



LIFE12 ENV/FI/000592



RAMBOLL

skarta

fortum  
For a cleaner world

# PILOTTISUUNNITELMIEN YHTEEN- VETORAPORTTI

## TEHDYT PILOTTISUUNNITELMAT



LIFE12 ENV/FI/000592 UPACMIC

RAMBOLL



## **Yhteenvetoraportti pilottisuunnitelmista (action A4 Applications Final report on applications/designs)**

Päivämäärä **28.10.2022**

Kirjoittaja **Pyry Potila**

Tarkastajat **Ari Mäkinen**  
**Marjo Koivulahti**

Kuvaus **Suunnitelmaraportti**

## SISÄLTÖ

<b>SUMMARY</b>	<b>6</b>
<b>1. Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2. Hituran kaivosalueen esittely</b>	<b>7</b>
<b>3. Uusi rikastushiekka-allas</b>	<b>8</b>
<b>4. Kultarikastushiekan läjitys nikkelinrikastushiekan päälle</b>	<b>10</b>
<b>5. Hitura testiruudut</b>	<b>10</b>
5.1 Koeruutujen toimintaperiaate ja toteutus suunnitelma	11
5.1.1 Lysimetrin esimerkkirakenne	13
5.1.2 Testattavat rakenteet	15
5.1.3 Koeruutujen materiaalit	16
5.1.3.1 Moreeni	16
5.1.3.2 Nikkelirikastushiekka	16
5.1.3.3 Tuhkat	16
5.1.3.4 Kuitusavi	17
5.1.3.5 Kipsi	17
5.1.3.6 Valimohiekka- ja pöly	17
5.1.4 Kuljetus	17
5.1.5 Rakentaminen	18
5.1.5.1 Rakentamisen vaiheistus	19
5.1.5.2 Käytettävä kalusto ja työtapo	20
5.1.6 Lysimetrit	21
5.1.7 Seuranta	22
5.1.7.1 Ennen rakentamista tapahtuva seuranta	22
5.1.8 Sekoitustyön yhteydessä tapahtuva seuranta	23
5.1.9 Allasrakenteiden rakentamisen yhteydessä tapahtuva seuranta	24
5.1.10 Seuranta rakentamisen jälkeen	25
5.2 Astiakokeet	26
5.2.1 Materiaalit ja tarvikkeet	27
5.2.2 Koeastioiden rakenteet	27
5.2.3 Koeastioiden rakenteet	29
5.2.3.1 Pilottirakenne 1, kasvukerros	29
5.2.3.2 Pilottirakenne 2, Au-rikastushiekka	29
5.2.3.3 Pilottirakenne 3, Au+Ni-rikastushiekat	29
5.2.3.4 Pilottirakenne 4, Au+Ni-rikastushiekat sekä arinakuona	30
5.2.3.5 Pilottirakenne 5	30
5.2.3.6 Pilottirakenne 6	31
5.2.4 Vesinäytteiden keräys ja analysointi:	31
5.3 Kerättävä tieto	31
5.3.1 Rakentamisen aikana koottava tieto	31
5.3.2 Rakentamisen jälkeen koottavat tiedot	32
<b>6. Särkiniemen kaivoksen jälkihoitotoimenpiteet</b>	<b>32</b>
6.1 Jälkihoitomenpiteiden pilottivaihtoehdot	34
6.1.1 Vaihtoehto 1	34
6.1.2 Vaihtoehto 2	35
6.1.3 Vaihtoehto 3	35
<b>7. Oriveden kaivoksen sivukivialueen laajennus</b>	<b>36</b>

7.1	Kaavaillun laajennusalueen sijainti	36
7.2	Rakennussuunnitelma	37
7.2.1	Kartoitus ja pohjatutkimukset	38
7.2.2	Pohjarakenteet sekä vesien keruu ja johtaminen	39
7.3	Tarkkailuohjelma	42
7.4	Rakentaminen ja käyttö	42
<b>8.</b>	<b>Pyhäsalmen kaivoksen säiliökokeet</b>	<b>43</b>
8.1	Säiliökokeiden suorituspaikka	44
8.2	Säiliökokeissa käytettävät materiaalit	45
8.2.1.1	Inertti kiviaines	45
8.2.1.2	Rikastushiekka	46
8.2.1.3	Tuhka	46
8.2.1.4	Moreeni	46
8.2.1.5	Kipsi	46
8.2.1.6	Kasvukerros	46
8.2.1.7	Siirtonurmi	46
8.2.1.8	Suodatinkangas	46
8.2.2	Materiaalien määrä	47
8.3	Materiaalien kuljetus	48
8.4	Materiaalit / Välineet	48
8.4.1	Säiliöt	48
8.4.2	Poistoputket	49
8.4.3	Pintavesikaivo	49
8.4.4	Lysimetrit	49
8.4.5	Lysimetrikaivot	50
8.4.6	Pohjakaivot	51
8.4.7	Mikrolysimetri	51
8.4.8	Näytepullot	52
8.4.9	Sääasema	52
8.4.10	Proctor- välineet	52
8.4.11	Seulakauha	53
8.5	Säiliöiden rakenne	53
8.6	Rakentaminen	54
8.7	Rakentamisessa huomioon otettavat asiat	55
8.7.1	Materiaalien sekoitus ja homogenisointi	55
8.7.2	Rakeisuus	56
8.7.3	Kerrosten tiivistäminen, astioiden muoto	56
8.7.4	Pakkassuojaus	56
8.7.5	Rakenteiden pinta	57
8.8	Vastuunjako	57
8.9	Erikoistilanteet	58
8.9.1	Materiaalien rakennettavuuden testaaminen	58
8.9.2	Koesäiliöiden kastelu	58
8.10	Kerättävät tiedot pilotointiaikana	58
8.10.1	Kerättävä tieto rakentamisen aikana	58
8.10.2	Kerättävä tieto rakentamisen jälkeen	59

8.11	Tekniset seurantatiedot	59
8.11.1	Ennen rakentamista huomioitavat seikat	59
8.11.2	Rakentamisen aikana huomioitavat seikat	60
8.11.3	Rakentamisen jälkeen tarkasteltavat asiat	60
8.12	Seurantatiedot ympäristökelpoisuus	61
8.12.1	Suotautuneen veden määrä	61
8.12.2	Vesinäytteet	62
8.12.2.1	Analysoitavat parametrit:	63
<b>9.</b>	<b>Hituran pilotointi - kuitusavi peitemateriaalina</b>	<b>65</b>
9.1	Peiterakenteiden testauspaikka	65
9.2	Peittorakenteiden suunniteltu rakenne	67
9.3	Esitestaus koekenttien avulla	69
9.3.1	Koekenttärakenteiden laadunvalvonta	70
9.4	Laadunvarmistussuunnitelma Hituran 2. altaan peitto	70
9.5	Rakenteiden seurannan suunnittelu	70
<b>10.</b>	<b>Hitura kivimurskekekan peittorakenne</b>	<b>71</b>
<b>11.</b>	<b>Pystyeristysseinä</b>	<b>73</b>
11.1	Sijainti	73
11.2	Eristysseinän periaate	74
11.3	Suunnitellun rakenteen kuvaus	75
11.4	Rakentamisen aikainen laadunvarmistus	76
11.5	Tulokset pystyeristysseinä esirakenteen rakentamisesta	76
<b>12.</b>	<b>Reaktiiviset rakenteet kaivosvesien käsittelyssä</b>	<b>76</b>
12.1	Reaktiivisten rakenteiden pilotointialue	76
12.2	Suunnittelun aloitus	78
12.3	Reaktiivisen seinämän pilottirakenne	78
12.4	Horisontaalinen reaktiivinen seinämä kaupallisella tuotteella	80
12.5	Rakenteen sijoittelu ja altaiden korot	82
12.6	Reaktiivisten rakenteiden pilotin seuranta	83
<b>13.</b>	<b>Pohjarakenteet yleisesti</b>	<b>84</b>
<b>14.</b>	<b>Viiteraportit</b>	<b>85</b>

## LIITTEET

### LIITE 1. ARVIO SADANNASTA

### LIITE 2. HITURAN KAIVOS: RIKASTUSHIEKKA-ALTAIDEN SULKEMISEN LAADUNVARMISTUSSUUNNITELMA

### LIITE 3. PYSTYERISTYSSEINÄMÄN ASEMAPIIRUSTUS

### LIITE 4. PYSTYERISTYSSEINÄMÄN TYÖSELOSTUS

## SUMMARY

During the UPACMIC project has designed multiple pilot structures for different application. Only few of them were realized. Structures were designed for bottom, cover and reactive structures. Depending of information which is wanted to collect during piloting, is also designed follow-up plan for the pilot structures.

Bottom structures were designed for tailing sands and waste rock areas. These structures were designed to construct with recovered materials or local materials which are improved by adding small amount of consolidation agent. There is not performed any bottom structure during UPACMIC project. Instead of bottom structure were constructed vertical sealing barrier that separate hazardous waste landfill area from common waste landfill area. Sealing layer was constructed by surplus clay, and the demanded water permeability was achieved by compressing clay with mould.

Tailing sand basins cover structures are first designed to be tested on Hitura mine area in pilot scale test squares. The bankrupt of Belvedere mining Oy which owned the Hitura mine prevents the pilot test there. The test setup would include square structure where lysimeter would be installed under the cover layers. The cover layer tests were modified for Pyhäsalmi mines tailing sand and test setup is changed to fit for the needs of Pyhäsalmi mine. This cover layer pilot realized in 2016-2017. The designed and constructed test structures were total 10 identical cylindric tank which volumes were 10 m<sup>3</sup> and top is open. Inside tank were fine or coarse tailing sand and cover structure. Cover structures were gypsum, ash, moraine and their mixtures. The rainwater that passes the structure were collected by lysimeter on the bottom of structure.

In Hitura mine area is designed to use fiber clay as sealing layer material instead of common soil. The structure is designed to be 250 mm thick instead of originally designed 200 mm soil layer. Thicker layer is designed to compensate the slight biodegradability of fiber clay, so the layer thickness stays long-term over 200 mm. Sealing layers water permeability target was  $k < 1 \times 10^{-8}$  m/s. For verification of fiber clay is designed test squares to test construction methods and material differences for different production facility. Leaching tests were also performed to conform fiber clays environmental friendliness.

For the acidic and nickel contaminated seeping water treatment is designed passive treatment systems pilot structures. The test water is taken from ditch, and it flows through test system passively by gravity. The test setup contains multiple ponds. Test setup is divided in two sets where in first is tested reactive surplus limestone barrier and waste based geopolymer adsorbent. In second pond system is tested adsorbent mats. First set consists of one pond that is divided by limestone barrier and small geopolymer pouch in end well. Second test setup is two identical sequentially ordered ponds where water seep through mats that are installed between gravel layers.

## 1. JOHDANTO

UPACMIC (Utilization of by-products and alternative construction materials in new mine construction) on EU-Life rahoitteinen hanke, jossa tullaan selvittämään teollisuuden sivutuotteiden ja maa-rakennuskelpoisten jätteiden soveltuvuutta kaivosalueen pinta-, pohja- ja reaktiivisissa rakenteissa. Em. materiaalien käyttö säästäisi merkittävästi luonnonvaroja ja vähentäisi CO<sub>2</sub>-päästöjä. Hanke on käynnistynyt vuonna 2013 ja jatkuu vuoden 2022 loppuun saakka.

UPACMIC-projektin tarkoituksena on löytää kaivosympäristössä toimivia rakenneratkaisuja, jotka hyödyntävät mahdollisimman paljon kaivosalueella jo olevia materiaaleja. Näiden materiaalien ominaisuuksia pyritään parantamaan lisäämällä pieni osuus hyödynnettävää jätemateriaalia, joka voi olla esimerkiksi voimalaitoksen lentotuhka, paperiteollisuuden kuitusavi tai vaikkapa rakennustöistä syntyvä jätemaa.

Uusiomateriaalien testaaminen kenttäolosuhteissa on hyvin tärkeää, sillä silloin ilman lämpötila, kosteus, sadanta ja haihdunta vaihtelevat suuresti ja luonnollisesti. Samalla saadaan arvokasta tietoa materiaalien pitempiäaikaisesta kestävydestä Suomen ankaria sääolosuhteita vastaan. Tässä raportissa ei ole käyty tarkemmin läpi käytettävien materiaalien ominaisuuksia, vaan miksi kyseiset materiaalit ovat tulleet valituksi kuhunkin pilottikohteeseen, ja mitkä olisi olleet pilotin tavoitteet. Materiaalien ominaisuudet on käyty tarkasti läpi raportissa A3. Raportissa B1 käydään läpi valmistuneiden pilottien teknistä toteutusta ja saavutettuja tuloksia.

Uusiomateriaaleilla suunniteltiin toteutettavan peite- ja pohjarakenteita sekä reaktiivisia- ja eristysseiniä. Suunnitelmia oli runsaasti, mutta käytännön toteutukset peruuntuivat yksi toisensa jälkeen monista syistä. Lopulta kyettiin projektin aikana toteuttamaan 4 erilaista pilottirakennetta, joissa päästiin tutkimaan käytännön toteutuksena lähes kaikkia hankkeessa tavoitteena olleita sovellutuksia, ainoastaan pohjarakenteet jäivät suunnitelmien tasolle koska niiden rakentamistarve on vuosittain vähäinen ja liittyy usein kaivokseen avaamiseen tai merkittävään laajentamiseen. Pohjarakenteen sijasta pilotoitiin pystyeristysrakennetta, jonka pääasiallinen tarkoitus on sama kuin pohjarakenteillakin, eli estää veden virtaus eristekerroksen läpi.

Tähän raporttiin A4 on koottu UPACMIC-projektin aikana tehtyjä pilottisuunnitelmia. Niiden toteutuminen on mainittu kunkin johdantokappaleessa. Toteutuneiden pilottirakenteiden rakentamisvaiheet ja pilottien tulokset käydään läpi raportissa B1. Alun perin kaikki kolme (pohja, peitto ja reaktiiviset eristysrakenteet) oli tarkoitus suorittaa Hituran kaivoksen alueella, mutta konkurssin seurauksena näille jouduttiin etsimään uudet kohteet, kuten Pyhäsalmen kaivos ja Sorsasalon kaatopaikka. Lopulta osa piloteista päästiin toteuttamaan Hituran alueella kuten oli alun perin suunniteltu.

