requirements of dam structures and from how the starter dams are built.

---

Keywords: infrastructure construction, quality control, zoned dam

## **ALKULAUSE**

Kiitän erityisesti Maarakennus Kamaran työmaapäällikköä Petri Falckia, työnjohtajia Marko Dahlgrenia, Jouni Soukkaa sekä Alpo Heikkistä mahdollisuudestani työskennellä Kevitsan kaivokselle tehdyissä A-altaan korotus- ja alkupatorakennehankkeissa vuosina 2015-2017.

Haluan kiittää Maarakennus Kamaran koneenkuljettajia sekä mittaushenkilöstöä Sakari Paakkolaa ja Iiro Kemppeistä sujuvasta yhteistyöstä. Kiitokset myös työn ohjaajalle lehtori Jarmo Erholle.

7.3.2018

Kimmo Kvist

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
2 BOLIDEN KEVITSA MINING	11
2.1 Avolouhos	12
2.2 Rikastusprosessista syntyvä rikastushiekka	14
3 ALKUPATORAKENTEIDEN RAKENTAMINEN	17
3.1 Urakkamuoto	18
3.2 Rakennuttamisjärjestelyt	18
3.2.1 Louhetukipenger	19
3.2.2 Suodatinkerros	21
3.2.3 Tiivisteura	22
3.2.4 Moreenitiiviste	23
3.2.5 Juurisalaojat	26
3.2.6 Kantava kerros	27
3.2.7 Eroosiosuojaus	28
4 LAADUNVALVONTA ALKUPATORAKENNE-TYÖMAALLA	30
4.1 Valvontakohteet ja laatuvaatimukset alkupatorakenteessa	30
4.2 Urakoitsijan laadunvalvonta	33
4.2.1 Koekuopat ja maamateriaalien ennakkokokeet	34
4.2.2 Koneohjausjärjestelmä ja tarkemittaukset	35
4.2.3 Koetiivistykset	37
4.2.4 Laadunvalvontapäiväkirja ja silmämääräisen arvioinnin raportit	39
4.2.5 Materiaalitodistukset	41
4.2.6 Työmaakokoukset	41
4.3 Laatukansio	42
4.4 Alkupatorakenne-hankkeen haasteet	42
5 LOPPUSANAT	43



## SANASTO

A-allas	Rikastushiekka-allas Kevitsan kupari- ja nikkelikai-voksella. Malmin rikastusvaiheessa syntyy lietemäi- sessä muodossa olevaa rikastushiekka, joka johde- taan A-altaaseen.
Laatu	Hyvän rakentamisen laadun ominaisuuksia ovat vir- heettömyys, sujuva rakentamisprosessi ja onnistu- neet asiakaskohtaamiset.
Laadunvarmistus	Laadunvarmistuksella pyritään siihen, että valmis rakenne täyttää kaikki sille asetetut laatuvaatimuk- set.
Laadunvalvonta	Laadunvalvonta on yhteisnimitys erilaisille laadun- tarkastustoimenpiteille.
Urakoitsija	Rakentamisen suorittaja, joka sitoutuu vastiketta vastaan rakentamaan rakennuksen tai rakennel- man toiselle osapuolelle.
Malmi	Malmi tarkoittaa sellaista luonnollista mineraali- esiintymää, josta voidaan taloudellisesti tuottaa me- talleja.
Troxler-tiiviysmittauslaite	Tiiviiden ja kosteuden mittauslaite. Laitteella voi- daan mitata tiivistettyjä maakerroksia sekä ohuita päällystekerroksia. Troxler-laitteella voidaan tehdä vain pistemäisiä mittauksia. Mittauskyky perustuu sen sisältämiin radioaktiivisiin lähteisiin, isotooppi cesium-137:ään ja alkuaine amerikum-241, sekä niiden tuottamiin säteilyihin ja takaisinheijastumiin.
3D-koneohjaus	3D-koneohjausta hyödyntämällä voidaan työsken- nellä ilman maastoon merkintää. Työmaakorko on



aina tiedossa työkoneessa eikä sihtilappujen tai lasereiden pystytystä tarvita. Kolmiulotteiset työsuunnitelmat ovat näkyvissä koneohjausjärjestelmän näyttöruudulla.

#### Riippumaton laadunvalvoja

ELY-keskuksen hyväksymä laadunvalvoja, joka arvioi työtä ja laadunvalvontaa sekä tekee tarvittaessa kontrollikokeita. Riippumattoman laadunvalvojan työ keskittyy pato- ja ympäristörakenteiden laatuun. Riippumaton laadunvalvoja suorittaa työmaakäyntejä säännöllisesti.

# 1 JOHDANTO

Kevitsan kaivoksen rikastushiekka-altaan alkupatorakenteita on rakennettu vuosina 2010-2011 sekä 2015. Alkupatojen rakentamista jatkettiin kesällä 2017 vaiheessa 4. Työssä käsitellään viimeiset alkupatorakenteet altaan itä- ja länsireunoille. Opinnäytetyössä perehdytään ensin Kevitsan nikkeli- ja kuparikaivokseen sekä sen historiaan ja avolouhoksen toimintaan. Malmin rikastuksen vaiheita sivutaan lyhyesti, jotta saadaan käsitys siitä, mistä rikastushiekka on peräisin ja miten se käyttäytyy rikastushiekka-altaassa.

Työssä käydään läpi rikastushiekka-altaan alkupatorakenteiden rakentamisen vaiheet ja työtehtävät vaiheittain. Alkupatorakenteiden rakentaminen esitellään työssä noudattaen samaa etenemisjärjestystä, miten työmaalla edettiin. Jokainen työvaihe on esitelty valokuvoin ja samalla on esitelty hieman vaadittavia laatuvaatimuksia. Tavoitteena on selvittää, miten patorakenteiden rakentaminen käytännössä tapahtuu ja minkälaisia laatuvaatimuksia työvaiheet sisältävät. Lisäksi rikastushiekka-allas ja sen vaatimat rakenteet ovat monelle tuntemattomia asioita, kun huomio kiinnitetään yleensä avolouhokseen ja rikastamoon. Ilman rikastushiekka-allasta kaivostoiminta olisi mahdotonta.

Laadunvalvonta on nykyaikana tiukkaa, mikä johtuu nykytekniikasta, joka mahdollistaa 3D-koneohjaukselliset työkoneet sekä tarkat maastomittaustietokoneet. Lisäksi dokumentointi valokuvaamalla on yleistynyt paljon. Laadunvalvonnassa perehdytään urakoitsijan laadunvalvontatoimiin ja toimintatapoihin. Opinnäytetyössä laadunvalvontakohteet ja laatuvaatimukset esitellään laadunvalvontasuunnitelman mukaisesti. Tavoitteena on selvittää, miten laadunvalvontaa suoritettiin Maarakennus Kamara Oy:n alkupatorakennetyömaalla sekä minkälaista dokumentaatiota ja raportointia vaaditaan.

## 2 BOLIDEN KEVITSA MINING

Kevitsan kaivos (kuva 1) on Lapissa Sodankylän kunnassa sijaitseva nikkeli- ja kupari-kaivos. Kaivosalue sijaitsee 43 kilometrin päässä Sodankylän keskustasta pohjoiseen. Louhintamäärältään Kevitsa on Suomen suurin kaivos. Kiveä louhitaan vuodessa noin 50 miljoonaa tonnia. (1.)



*KUVA 1. Kevitsan kaivosaluetta*

Kaivoksen tyyppinä on avolouhos ja kaivoksen syvyys on tällä hetkellä noin 160 metriä. Louhinnan myötä avolouhoksen syvyys on lopulta noin 500 metriä. Vuonna 2016 avolouhoksen tuotanto oli 451 800 tonnia malmia. Rikaste sisälsi nikkeliä, kuparia, kultaa, platinaa ja palladiumia. Malmirikaste toimitetaan Harjavaltaan Bolidenin sulattoon jatkojalostettavaksi. (1.)

Päätös Kevitsan kaivoksen avaamisesta tehtiin marraskuussa 2009 ja rakennustyöt kaivosalueella aloitettiin kesäkuussa 2010. Kaivos aloitti toimintansa kesäkuussa 2012, jolloin kaivoksen omisti kanadalainen First Quantum Minerals Ltd-yhtiö. Nykyään kaivoksen omistajana toimii ruotsalainen Boliden AB-yhtiö. Boliden osti Kevitsan kaivoksen kesä-

kuussa 2016. Kevitsan esiintymän löysi GTK vuonna 1987, se on yksi suurimmista mineraalilöydöistä Suomessa. Tällä hetkellä kaivos työllistää noin 380 henkilöä. Kevitsan kaivoksen arvoitu toiminta-aika kestää vuoteen 2033 asti. (1.)

## 2.1 Avolouhos

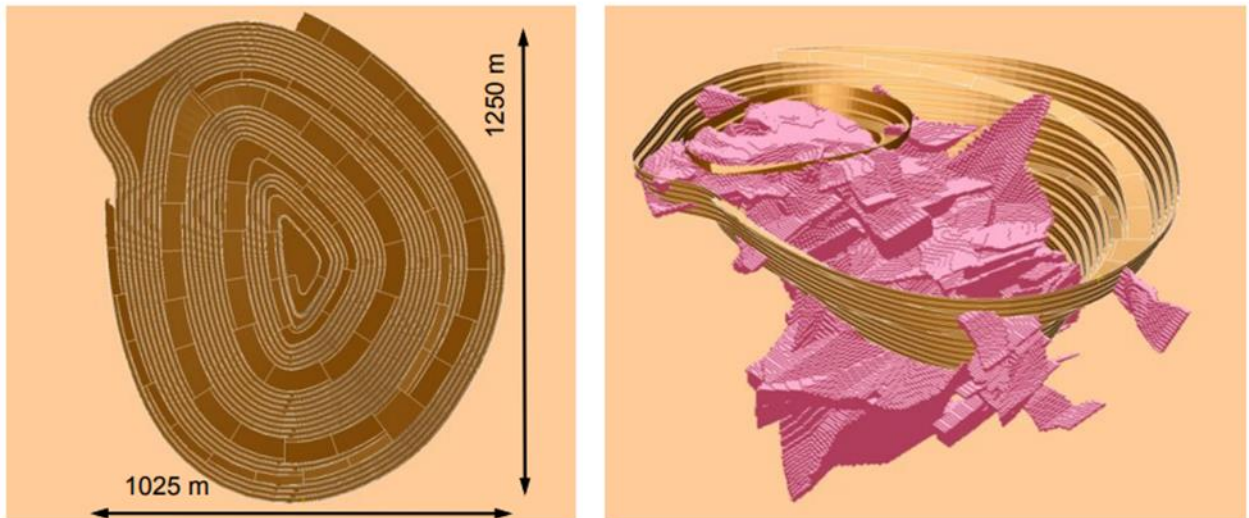
Avolouhoksella (kuva 2) louhinta tehdään maan pinnalta, jolloin tunneleita ei tarvitse rakentaa. Avolouhoksen huonona puolena ovat maiseman muokkautuminen ja siitä aiheutuvat vaikutukset. Avolouhinta on kustannustehokkaampaa maanalaiseen louhintaan verrattuna, mutta mitä syvemmälle mennään, sitä enemmän joudutaan louhimaan sivukiveä.