## 2. HITURAN KAIVOSALUEEN ESITTELY

Belvedere Mining Oy:n omistama Hituran kaivosalue sijaitsee Suomessa Nivalan kaupungin alueella. Belvedere Mining oli myös yksi UPACMIC-hankkeen edunsaajista, mutta yritys meni konkurssiin joulukuussa 2015, ja se poistettiin projektista. Nikkelin rikastaminen ja kaivostoiminta lopetettiin vuonna 2013 nikkelin hinnan romahduksen seurauksena.



**Kuva 1.** Hituran kaivos sijaitsee Suomessa Nivalassa.

Belvedere Mining Oy:n Hituran kaivosalueella on noin 108 ha laajuinen nikkelin rikastuksesta alkunsa saanut rikastushiekka-alue. Rikastushiekkaa alueelle on sijoitettu noin 15 miljoonaa tonnia. Rikastushiekka-altaat täytyi peittää sadeveden läpisuotautumisen estämiseksi. Kaivoksen jälkitoimet siirtyivät Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen eli Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ELY-keskusten vastuulle. Sulkeminen rahoitetaan osaksi kaivosyhtiön aloituksen yhteydessä varaamalla vakaudella ja tämän ylimenevän osuuden rahoittaa valtio. Sulkeminen suoritettiin kahdessa vaiheessa, joista ensimmäinen on suoritettu 2017–2019 ja toinen vaihe aikavälillä 2019–2022. Ensimmäisen vaiheen projektikilpailutuksen voitti Fortum Environmental Construction Oy (nykyisin Fortum Waste solution Oy). Fortum tarjosi peiterakenteeksi alkuperäisestä sopimuksesta poiketen UPACMIC yhteensopivaa ratkaisua, jossa hyödynnettiin paperiteollisuuden kuitusavea ja jätemaita neitseellisen moreenin sijasta. Tämä vaihtoehtoinen rakenne hyväksyttiin ELY-keskuksella. Merkittävin tarkasteltava parametri oli vedenläpäisevyys, jonka täytyi olla  $k < 1 \times 10^{-8}$  m/s.

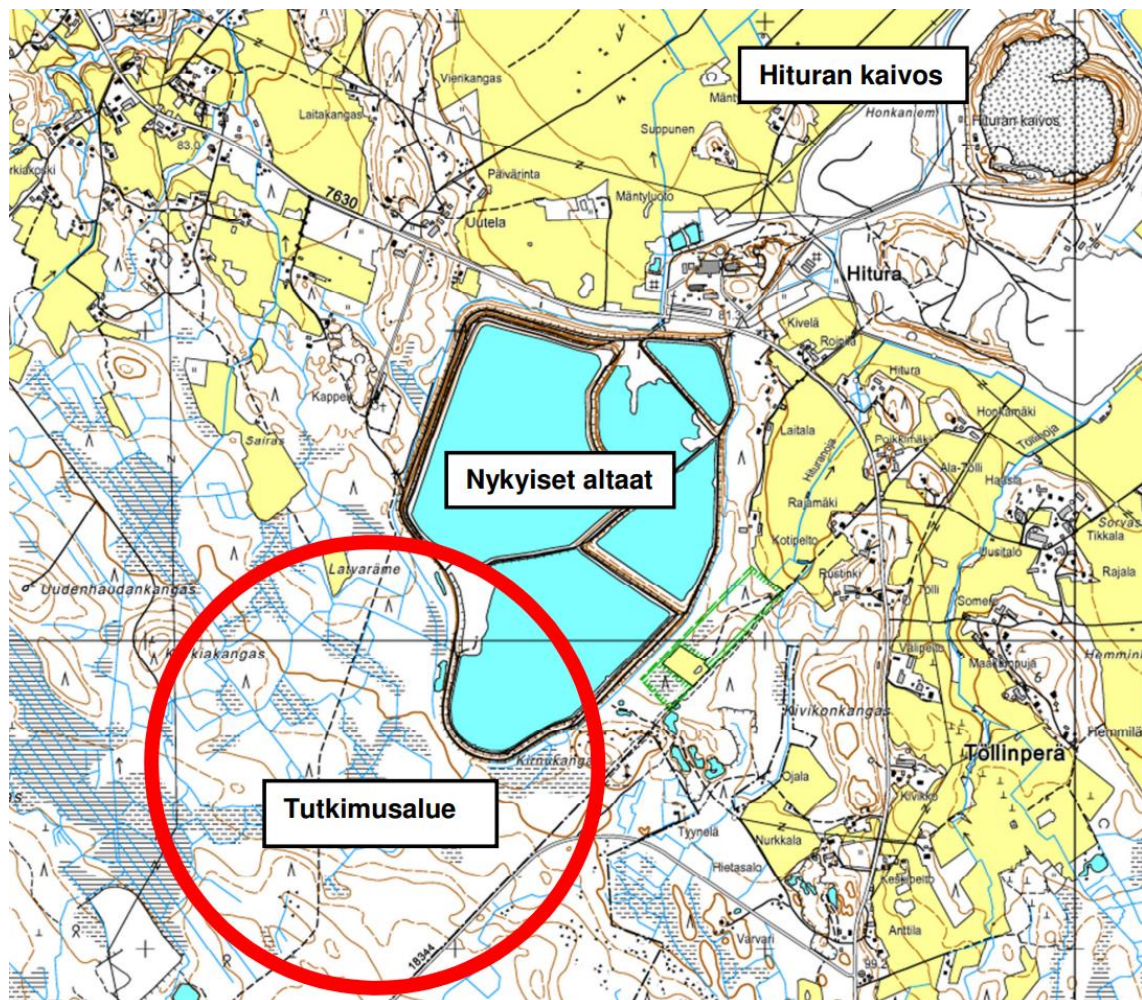
### 3. UUSI RIKASTUSHIEKKA-ALLAS

Hituran kaivosalueelle kaavailtiin rikastushiekka-alueen laajentamista olemassa olevien altaiden länsipuolelle (kuva 2) ja maaperän tutkimustyöt aloitettiin 2008. Työ keskeytyi 1.10.2008 ja



jatkettiin jälleen vuonna 2012-2013 uusilla paino- ja tärykairauksilla sekä maanäytteillä. Myös pohjaveden pinnan seurantaputkia asennettiin. Kaivoksen ympäristölupapäätös on saatu 13.8.2010. Luvan diaarinumero on PSAVI/3/04.08/2010. Ympäristölupapäätöksen mukaan kaikkien altaiden pohjalla tulee olla yhdistelmätiiviste, joka koostuu geomembraanista ja sen alla olevasta mineraalieristeestä. Mineraalieriste on ensisijaisesti alueen pohjamoreenia, jos sen vedenläpäisevyys on riittävän alhainen  $<1 \times 10^{-7}$  m/s. Laajennettavalle alueelle suunniteltiin tulevaisuudelle kaksi rikastushiekka-allasta ja selkeytsaltaita. Ensimmäiseen kaavailtiin sijoitettavaksi Hituran oma rikastushiekka ja toiseen Hiturassa muiden kaivoksien malmin rikastuksesta tulevaa hiekkaa. Uusien altaiden alla olevasta moreenista otettujen koekuoppa maanäytteiden perusteella se osoittautui paikoin liian vettä läpäiseväksi, joten käynnistettiin pilottihanke UPACMIC-hankkeen alaisuudessa moreenin ominaisuuksien parantamisesta. Eli ajatuksena oli se, että paikalla olevan moreenin sekaan sekoitettaisiin lisäkomponenttia, joka pienentäisi vedenläpäisyä ja lisäisi moreenikerroksen lujuutta. Näin säästyttäisiin massiivisilta massansiirroilta, joita olisi tullut, jos moreeni jouduttaisiin vaihtamaan paremmat ominaisuudet omaavaan maa-ainekseen.

Heikkolaatuisen moreenin sekaan sekoitettavaksi materiaaliksi kaavailtiin tuhkaa, jolla sen ominaisuuksia olisi kyetty parantamaan. Hituran materiaalitestauksen yhteydessä tätä selvitettiin koe-kappaleilla. Tämä pilotti kaatui kuitenkin Belvedere Mining Oy:n konkurssiin, joten laajennusta ei toteutettu lainkaan.



**Kuva 2.** Uusien suunniteltujen rikastushiekka-altaiden suunniteltu alue (Belvedere, 3/2013).

## 4. KULTARIKASTUSHIEKAN LÄJITYS NIKKELINRIKASTUSHIEKAN PÄÄLLE

Altaiden laajentamisen lisäksi suunnitteilla oli kultarikastushiekan läjittäminen nikkelikastushiekan päälle. Kultarikastushiekan suurin ongelma on arseenipitoisuus. Pieni osa syntyvästä rikastushiekasta sisältää todella runsaasti arseenia. Tämän kaltainen runsasarseeninen rikastushiekka on tavanomaisesti sijoitettu rikastushiekka-altaiden pohjarakenteisiin, jolloin se on hapettomassa tilassa, eikä vesi juurikaan pääse kulkemaan sen läpi. Kun uusia rikastushiekka altaita ei ollut, UPACMIC-hankkeen tiimoilta tutkittiin, voisiko tähän rikastushiekkaan sekoittaa kalkkia, kipsiä, tuhkaa tai jotain muuta, jolla saataisiin arseeni pysymään hiekassa ja nostettua hiekan pH:ta. Myös reaktiivisen kerroksen rakentamista hiekkojen väliin suunniteltiin sekä reaktiivisen aineen ja kultarikastushiekan seoksesta muodostettavan kerroksen tekemistä rikastushiekka kerrosten väliin. Näitä kerroksia olisi tutkittu Hituran testiruudut pilotin yhteydessä suoritetuilla astiakokeilla, mutta Belvedere Mining Oy:n konkurssi keskeytti tämän pilotin suunnittelun ja toteuttamisen. Testiruutujen suunnitelma on esitetty seuraavassa kappaleessa 5.

## 5. HITURA TESTIRUUDUT

Tämä kappale 5 koostuu pääosin raportissa *A4 Plans for the bottom structure/isolation barrier piloting* (6/2021) esitetyistä suunnitelmista. Vuoden 2014 syksyllä toteutettavaksi suunniteltiin koeruuduista koostuva pilottirakenne Hituran kaivoksen alueella. Sen tavoitteena olisi ollut selvittää UPACMIC-hankkeen puitteissa testattujen materiaaliratkaisujen toimivuutta käytännön olosuhteissa. Testauksen painopisteenä oli erilaisten tiivisrakennemateriaalien vedenläpäisy- ja liukoisuusominaisuuksista jo olemassa olevan tiedon täydentäminen, mutta pilotoinnin yhteydessä olisi ollut tarkoitus kiinnittää huomiota myös materiaalien käsiteltävyyteen ja varsinaisen rakentamistyön toteutuksen onnistumiseen massojen logistiikka mukaan lukien.

Pilottirakenteiden puitteissa oli tarkoitus testata sekä pinta- että pohjatiivisrakenteeksi soveltuvia vaihtoehtoja. Tavoitteena oli pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti paikallisia materiaaleja ja käyttää muualta tuotavia massoja vain edellisten ominaisuuksien parantamisessa. Ratkaisut perustuivatkin pääosin Hituran altaisiin läjitetyn nikkelikastushiekan, suunnitteilla olleen kullan rikastamisesta syntyneen hiekan sekä paikallisen moreenin käyttämiseen tiivisrakennekerroksen runkomateriaalina, jota olisi jalostettu erilaisilla teollisuuden sivutuotemateriaaleihin pohjautuvilla ratkaisuilla. Pilotointiin ei suunnitelmassa otettu mukaan kaikkia laboratoriotestauksessa mukana olleita sivutuotelaatuja, vaan tässä yhteydessä olisi testattu ainoastaan 1-2 yksittäistä, edustavaa ja teknisesti testattavan tyyppisessä rakenneratkaisussa toimivaa, materiaalia kustakin materiaalityypistä. Jalostamisessa hyödynnettäviä materiaaleja olisivat olleet tuhkat (pilotoinnissa mukana 2 laatua), kuitusavi (1 laatu), kipsi (1 laatu) sekä valimohiekka ja -pöly (1+1 laatua).

Tässä yhteydessä testattavat ratkaisut olisivat jakautuneet kahteen pääryhmään: rakennekerrokseen, jotka olisivat päässeet jäätymään käyttötilanteessa (peittorakenteet) sekä jäätymisrajan alapuolelle sijoitetut ratkaisut. Pilottirakenteisiin olisi lisäksi valittu läpäisevyydeltään hyvinkin erilaisia ratkaisuja, jolloin olisi saatu mahdollisimman kattava kokonaiskuva käytettävissä olevista vaihtoehdoista.

Koetoimintavaiheen tarkoituksena oli syventää ja lisätä tietoa aiemmin laboratoriossa testattujen materiaalien rakennettavuudesta (tekniset tutkimukset) sekä materiaaleissa ja niiden läpi suotautuneissa vesissä tapahtuvista muutoksista (ympäristökelpoisuus) kenttäolosuhteissa. Koetoimintaan oli valittu laboratoriossa testatuista materiaaleista potentiaalisimmat ja toisaalta ne, joista tarvitaan lisätietoa laajempien testirakenteiden suunnittelua ja testaamista varten. Tämän pilotin käytännön toteutus kuitenkin peruuntui Belvederen ajautuessa konkurssiin. Pilotin suunnitelma on esitetty tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

### 5.1 Koeruutujen toimintaperiaate ja toteutus suunnitelma

Pilottirakentamiseen käytävissä oleva paikka oli määritelty Belvederen toimesta ja se sijoittuu rikastushiekka-altaan 1 pohjoisreunaan. Alueelle tehdään **10 erilaista tiivisrakennekerrosten koeruutua**, joiden kunkin koko on noin 10x10 m sekä **6 erilaista astioissa toteutettua testatausta**. tavoitteena on se, että koeruudut jäävät osaksi lopullista peittorakennetta.



**Kuva 3.** Koeruutujen sijoittuminen kaivosalueella on osoitettu kuvassa sinisellä rasterilla. Astioissa toteutettavat testit sijoitetaan samaan yhteyteen testirakenteiden kanssa.

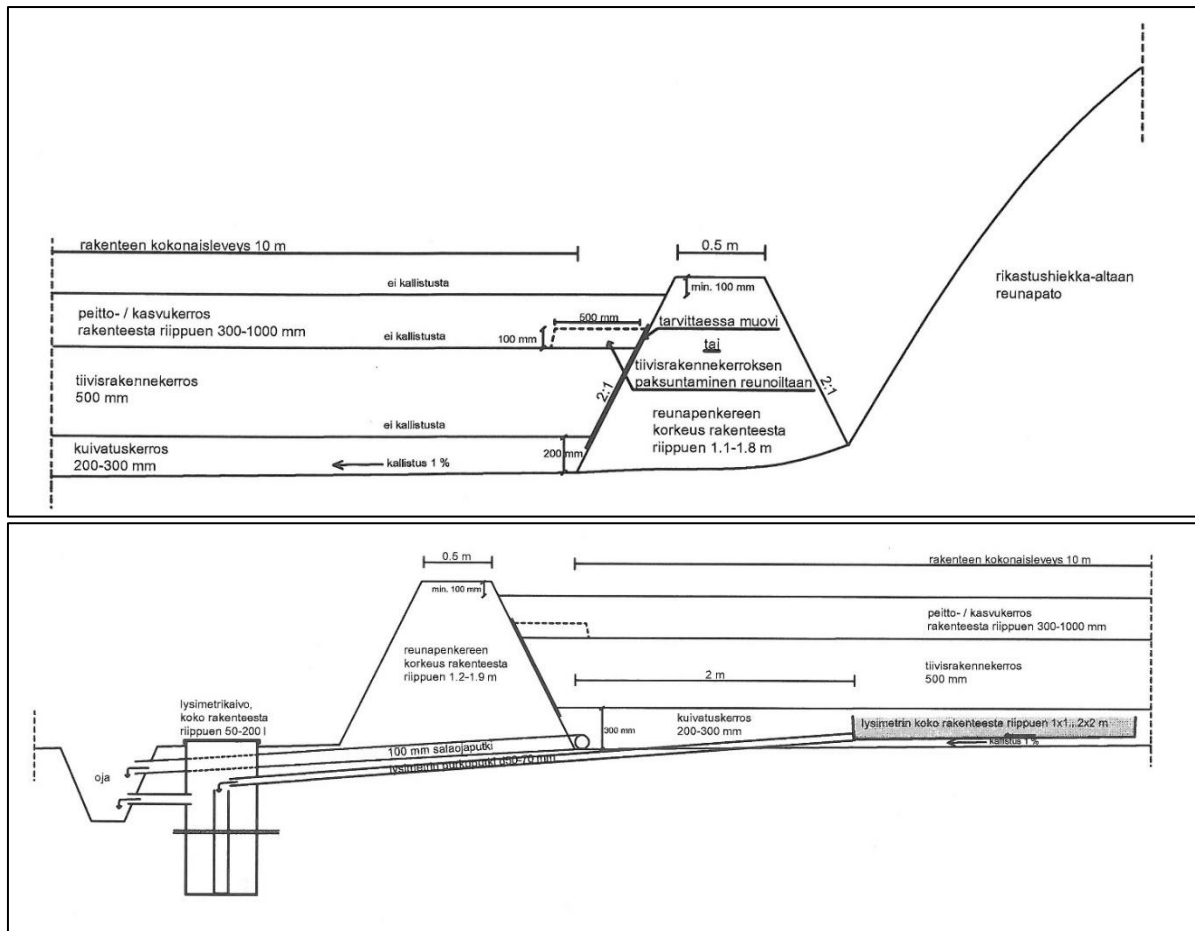
Koeruudun toiminta-ajatuksena on ohjata kaikki rakenteen pintaan satava vesi rakenteeseen. Kun rakennekerrokset, tiiviskerroksen alapintaan saakka, toteutetaan ilman pintojen kallistuksia (ei sivukaltevuutta) ohjautuu satava vesi testattavaan tiivisrakennekerrokseen. Näin pyritään myös osaltaan jäljittelemään tilannetta tapauksessa, jossa ratkaisuja käytetään laajoilla allasalueilla, joissa vesien liikkuminen pintavaluntana ja/tai rakennekerrosten pintoja pitkin pois alueelta on varsin vähäistä suhteessa sadantaan. Tiivisrakennekerroksen läpi suotautuva vesi kerätään lysi-metrien kohdalta talteen (lysimetrikaivoihin) (kuva 4) seuraten sekä läpi suotautuvan veden määrää että laatua. Muulla osalla allasrakennetta tiiviskerroksen läpi mennyt, ja sen alapuolella olevan

kuivatuskerroksen keräämä vesi johdetaan pois rakenteesta kuivatuskerrokseen asennettavaa ja reunapenkereen läpi jatkuvaa salaojaputkea pitkin. Näin estetään rakenteen läpi suotautuvan veden kerääntyminen allasrakenteen pohjalle ja edellisestä johtuva vesipinnan kohoaminen rakenteessa.

Koeruudut toteutetaan moreenipenkereiden sisäpuolelle olemassa olevan tasatun nikkelikastushiekkan päälle. Koeruutuja rakennetaan 10 kappaletta. Pohjan sivukaltevuus on 1 % allasalueen reunasta rakenteen keskelle. Koeruudun koko (sisämitta) on 10x10 m ja reunapenkereen korkeus rakenteesta riippuen joko 1,1-1,2 m tai 1,8-1,9 m. Reunapenkereissä käytettävän moreenin täytyy olla suhteellisen heikosti vettä läpäisevää ( $k < 1 \times 10^{-8}$  m/s) ja mikäli esitetyn kaltaista moreenia ei ole saatavilla käytetään altaan reunoilla moreeni-penkereen sisäpuolella tiivisrakenteen alapintaan ulottuvaa muovikalvoa, joka estää veden suotautumisen reunapenkereen läpi pois rakenteesta. Vaihtoehtoisesti tiiviskerroksen paksuutta kasvatetaan altaan reunaosalla (0,5 m leveä vyöhyke) 100 mm:llä, jolloin tiivisrakennekerroksen pinta nousee kyseisellä reunaosalla 100 mm keskiosaa ylemmäs (muodostuu "kulhomainen" rakenne).

Pääosin peittopilottirakenteissa käytettäväksi suunniteltujen ratkaisujen (6 kpl) testaamisessa käytetään matalampia penkereitä. Näissä pilottirakenteissa tiiviskerroksen päällä oleva suojakerros on 300 mm paksu. Tällöin myös tiivisrakennekerros pääsee jäätymään. Pohjarakenneratkaisujen (3 kpl) osalta peittokerroksen paksuus on 1000 mm, jolloin vaadittava reunapenkereen korkeus on 1,8-1,9 m. Reunapenger ulottuu min. 100 mm testattavan rakenteen pinnassa olevan peittokerroksen pinnan yläpuolelle. HUOM. Referenssirakenteena toimivan 300 mm "jalostamattoman" moreenirakenteen yhteydessä ei käytetä lainkaan peittokerrosta, jolloin reunapenkereiden korkeus on vain 0,6-0,7 m. On huomattava, että altaiden moreenista rakennettavien reunapenkereiden on lopputilanteessa ulotuttava min. 100 mm peittokerroksen yläpuolelle, jolloin kaikki altaan kohdalle satava vesi ohjautuu rakenteeseen.

Pohjan sivukaltevuus on 1 % allasalueen reunapadosta poispäin. Koeruudun alaosaan levitetään min. 200 mm kerros hyvin vettä johtavaa ( $k > 1 \times 10^{-5}$  m/s) ja puhdasta eli inerttiä hiekkaa tai soraa. Kerroksen yläpinta tasataan siten, ettei siinä ole lainkaan sivukaltevuutta. Kerroksen paksuus vaihtelee siis altaan pohjan sivukaltevuudesta johtuen välillä 200-300 mm. Inertin kerroksen päälle asennetaan suodatinkangas. Kuivatuskerroksen keräämä vesi johdetaan pois rakenteesta asentamalla d100 mm salaojaputki pohjan kallistuksen mukaisen veden virtaussuunnan mukaiseen altaan reunaan (salaojaputki koko 10 m reunaosalla) ja johtamalla putken keräämä vesi moreenipadon läpi pois rakenteesta. Kunkin rakenteen pohjalle, vettä johtavaan inerttiin kerrokseen asennetaan lysimetriallas. Lysimetrialtaat sijoitetaan pohjan kaltevuuden mukaisesti altaan "syvempään" päähän noin 2 m etäisyydelle reunapenkereestä (kuva 4). Lysimetrin keräämä vesi johdetaan altaiden ulkopuolelle sijoitettaviin lysimetrikaivoihin, joita käyttäen suotovesien määrä- ja laatusuranta toteutetaan.

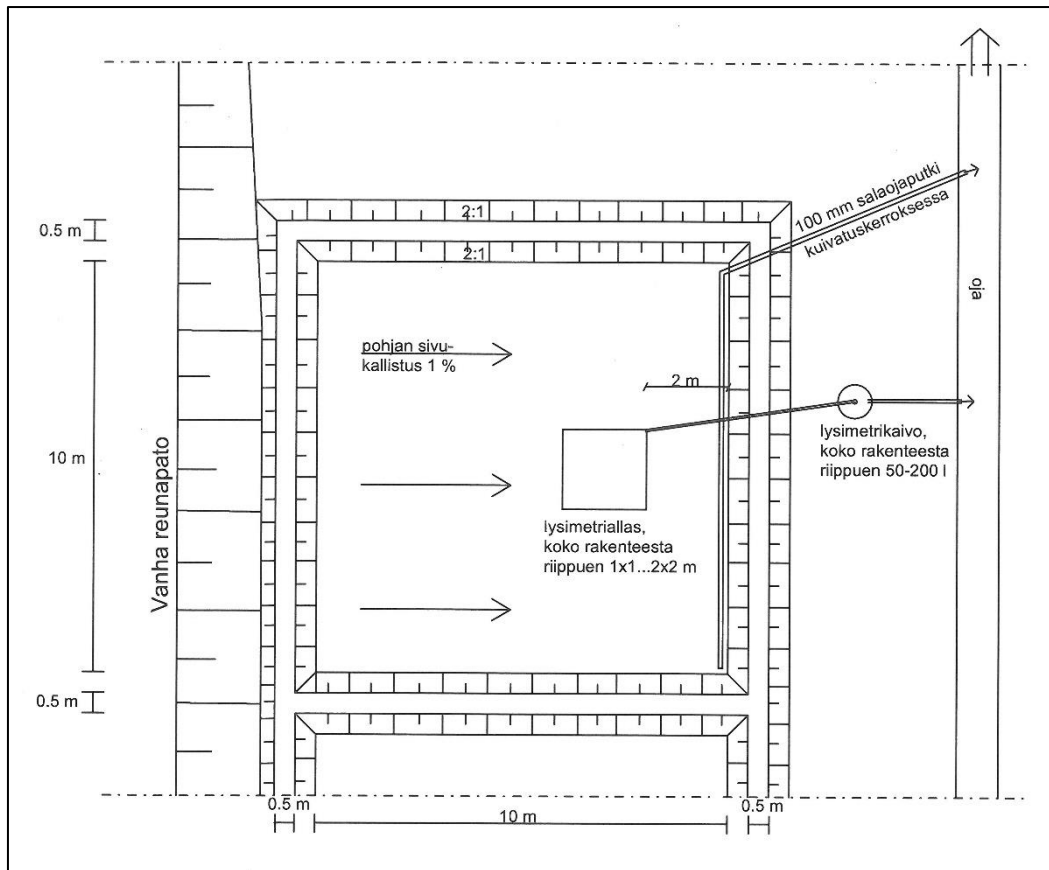


**Kuva 4.** Periaatekuva toteutettavista allasrakenteista. Kuva ei ole mittatarkka. (Huom. Referenssirakenteena toimivan 300 mm moreenirakenteen kerrokset poikkeavat kuvassa esitetystä).

#### 5.1.1 Lysimetrin esimerkkirakenne

Kaikkien lysimetrirakenteen materiaalien (lysimetriallas, putket, liitokset, mittakaivot sekä lysimetrialtaan sisälle tuleva materiaali) on oltava sellaisia, ettei niistä liukene seuranta haittaavia komponentteja lysimetrivesiin. Esimerkiksi polypropeeni (PP) ja polyeteeni (PE) sopivat käytettäväksi lysimetrirakenteissa. Lysimetrialtaan sisälle tulevan inertinmateriaalin puhtaus on varmistettava ennen rakentamista 1-vaiheisella ravistelutestillä (metallit, pH, EC, sulfaatti). Huom. lysimetrialtaan sisällä on suositeltavaa käyttää seulottua ja pestyä materiaalia, kalliomurskeen käyttö seulottuna ja pestynäkään ei ole suositeltavaa mahdollisten räjähdysainejäämien takia. Lysimetrialtaiden ja -kaivojen koko vaihtelee rakennekohtaisesti. Koko riippuu ennakoidusta vesimäärästä, jonka oletetaan suotautuvan kunkin rakenteen läpi.