*KUVA 2. Kevitsan avolouhos (1)*

Kevitsan lopullinen avolouhos on 510 metriä syvä ja ilmasta käsin katsottuna yli kilometrin leveä (kuva 3). Boliden on kuitenkin luvannut palauttaa alueen alkutilaansa luonnolliseksi osaksi maisemaa, kun kaivostoiminta päättyy. (2, s. 8.)

## STAGE 4: Lopullinen louhos



Malmia 166 Mt, Ni 0.27%, Cu 0.40%  
Raakkua 465 Mt  
Syvyys 510 m

Ramppi 1 myötäpäivään, leveys 55 m tasolle z = -162, alapuolella 25 m, kaltevuus 10%  
Ramppi 2 vastapäivään, leveys 25 m, kaltevuus 10%, jatkuu tasolle Z = -6 saakka



**FQM Kevitsa Mining**

### *KUVA 3. Avolouhoksen lopullinen koko (4)*

Avolouhinnan ensimmäisiä työvaiheita ovat mittaus- ja vaaitus sekä maa- ja kallioperätutkimukset. Tämän jälkeen suoritetaan maanpoisto ja porataan kallioon reikiä panostusta sekä räjäytystä varten. Räjäytyksen jälkeen rikkonainen louhe lastataan louhosautoihin ja kuljetetaan joko murskaamoon tai sivukivialueelle. (2, s. 10.)

Avolouhinnassa syntyy paljon sivukiveä, joka ei sisällä suuria määriä metalleja. Tämä tarkoittaa sitä, että sivukivi ei ole tarpeeksi rikasta ja silloin siitä tulee jatkoprosessiin kelpaamatonta. Sivukiveä joudutaan louhimaan, jotta päästäisiin varsinaiseen malmikiveen käsiksi sekä hyödyntämään sitä. Sivukiven louhintamäärät avolouhinnassa voivat olla suurempia kuin varsinaisen malmin louhintamäärä. Sivukivien hyötykäyttö kasvaa koko ajan ehtyvien soravarojen takia. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi mursketuotteina sekä vesi- ja ympäristörakentamisessa. Hyötykäyttö ei ole aina mahdollista, jolloin sivukivi täytyy varastoida kaivosalueella olevalle sivukivelle varatulle läjitysalueelle. Sivukiven hyötykäyttö ei ole mahdollista patorakenteissa, sillä sivukiven rikkipitoisuus on liian suuri.

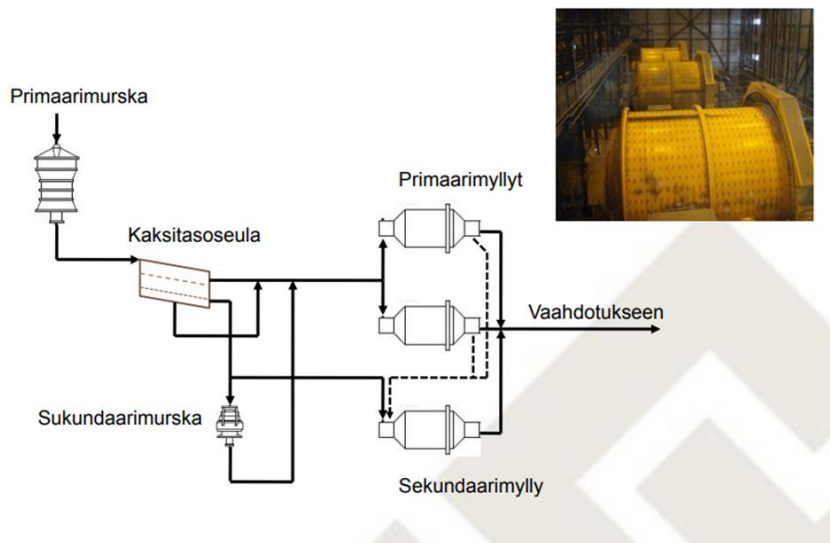
Kevitsan kaivokselle tehdyt patorakenteet ovat ELY-keskuksen valvomia ympäristörakenteita. (3.)

Mikäli malmin metallipitoisuus on alhainen ja se ei ole tasalaatuista, on avolouhoksella omat haasteensa. Avolouhos voidaan muuttaa kannattavuuden perusteella myös maanalaiseksi. Todennäköisesti jossain vaiheessa maanalainen louhinta tulee olemaan edullisempaa kuin avolouhoksessa. Kaivostoiminnan kannattavuuteen vaikuttaa lisäksi kapasiteetti sekä louhittavan malmin arvo. (2, s. 7.)

## 2.2 Rikastusprosessista syntyvä rikastushiekka

Malmipitoinen kivi siirretään avolouhokselta murskaukseen sekä jauhatukseen (kuva 4), jossa malmikiven kappalekoko pienennetään rikastusprosessia varten. Jauhatuksen jälkeen malmin sisältämät arvomineraalit esiintyvät puhtaina itsenäisinä rakeina. Tällöin ne saadaan erotettua sivukivirakeista rikastusprosessissa.

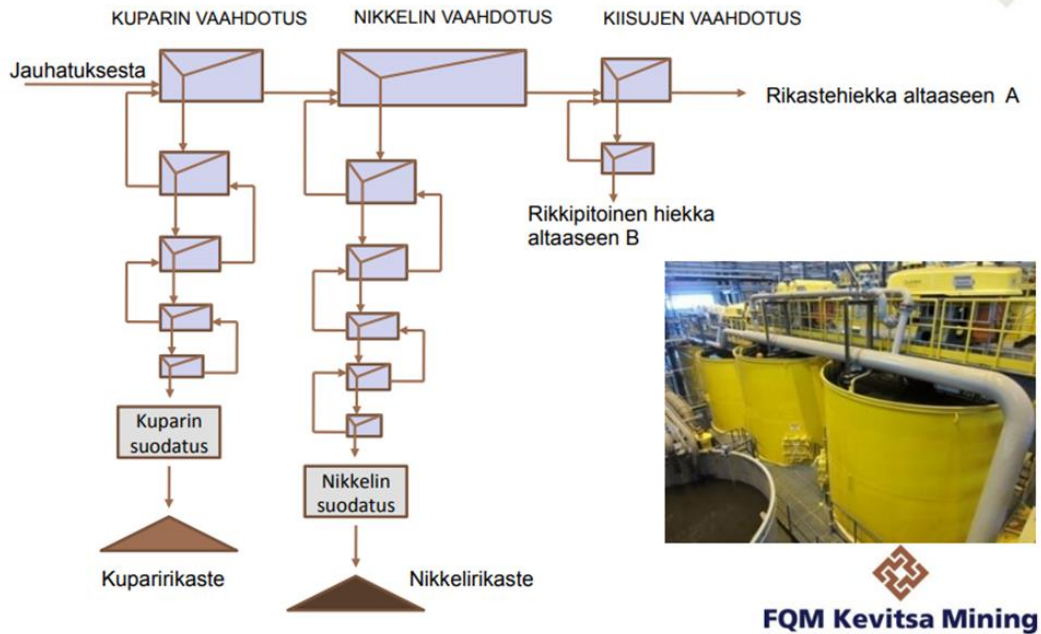
### Prosessikaavio 1: Murskaus ja jauhatus



KUVA 4. Murskaus ja jauhatus prosessi (4)

Rikastusprosessissa malmista erotetaan hyödyttömät aineet. Murskauksen sekä jauhatuksen jälkeen malmiaines etenee vaahdotukseen sekä rikasteen suodatukseen (kuva 5). (3.)

## PROSESSIKAAVIO 2: VAAHDOTUS & RIKASTEEN SUODATUS



KUVA 5. Vaahdotus ja rikasteen suodatus prosessikaavio (4)

Malmin rikastuksen yhteydessä syntyy rikastushiekkaa (kuva 6), joka koostuu rikastuskemikaalien jäämistä sekä hienoksi jauhetuista malmi- ja sivukivimineraaleista. Rikastushiekka on juoksevassa muodossa (lietteenä) rikastamolta lähtiessään, josta se pumpataan putkia pitkin patoamalla rakennettuun altaaseen. Altaassa hiekkaliete laskeutuu sedimentiksi altaan pohjalle ja vesi vapautuu uudelleen käytettäväksi. Rikastushiekan mukana tullut vesi pumpataan takaisin käytettäväksi rikastamon prosesseihin. Rikastushiekka muodostaa kuivuessaan kantavan pinnan. Kuivuneet rikastushiekan läjitysalueet ("piitsit") kestävät hyvin esimerkiksi työmaaliikennettä. (3.)