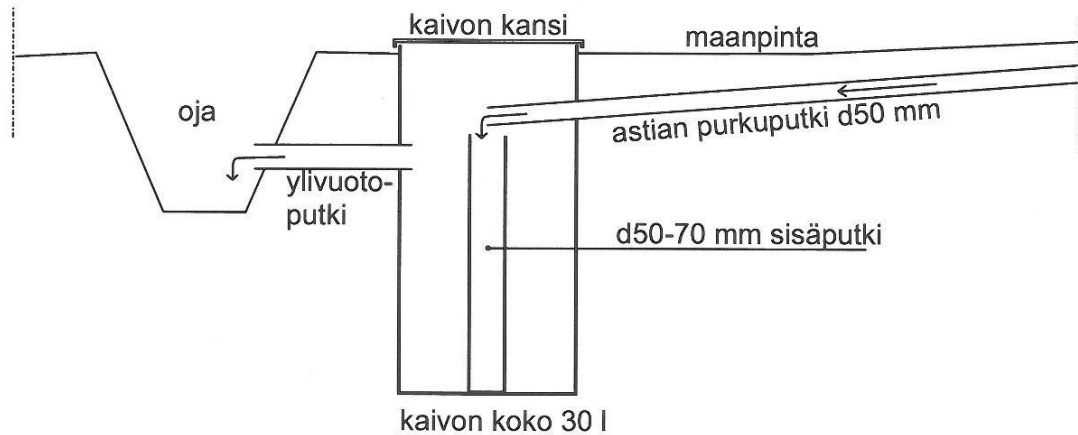
Lysimetrialtaat asennetaan tiivisrakenteen alapuoliseen kuivatuskerrokseen siten, että altaan reunat ulottuvat noin 50 mm etäisyydelle päälle tulevan tiiviskerroksen alapinnasta (lysimetrialtaan korkeus 100-150 mm). Lysimetrirakenne on siis kokonaisuudessaan tiiviskerroksen alapuolella kuivatuskerroksessa ja kallistettuna siitä lähtevän veden poistoputken suuntaan. Lysimetrialtaat sijoitetaan pohjan kaltevuuden mukaisesti altaan "syvempään" päähän noin 2 m etäisyydelle reunapenkereestä (kuva 5) ja allasrakenne täytetään hyvin vettä läpäisevällä materiaalilla, jonka täytyy jo aiemmin esitetyn mukaisesti olla ehdottomasti täysin puhdasta ja inerttiä.



**Kuva 5.** Lysimetriakaivojen sijainti esimerkipilottirakenteessa.

Lysimetrien keräämä vesi johdetaan altaiden ulkopuolelle sijoitettaviin lysimetrikaivoihin, joita käyttäen suotovesien määrä- ja laatusuranta toteutetaan. Kaivorakenne on sellainen, että varsinaisen lysimetrikaivon sisällä on pienempi, halkaisijaltaan noin 100 mm sisäputki, johon tuleva vesi ensin kerätään ja vasta sisäputken täytyttyä se valuu sisäputken reunan yli varsinaiseen kaivoon. Lysimetrikaivot täytyy asentaa siten, että tuloputkeen saadaan riittävä kallistus ja vesimäärämittaus, kaivojen tyhjentäminen sekä näytteenotto ovat helposti toteutettavissa. Lisäksi kaivoissa pitää olla ylivuotomahdollisuus eli kaivon täytyttyä yli määrätyn tason pääsee lisävesi esteettä poistumaan kaivosta. Sisäputken yläpinta ulottuu varsinaisen kaivorakenteen ylivuototason yläpuolella eli varsinaisen kaivon täytyttyä sisäputken ja kaivon vedet eivät pääse sekoittumana keskenään.

## Periaatepiirros astiatestien kaivorakenteesta (ei mittakaavassa !)



**Kuva 6.** Lysimetrikaivon periaatekuva.

### 5.1.2 Testattavat rakenteet

Varsinainen testattava 500 mm tiivisrakennekerros levitetään ja tiivistetään kahdessa 250 mm osakerroksessa. Kerroksessa käytettävät materiaalit sekoitetaan etukäteen ja ne tuodaan valmiina massana rakentamispaikalle. Tiiviskerroksen pinta, kuten myös pohja, rakennetaan ilman sivukalltevuutta. Tiiviskerroksen pintaan asennetaan suodatinkangas.

Tiiviskerroksen päälle rakennetaan rakenteesta riippuen 300-1000 mm peittokerros. Peittokerroksessa käytettävä materiaali on pääosin paikallista hiekkaa tai soraa, jonka täytyy olla puhdasta/inertiä ja suhteellisen hyvin vettä läpäisevää ( $k > 1 \times 10^{-5}$  m/s). Kahdessa rakenteessa peittokerroksena (300 mm) käytetään Belvederen erikseen määrittelemää kasvukerroksen materiaalia. Myös peittokerroksen pinta tehdään tasaisena ilman sivukallistusta. HUOM. Poikkeuksena edelliseen referenssirakenteena toimiva ”jalostamaton” 300 mm moreenirakenne, jonka päälle ei tule lainkaan peittokerrosta.

**Taulukko 1.** Peittokerroksen paksuus ja laatu rakennekohtaisesti.

Runkomateriaali	lisäkomponentit			määrä	Peittokerros	
					paksuus	laatu
Moreeni (300 mm)	-	-	-	-	ei peittokerrosta	
NirikHk	LT	-	-	10% (kuiva LT)	300 mm	Hk/Sr
	KS	2-kalkki	-	10+5 %	300 mm	kasvukerros
Moreeni	LT	-	-	10% (kuiva LT)	300 mm	Hk/Sr
	LT	kipsi	2-kalkki	10+10+5 % (kuiva LT)	1000 mm	kasvukerros
	v.Hk	-	-	10 %	300 mm	Hk/Sr
	v.Hk	v.Pö	-	10+5 %	1000 mm	Hk/Sr
KS	v.Hk	-	-	10 %	1000 mm	Hk/Sr

### 5.1.3 Koeruutujen materiaalit

Koeruutuihin on valittu käytettäväksi seuraavia taulukon 2 sivutuotemateriaaleja.

**Taulukko 2.** Testiruutuihin valitut materiaalit.

<b>Nikkelirikastushiekan jalostaminen:</b>	Tuhka
	Kuitusavi
	2-kalkki
<b>Moreenin jalostaminen:</b>	Tuhka 1
	Tuhka 2
	Kipsi
	2-kalkki
	valimohiekka
	valimopöly
<b>Sivutuotekerros:</b>	Kuitusavi
	valimohiekka
<b>Rakentamisessa tarvittavat muut materiaalit:</b>	Inerti materiaali
	moreeni reunapenkereisiin ja tiivisrakenteisiin
	hiekk / sora
	kasvukerrosmateriaali
	nikkelirikastushiekka

#### 5.1.3.1 Moreeni

Pilottirakenteiden reunapenkereiden rakentamisessa on suositeltavaa käyttää paikallista moreenia, joka sisältää keskimääräistä enemmän hienoainesta ja jonka vedenläpäisevyys on alle  $1 \times 10^{-8}$  m/s. Mainitun kaltaista moreenia on todennäköisesti saatavissa esim. suunnitteluvaiheessa olevan LowS-altaan alueelta (Huom. moreenin ottoaikan määrittelyssä hyödynnettävä olemassa olevaa tutkimustietoa moreenin laadusta/vedenläpäisevyydestä alueella). Varsinaisissa koeruutujen rakennekerroksissa (=tiivisrakenne-kerrokset) käytettävä moreeni on pyrittävä ottamaan esim. tulevan HighS-altaan alueelta, jossa on läpäisevyydeltään/hyödynnettävyydeltään alueen keskimääräistä tasoa heikompileatuista moreenia. Tiivisrakennekerroksissa käytettävästä moreenista on seulottava pois yli 60 mm kivet.

#### 5.1.3.2 Nikkelirikastushiekka

Hyödynnettävä nikkelirikastushiekka on suositeltavaa kaivaa allasalueelta (kiintoaineallas 1) ja kasata aumaan, jolloin se kuivuu jonkin verran ennen käyttöä. Tavoitteena on materiaalin vesipitoisuuden laskeminen 17-18 % tasolle. Huomattavaa on, että nikkelirikastushiekka on tässä tapauksessa hapettunutta.

#### 5.1.3.3 Tuhkat

Tuhkat toimitetaan pilottikohteelle kostutettuna, veden lisääminen tapahtuu tuottajien toimesta. Hyödynnettävä tuhka on pyrittävä kostuttamaan juuri ennen kuljetusta ja varastointiaika kostutettuna on minimoitava. Tavoitteena on tuhkan käyttö pilottirakenteissa 1-3 vrk kuluessa veden lisäämisestä. Vanhaa kasavarastoitua tuhkaa ei saa käyttää rakentamisessa!



Tuhkaan 1 lisättävä vesimäärä on 15-20 % tuhkan kuivamassasta ja tuhkan 2 vesimäärä on 20-25 %.

Rakentamisessa käytettävä tuhka voidaan hyödyntää rakentajien niin halutessa myös kuivana. Vaikutus lopputuloksen laatuun on positiivinen eli muutos ei aiheuta minkäänlaisia ongelmia siltä osin. Kuivaa tuhkaa käytettäessä kuljetukset on tehtävä säiliöautokalustolla ja on huomioitava mahdolliset pölyhaitat sekä sekoitusvaiheessa tarvittavan lisävesimäärän kasvu.

#### 5.1.3.4 Kuitusavi

Kuitusavi otetaan mahdollisuuksien mukaan suoraan prosessista tai materiaali kerätään hallitusti lyhytaikaiseen välivarastointikasaan. Mäntän osalta työmaalle toimitettava kuitusavi on DI60 ja DI70 jakeiden 2:1 seos. SCA:n (varalla) kohdalla seos on U1+U3 2:1. Kuitusavi on kostea (taivoitteena vesipitoisuus <190 %).

#### 5.1.3.5 Kipsi

Kipsi noudetaan Yaran Siilinjärven varastoalueella valmiiksi olevasta kipsikasasta. Kipsi on kostea ja sen vesipitoisuus 60°C:ssa kuivattuna hieman yli 10 % luokkaa.

#### 5.1.3.6 Valimohiekka- ja pöly

Componenta Oy:n valimohiekka ja -pöly ovat lähes kuivia materiaaleja (vettä 2-4 %). Materiaalien kasaaminen ja nouto on sovittava erikseen tuottajan kanssa, mutta lähtökohtana on se, ettei massoihin sekoiteta vettä ennen kuljetusta.

#### 5.1.4 Kuljetus

Kaikki materiaalikuljetukset voidaan hoitaa normaalia avolavakalustoa käyttäen, kunhan huolehditaan kuormien peittämisestä pressuun. Poikkeuksena edelliseen tilanne siinä tapauksessa, että tuhkat päätetään hyödyntää ilman tuotantopaikalla tapahtuvaa etukäteiskostutusta – tällöin kuljetukset on tehtävä säiliöautokalustoa käyttäen. Massojen kuljetukset on pyrittävä järjestämään pilottirakentamisen aikataulutukseen nivoutuen, tarvittaessa vaiheistettuna ja pyrkien minimoimaan lyhytaikainen varastointitarve sekä lähtöpäässä että Hiturassa (tämä huomioitava erityisesti tuhkien kohdalla). Lyhyen, muutaman päivän mittaisen, välivarastoinnin yhteydessä ei ole tarvetta varastokasojen suojaamiselle.

Belvedere osoittaa varastointipaikan tuotaville massoille. Urakoitsijan on varauduttava tarvittaessa parantamaan välivarastoalueen kantavuutta esim. murskekerroksella. Materiaalit kannattaa pyrkiä läjittämään mahdollisimman lähelle sekoituspaikkaa, jossa pilottirakenteissa käytettävät massat valmistetaan.

Pilottirakenteissa käytettävät materiaaliseokset on esitetty kootusti taulukossa 3. Taulukossa on esitetty myös alustavasti määritellyt tavoitevesipitoisuustasot sekoitettaville massoille (sarake: TA-VOITE w/seos). Edellinen on kuitenkin vielä tarkistettava ennen rakentamista käytössä olevilla massoilla.

**Taulukko 3.** Pilottirakentamisessa käytettävät materiaaliseokset.

Runkomateriaali	lisäkomponentit		määrä 1)	Lähtömateriaalien vesipitoisuustaso	TAVOITE w/seos [%]	
Moreeni	-	-	-	alle 10 %	alkup.	
	LT	-	10 %	17-18 / 15-20 %	17.5...18	
NirikHk	KS	2-kalkki	10+5 %	17-18 / <190 %	22	
	LT	-	10 %	alle 12 / 15-20 %	11.5...13	
Moreeni	LT	kipsi	2-kalkki	10+10+5 %	alle 10 / 20-25 / 10.8 / 0	12.5...13
	v.Hk	-	10 %	alle 10 / 2.7%	9.5	
	v.Hk	v.Pö	10+5 %	max. 11 / 2.7 / 2-4%	10	
KS	v.Hk	-	10 %	<190 / 2.7 %	~ 150	

1) Lisäkomponenttimäärät (märkämassa, tuhkia lukuunottamatta) laskettu käytetyn runkomateriaalin märkämassaan verrattuna. Tuhkien osalta määrät ilmoitettu käytettävän tuhkan kuivamassana runkomateriaalin märkämassaan

--> huomioitava siis tuhkan kostutuksessa käytetty vesi, joka kasvattaa tuhkaosuutta !

LT = hallitusti kostutettu lentotuhka, joka kuljetetaan välittömästi rakentamispaikalle, ei välivarastointia.

KS = kostea kuitusavi

2-kalkki =

kipsi = kostea "kasakipsi"

v.Hk = valimohiekka ja v.Pö

Taulukossa on esitetty omana sarakkeenaan myös lähtömateriaalien oletettu/tavoiteltava vesipitoisuustaso. Mikäli hyödynnettävän materiaalin/materiaalierän vesipitoisuus poikkeaa oleellisesti taulukossa esitetystä, johtaa se todennäköisesti vesipitoisuuden säätötarpeeseen sekoitustyön aikana.

Mikäli rakentamisessa käytettävien materiaalien laatua joudutaan vaihtamaan suunnitellusta esim. saatavuusongelmien takia on määritellyt tavoite- ja vaatimustasot ehdottomasti tarkistettava!

On huomattava, että rakentamisessa käytettävä tuhka voidaan rakentajien niin halutessa hyödyntää myös kuivana (eli ilman tuotantopaikalla tapahtuvaa kostutusta ennen kuljetusta). Vaikutus lopputuloksen laatuun positiivinen eli muutos ei aiheuta minkäänlaisia ongelmia siltä osin. Kuivaa tuhkaa käytettäessä kuljetukset on kuitenkin tehtävä säiliöautokalustolla ja on huomioitava se, että esitetyissä massalaskelmissa kuljetettavien tuhkien tonnimäärä sisältää myös esikostutuksessa käytettäväksi suositellun veden massan. Kuivan tuhkan kohdalla on huomioitava myös mahdolliset pölyhaitat, välivarastoinnille asetettavat lisävaatimukset sekä sekoitusvaiheessa tarvittavan lisävesimäärän kasvaminen.

### 5.1.5 Rakentaminen

Ennen varsinaisen rakentamisen käynnistämistä on syytä huomioida ja selvittää ainakin seuraavat asiat:

- Rakentamisessa tarvittavan moreenin hankkiminen
  - o Altaiden reunapenkereissä tarvittava moreeni: läpäisevyys mielellään  $< 1 \times 10^{-8}$  m/s.
  - o Tiivisrakennekerroksissa käytettävä moreeni: esim. suunnitellun HighS-altaan alueelta, kivet pois seulottuna (max. raekoko 60 mm).
- Rakentamisessa (kuivatuskerros+peittokerros) tarvittavan hiekan/soran hankkiminen: läpäisevyys mielellään  $> 1 \times 10^{-5}$  m/s, puhtaatiivertit massat.
- Lysimetrialtaiden sisälle tuleva, hyvin vettä läpäisevä materiaali. Materiaalin täytyy ehdottomasti olla täysin puhdasta/inertiä (esim. pesty ja seulottu 10-15 mm sora tai murskattu sora).

- Rakenteissa käytettävän nikkelikastushiekan aumaaminen → vesipitoisuuden tavoitetaso 17-18 %.
- Sekoitustyön yhteydessä mahdollisesti tarvittava puhdas vesi alueelle (Huom. Allasalueen tasausaltaiden veden käyttäminen rakentamisessa on kielletty).
- Rakentamisessa tarvittavien sivutuotemassojen toimituksista sopiminen.
- Kaikkien rakentamisessa käytettävien materiaalien vesipitoisuus sekä silmämääräinen laatu-arviointi.
- Tiivistystestit → Pilottirakentamisessa käytettävien seosten sopivan tiivistysvesipitoisuuden tarkistus sekä saavutettava tiheystaso (tärkeää laadunseurannan ja työohjauksen kannalta).
- Lysimetrialtaiden ja -kaivojen materiaalit + mahdollisuuksien mukaan etukäteen tapahtuva osien kokoaminen.

#### 5.1.5.1 Rakentamisen vaiheistus

- Koeruutujen pohjan tasaaminen, kaltevuus 1 %.
- Koeruutujen reunapenkereiden rakentaminen moreenista. Reunapenkereet voidaan tarvittaessa toteuttaa myös 2-vaiheisesti siten, että ensin reunat rakennetaan vain tiivisrakennekerroksen yläpinnan tasolle saakka ja korottaminen siitä ylöspäin tapahtuu vasta tiivisrakennekerroksen rakentamisen jälkeen. Penkereitä rakennettaessa tehtävä myös kuivatuskerrokseen asennettavan salaojaputken ja lysimetritä tulevan putken läpivienti penkereestä. Reunapenkereet on tiivistettävä huolellisesti, varsinaista tiiveysastevaati-musta ei kuitenkaan aseteta, vaan laatusuranta toteutetaan työtapatarkkailuna.
- Rakenteen pohjalle tulevan kuivatuskerroksen levitys ja tiivistys, samassa yhteydessä myös kerrokseen asennettavan salaojaputken ja lysimetrirakenteiden asentaminen kuivatuskerrokseen. Tiivistys tärylevyllä tai pienellä jyrällä. Lysimetrialtaan sisällä täytyy käyttää eri materiaalia kuin varsinaisessa kuivatuskerroksessa (täysin puhdas/inerti materiaali lysimetrin kohdalle). Laatusuranta tapahtuu työtapatarkkailuna sekä kerrospaksuuden seurannan muodossa. Allasrakenteisiin tuleva pohjan kuivatuskerros ja siihen asennettavat salaoja- ja lysimetrirakenteet voidaan tehdä kaikkien koeruutujen osalta valmiiksi jo ennen varsinaisten tiivisrakennekerrosten rakentamisen käynnistämistä.
- Suodatinkankaan asentaminen kuivatuskerroksen pintaan. Pinnassa ei ole kallistuksia.
- Tiivisrakennekerroksen massojen sekoittaminen ja sekoitettujen massojen tiivistäminen välittömästi rakenteisiin. Työn vaiheistus tulee tapahtua siten, ettei sekoitettuja massoja tarvitse välivarastoida – tiivistäminen rakenteeseen on tapahduttava saman päivän aikana. Massojen laatusuranta ja -kriteerit on esitetty kohdassa 4.5.
- Tiivisrakennekerroksen materiaalin levittäminen ja tiivistäminen kahtena 250 mm kerroksena. Levitys esim. kaivinkoneella ja huolellinen tiivistys tela-alustaista konetta sekä kaivinkoneen puomiin liitettävää tärylevyä käyttäen. Myös tiivistys pienellä jyrällä on mahdollista, mutta on varauduttava siihen, ettei kaikkien massojen tiivistäminen välttämättä ole mahdollista jyrällä. Pelkkä telatiivistys ei riitä! Tiivistystulosta seurataan sekä silmämääräisenä työtapatarkkailuna että paksuus- ja tiheysmittauksina. Lysimetrialtaan

kohdalla kiinnitettävä erityistä huomiota rakennettavan kerroksen tiivistämiseen ja homogeenisuuteen.

- Suodatinkankaan asentaminen tiiviskerroksen pintaan. Pinnassa ei kallistuksia.
- Peittokerroksen levitys. Koko kerros voidaan levittää kerralla (kaikissa koeruuduissa) ja tiivistys tehdään pelkästään tela-alustaisella koneella päällä ajellen (ei tarvetta varsinaiselle tiivistämiselle). Pintaan ei tehdä kallistuksia. Laatuseuranta työtapatarkkailuna sekä kerrospaksuusmittauksin.

Rakentaminen on vaiheistettava siten, että sekoitetut tiivisrakennekerroksen massat saadaan tiivistettyä rakenteisiin saman päivän kuluessa kuin sekoitustyö on tehty. Tiivistetty rakenne täytyy peittää min. 150 mm peittokerroksella välittömästi (=samana päivänä) kunkin ruudun tiivistystyön valmistuttua. Peittokerroksen loppuosa voidaan tämän jälkeen, niin haluttaessa, rakentaa kootusti kaikkiin ruutuihin pilottirakentamisen lopussa. Poikkeuksen edelliseen muodostaa referenssirakenteena toimiva 300 mm moreenirakenne, jonka päälle ei tule lainkaan peittokerrosta.

#### 5.1.5.2 Käytettävä kalusto ja työtap

Massojen kuljetukset voidaan toteuttaa avolavakalustolla lava peitettynä. Poikkeuksena mahdolliset kuivan tuhkan kuljetukset, jolloin kuljetukset on tehtävä säiliöautokalustoa käyttäen. Massojen purku ja lyhytaikainen varastointi rakentamispaikalla ei edellytä erityistoimenpiteitä esim. massojen suojaamisen suhteen (poikkeuksena tältäkin osin kuivat tuhkat, joiden osalta välivarastointi siiloissa).

Rakentamisessa käytettävän paikallisen moreenin, hiekan/soran sekä nikkeliirikastushiekan käsittelyyn rakentamisen esivalmisteluvaiheessa tarvitaan ainakin kaivinkone, kuljetuskalustoa sekä isompien kivien poistamisessa käytettävä välppä/seula. Massojen aumaaminen helpottuu, mikäli käytettävissä on myös pyöräkuormaaja tai etukuormaajalla varustettu traktori.

Allasrakenteiden pohjalle tulevan kuivatuskerroksen massat siirretään altaaseen joko kaivinkoneella, traktorin etukuormaajalla tai pyöräkuormaajalla. Erillisen harkinnan mukaan massat voidaan myös kipata suoraan kuorma-auton lavalta altaan reunan yli sen pohjalle ja hoitaa levitystyö kaivinkoneella. Tässä työvaiheessa altaan reunapenkereeseen voidaan tarvittaessa myös jättää myöhemmin suljettava aukko, mikäli se helpottaa työn toteutusta. Kerros tiivistetään tela-alustaisella koneella päällä ajamalla ja tärylevyä tai pientä jyrää käyttäen. Ennen kerroksen lopullista tiivistystä ja pinnan viimeistelyä / suodatinkankaan levittämistä asennetaan kuivatuskerrokseen sijoitettava salaojaputki sekä lysimetrisrakenteet.

Tiivisrakennekerroksissa käytettävien massojen sekoittamisen vaatimuksena on homogeeninen sekoitustulos. Tarvittaessa massan vesipitoisuutta tulee säätää lisäämällä vettä hallitusti. Osassa tiivisrakenteita on vaatimuksena kuivan kalkin lisäämismahdollisuus seoksiin. Laitteistolla täytyy pystyä annostelemaan luotettavasti runkoaineeseen (nikkelirikastushiekka, moreeni tai kuitusavi) seostettavat komponentit, joiden kunkin käyttömäärä on 5-10 % varsinaisen runkomateriaalin märkämassasta. Sekoitustyön yhteydessä runkoainekseen lisätään enimmillään kahta kosteaa lisäkomponenttia, kuivaa kalkkia sekä mahdollisesti myös vettä (kosteat lisäkomponentit voidaan tarvittaessa sekoittaa etukäteen keskenään juuri ennen varsinaista sekoitustyötä). Sekoitustyön

vaatimukset huomioiden suositeltavinta on hoitaa sekoitustyö asemasekoittimella. Myös muiden sekoitintyyppien käyttö on mahdollista, mikäli siitä sovitaan etukäteen. Esitetyllä laitteella tulee osoittaa, että sekoituskapasiteetti on riittävä ja sekoituksen laatu täyttää asetettavat homogeenisuusvaatimukset. Sekoitettujen massojen tiivistettävä pilottirakenteisiin samana päivänä kuin ne on sekoitettu.

Tiivisrakennekerroksen massojen siirto pilottirakenteeseen (allasrakenteet) täytyy toteuttaa siten, ettei alapuolinen kuivatuskerros painu epätasaisesti. Käytännössä altaan sisäpuolella ei saa enää tässä vaiheessa liikkua pyöräalustaisella kalustolla vaan pelkästään telakalustolla. Tiivisrakennekerroksen massat siirretään rakenteeseen kaivinkoneella ja kerroksen tiivistys tapahtuu kahdessa 250 mm osakerroksessa tela-alustaisella koneella sekä kaivinkoneen puomiin liitettävällä tiivistyslevyllä. Myös tiivistys pienellä jyrällä on mahdollista, mutta on varauduttava siihen, ettei kaikkien massojen tiivistäminen välttämättä ole mahdollista jyrällä. Pelkkä telatiivistys ei riitä!

Tiivisrakennekerroksen pinta tasataan (ei kallistusta) ja sen päälle levitetään suodatinkangas.

Pintaan tuleva peittokerros toteutetaan rakenteesta riippuen joko hyvin vettä läpäisevällä hiekalla tai soralla (7 testirakennetta), tai Belvederen määrittelemällä kasvukerroksen materiaalilla (2 rakennetta). Referenssirakenteena toimivan 300 mm moreenirakenteen päälle ei tule lainkaan peittokerrosta. Kerroksen levittämisessä täytyy käyttää tela-alustaista kalustoa, jolla myös kerroksen tiivistäminen suoritetaan. Testattavien tiivisrakennerekaisujen päälle levitettävän peittokerroksen kokonaispaksuus on rakenteesta riippuen joko 300 mm tai 1000 mm. Koko kerros voidaan niin haluttaessa levittää ja tiivistää kerralla. Min. 150 mm osuus peittokerroksesta on levitettävä pintaan välittömästi (=samana päivänä) tiivisrakennekerroksen tiivistämisen jälkeen ja peittokerroksen loppuosa voidaan näin toimittaessa rakentaa myöhemmin. Rakenteen pinta on lopputilanteessa muotoiltava ja tasattava siten, ettei siinä ole sivukallistusta. Samassa yhteydessä on varmistettava siitä, että reunapenkereet ulottuvat min. 100 mm rakenteen yläpinnan yläpuolelle.

#### 5.1.6 Lysimetrit

Kaikkien lysimetrin materiaalien (lysimetriallas, putket, liitokset, mittakaivot sekä lysimetrialtaan sisälle tuleva materiaali) on oltava sellaisia, ettei niistä liukene seurantaan haittaavia komponentteja kerättäviin vesinäytteisiin. Esim. Polypropeeni (PP) ja polyeteeni (PE) sopivat käytettäväksi lysimetrirakenteissa. Lysimetrialtaan sisälle tulevan inertin kiviaineksen puhtaus on varmistettava ennen rakentamista 1-vaiheisella ravistelutestillä (metallit, pH, EC, sulfaatti). Huom. lysimetrialtaan sisällä on suositeltavaa käyttää seulottua ja pestyä materiaalia. Kalliomurskeen käyttö seulottuna ja pestynäkään ei ole suositeltavaa mahdollisten räjähdysainejäämien takia.

Lysimetrialtaiden ja -kaivojen koko vaihtelee rakennekohtaisesti. Koko riippuu ennakoitusta vesimäärästä, jonka oletetaan suotautuvan kunkin rakenteen läpi. Kokotiedot on esitetty koottuna taulukossa 4.

**Taulukko 4.** Lysimetrialtaiden ja -kaivojen koko rakennekohtaisesti.

Runkomateriaali	lisäkomponentit			määrä	oletettu läp. k [m/s]	lysimetrin koko	kaivokoko (+sisäputken koko)
Moreeni	-	-	-	-	$5 \times 10^{-7} \dots 3 \times 10^{-9}$	käytettävästä Mr riippuen	
NirikHk	LT	-	-	10% (kuiva LT)	$4 \dots 10 \times 10^{-7}$	1x1 m	200 l + d100 mm
	KS	2-kalkki	-	10+5 %	$4 \times 10^{-8}$	1x1 m	200 l + d100 mm
Moreeni	LT	-	-	10% (kuiva LT)	$4 \dots 9 \times 10^{-8}$	1.5x1.5 m	100 l + d100 mm
	LT	kipsi	2-kalkki	10+10+5 % (kuiva LT)	$6 \dots 15 \times 10^{-9}$	1.5x1.5 m	100 l + d100 mm
	v.Hk	-	-	10 %	$4 \times 10^{-9}$	2x2 m	50-100 l + d100 m
	v.Hk	v.Pö	-	10+5 %	$7 \times 10^{-10}$	2x2 m	50-100 l + d100 m
KS	v.Hk	-	-	10 %	$\leq 10^{-9}$	2x2 m	50-100 l + d100 m

Lysimetrialtaat asennetaan tiivisrakenteen alapuoliseen kuivatuskerrokseen siten, että altaan reunat ulottuvat noin 50 mm etäisyydelle päälle tulevan tiivisrakenteen alapinnasta (lysimetrialtaan korkeus 100-150 mm) – lysimetrirakenne on siis kokonaisuudessaan tiivisrakenteen alapuolella kuivatuskerroksessa ja kallistettuna siitä lähtevän veden poistoputken suuntaan. Lysimetrialtaat sijoitetaan pohjan kaltevuuden mukaisesti altaan ”syvempään” päähän noin 2 m etäisyydelle reunapenkereestä (kuva 5) ja allasrakenne täytetään hyvin vettä läpäisevällä materiaalilla, jonka täytyy jo aiemmin esitetyn mukaisesti olla ehdottomasti täysin puhdasta/inerttiä.