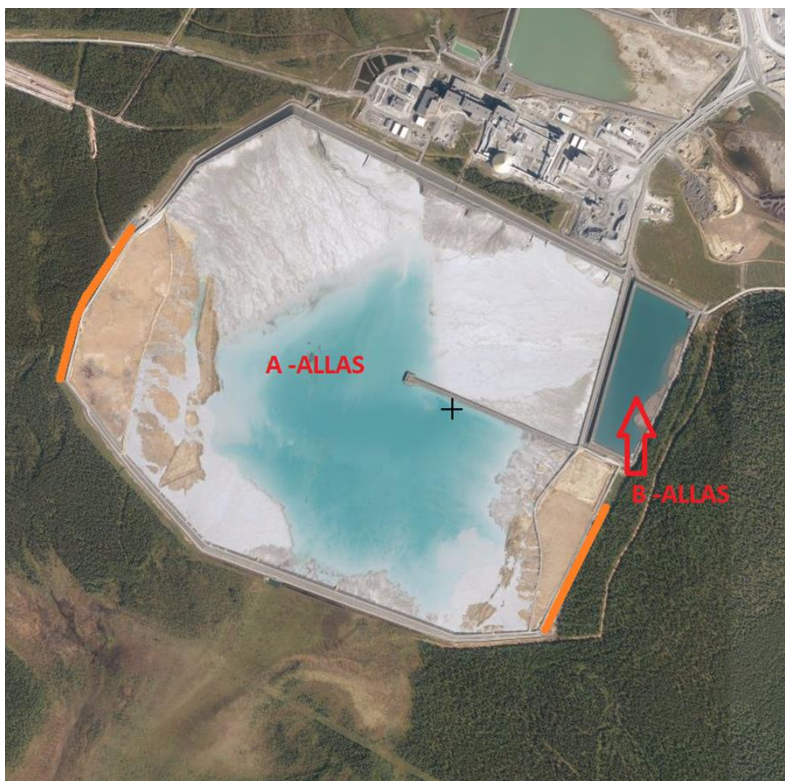
*KUVA 6. Rikastushiekka-allas*



### 3 ALKUPATORAKENTEIDEN RAKENTAMINEN

Alkupatorakenne-hanke koskee Kevitsan kaivoksen rikastushiekka-altaan A alkupatorakenteiden jatkamista altaan korotusvaiheessa 4. Rakennuskohde sijaitsee Kevitsan kaivosalueella. Rikastushiekka-allas sijaitsee Kevitsanaapa-suon alueella, rajoittuen lännessä Iso-Hanhilehtoon ja idässä Kevitsavaaraan. Rikastushiekka-alueen pinta-ala on noin 300 hehtaaria. Alueella on kaksi eri allasta, A ja B. Altaaseen A läjitetään vähän rikkiä sisältävää rikastushiekkaa ja altaaseen B malmista erotettu korkea rikkinen jae. Alkupatorakenteet rakennetaan altaaseen A. Altaan pohjarakenne koostuu yli 0,5 metrin vahvuisesta turvekerroksesta ja osittain rakennetusta turve- ja bentoniittimattorakenteesta. (5, s. 4.)

Alkupatorakenteita on rakennettu altaan ympärille vuosina 2010-2011 sekä 2015. Aikaisempien alkupatorakenteiden rakentamisesta on vastannut myös Maarakennus Kamara Oy. Tässä työssä käsitellään viimeiset rakentamattomat alkupatorakenteet altaan itä- ja länsipuolelle. Rakennuskohdeet ovat merkittynä oransseilla viivoilla karttapohjaan (kuva 7).



KUVA 7. Kevitsan kaivoksen rikastushiekka-allas (6)

Alkupadot koostuvat louhetukipenkereestä ja moreenitiivisteestä, joka rakennetaan louhetukipenkereen märänpuolen luiskaan. Tiivisteeseen ja tukipenkereeseen välissä on kaksiosainen suodatin. Alkupatorakenteiden suunnittelusta vastasi Geobotnia Oy. (5, s. 4.)

### **3.1 Urakkamuoto**

Alkupatorakenteet rakennettiin kokonaishintaurakkana. Kokonaishintaurakan etuna tilaajalle oli tällöin saada tietää nopeasti hankkeen kokonaiskustannukset. Lisäksi kustannusriskit ja rakennustöiden kokonaisvastuu jäivät urakoitsijalle. Urakoitsijalla oli kokemusta patorakenteiden rakentamisesta, joten työvaiheet olivat tutut ja olemassa olevat riskit sekä ongelmat tiedettiin. Urakoitsijaksi valittiin Maarakennus Kamara Oy.

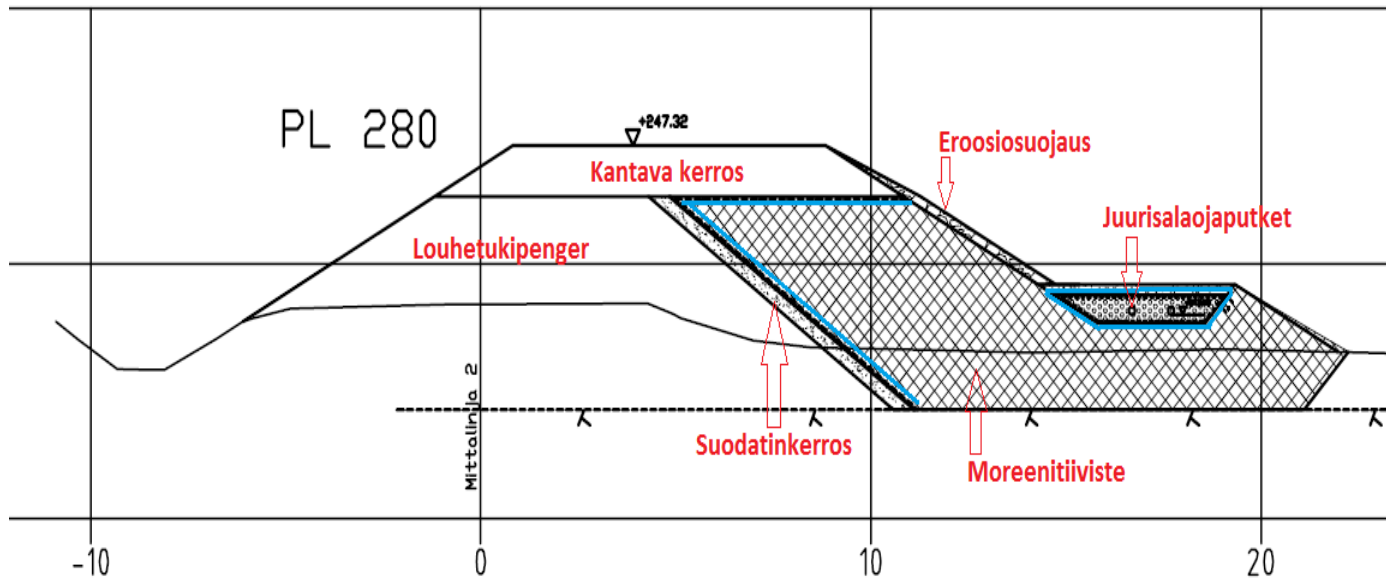
### **3.2 Rakennuttamisjärjestelyt**

Työt aloitettiin keväällä toukokuussa 2017 lumien sulamisen jälkeen. Ensimmäinen vaihe oli louhetukipenkereen rakentaminen vanhan huoltotien päälle. Louhetukipenkereen altaan puoleisen märänpuolen luiskaan rakennettiin suodatinkerros kalliomurskeella. Suodatinkerroksen päälle asennettiin suodatinkangas. Tämän jälkeen kaivettiin tiivisteura kohtaan, johon moreenitiivisteeseen rakentaminen täytyi tehdä. Rakenteeseen kelpaamaton moreeni, joka tuli tiivisteura-kaivannosta, siirrettiin läjitysalueelle ja rakennettiin moreenitiiviste patorakenteeksi soveltuvalla moreenilla.

Moreenitiivisteeseen tehtiin juurisalaojaputkille asennusalusta kalliomurskeella, jonka alle asennettiin suodatinkangas. Juurisalaojaputket sekä suunnitelmien mukaiset huuhdeluhaarat asennettiin tiivistetylle putkiarinalle. Putket peitettiin tekemällä kalliomurskeesta suodatinkerros ja rakenne ympäröitiin suodatinkankaalla. Suodatinkankaan päälle tuli ohut suojakerros murskeesta.

Moreenitiivisteeseen tulee louhetukipenkereen korkeustasoon. Tiivistetyn moreenin päälle asennettiin suodatinkangas, joka limitettiin suodatinkerroksessa olevaan suodatinkankaaseen. Tämä kohta on osa uutta huoltotietä, joka jää kantavan kerroksen alapuolelle. Moreenitiivisteeseen ja louhetukipenkereen päälle rakennettiin kantavakerros kalliomurskeesta. Lopuksi kaikki altaanpuolella olevat rakenteet eroosiosuojattiin pien-

louheella ja tehtiin tarvittavat järjestelmäsiirrot. Järjestelmäsiirtoihin kuuluivat rikastushiekkaputkiston sekä venttiilien siirrot uuden alkupatorakenteen päälle. Poikkileikkauksessa (kuva 8) on havainnollistettu rakenneosien sijaintia.



KUVA 8. Poikkileikkaus alkupatorakenteesta (suodatinkankaat on merkitty sinisellä värillä) (7)

### 3.2.1 Louhetukipenger

Louhetukipenger (kuva 9) rakennettiin pienlouheella, jonka rakeisuus oli #0–200. Pienlouheen saatavuudesta ja murskauksesta vastasi tilaaja. Pienlouhe murskattiin tarvikekivestä Kevitsan kaivosalueella olevalla murskalla. Altaan itäpuolelle lastauspaikalta kertyi ajomatkaa reilut 2 kilometriä ja länsipuolelle noin 4 kilometriä. Louheen kuljetuksessa käytettiin Volvo 30 –sarjan maansiirtoajoneuvoja, joissa lavan tilavuus on 18 m<sup>3</sup>. Louhetukipenkereiden rakenneteoreettinen massamäärä oli 1 400 m<sup>3</sup>. Rakentamiseen käytettiin 35 tonnin painoista kaivinkonetta.



*KUVA 9. Valmis louhetukipenger ML 2*

Louhekerroksen tiivistäminen suoritettiin täyteen lastatuilla louheen kuljetusajoneuvoilla. Täyteen lastattu Volvo 30 –sarjan maansiirtoajoneuvo painaa noin 60 tonnia. Mikäli vaaditut ylitysajokerrat (10 ylitysajokertaa/ajokaista) eivät täytyneet, käytettiin tiivistämiseen 15 tonnista valssijyrää. Tiivistystyötä täytyi valvoa työtapatarkkailulla sekä raportoida ylitysajokerrat.