Vesimääräseurannan tulosten analysointia varten kohteelle asennetaan sääasema sadannan yms. tietojen keräämiseksi.

## 5.1.7 Seuranta

### 5.1.7.1 Ennen rakentamista tapahtuva seuranta

Lähtömateriaalien laatu homogeenisuuden osalta on arvioitava silmämääräisesti ja massojen vesipitoisuus on suositeltavaa määrittää vähintään 3 eri kohdasta kutakin hyödynnettävää materiaalierää. Mikäli jonkin materiaalierän kohdalla on havaittavissa selvää epähomogeenisuutta, on kyseinen massaerä homogenisoitava ennen käyttöä. Vesipitoisuuden osalta toimenpidetarve on arvioitava erikseen, mikäli massojen vesipitoisuustaso poikkeaa huomattavasti taulukossa 5 esitetystä oletustasosta. Arvioinnin viimeksi mainitulta osin tekee paikalla oleva laadunvalvonnasta vastaava henkilö.

**Taulukko 5.** Tiivisrakenteen materiaalit – lähtömateriaalien oletettu vesipitoisuus.

Runkomateriaali	lisäkomponentit			määrä 1)	Lähtömateriaalien vesipitoisuustaso	TAVOITE w/seos [%]
Moreeni	-	-	-	-	alle 10 %	alkup.
NirikHk	LT	-	-	10 %	17-18 / 15-20 %	17.5...18
	KS	2-kalkki	-	10+5 %	17-18 / <190 %	22
Moreeni	LT	-	-	10 %	alle 12 / 15-20 %	11.5...13
	LT	kipsi	2-kalkki	10+10+5 %	alle 10 / 20-25 / 10.8 / 0	12.5...13
	v.Hk	-	-	10 %	alle 10 / 2.7%	9.5
	v.Hk	v.Pö	-	10+5 %	max. 11 / 2.7 / 2-4%	10
KS	v.Hk	-	-	10 %	<190 / 2.7 %	~ 150

1) Lisäkomponenttimäärät (märkämassa, tuhkia lukuunottamatta) laskettu käytetyn runkomateriaalin märkämassaan verrattuna.

Tuhkien osalta määrät ilmoitettu käytettävän tuhkan kuivamassana runkomateriaalin märkämassaan --> huomioitava siis tuhkan kostutuksessa käytetty vesi, joka kasvattaa tuhkaosuutta !  
LT = hallitusti kostutettu lentotuhka, joka kuljetetaan välittömästi rakentamispaikalle, ei välivarastointia.  
KS = kostea kuitusavi: KS = DI60 ja DI70 2:1 seos tai varalla KS (seos U1 ja U3 2:1)

2-kalkki

kipsi = kostea "kasakipsi"

v.Hk = valimohiekka ja v.Pö = valimopöly, molemmat Componenta Karkkila

Taulukossa on määritelty materiaaliseoskohtaisesti lähtömateriaalien oletettu vesipitoisuustaso. Keltaisella pohjalla olevassa sarakkeessa on esitetty seosten eri materiaalikomponenttien

vesipitoisuuden oletustasot samassa järjestyksessä kuin runkomateriaalit ja lisäkomponentit on esitetty taulukon vasemmanpuoleisessa osassa. Oletetut vesipitoisuudet ovat seuraavanlaiset:

Moreeni	--- tavoite rakenteesta riippuen alle 10...12 %
Nikkelirikastushiekka	--- alle 17-18 %
Tuhka 1	--- 15-20 %
Tuhka 2	--- 20-25 %
Kuitusavi	--- alle 190 %
Kipsi	--- noin 10.8 % (Huom. kuivaus 60°C)
Valimohiekka	--- noin 2.7 %
Valimopöly	--- noin 2-4 %
2-kalkki	--- kuiva

Mikäli hyödynnettävien massojen vesipitoisuus poikkeaa huomattavasti edellä esitetystä, on sen vaikutus lopputuloksen laatuun ja/tai käytettävään seokseen arvioitava ennen sekoitustyön käynnistämistä.

On huomattava, että rakentamisessa käytettävä tuhka voidaan rakentajien niin halutessa toimittaa kuivana tai kostutetuna, joten on huomioitava se, että esitettyissä massalaskelmissa kuljetettävien tuhkien tonnimäärä sisältää myös esikostutuksessa käytettäväksi suositellun veden massan. Kuivan tuhkan kohdalla on huomioitava myös mahdolliset pölyhaitat, välivarastoinnille asetettavat lisävaatimukset sekä sekoitusvaiheessa tarvittavan lisävesimäärän kasvaminen.

Rakentamisessa käytettävien **moreenien**, kuivatus- ja peittokerroksissa käytettävän **hiekan/soran** sekä **lysimetreissä käytettävän materiaalin** rakeisuus on määritettävä ja vedenläpäisevyys testattava. Lisäksi peittokerroksen materiaalista sekä lysimetrialtaan sisällä käytettävästä materiaalista on tehtävä 1-vaiheinen ravistelutesti (metallit, pH, EC, sulfaatti).

#### 5.1.8 Sekoitustyön yhteydessä tapahtuva seuranta

Sekoitustyön osalta laadunvalvonnan yhteydessä kiinnitetään erityshuomiota silmämääräiseen laadun/homogeenisuuden seuraamiseen, suunnitellun rakennekohtaisen seossuhteen toteutumiseen (punnitustiedot) sekä valmiiden massojen vesipitoisuusseurantaan. Ennen kunkin massaseoksen varsinaista sekoitustyötä varmistutaan rakentamisessa käytettäviä materiaaleja käyttäen toteutettavalla tiivistystestillä siitä, että valmiin massan laatu ja käsiteltävyys vastaavat suunniteltua. Samalla tarkennetaan myös kyseisen materiaalseoksen tiivistystyön laadunvalvonnassa käytettävää tiheystavoitetta. Tiivistystesti toteutetaan Proctor-välineistöä käyttäen, käytettävä tiivistystyömäärä on 10 iskua/kerros – tiivistys 5 kerroksena Pr-muottiin.

Varsinaisen sekoitustyön aikana seurataan valmiin massan vesipitoisuutta ja mikäli toteutuva taso poikkeaa taulukossa 6 esitetystä tavoitetasosta yli 10 % (Huom. kysymys suhteellisesta poikkeamasta!) arvioidaan tilanne vesipitoisuuden säätötarpeen osalta laadunvalvonnasta vastaavan henkilön toimesta. Mikäli lopputuloksen vesipitoisuus poikkeaa suunnitellusta yli 10 % on massojen vesipitoisuutta säädettävä eikä massoja saa käyttää rakentamisessa ennen kuin niiden käsiteltävyydestä ja riittävästä tiivistyvyydestä on varmistuttu joko Proctor-laitteistolla tehtävin sillonoin tai testaamalla tiivistettävyyden ja saavutettava tiheystaso koetiivistyksellä. Massoja, joita käyttäen

tiivistystulos, edellä mainittujen lisäselvitysten perusteella, jäisi huolellisestikin tiivistettynä todennäköisesti selvästi alle etukäteen määritellyn kuivairtotiheystason ei saa käyttää rakentamisessa (kts. taulukossa 6 esitetyt alustavat tavoitetasot). Tältä osin rajana hyväksyttävän tiheysalituksen osalta voidaan pitää noin tasoa 50 kg/m<sup>3</sup>, poikkeuksena kuitusavi-valimohiekka seos, jolla rajana 20 kg/m<sup>3</sup> alitus. On kuitenkin huomattava, että taulukossa 6 esitetyt (alustavat) tiheyden tavoitetasot on ehdottomasti tarkistettava vielä rakentamisen yhteydessä.

**Taulukko 6.** Sekoitettavien massojen tavoitevesipitoisuustaso ja ennakoitu rakennetiheys.

Runkomateriaali	lisäkomponentit			määrä	TAVOITE	
					w/seos [%]	kuivatih./seos [kg/m <sup>3</sup> ]
Moreeni	-	-	-	-	alkup.	2030...2230
NirikHK	LT	-	-	10% (kuiva LT)	17.5...18	1640-1690
	KS	2-kalkki	-	10+5 %	22	1600
Moreeni	LT	-	-	10% (kuiva LT)	11.5...13	1930-1970
	LT	kipsi	2-kalkki	10+10+5 % (kuiva LT)	12.5...13	1880
	v.Hk	-	-	10 %	9.5	2050
	v.Hk	v.Pö	-	10+5 %	10	2030
KS	v.Hk	-	-	10 %	~150	490

#### 5.1.9 Allasrakenteiden rakentamisen yhteydessä tapahtuva seuranta

Allasrakenteiden rakentamisen yhteydessä laadunseuranta toteutetaan tiivisrakennekerroksen tiivistämistä lukuun ottamatta pelkästään silmämääräisen laatu- ja työpatarkkailun sekä kerros-paksuus-mittausten avulla. Tiivisrakennekerroksen osalta seurataan edellisten lisäksi myös massojen vesipitoisuutta (seuranta sekä sekoitustyön että tiivistämisen yhteydessä) sekä tiivistystulosta volymetrimittauksin. Kuivairtotiheyden rakennekohtainen tavoitetaso (alustava arvio) on esitetty taulukossa 6. Tavoitteena on saada tehtyä min. 2 vaatimukset täyttävää volymetrimittauksia kutakin rakennetta kohden (mittauksia ei saa tehdä lysimetrirakenteen kohdalta). Tiivistystyötä jatketaan, kunnes rakentamista ohjaava laadunvalvoja antaa luvan lopettaa tiivistystyö. Mikäli asetettua tavoitetiheyttä ei saavuteta kohtuullista tiivistystyömäärää käyttäen voi laadunvalvonnasta vastaava henkilö tehdä päätöksen tiivistystyön lopettamisesta, tällöin on määritettävä rakenteen toteutunut tiheystaso vähintään 2 volymetrimittauksella.

Rakentamisen yhteydessä otetaan kustakin allasrakenteesta ennen tiivistämistä sattumanvaraisesti 2 erillistä massanäytettä (1 kpl 15 litraa + 1 kpl 3 litraa). Isommasta tiivistetään 2 koekappaleita myöhempiä lujuus- ja vedenläpäisymäärityksiä varten sekä 2 koekappaleita tehtäviä kokonaispitoisuus- ja liukoisuustutkimuksia silmällä pitäen. Testikappaleiden tiivistys toteutetaan Proctor-välineistöä käyttäen, käytettävä tiivistystyömäärä on 10 iskua/kerros – tiivistys 5 kerroksena Pr-muottiin. Massa tiivistetään siinä vesipitoisuudessa kuin se on rakentamispaikalle toimitettu (määritetään käytettävästä näytteestä), eikä massanäytteitä homogenisoida ennen koekappaleiden tiivistämistä, tehtyjen testikappaleiden toteutunut tiheystaso kirjataan ylös. Kappaleiden tiheystuloksia hyödynnetään myös tiivistystyön laaduseurannassa. Molempia otettuja näytteitä säilytetään myös irtonaisina noin 3 litraa/rakenne.

Tehdyistä koekappaleista määritetään myöhemmin ainakin vedenläpäisevyys ja edellisen jälkeinen puristuslujuus (min. 1 määrittäjä/testiallas) sekä tehdään erillisen harkinnan mukaan liukoisuustestejä.



### 5.1.10 Seuranta rakentamisen jälkeen

Lysimetrirakenteiden keräämää vesimäärää seurataan jatkuvasti ja vesimäärämittaukset sekä kaivojen tyhjentäminen sovitaan läpi suotautuvien vesimäärien mukaisesti. Tavoitteena on saada mitattua kumulatiivisesti kunkin lysimetrin keräämä vesi (läpi menneen veden kokonaismäärä) ajan funktiona. Vesimäärämittausten rinnalla seurataan myös sademäärää kunkin mittausjakson aikana (sääasema). Sekä vesimäärämittauksista, tarvittavista kaivojen tyhjennyksestä, että sää-tietojen kirjaamisesta vastaa kaivosyhtiö. Vesimääräseurannan tulosten analysointia varten kohteelle olisi hyvä asentaa sääasema sadanta tietojen keräämiseksi.

Mikäli lysimetreihin ei jostain syystä kerry lainkaan vettä tai vesimäärä jää erittäin pieneksi on erillisen harkinnan jälkeen mahdollista jatkaa testiä ajamalla vettä esim. säiliöautolla rakenteen pintaan tietty määrä ja seurata sen jälkeen suotautumista. Tämänkaltaisia muutoksia pilottiseurantaan harkitaan aikaisintaan seuraavana keväänä.

Vesimäärämittausten rinnalla toteutetaan vedenlaadun seurantaa. Näytteenotosta ja näytteiden säilyttämisestä vastaa kaivosyhtiö. Lysimetrikaivoista otetaan vesinäytteitä seuraavasti:

-ensimmäinen läpi mennyt vesi, vesimäärä > 1 litra (kirjataan ylös näytteenottohetkellä läpi mennyt kokonaisvesimäärä)

-näyte noin 1 viikon kuluttua edellisestä (kokooma vesi 0-7 vrk)

-näyte noin 2 viikon kuluttua ensimmäisestä näytteenotosta (kokooma vesi 7-14 vrk)

-näyte noin 1 kk kuluttua ensimmäisestä näytteenotosta (kokooma vesi 14-28 vrk)

-tämän jälkeen näyte noin 1 kerta/kuukausi

→ Näytteenottoa ja vesimääräseurantaa jatketaan ainakin vuoden ajan ja sen jälkeen jatko arvioidaan erikseen.