Louhetukipenger rakennettiin suunnitelmien mukaan, jolloin vaaditut korkeustasot ja luiskien kaltevuudet täyttyivät. Penkereen leveys itäpuolella oli 5 metriä (mittalinja 2) ja länsipuolella (mittalinja 4) leveys vaihteli 8-9 metrin välillä. Kerrospaksuudet vaihtelivat 0,2-1,7 metrin välillä. Luiskan kaltevuus moreenitiivisteiden puolella (altaan puolella) täytyi olla 1:1,5 ja ulkopuoleisen luiskan kaltevuus 1:2.

Altaan länsipuolella louhetukipenger oli leveydeltään noin kolme metriä suurempi, sillä alkuperäiset rakenteet tehtiin vanhan huoltotien vierelle. Alkuperäinen suunnitelma olisi ollut poistaa puolet vanhasta huoltotiestä pituussuunnassa ja rakentaa louhetukipenger tämän päälle. Tämä todettiin kuitenkin työlääksi, joten päätettiin rakentaa uusi louhetukipenger vanhan huoltotien vierelle, purkamatta huoltotietä pois. Tällöin kantavasta kerroksestakin tuli hieman suunniteltua leveämpi.

### 3.2.2 Suodatinkerros

Suodatinkerros (kuva 10) rakennettiin kalliomurskeella, jonka rakeisuus oli #0–32. Murske ajettiin samalta murskalta mitä louhetukipenkereen pienlouhe, jolloin ajomatkat pysyivät samoina. Murskeen kuljetuksessa käytettiin Volvo 30 –sarjan maansiirtoajoneuvoja. Suodatinkerroksien rakenneteoreettinen massamäärä oli 900 m<sup>3</sup>.



*KUVA 10. Vinosuodattimen rakennus kalliomurskeella*

Suodatinkerrokselle tehtiin koetiivistys. Vaatimuksena tiiviysasteeksi oli  $D_v \geq 90 \%$ . Rakennekerroksen paksuus täytyi olla vähintään 300 mm. Vaadittavat tiivistyskerrat kirjattiin koetiivistysraporttiin ja tiivistystä voitiin tarkkailla työn aikana Troxler-mittauslaitteella. Tiivistystavaksi valittiin kaivinkoneeseen asennettava maantiivistin (kuva 11) hankalan tiivistyspaikan vuoksi. Valssijyrän käyttö olisi mahdotonta kaltevassa luiskassa. Tiivistetyn suodatinkerroksen päälle asennettiin N3-luokan suodatinkangas. Suodatinkangasta asennettiin luiskiin noin 10 000 m<sup>2</sup>.



*KUVA 11. Kaivinkoneeseen asennettava maantiivistin*

### **3.2.3 Tiivisteura**

Karkea moreeni poistettiin tiivisteuran (kuva 12) kohdalta. Kaivanto tehtiin löyhän tai kivisen pintamoreenin alapuolelle suunnitelmien mukaisesti. Tiivisteurasta leikattu moreeni ajettiin Kevitsassa sijaitsevalle moreenin läjitysalueelle. Altaan itäpuolelta läjitysalueelle kertyi ajomatkaa 1,9 kilometriä ja länsipuolelta 3,5 kilometriä. Tiivisteurasta leikattu moreeni kuljetettiin Volvo 30 –sarjan maansiirtoajoneuvoilla. Tiivisteurakaivantojen teoreettinen massamäärä oli 21 400 m<sup>3</sup>. Tiivisteuran kaivussa käytettiin 35 tonnin painoista kaivinkonetta.



*KUVA 12. Tiivisteura. Kuvassa näkyy myös vinosuodattimeen asennettu suodatinkangas.*

Kaivanto pyrittiin täyttämään nopeasti uudella patomoreeniksi soveltuvalla moreenilla, jotta vältetään leikkauspohjan häiriintyminen. Leikkauspohjan laatua tarkkailtiin silmämääräisesti ja tehdyt havainnot kirjattiin ylös tarkkailuraporttiin.

### **3.2.4 Moreenitiiviste**

Moreenitiiviste (kuva 13) rakennettiin kohtaan, johon leikattiin tiivisteura huoltotiepenkeen altaan puolelle. Moreenitiiviste muodostuu tiivisteuran täytöstä ja huoltotien korkeustasoon nousevasta moreenista. Patorakenteeseen soveltuva moreeni ajettiin paikalta, josta tehdyt ennakkokokeet olivat täyttäneet laatuvaatimukset. Moreenin lastauspaikalta matkaa kertyi altaan itäpuolelle 4,3 km ja länsipuolelle 5,3 km. Moreeni kuljetettiin Volvo

30 –sarjan maansiirtoajoneuvoilla. Moreenitiivisteiden rakenneteoreettinen massamäärä oli 33 800 m<sup>3</sup>. Moreenitiivisteiden rakentamisessa käytettiin 35 tonnin painoista kaivinkonetta.



*KUVA 13. Moreenitiivisteiden rakentamista (alemmalle tasolle asennetaan juurisalaojaputket)*

Moreenin materiaali vaatimuksena oli maksimiraekoko enintään 300 mm. Urakoitsija joutui vastaamaan mahdollisten ylisuurten kivien erottelemisesta tai välppäyksestä. Laatuvaatimuksena oli vedenläpäisevyyden oltava  $k \leq 1 \times 10^{-7}$  m/s:a ja tiivysaste  $D_v \geq 92$  %:a parannetun Proctor-kokeen mukaiseen kuivatilavuuspainoon verrattuna. Vedenläpäisevyys osoitettiin tekemällä ennakkokokeita moreenin ottoalueelta. Työn aikana seurattiin moreenin tiivysastetta mittaamalla tiivistetystä moreenista tiivysarvot Troxler-mittauslaitteella (kuva 14). Tiivysastemittauksista vastasi Suomen Atomit Oy.





*KUVA 14. Troxler-mittauslaitteella tiiviyksasteen mittaamista moreenitiivisteestä*

Moreenitiiviste rakennettiin 700 mm:n kerroksissa ja jokainen kerros tiivistettiin ennen uuden rakentamista. Tiivistyksessä käytettiin 15 tonnista valssijyrää (kuva 15) ja ylityskerrat vaihtelivat välillä 4-6, oikean tiiviyksasteen saamiseksi. Tiiviyksmittaukset suoritettiin jokaisesta kerroksesta, yksi mittaus alkavaa 800 m<sup>3</sup>:ä kohden.



*KUVA 15. Moreenitiivisten tiivistämistä 15 tonnissella valssijyrällä*

Haastavaa moreenitiivisteiden rakentamisesta teki mahdollinen vesisade ja vesipitoinen moreeni. Tällöin tiiviysmittaukset eivät täyttäneet laatuvaatimuksia ja oli odoteltava kuivempia aikoja rakentamiselle. Lisäksi rakentaminen hankaloituu liian vesipitoisella moreenilla ja työmaaliikenne vaikeutuu rakennuskohteessa. Mahdollinen vettynyt moreeni poistettiin ja työnaikaista kuivatusta pidettiin yllä tekemällä moreeniin uria vesien pois johtamiseksi.

### 3.2.5 Juurisalaojat

Patojen juurelle moreenitiivisteeseen asennettiin halkaisijaltaan 160 mm olevat juurisalaojaputket (kuva 16). Juurisalaojaputkia asennettiin yhteensä 1 610 metriä. Juurisalaojat vähentävät patorakenteeseen kohdistuvaa vedenpainetta siinä vaiheessa, kun rikastushiekan pinta nousee ylemmäksi.



KUVA 16. Juurisalaojaputket asennettuna

Juurisalaojien vedet ohjataan nykyisille juurisalaojapumppaamoille, joista ne pumpataan takaisin altaaseen. Juurisalaojaputkien asennuksessa käytettiin apuna putkilaseria. Urakoitsijan mittaushenkilöstö antoi lähtökorkeuden ja putkilaserin avulla putkilinjasta saatiin tasaisesti laskeva.

Putkien alle asennettiin N3-luokan suodatinkangas sekä tehtiin asennusalusta kalliomurskeesta, jonka rakeisuus oli #8–25. Asennusalustan paksuus oli 17 cm. Putket peitettiin 25 cm:n kalliomurske (#8–25) kerroksella ja suodatinkankaalla. Asennusalustojen rakenneteoreettinen massamäärä oli 2 240 m<sup>3</sup>. Salaojien suojaverhouksien massamäärä oli 630 m<sup>3</sup>. Juurisalaojien vaaka- ja pystysijaintia tarkkailtiin GPS-mittauksilla. Pystysijainnin toleranssi oli ±20 mm:ä ja vaakasijainnin ±100 mm.

### 3.2.6 Kantava kerros

Kantava kerros (kuva 17) rakennettiin kalliomurskeella, jonka rakeisuus oli #0–32. Kantavan kerroksen rakentamisessa käytettiin 35 tonnin painoista kaivinkonetta. Kantavien kerroksien rakenneteoreettinen massamäärä oli 5 400 m<sup>3</sup>. Murske ajettiin samalta murskaus paikalta kuin suodatinkerroksen ja louhetukipenkereen materiaalit. Kuljetuksessa käytettiin Volvo 30 –sarjan maansiirtoajoneuvoja.



KUVA 17. Valmis kantava kerros

Murskeesta otettiin näytteet, jotka toimitettiin seulontaan rakeisuuskäyriä varten. Ennen rakentamista suoritettiin koetiivistys ja määritettiin vaadittavat ylityskerrat. Laatuvaatimuksena oli kantavuussuhteen  $E2/E1 \leq 2,2$  täytyminen. Kantavuussuhde  $E2/E1$  kuvaa maassa jäljellä olevaa tiivistymispotentiaalia.

Rakennekerroksen paksuus oli 1 000 mm. Koetiivistyksessä todettiin, että tiivistysylityskertoja on oltava vähintään 4, jolloin suhde  $E2/E1 \leq 2,2$  täyttyy. Tiivistys tehtiin 15 tonnilla valssijyrällä. Pinnan leveys oli oltava 8 metriä ja korkeusasema suunnitelmien mukainen. Pinnan leveys sai poiketa 8 metristä enintään 0/+500 mm ja korkeusasema 0/+50 mm.

### **3.2.7 Eroosiosuojaus**

Altaan puolella olevat rakenteet eroosiosuojattiin pienlouheella (kuva 18), jonka raekokona oli #0–200. Materiaalina käytettiin samaa pienlouhetta kuin louhetukipenkereen rakentamisessa. Eroosiosuojaus rakennettiin 35 tonnin painoisella kaivinkoneella, apuna käytettiin myös pitkäpuomista kaivinkonetta. Eroosiosuojauksien rakenneteoreettinen massamäärä oli 750 m<sup>3</sup>. Kerrospaksuuden täytyi olla vähintään 200 mm.



*KUVA 18. Valmis eroosiosuojaus (myös järjestelmäsiirrot on tehty)*

Eroosiosuojauksen tarkoituksena on välttää moreenin pintaeroosiota. Pintaerosio olisi merkittävää ilman eroosiosuojausta, sillä rikastushiekkaa ajetaan paineella altaaseen ja moreenin eroosio tapahtuisi nopeasti. Eroosiosuojauksen valmistuttua suoritettiin järjestelmäsiirrot, joihin kuuluivat rikastushiekkaputkiston sekä venttiilien siirrot uudelle alkupatorakenteelle. Putkiston siirtoon käytettiin kaivinkonetta, johon oli kiinnitetty putkien nosteluun soveltuva koura.

## 4 LAADUNVALVONTA ALKUPATORAKENNE-TYÖMAALLA

Alkupatorakenne-hankkeen laadunvarmistuksen tavoitteena oli varmistaa, että rakennustyömaa täyttää sille asetetut laatuvaatimukset. Laadunvarmistukseen liittyy laaduntarkastelua, jota tarkkailtiin tarkemittauksilla, työtapatarkkailuna, valokuvaamalla, materiaalitodistuksilla, ennakkokokeilla sekä tarkkailuraporteilla. Laaduntarkastelun tuloksia vertailtiin asetettuihin laatuvaatimuksiin. (8.)

Rakennustyömaan hyvä laatu edellyttää tarkkailujen lisäksi vaatimuksien kertomista työntekijöille sekä eri osapuolten sujuvaa yhteistoimintaa. Tavoitteena on, että hankkeen laatu ja muu tieto kulkevat sujuvasti rakennuttajan, suunnittelijoiden ja urakoitsijan välillä. Laadunvarmistuksen toimiessa oikein työmenetelmät ja vastuut sekä velvollisuudet ovat selkeitä. (8.)

Alkupatorakenne-hankkeessa urakoitsija suoritti työn aikana jatkuvaa laadunvalvontaa. Laatu tarkkailtiin päivittäin silmämääräisesti, GPS-mittauksilla sekä työtapatarkkailuna. Kaikki laadunvalvontatoimet raportoitiin päivittäin täytettävään laadunvalvontapäiväkirjaan. Tilaaja valvoi urakoitsijan työsuorituksia sekä laadunvalvonnan tuloksia. Laadunvalvontaa suoritti myös tilaajan ehdottama riippumaton laadunvalvoja. Riippumaton laadunvalvoja tarkkaili urakoitsijan tekemää laadunvalvontaa, arvioi työmenetelmiä ja teki kontrollikokeita. Riippumaton laadunvalvoja suoritti työmaakäyntejä säännöllisesti. (9, s. 1.)

### 4.1 Valvontakohteet ja laatuvaatimukset alkupatorakenteessa

Louhetukipenkereen rakentamisessa tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- penkereen korkeustason toleranssi 0/+400 mm
- penkereen leveyden toleranssi 0/+500 mm
- luiskan kaltevuuskulman tangentin toleranssi +5 % jyrkempi tai -10 % loivempi
- penkereen tiivistäminen, yhtä ajokaistaa kohden vähintään kymmenen yliajokertaa täyteen lastatulla louheenkuljetusajoneuvolla
- penkereen kantavuuden seuranta, tiivistyskaistojen deformaatioiden tulee silmämääräisesti loppua
- penkereessä käytettävän louheen suurin sallittu raekoko < #700 mm. (10.)

Suodatinkerroksen rakentamisessa tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- rakennepaksuus ja -mitat, paksuuden toleranssi 0/+200 mm
- käytettävän kalliomurskeen seulonta, noudattaen GLO-85 geoteknisiä laboratorio-ohjeita
- työmenetelmän tarkkailu
- tiiviyssasteeksi saavutettava keskimäärin  $D_v \geq 90\%$
- koetiivistys ja tiivistysohje laadittava
- suodatinkankaan laatu todistettava toimittajan laatutodistuksella
- suodatinkankaan asennus, limityksien seuranta ja mittaus. (10.)

Tiivisteuran kaivamisessa tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- leikkauspaksuus. Poistettava pintaosa, jonka vedenläpäisevyys  $k > 1 \times 10^{-7}$  m/s, ohjeellinen ylileikkaus 100 mm
- leikattavan alueen laajuus, tarkemitattava kymmenen metrin välein
- leikkauspohjan laadun tarkkailu silmämääräisesti. (10.)

Patomoreenin ennakkokokeiden tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- ennakkokokeiden näytteenotto koekuopista, koekuopat kattavat koko ottoalueen ja -paksuuden
- rakeisuus ja vesipitoisuus, noudattaen GLO-85 geoteknisiä laboratorio-ohjeita
- maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus, parannettu Proctor-sullonta, noudattaen GLO-85 geoteknisiä laboratorio-ohjeita
- vedenläpäisevyys, keskiarvona oltava  $k \leq 1 \times 10^{-7}$  m/s, tiiviyssasteessa  $D_v = 92\%$ . (10.)

Patomoreenin ottoalueella tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- ottoalueen kuivatusjärjestelyt ja ottamisjärjestys
- estettävä moreenin turha kastuminen, liettyminen ja lajittuminen
- patomoreenin esille otossa humusmaat poistettava kokonaan ja mahdollinen huuhtoutunut pintakerros poistettava
- patomoreenin laatua tarkkailtava silmämääräisesti
- ylisuurten kivien poisto, maksimirakoko #300 mm. (10.)

Moreenitiivisteiden koetiivistyksessä tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- tiivistettävyyden vaatimukseen (Dv = 92 %) pääsemiseen tarvittavien yliajokertojen määrittäminen Troxler-kokeilla
- kerrospaksuuden optimointi, tiiviyksivaatimuksen täytyttävä koko kerrospaksuudessa
- laadittava tiivistysohje, josta ilmenee kerrospaksuus, tiivistyskalusto ja vaadittavien yliajokertojen lukumäärä. (10.)

Moreenitiivisteiden rakentamisessa tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- työmenetelmä, koetiivistyksessä sovitun mukainen
- tiivistettävä kerrospaksuus, koetiivistyksessä sovitun mukainen
- rakennepaksuus ja -mitat, yläpinnan korkeusaseman toleranssi 0/+300 mm
- moreeniluiskan kaltevuus, kaltevuuskulman tangentin toleranssi +5 % jyrkempi tai -10 % loivempi
- tiiviyksasteen oltava keskimäärin  $D_v \geq 92 \%$ , yksittäinen tulos saa poiketa -2 %
- vedenläpäisevyys  $k \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ , tiiviyksasteessa  $D_v = 92 \%$
- kantavuuden kestettävä työkonemuorot ilman hyllymistä tai halkeilua. (10.)

Juurisalojen rakentamisessa tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- putkimateriaali, salaojaputki SN8 Ø160
- suodatinkankaan luokka N3, asennus suunnitelmien mukaan
- suodatinkerroksen materiaalin (KaM #8-25mm) seulonta, noudattaen GLO-85 geoteknisiä laboratorio-ohjeita
- putkilinjan korkeusaseman toleranssina  $\pm 20 \text{ mm}$
- putkilinjan vaakasijainnin toleranssina  $\pm 100 \text{ mm}$
- huuhtelukaivojen sijainti, korkeusaseman toleranssina  $\pm 20 \text{ mm}$ , vaakatasossa  $\pm 100 \text{ mm}$ . (10.)

Kantavan kerroksen rakentamisessa tulee noudattaa seuraavia laatuvaatimuksia:

- pinnan korkeusaseman toleranssina 0/+50 mm
- pinnan leveyden toleranssina 0/+500 mm
- kalliomurskeen rakeisuuden oltava #0-32



- käytettävän kalliomurskeen seulonta, noudattaen GLO-85 geoteknisiä laboratorio-ohjeita
- koetiivistys ja tiivistysohje laadittava
- tiivistämisen seuranta ylijokertojen lukumäärällä, koetiivistyksessä määriteltyä kertalukumäärää, jolla saavutetaan tiiviyssuhde  $E2/E1 \leq 2,2$  ei saa alittaa. (10.)

## 4.2 Urakoitsijan laadunvalvonta

Urakoitsija laati ennen töiden aloittamista työsuunnitelman ja laatusuunnitelman sekä laatupäiväkirjan rungon. Työsuunnitelmassa esitettiin työmenetelmät, tiedot rakennusmateriaaleista, aikataulu ja muut asiat, jotka voivat vaikuttaa rakenteiden laatuun ja laadunvalvontaan. Laatusuunnitelmassa esitettiin laadunvalvonnan vastuuhenkilö, -suorittajat sekä laadunvalvontakoemäärät alueittain. Laatupäiväkirjaan kirjattiin tehdyt laadunvalvontatoimenpiteet.

Laadunvalvojat tarkkailivat päivittäin rakenteiden laatuvaatimusten toteutumista. Laatua täytyi tarkkailla yhtäjaksoisesti, koska suurin osa rakenteista jäi uuden rakennekerroksen alle. Tällöin piilossa olevan rakenteen laaduntarkkailu on käytännössä mahdotonta. Päivittäisiä tehtäviä olivat rakenteiden tarkemittaukset, silmämääräiset arvioinnit ja tarkkailuraporttien täyttäminen. Laadunvalvontatoimenpiteet raportoitiin päivittäin tilaajalle ja valvojille.

Työntekijät perehdytettiin laatuvaatimukseen sekä heitä ohjeistettiin myös työn aikana. Tällöin laadun tarkkailu oli sujuvaa ja poikkeamat laadussa jäivät vähäisiksi. Kaivinkoneenkuljettajien oli helppo tarkkailla laatua 3D-koneohjausjärjestelmän kautta. Kuljettajat tiesivät rakenteiden pysty- ja vaakatoleranssit sekä materiaalien maksimiraekoot.