Ensimmäisten näytteenottojen yhteydessä on pyrittävä saamaan keskimääräinen näyte koko näytteenottojaksolta eli alkutilanteessa lysimetrikaivo on tyhjennettävä mahdollisimman tyhjäksi. Mikäli kaivo täyttyy kesken esitettyä näytteenottojaksoa, tehdään "välityhjennys" ja otetaan myös seurantanäyte tarvittaessa 2 osanäytteenä, jotka myöhemmin yhdistetään. Tärkeintä näytteenotossa on se, että kunkin rakenteen osalta tiedetään tarkkaan missä tilanteessa näytteenotto on tehty ja kuinka paljon vettä on suotautunut kokonaisuudessaan rakenteen läpi ennen näytteenottoa ja kuinka paljon kyseisen näytteenottojakson aikana. Ensimmäisen seurantakuukauden jälkeen näytteenotto voidaan toteuttaa siten, että lysimetrikaivo tyhjennetään aina noin viikko ennen kunkin kuukauden lopussa tapahtuvaa vesinäytteenottoa (tässä vaiheessa ei vielä oteta vesinäytettä, vain pelkästään vesimäärät kirjataan) ja varsinainen vesinäytteen keruujakso sijoittuu kunkin kuun viimeiselle viikolle. Otetut näytteet a` 1 l säilytetään pakastettuna 2x0,5 l muovipulloissa (Huom. Kukin näyte siis jaettuna kahteen 0,5 l pulloon). Lysimetrivesien analysointi tehdään myöhemmin toteutettavan tarvearvioinnin pohjalta, mutta lähtökohtana on joka tapauksessa se, ettei kaikkia yksittäisiä näytteitä analysoida vaan pääosa tutkimuksista tehdään pidempien jaksojen kokoomanäytteitä käyttäen ja ainoastaan muutamia yksittäisiä näytteitä analysoidaan erillisinä. Vesinäytteistä analysoidaan ainakin metallit, pH, EC, sulfaatti. Muista tutkittavista parametreista päätetään myöhemmin.

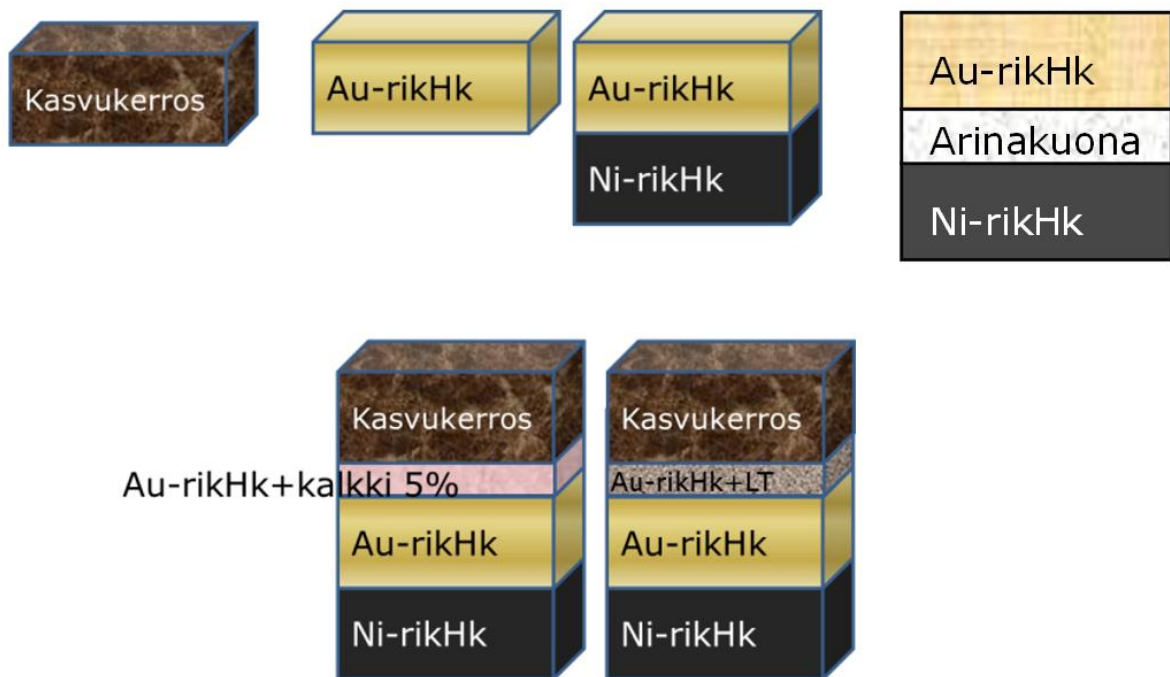
Lysimetrivesinäytteitä otettaessa on huomattava mahdollinen tilanne, jossa vettä on sekä sisäputkessa että varsinaisessa kaivossa, on otettavan vesinäytteen edustettava edellisten keskimääräistä

laatua. Siispä näytettä otettaessa sisäputken- ja varsinaisen kaivon vesiä on seostettava samassa suhteessa kuin vettä on näytteenottojaksolla sisäputkeen/kaivoon kertynyt.

Talven jälkeen on suositeltavaa tehdä rakenteiden kuntoarviointi ja samalla ottaa rakennenäytteitä vedenläpäisevyys- ja lujuusmäärittämisiksi varten. Lisäksi on mahdollista ottaa ”kerrosnäytteitä” tiivisrakennekerroksesta. Kerroksesta pystysuunnassa eri syvyydeltä otettujen näytteiden kokonaispitoisuustietoja vertailemalla on mahdollista tuottaa lisätietoa mm. liuenneiden komponenttien määrästä / muutoksista rakenteissa. rakentamista seuraavan vuoden osin tutkimusten tarve, sisältö ja toteutustapa määritellään vasta keväällä, kun rakenteiden alkuvaiheen seurannasta saatavat tiedot ovat käytettävissä.

## 5.2 Astiakokeet

Astiatestejä tehdään rakenteille, joissa yhtenä kerroksena käytetään kultarikastushiekkaa. Kypseistä rikastushiekkaa saadaan kesällä 2014 toteutettavasta Kopsan kultamalmin koerikastusvaiheesta. Syntyvä kultarikastushiekan määrä on varsin vähäinen (alustavan tiedon mukaan n. 6 m<sup>3</sup>), joten sen testaaminen on syytä tehdä hyvin hallitussa ympäristössä.



**Kuva 7.** Periaatekuvat astiakokeissa tutkittavista materiaaleista.

Koeastioissa toteutettavat rakenteet sijoitetaan koeruutujen läheisyyteen. Koeastioita kootaan yhteensä kuusi (6) kappaletta. Koeastiana käytetään tilavuudeltaan 1 m<sup>3</sup> ”vesiastiaa” tai vastaavaa astiaa, jonka tilavuus on tiedossa ja jossa rakenteiden testaaminen voidaan tehdä hallitusti. Astioiden tulee olla puhtaita ja polypropeenista (PP) tai polyeteenista (PE) valmistettuja. Jokaisen astian pohjalle tulee 0,1 m kerros **inertiä kiviainesta**. Kerros on hyvin vettä johtavaa ( $k > 1 \times 10^{-5}$  m/s) ja ”puhdasta”/inertiä hiekkaa tai soraa. Kerroksen yläpinta tasataan siten, ettei siinä ole lainkaan sivukaltevuutta.

Koeastiat toimivat itsessään lysimetreinä ja niiden pohjalle kertyvä vesi johdetaan astioiden ulkopuolelle sijoitettaviin keräilykaivoihin, joista kerätään näytteet sekä mitataan suotovesien määrää. Keräilykaivon rakenne on esitetty kuvassa 6 (kts. s. 14). Koeastioiden osalta keräilykaivon tilavuudeksi riittää 30 l. Myös näiden keräilykaivojen sisään asennetaan pienempi halkaisijaltaan n. 50-70 mm putki, johon näyte ensisijaisesti kertyy.

Materiaalien tiivistäminen astiaan tehdään esim. pienellä lätkällä 20 cm kerroksina. Ennen rakentamista lasketaan kullekin materiaalille se määrä, joka pitää saada tiivistettyä 0,2 m:n kerrokseksi. Kun tiivistys on tehty ja tiedetään materiaalin massa ja tilavuus saadaan tiheys määritettyä laskennallisesti. Tiheyttä on muutoin vaikea määrittää rikkomatta näin pientä rakennetta. Tiivistys tehdään optimivesipitoisuudessa. Mikäli oletettua tiheyttä ei saada toteutettua päättää laadunvalvoja riittävästä tiivistystyömäärästä ja toetutunut tiivistystyö ja tiheys kirjataan ylös. Kaikki kerrokset tiivistetään samoilla periaatteilla lukuun ottamatta inertin kiviaineksen ja kasvukerrosmateriaalin tiivistämistä, jotka tehdään kokemuseräisesti. Astioiden reunaosien tiivistämiseen täytyy kiinnittää erityishuomiota. Kun kaikki rakennekerrokset on ladottu astiaan, rakenne kostutetaan täysin vedellä (määrä selviää rakentamisen aikana). Kostutusvesi on sadevettä, joka on kerätty ennakkoon. Veden määrä on noin 1 m<sup>3</sup>. Astiat eristetään jäätymiseltä ja liialliselta haihdunnalta kasaamalla astioiden ulkopuolelle rikastushiekkaa. Talvikaudeksi asennetaan astioiden päälle styrox-kansi, joka avataan talvilämpötilojen (<0 C-asteen) loputtua. Talven lumimäärä / sadevesi lapioidaan / valutetaan astian päälle tässä yhteydessä. Kalkki (2-kalkki) ja lentotuhkamäärä (kostutettu) on laskettu painoprosenteina.

### 5.2.1 Materiaalit ja tarvikkeet

Pilottirakenteissa käytettävät materiaalit ovat eri erää ja siten ominaisuuksiltaan jonkin verran erilaisia kuin vastaavat materiaalit aiemmin laboratoriossa testattuina. Tästä syystä materiaalien vesipitoisuudet ja tavoitetiheys esitetään vasta vähän ennen rakentamista (Ramboll) kun materiaalit ovat saatavilla. Päämateriaalina kaikissa pilottirakenteissa on Hituran kaivoksen kulta- tai nikkelikastushiekka, poikkeuksena kasvukerrosmateriaali, jota testataan myös sellaisenaan. Lentotuhka ja 2-kalkki voidaan käyttää myös kuivana koeastioiden rakenteessa. Koeastioissa toteutettavien rakenteiden toteutusajataulu riippuu kultarikastushiekan saatavuudesta, joten rakentaminen voi ajoittua eri aikaan koeruutujen rakentamisen kanssa.

### 5.2.2 Koeastioiden rakenteet

Koeastioita rakennetaan kuusi (6) kappaletta. Koeastioiden rakennekerrokset ja niistä oletettavasti saatava tieto on esitetty seuraavissa kappaleissa. Rakennekerrosten materiaalimenekkiä koeastioissa on arvioitu taulukoissa 7 ja 8. Kyseinen arvio voi vielä muuttua, sillä materiaalien tiheydet eivät ole kaikilta osin selvillä ja ne on syytä tarkistaa ennen koeastioiden täyttämistä.

#### **Inerti kiviaines**

Jokaisen astian alimmaksi kerrokseksi rakennetaan 0,1 m kerros hyvin läpäisevää "inertistä" kiviaineksesta. Kiviaineksen suositeltava raekoko on 10-15 mm ja kiviaineksen tulee olla pestyä ja mahdollisuuksien mukaan luonnon soraa vastaavaa. Myös murskattu kiviaines käy, mutta räjähdysainejäämien vuoksi kalliokiviaineksen käyttöä tulee välttää. Inerti maa-aines astian

pohjalla ja osassa rakenteita päällimmäisenä rakennekerrosten päällä toimii suodatinkerroksena, joka ohjaa veden rakenteeseen ja rakenteesta pois (pohjalla).

#### Muut tarvikkeet:

- 1 m<sup>3</sup> säiliöt (kansiosa irrotetaan)
- putki astian pohjalle kertyvän suotoveden johtamiseksi keräilykaivoon.
- Styrox-kannet talveksi

Rakennekerrosten materiaalimenekkiä koeastioissa on arvioitu taulukoissa 7 ja 8. Kyseinen arvio voi vielä muuttua, sillä materiaalien tiheydet eivät ole kaikilta osin selvillä ja ne on syytä tarkistaa ennen koeastioiden täyttämistä.

**Taulukko 7.** Tarvittavat materiaalimäärät koeastioissa yhteensä (arvio).

Materiaali	t	kg
Kasvukerros	0,42	420
Inertti	1,8	1800
Au-rikastushiekka	2,38	2380
Ni-rikastushiekka	1,36	1360
Kalkki	0,017	17
Lentotuhka	0,034	34
Jätteenpolton arinakuona	tarve 100 l rakenteeseen tiivistettyä materiaalia (tiheys ei ole tiedossa, urakoitsija vastaa hankinnasta)	

**Taulukko 8.** Tarvittavat materiaalimäärät koeastioittain (arvio).

Rakenne	Materiaali	Kerrospaksuus (m)	Määrä (t)	Määrä (m <sup>3</sup> )	Tiheys (kg/dm <sup>3</sup> )	Tiiveimmän kerroksen vedenläpäisevyys (m/s)	w%
1	Kasvukerros	0,2	0,14	0,2	0,7		
	Inertti	0,1	0,2	0,1	2		
2	Inertti	0,1	0,2	0,1	2		
	Au-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7		25 %
3	Inertti	0,1	0,2	0,1	2		
	Au-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7	n. 1,5x10 <sup>-6</sup> ei määritetty	25 %
	Ni-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7	1,5x10 <sup>-6</sup>	25 %
	Inertti	0,1	0,2	0,1	2		
4	Inertti	0,1	0,2	0,1	2		
	Au-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7	n. 1,5x10 <sup>-6</sup> ei määritetty	25 %
	Jätteenpolton arinakuona	0,1		0,1			
	Ni-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7	1,5x10 <sup>-6</sup>	25 %
5	Inertti	0,1	0,2	0,1	2		
	Kasvukerros	0,2	0,14	0,2	0,7		
	Au-rikastushiekka + kalkki 5%	0,2	0,34	0,2	1,7		23 %
	Au-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7		25 %
	Ni-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7		25 %
6	Inertti	0,1	0,2	0,1	2		
	Kasvukerros	0,2	0,14	0,2	0,7		
	Au-rikastushiekka + lentotuhka 10 %	0,2	0,34	0,2	1,7	1x10 <sup>-7</sup> luokkaa	23 %
	Au-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7		25 %
	Ni-rikastushiekka	0,2	0,34	0,2	1,7		25 %

Raportissa esitetyt materiaalit tutkittuine ominaisuuksineen on koottu taulukkoon 9.