Tilaaja ja riippumaton laadunvalvoja valvoi säännöllisesti urakoitsijan työsuoritusta ja laadunvalvontaa. Laadunvalvonnan tuloksia tarkkailtiin viikoittain työmaapalaverissa. Riippumaton laadunvalvoja suoritti myös maamateriaalien ennakkokokeita sekä teki kontrollikokeita.

Urakoitsijalla oli työmaalla kaksi laadunvalvojaa. He myös mittasivat rakenteiden tarkepisteet ja tekivät niiden perusteella vaaditut tarkepiirroset. Lisäksi heidän tehtävänä oli laatia koneohjausmallit työkoneisiin Geobotnian suunnitelmien perusteella.

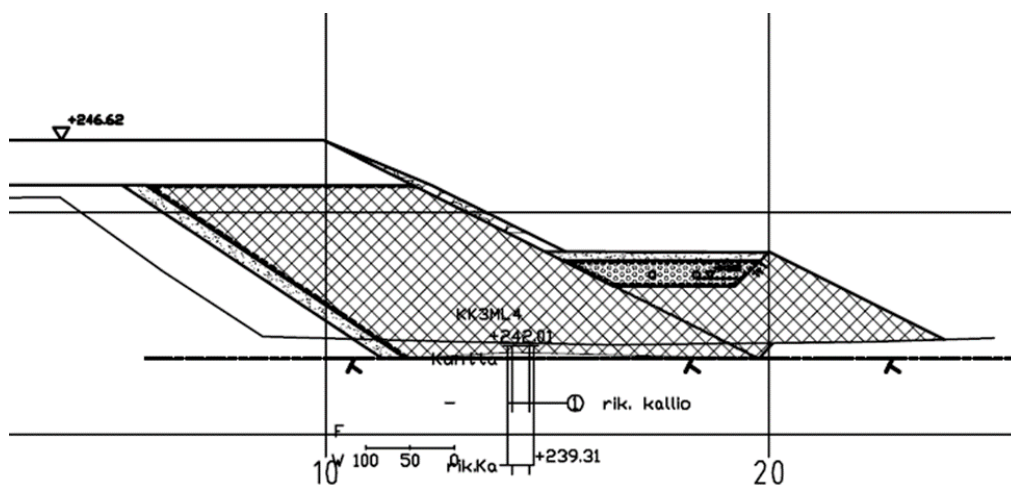
#### 4.2.1 Koekuopat ja maamateriaalien ennakkokokeet

Laadunvalvonta alkoi koekuoppien (kuva 19) kaivamisella sekä maamateriaalien ennakkokokeilla.



KUVA 19. Koekuoppa

Koekuoppien kaivamisella pyrittiin selvittämään mahdollista kallionpintaa (kuva 20) tiivisteuran kaivannon kohdalta.



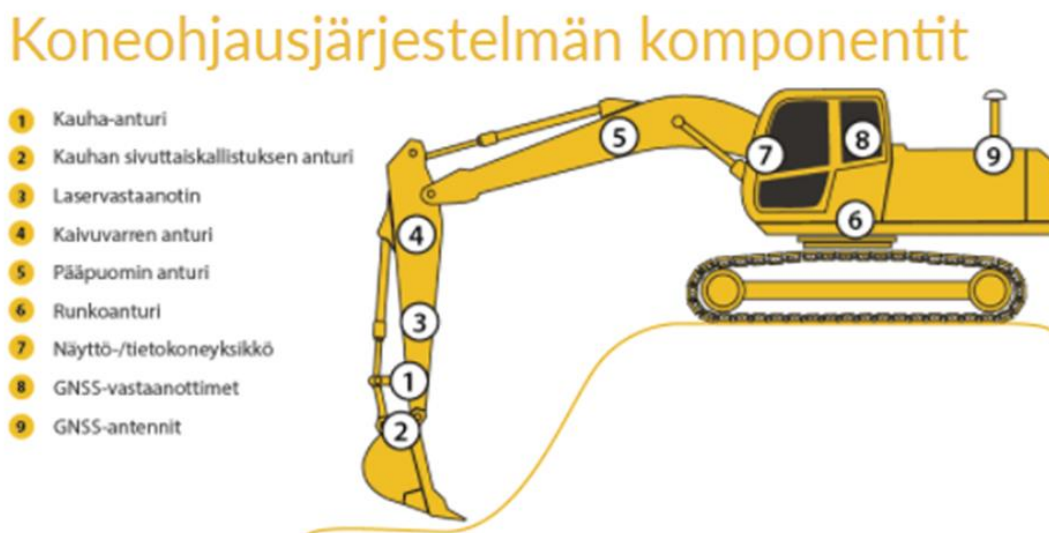
KUVA 20. Rikkinainen kallionpinta löydetty koekuoppien kaivun yhteydessä (7)

Ennakkokokeilla osoitettiin, että maamateriaalit ovat laadultaan rakenteisiin kelpaavia. Ennakkokokeilla selvitettiin rakeisuus, vesipitoisuus ja vedenläpäisevyys. Maamateriaalit toimitettiin Ouluun Mitta Oy:lle laboratorioon testattavaksi. Maamateriaaleille tehtiin myös työn aikana rakeisuuden, vesipitoisuuden sekä vedenläpäisevyyden kokeita laadunvarmistamiseksi. Lisäksi laadunvalvontasuunnitelma edellytti näytteiden ottamista, kun materiaalia oli käytetty rakenteisiin tietty määrä.

Moreenin ennakkokokeita otettiin urakoitsijan näyttämältä moreenin varastokasa-alueelta. Ennakkokokeet osoittivat moreenin vedenläpäisevyyden olevan laadullisesti kelpavaa patorakenteeseen, jolloin rakentamisen pystyi aloittamaan.

#### 4.2.2 Koneohjausjärjestelmä ja tarkemittaukset

Urakoitsijalla oli käytössä kaivinkoneet 3D-koneohjausjärjestelmällä. Rakentaminen sujui nopeasti ja ongelmitta ilman sihtilappuja. 3D-koneohjauksella varustetun kaivinkoneen komponentteja (kuva 21) ovat anturit, GNSS-vastaanottimet, GNSS-antennit sekä näyttö-/tietokoneyksikkö. Urakoitsijan mittaushenkilöstö laati 3D-mallit eri rakennekerroksista ja mallit siirrettiin kaivinkoneisiin. Kolmiulotteiset työsuunnitelmat olivat näkyvissä koneohjausjärjestelmän näyttöruudulla, mikä auttoi kuljettajaa suoriutumaan vaikeistakin työkohteista. Kaivinkoneenkuljettaja pystyi tekemään rakenteet noin  $\pm 20$  mm:n tarkkuudella.



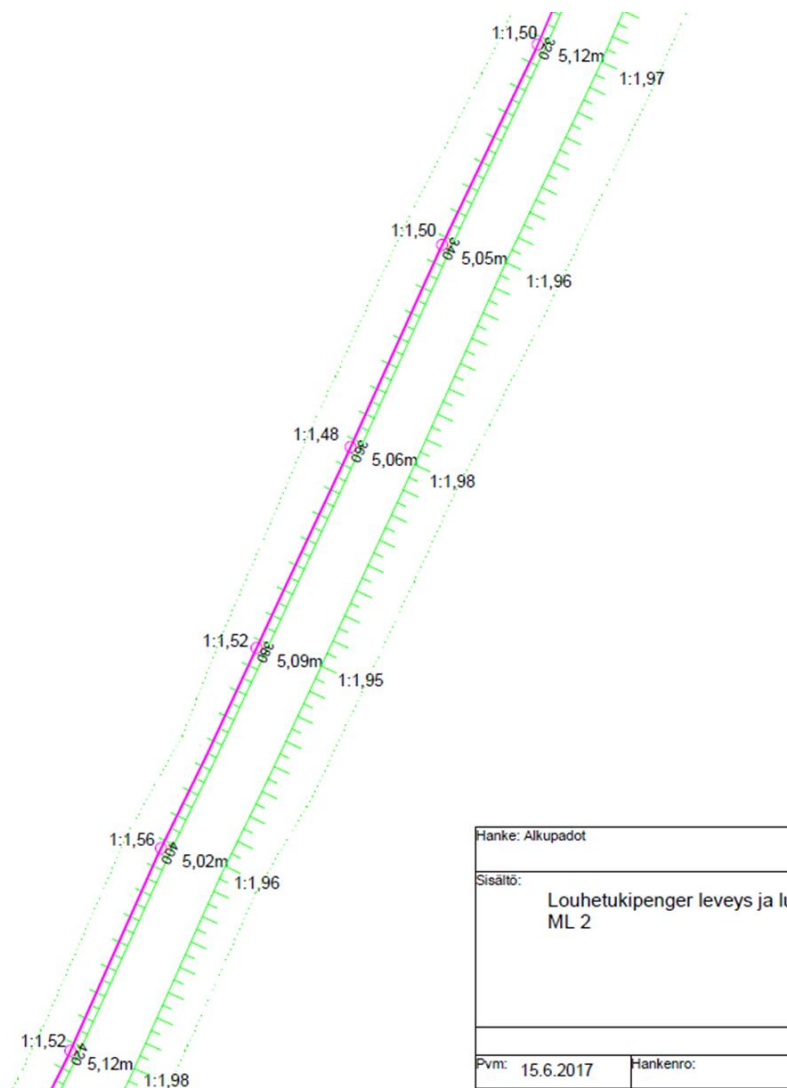
KUVA 21. Koneohjausjärjestelmän komponentit (11)

Koneohjaus lisäsi työmaan tehokkuutta, tarkkuutta ja tuottavuutta. Kaivinkoneen kuljettaja pystyi saavuttamaan tavoitetason nopeasti ja kerralla oikeaan suunniteltuun korkoon. Kuljettajalla oli helppo seurata vaadittua tavoitetasoa koneohjausjärjestelmän näyttöyksiköltä (kuva 22). Lisäksi koneohjauksen etuna oli, ettei ylileikkauksia tai ylitäyttöjä tullut, jolloin materiaalit saatiin hyödynnettyä tehokkaasti. (11.)



*KUVA 22. 3D-koneohjauksellisen kaivinkoneen näyttö*

Valmiit rakenteet mitattiin Trimble R8 –maastotietokoneella. Tarkemittauksia suoritettiin päivittäin laadunvarmistamiseksi sekä vaadittavia tarkepiirustuksia (kuva 23) varten. Jokaisesta eri rakenteesta laadittiin tarkepiirros, jotka liitettiin laatukansioon. Tarkemittauksia suoritti urakoitsijan oma mittaushenkilöstö.



KUVA 23. Tarkepiirros louhetukipenkereen leveydestä ja luiskakaltevuudesta (violetti viiva kertoo paalulukeman)

Tarkepiirrokset laadittiin kotimaisella 3D-Win-ohjelmistolla. Ohjelmisto on tarkoitettu maastomittaustiedon tuottamiseen ja käsittelyyn. Ohjelmistolla pystytään käsittelemään yhtäaikaaisesti useita päällekkäisiä vektori- ja rasterikuvaelementtejä, joita kutakin hallitaan erikseen. Etuna 3D-Win-ohjelmassa on mahdollisuus käyttää sitä suomenkielellä.

### 4.2.3 Koetiivistykset

#### Moreenitiivisteiden koetiivistys

Laadunvalvonnassa oli edellytetty, että alkupatorakenteen moreenitiivisteelle tehdään koetiivistys ja tiivistysohje. Moreenitiivisteiden tiiviysastetta valvotaan lisäksi rakentamisen yhteydessä tehtävillä tiiviysasteen määrityksillä.

Moreenitiivisteiden koetiivistysten tulee noudattaa seuraavia ohjeita:

- rakennekerroksen paksuus 700 mm
- mitataan tiivysaste 3, 4 ja 6 ylityskerran jälkeen
- mikäli tiivysaste ( $D_v \geq 92\%$ ) täyttyy, tarvitaan vielä kuusi hyväksyttyä rinnakkaiskoetta samalla ylityskertamäärällä
- mikäli kriteerit eivät täyty käytettävällä kerrospaksuudella, ohennetaan kerrosta
- tiivistysohjeeseen valitaan kerrospaksuus ja riittävä ylityskertamäärä
- tiivistyksessä käytetään 15 tonnista valssiyrää.

Koetiivistyksessä todettiin, että moreenin vesipitoisuudesta riippuen tarvittavat ylityskerrat vaihtelevat välillä 4-6. Koetiivistyksessä moreenin tiivysasteen keskimääräinen arvo oli 93,2 % neljännen ylityskerran jälkeen. Tiivistysohjeeksi asetettiin 6 ylityskertaa 15 tonnisella valssiyrällä. Tiivysastetta seurattiin työn aikana Troxler 3440 –mittauslaitteella noin 800 m<sup>3</sup>:n välein. Työnaikaisesta tiivistystyöstä tehtiin tarkkailuraportti, josta ilmenevät paaluvälit sekä vaadittavien ylityskertojen täytyminen kyseisellä välillä.

### **Suodatinkerroksen koetiivistys**

Vinot suodatinkerrokset tehdään louhetukipengertä vasten. Materiaalina käytetään rae-kooltaan #0-32 olevaa kalliomursketta. Vinosuodattimen paksuus oltava vähintään 300 mm. Vinosuodatin tiivistetään kaivinkoneeseen asennettavan maantiivistimen avulla. Suodatinkerroksen tiivysvaatimus  $D_v \geq 90\%$ .

Yhden kerran tiivistetyn 300 mm:n paksun koerakenteet tulokset olivat 87,8 % ja 87,5 %. Kahden tiivistyskerran jälkeen tulokseksi saatiin 90,0 %, 92,3 % ja 96,3 %. Tiivysmittaukset suoritettiin Troxler 3440 –mittauslaitteella. Koetiivistysten perusteella tiivistysohjeeksi 300 mm:n kerrospaksuudelle asetettiin 2 ylityskertaa.

Työnaikainen laadunvalvonta suoritetaan työtapatarkkailuna koetiivistyksessä saadun tiivistysohjeen mukaisesti. Työnaikaisesta tiivistystyöstä tehtiin tarkkailuraportti, josta ilmenevät paaluvälit sekä vaadittavien ylityskertojen täytyminen kyseisellä välillä.

## **Kantavan kerroksen koetiivistys**

Laadunvalvonnassa oli myös edellytetty, että alkupatorakenteen kantaville kerroksille tehdään koetiivistys ja tiivistysohje. Kantavien kerrosten tiivistymistä valvotaan työtapa-tarkkailuna koetiivistyksen antamien ylityskertojen ja kerrospaksuuksien noudattamisella. Kantavien kerroksien tiivistymistä mitattiin Loadman-pudotuspainolaitteella.

Kantavan kerroksen koetiivistyksen tulee noudattaa seuraavia ohjeita:

- rakennekerroksen paksuus 100 cm
- materiaalina käytetään kalliomursketta (#0-32)
- mitataan suhde  $E2/E1$  2 ja 4 ylityskerran jälkeen
- kun vaatimus  $E2/E1 < 2,2$  täyttyy, valitaan tiivistysohjeeseen riittävä ylityskertamäärä
- mikäli kriteerit eivät täyty käytettävällä kerrospaksuudella, ohennetaan kerrosta
- tiivistyksessä käytetään 15 tonnista valssijyrää.

Koetiivistyksessä todettiin, että 100 cm:n murskekerros vaatii neljä ylityskertaa 15 tonnissa valssijyrällä, jotta vaadittu suhde  $E2/E1 < 2,2$  täyttyy. Koetiivistyksestä laadittiin tiivistysohje, jota käytettiin kantavien kerroksien rakentamiseen. Työnaikaisesta tiivistystyöstä tehtiin tarkkailuraportti, josta ilmenevät paaluvälit sekä vaadittavien ylityskertojen täytyminen kyseisellä välillä.

### **4.2.4 Laadunvalvontapäiväkirja ja silmämääräisen arvioinnin raportit**

Työmaalla pidettiin päivittäin täytettävää laadunvalvontapäiväkirjaa, johon kirjattiin kaikki laaduntarkasteluun liittyvät toimenpiteet. Laadunvalvontapäiväkirjaa täyttivät laatusuunnitelmaan merkityt laadunvalvontakokeiden suorittajat. Päiväkirjan (kuva 24) olennaisin tehtävä oli kertoa, miten eri rakenteiden laadunvalvontaa on suoritettu ja mitä on kyseisenä päivänä tarkkailtu. Lisäksi taulukko kertoo rakenneosien päivittäisen etenemisen paalulukuina.

Maarakennus Kamara Oy		Laadunvalvonta päiväkirja alkupadot 2017		
Pvm.	Rakenneosa	Valvottava kohde	Tehdyt työt/havainnot	Sää ja olosuhteet
11.6.2017	Louhetukipenger	Tiivistäminen	ML2 Louhetukipenkereen tiivistäminen pl 519-320	Pilvinen 10 °c
12.6.2017	Moreenitiivisteiden rakentaminen Moreenitiivisteiden rakentaminen Louhetukipenger Louhetukipenger	Materiaali/kantavuus Tiivistäminen Materiaali/kantavuus Tiivistäminen	ML4 Moreenitiivisteiden rakentaminen 3.krs pl 650-600 ja 380-425 ML4 moreenitiivisteiden tiiveysmittaukset 2.krs pl 400-550 (3kpl) ML2 Louhetukipenkereen rakentaminen pl 250-200 ML2 Louhetukipenkereen tiivistäminen pl 320-200	Pouta 16 °c
13.6.2017	Moreenitiivisteiden rakentaminen Moreenitiivisteiden rakentaminen Suodatinkerros	Materiaali/kantavuus Tiivistäminen Kerrosrakennus	ML4 Moreenitiivisteiden rakentaminen 3.krs pl 425-550 ML4 Moreenitiivisteiden tiivistäminen 3.krs pl 800-600 ML2 suodatinkerroksen rakentaminen pl 190-480	Pouta 12 °c
14.6.2017	Moreenitiivisteiden rakentaminen Moreenitiivisteiden rakentaminen Suodatinkerros	Materiaali/kantavuus Tiivistäminen Kerrosrakennus	ML4 Moreenitiivisteiden rakentaminen 3.krs pl 550-600 ja 4.krs pl 810-660 ML4 Moreenitiivisteiden tiiveysmittaukset 3.krs pl 810-600 (4kpl). ML2 Suodatinkerroksen rakentaminen pl 480-519	Pouta 15 °c
15.6.2017	Moreenitiivisteiden rakentaminen Moreenitiivisteiden rakentaminen Moreenitiivisteiden rakentaminen Karkean moreenin leikkaus tiivisteurasta	Tiivistäminen Materiaali/kantavuus Tiivistäminen Korkeustaso/ mitat	ML4 Moreenitiivisteiden tiivistäminen 3.krs pl 380-600 ML4 Moreenitiivisteiden rakentaminen 4.krs pl 660-550 ML4 Moreenitiivisteiden tiiveysmittaukset 3.krs pl 380-600 (4kpl). ML2 Tiivisteuran kaivu pl 519-470	Pouta 20 °c
16.6.2017	Moreenitiivisteiden rakentaminen Moreenitiivisteiden rakentaminen	Materiaali/kantavuus Tiivistäminen	ML4 Moreenitiivisteiden rakentaminen 4.krs pl 380-520 ja 5.krs 700-650 ML4 Moreenitiivisteiden tiivistäminen 4.krs 810-550 ja 520-380	Pouta 17 °c

#### KUVA 24. Laadunvalvontapäiväkirja

Silmämääräistä tarkkailua suoritettiin päivittäin katselmoimalla työmaata ja havainnot kirjattiin tarkkailuraportteihin (kuva 25). Tarkkailuraportteihin kirjattiin päivämäärä, paaluväli sekä se, oliko tarkkailtavassa asiassa poikkeamia. Laatu tarkkailtiin silmämääräisesti muiden laadunvalvontatoimien yhteydessä.

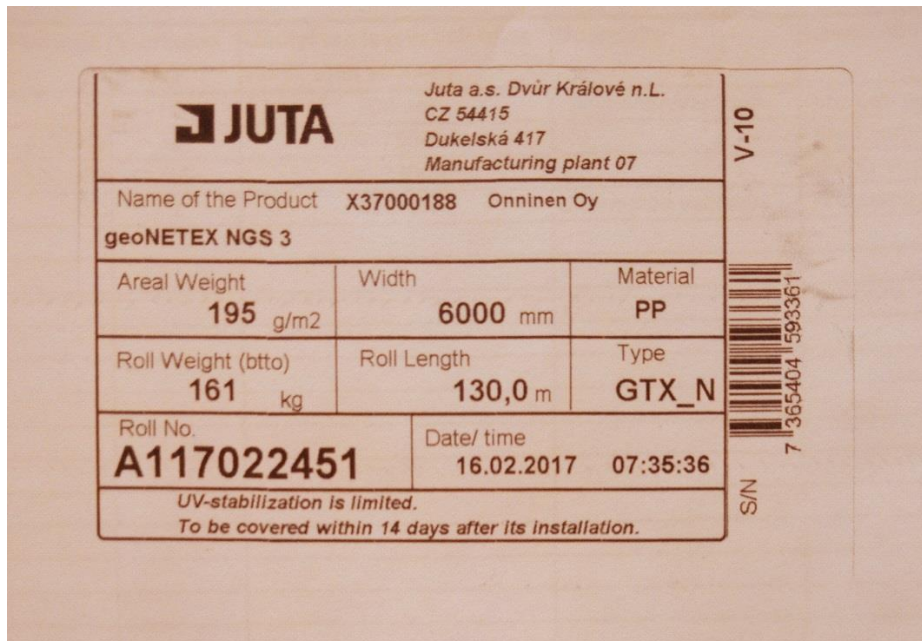
Maarakennus Kamara Oy		Tarkkailuraportti nro. 1 Materiaali ja kantavuus ML2	
Pvm.	Paaluväli	Louhen raekoko 0-700 ja kantavuus	Havainnon tekijä
7.6.2017	519-485	Ei poikkeamia	Sakari Paakkola
8.6.2017	485-410	Ei poikkeamia	Sakari Paakkola
9.6.2017	410-320	Ei poikkeamia	Sakari Paakkola
10.6.2017	320-310	Ei poikkeamia	Sakari Paakkola
11.6.2017	310-250	Ei poikkeamia	Sakari Paakkola
12.6.2017	250-200	Ei poikkeamia	Sakari Paakkola

#### KUVA 25. Tarkkailuraportti louhetukipenkereen materiaalista ja kantavuudesta



#### 4.2.5 Materiaalitodistukset

Laadunvalvontasuunnitelmassa edellytettiin, että materiaalitodistukset (kuva 26) kerätään ja liitetään laatukansioon. Materiaalitodistukset täytyi esittää juurisalaojaputkista, suodatinkankaista sekä huuhteluhaaroista. Materiaalitodistusten avulla voidaan todeta, että asennetut salaojaputket sekä suodatinkankaat täyttävät vaaditut laatuvaatimukset. Suodatinkankaan laatuvaatimuksena oli kankaan käyttöluokan oltava N3.



KUVA 26. Suodatinkankaan materiaalitodistus

#### 4.2.6 Työmaakokoukset

Työmaakokouksia pidettiin viikoittain. Niissä käytiin läpi työmaan sen hetkinen tilanne ja tulevia työvaiheita seuraavien viikkojen aikana. Muita tarkasteltavia asioita olivat laadunvalvontatoimet, mahdolliset laadulliset poikkeamat sekä aikataulussa pysyminen ja työturvallisuusasiat. Lisäksi pohdittiin muita rakentamiseen vaikuttavia tekijöitä, jotka eivät välttämättä johdu urakoitsijasta.

Kokouksiin osallistuivat työmaapäällikkö, työnjohtajat, urakoitsijan laadunvalvojat, tilaaja sekä riippumaton laadunvalvoja.

### **4.3 Laatukansio**

Urakoitsija on velvollinen kokoamaan laadunvalvonta-aineiston kokonaiseksi laatukansiksi hankkeen valmistuttua. Laatukansio luovutetaan rakennuttajalle ja esitetään ELY-keskukselle loppu-/käyttöönottotarkastuksessa. (9.)

Laatukansio sisälsi:

- työ- ja laatusuunnitelman
- laadunvalvontapäiväkirjan
- toteutumapiirustukset
- tarkemittausten tulokset
- laadunvalvontakokeiden tulokset
- tarkkailuraportit
- poikkeamaraportit
- laatua alittavat koetulokset ja selvitys niiden johdosta tehdyistä korjaustoimenpiteistä ja uusintakokeista.

### **4.4 Alkupatorakenne-hankkeen haasteet**

Suurimpia haasteita työn suorittamiseen toivat sääolosuhteet ja liian vesipitoinen moreeni vesisateiden jälkeen. Sadetaukojen jälkeen A-altaan pölyäminen oli suuri ongelma niin kaivosyhtiölle kuin urakoitsijallekin työturvallisuuden kannalta. Pölyäminen aiheuttaa myös ympäristöongelmia.

Urakoitsija teki sopimuksen tilaajan kanssa pölynsidonnasta. Urakoitsijan tehtävänä oli kastella rikastushiekka-altaan pintaa. Aurinko ja tuuli kuitenkin kuivattivat nopeasti kastellun pinnan, joten kastelua täytyi suorittaa yhtäjaksoisesti.

Laadunvalvonta ja tiukat laatuvaatimukset olivat vaativia. Haasteita asetti rakennuskohteen laadun osoittaminen ja toteaminen tilaajalle sekä muille valvojatahoille. Ongelmallista laadun osoittamisessa oli se, että tehdyt rakenteet jäivät piiloon ja niiden tarkastelu jälkeenpäin oli työlästä. Myös vaihteleva moreenin laatu sekä ylisuuret kivet moreenia lastattaessa asettivat haasteita.

## 5 LOPPUSANAT

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää alkupatorakenteiden rakentamisen eri vaiheet ja perehtyä siihen, missä järjestyksessä hanke kannattaa toteuttaa. Tavoitteena oli myös perehtyä urakoitsijan laadunvalvontaan ja sen suoritustapoihin. Lisäksi halusin tuoda esille patorakenteisiin liittyviä vaativia laatuvaatimuksia. Toimin itse työnjohtajan roolissa alkupatorakenne-hankkeessa, joten minullakin oli mahdollisuus vaikuttaa rakentamisen etenemiseen ja toteutukseen.

Työn alussa kuvasin tilaajan kaivosta ja sen toimintaa. Tarkoituksena oli tuoda esille Ke-vitsan avolouhos ja sen toimintaperiaatteet sekä sivuta hieman sitä, mistä rikastushiekka on peräisin. Tämän jälkeen kävin läpi alkupatorakenne-hankkeen toteutusjärjestyksessä sekä perehdyin laatuvaatimuksiin ja urakoitsijan laadunvalvontaan.

Alkupatorakenteiden rakentamisen työnjohtamisessa minua helpotti kokemus aikaisemmilta vuosilta. Olin toiminut itse laadunvalvojana sekä mittaushenkilönä vastaavassa hankkeessa, joten laatuvaatimukset sekä rakenteet olivat jo ennestään hieman tuttuja.

Opinnäytetyön kirjoittaminen alkupatorakenteiden rakentamisesta sekä laadunvalvonnasta sujuivat luontevasti, sillä keräsin paljon materiaaleja kesän aikana. Lisäksi hankkeen työmenetelmät, eri vaiheet sekä suunnitelmat olivat hyvin muistissa.

Opinnäytetyössä kävi ilmi että, laadunvalvonta ja vaaditun laadun toteuttaminen vaativat puhaltamista yhteen hiileen niin urakoitsijan laaduntarkkailijan kuin myös työntekijöiden ja tilaajan välillä. Hankkeen loppuun saaminen työselityksen ja laadunvalvontasuunnitelman mukaisesti vaatii kovaa panostusta laaduntarkkailijoilta. Heitä työllistävät päivittäin täytettävät raportit ja laadun dokumentointi. Työmaalla on oltava yhteisymmärrys ja hyvät keskusteluyhteydet kaikkien osapuolten välillä.

## LÄHTEET

1. Kevitsan kaivos. 2018. Boliden Group. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/mines/boliden-kevitsa/>. Hakupäivä 7.2.2018.
2. Kaivos- ja louhintatekniikka. 2014. Kaiva.fi. Saatavissa: [https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Kaivos-ja-louhintatekniikka-kaiva\\_fi.pdf](https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Kaivos-ja-louhintatekniikka-kaiva_fi.pdf). Hakupäivä 5.3.2018.
3. Kaivosprosessit. 2014. Opasnet. Saatavissa: <http://fi.opasnet.org/fi/Kaivosprosessit>. Hakupäivä 5.3.2018.
4. Kevitsan kaivos. 2013. FQM Kevitsa Mining Oy. Saatavissa: [http://www.prokaivos.fi/wp-content/uploads/2013/06/06062013\\_brusila.pdf](http://www.prokaivos.fi/wp-content/uploads/2013/06/06062013_brusila.pdf). Hakupäivä 5.3.2018.
5. Nuutilainen, Olli – Halttu, Risto 2017a. Rikastushiekka-allas A, Patojen korottaminen vaiheeseen 4. Alkupatorakenteiden työselitys. Geobotnia Oy.
6. Karttapaikka. Maanmittauslaitos. Saatavissa: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>. Hakupäivä 30.11.2017.
7. Nuutilainen, Olli – Halttu, Risto 2017b. Huoltotien muutos patorakenteeksi. Paalu-kohtaiset poikkileikkaukset. Geobotnia Oy.
8. Junnonen, Juha-Matti 2001. Rakennushankkeen laadunvalvonta. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020202.pdf>. Hakupäivä 24.2.2018.
9. Nuutilainen, Olli – Halttu, Risto 2017c. Rikastushiekka-altaan A, Patojen korottaminen vaiheeseen 4. Alkupatorakenteiden laadunvalvontasuunnitelma. Geobotnia Oy.
10. Nuutilainen, Olli – Halttu, Risto 2017d. Rikastushiekka-altaan A, Patojen korottaminen vaiheeseen 4. Alkupatorakenteiden laadunvalvontataulukko. Geobotnia Oy.
11. Mitä on koneohjaus. 2018. Novatron. Saatavissa: <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>. Hakupäivä 24.2.2018.