**Taulukko 9.** Astiatesteissä käytettävien materiaalien ominaisuuksia.

Materiaali	w [%]	H <sub>h</sub> [%]	pH	k [m/s]
Kasvualustamateriaali				
Inertti kiviaines				
2-kalkki	4,0		9,1	
Lentotuhka				
Nikkelirikastushiekka*	15,7			1,5x10 <sup>-6</sup>
Kultarikastushiekka 8/13	0,2	0,4	9,4	7,8x10 <sup>-8</sup>
jätteenpolton arinakuona				

\*2013 otettujen nikkelirikastushiekkänäytteiden seos

### 5.2.3 Koeastioiden rakenteet

Koeastioita rakennetaan kuusi (6) kappaletta. Koeastioiden rakennekerrokset ja niistä oletettavasti saatava tieto on esitetty seuraavissa kappaleissa.

#### 5.2.3.1 Pilottirakenne 1, kasvukerros

Testattavat materiaalit: Kasvukerrosmateriaali (Belvedere päättää)

Tavoiteltava tieto: Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen

Kerrokset ja niiden paksuudet:

- Kasvukerros 0,2 m
- Inertti materiaali 0,1 m

#### 5.2.3.2 Pilottirakenne 2, Au-rikastushiekka

Testattavat materiaalit: Au-rikastushiekka, syksyn koerikastuksesta

Tavoiteltava tieto: Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen, Au-rikHK:sta todettu laboratorioskokeissa korkeat arseenin kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet.

Kerrokset ja niiden paksuudet:

- Inertti materiaali 0,1 m
- Kultarikastushiekka 0,2 m
- Inertti materiaali 0,1 m

#### 5.2.3.3 Pilottirakenne 3, Au+Ni-rikastushiekat

Testattavat materiaalit: Au-rikastushiekka + Ni-rikastushiekka, Au-rikHK syksyn koerikastuksesta ja Ni-rikHK kasalta. Ni-rikHK:sta on päätettävä, käytetäänkö täysin hapettunutta pintahiekkaa vai vähän syvemältä osittain hapettunutta hiekkaa.

Tavoiteltava tieto: Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen rakenteessa. Arseenin pidentyminen Ni-rikHk kerrokseen. Ilmiö on havaittu laboratorioissa ja tämä tarvitsee vahvistavan tuloksen kentältä

Kerrokset ja niiden paksuudet:

- Inertti materiaali 0,1 m
- Kultarikastushiekka 0,2 m
- Nikkelirikastushiekka 0,2 m
- Inertti materiaali 0,1 m

#### 5.2.3.4 Pilottirakenne 4, Au+Ni-rikastushiekat sekä arinakuona

Testattavat materiaalit: Au-rikastushiekka, Ni-rikastushiekka sekä jätteenpolton arinakuona. Au-rikHk syksyn koerikastuksesta ja Ni-rikHk kasalta. Ni-rikHK:sta on päätettävä, käytetäänkö täysin hapettunutta pintahiekkaa vai vähän syvemmältä osittain hapettunutta hiekkaa. Testauksessa käytettävä arinakuona toimitetaan kohteelle urakoitsijan toimesta.

Tavoiteltava tieto: Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen rakenteessa. Arseenin pidentyminen Ni-rikHk kerrokseen sekä välikerroksena käytettävän arinakuonan vaikutus edelliseen (vertailukohtana pilottirakenne 3, joka eroaa rakenteesta 4 vain arinakuonakerroksen osalta).

Kerrokset ja niiden paksuudet:

- Inertti materiaali 0,1 m
- Kultarikastushiekka 0,2 m
- Arinakuona 0,1 m
- Nikkelirikastushiekka 0,2 m
- Inertti materiaali 0,1 m

#### 5.2.3.5 Pilottirakenne 5

Testattavat materiaalit: Kasvukerros, kalkittu Au-rikastushiekka, Au-rikastushiekka + Ni-rikastushiekka,

Tavoiteltava tieto: Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Muuttaako pH-tasoltaan nostettu Au-rikHk kasvukerroksen happaman ja vähähappisen veden pH:n korkeammaksi ja miten kokonaisuus vaikuttaa läpisuotautuvaan veteen.

Kerrokset ja niiden paksuudet:

- Kasvukerros 0,2 m
- Kultarikastushiekka +2- kalkki (5%) 0,2 m
- Kultarikastushiekka 0,2 m
- Nikkelirikastushiekka 0,2 m
- Inertti materiaali 0,1 m

### 5.2.3.6 Pilottirakenne 6

Testattavat materiaalit: Kasvukerros, LT-käsitelty Au-rikastushiekka, Au-rikastushiekka + Ni-rikastushiekka

Tavoiteltava tieto: Rinnakkaisrakenne pilottirakenteelle 5. Voidaanko Lentotuhkaa käyttää pH:n säätöön kalkin sijasta. Tuhka on kostutettua tuhkaa.

Kerrokset ja niiden paksuudet:

- Kasvukerros 0,2 m
- Kultarikastushiekka + lentotuhka (10%) 0,2 m
- Kultarikastushiekka 0,2 m
- Nikkelirikastushiekka 0,2 m
- Inertti materiaali 0,1 m

### 5.2.4 Vesinäytteiden keräys ja analysointi:

Kaikista koeastioista kerätään viikoittain vesinäyte, josta 2x0,5 l näyte pakastetaan. Ennen pakastusta määritettävät parametrit ovat pH, sähkönjohtavuus, happipitoisuus ja redox sekä kerätyn vesinäytteen määrä (l). Ennen pakastamista tehtävän näytteenoton ja analysoinnin tekee kaivoksen henkilökunta.

Jos kokoomanäytteitä analysoidaan kerran kuukaudessa kaikista koeastioista, saadaan vuoden näytemääräksi 12x6 kpl = 72 näytettä. Analysoitavaksi lähetettävät näytteet päätetään myöhemmin.

## 5.3 Kerättävä tieto

Pilottirakenteista kerätään tietoa sekä teknisistä- ja ympäristökelpoisuusominaisuuksista että materiaalien rakennettavuudesta tulevia suurempia rakentamiskokonaisuuksia varten.

### 5.3.1 Rakentamisen aikana koottava tieto

Tekninen:

- Materiaalien työstettävyyden, käytetyt menetelmät ja koneet
- tiivistystyömäärät ja niillä saavutetut tiheydet vrs. suunniteltu tiheys
- rakentamisen haasteet ja jatkossa huomioitavat seikat
- visuaalinen tarkastelu, halkeamat, pölyävyys, kuivuminen, väri, painuminen, valumajäljet
- koekappaleet: lujuus, vedenläpäisevyys
- rakennepaksuudet

Ympäristö:

- Sääolosuhteet: lämpötila, kosteus, sademäärät, pilvisuus → haihdunta

Muut:

- pölyävyys rakentamisen aikana (työsuojelu)
- materiaalien säilyvyys varastoinnin aikana, (varastoinnissa huomioon otettavat seikat)

-kuljetuksessa havaitut seikat

### 5.3.2 Rakentamisen jälkeen koottavat tiedot

Tekninen:

- visuaalinen tarkastelu: halkeamat, pölyävyys, kuivuminen, väri, painuminen & valumajäljet
- tiheys
- vedenläpäisevyys
- lujuus
- pitkäaikaistoimivuus

Ympäristö:

- sadeveden laatu (happi, sähkönjohtavuus, pH, redox) ja määrä
- lämpötila, kosteus, sademäärät, pilvisuus → haihdunta
- läpisuotautuvan veden määrän seuranta
- vesinäytteet mitataan tuoreeltaan (EC, pH ja redox) jonka jälkeen näytteet pakastetaan. Pakastetuista näytteistä muodostetaan myöhemmin kokoomanäytteitä, joiden kokoamistapa ja analysointi päätetään myöhemmin. Analysoidaan vähintään MARA-asetuksen mukaiset metallit, kloridi ja sulfaatti. Mahdollisesti myös syanidi osasta näytteitä.

Muut tutkittavat:

- Kultarikastushiekan kokonaispitoisuudet (syanidi?) ja liukoisuudet 2-vaiheinen ravistelutesti (mahd. syanidi, jos on havaittu kokonaisissa)
- Inertti karkea materiaali (kenttäkokeissa käytetty): Karkea hiekka tai sora (pesty ja seulottu sora 10-15 mm) liukoiset metallit (raekoko sellaisenaan), ph, EC,

## 6. SÄRKINIEMEN KAIVOKSEN JÄLKIHOITOTOIMENPITEET

Vulcan Kotalahti Oy:n omistamassa Särkiniemen nikkeli-kaivoksessa ei ole kaivostoimintaa tällä hetkellä. Kohdteen soveltuvuutta tarkasteltiin mahdollista UPACMIC-pilotointia varten. Kaivostoiminta alkoi Särkiniemessä Finn Nickel Oy:n toimesta vuonna 2007 ja keskeytyi vuoden 2008 lopulla, jonka jälkeen esimerkiksi avolouhos ja maanalainen vinotunneli ovat täyttyneet vedellä. Sivukiven ja maa-aineksen läjitysalue on maisemoitu.





**Kuva 8.** Särkiniemen kaivosalue.

Vuonna 2015 tehdyn ympäristöselvityksen mukaan kaikki Särkiniemen kaivoksen alueella sijaitsevat murskekasat luokitellaan happoa tuottaviksi kaivannaisjätteiksi ABA-testien tulosten perusteella. Murskenäytteiden haitta-ainepitoisuudet ylittivät kuparin, nikkelin ja kromin osalta VNA 214/2007 ns. PIMA-metalleille määritetyt ohjearvot. Myös asetuksessa määritellyt arseenin, koboltin ja vanadiinin kynnysarvot ylittyivät osassa näytteistä. Esi- ja jälkiselkeytsaltaista otetut sedimenttinäytteet ylittivät koboltin, kuparin ja nikkelin osalta PIMA-asetuksen ylemmät ohjearvot. Lisäksi jälkiselkeytsaltaan sedimentit ylittivät sinkin ylemmän ohjearvon. Arseenia ja kobolttia esiintyi yli asetuksen kynnysarvojen.

Näköhavaintojen perusteella Ollinsalmentien ja Särkiniementien rungoissa on käytetty Särkiniemen kaivoksen sivukivilouhetta ja -mursketta. Koska kaivosalueella olleet murskekasat ovat happoa tuottavia, on syytä epäillä, että myös tierungoissa käytetty sivukivilouhe ja -murske ovat happoa tuottavia. Särkiniementien varrella olleesta suolammesta otettu vesinäyte puoltaa kyseistä päätelmää. Suolammen vesi oli hapanta ja laboratorioanalyysit osoittivat, että veden mangaani-, nikkeli-, alumiini- ja sulfaattipitoisuudet olivat selvästi alueen luontaista taustaa korkeammat. Sen sijaan, järivedestä tai Ollinsalmen tilan talousvedestä ei tutkimuksissa löytynyt merkkejä kaivoksen vaikutuksesta.

Finn Nickel Oy:n vuonna 2008 tekemän maisemointisuunnitelman mukaisesti sivukivien läjitysalue olisi tullut muotoilla maisemoinnin yhteydessä niin, ettei alueen päälle muodostu vettä kerääviä painanteita. Elokuussa 2015 sivukiven ja maa-aineksen läjitysalueen pinnassa havaittiin reikiä, erityisesti alueen reunoilla. Läjitysalueen peite ei ole ehyt ja sadevettä valuu sivukivikasan sisään. Syyskuussa 2015 tehdyissä kairauksissa todettiin sivukivikasan peitekerroksen materiaaliksi moreeni sekä paksuudeksi lakialueella >1,5 m ja reunoilla 0,1-1 m. Rapautuneita kiviä esiintyi sekä kasan pinnalta aina 0,5 m syvyyteen asti. Sivukivikasan sisältä otetuissa kairausnäytteissä ei havaittu rapautuneita kiviä. Sivukivikasan kairausnäytteitä analysoitiin XRF-menetelmällä. Näytteissä esiintyi kohonneita haitta-ainepitoisuuksia erityisesti kromin, kuparin ja nikkelin osalta. Lisäksi XRF-tuloksissa havaittiin korkeita kokonaisrikkipitoisuuksia (>1 %), joiden perusteella sivukiven läjitysalueella voi olla varastoituna happoa tuottavia sivukiviä. Labtium Oy:n Kuopion laboratoriossa suoritettavat tarkemmat analyysit sivukivien hapontuottopotentiaaleista ovat vielä kesken.

Lisätietoja saatavilla ympäristöselvitysraportista (Ramboll Finland Oy 2015 Särkiniemen kaivosalueen ympäristöselvitys).

Kaivoksen jälkihoitamiseen suunniteltiin kolme erilaista vaihtoehtoa, joista kaksi vaihtoehtoa olisi hyödyntänyt uusiomateriaaleja rakenteissa. Seuraavassa kappaleessa on esitelty nämä kolme vaihtoehtoa. Jälkitoimenpiteiden pilotointi ei toteutunut rahoituksen puutteen vuoksi.

### 6.1 Jälkitoimenpiteiden pilottivaihtoehdot

Kaivoksen lähtötilanne. Kaivos on täyttynyt vedellä ja siitä vuotaa/suotautuu jossakin määrin ympäristöön happamia, metallipitoisia vesiä. Alueella on toiminnan tilapäiseen lopettamiseen liittyen maisemoitu 126 900 tonnia sivukiviä. Lupahakemuksen 2015 liitteenä olevasta hydrologisesta selvityksestä tuli ilmi, että on toimittu luvan vastaisesti, sillä maisemoitu sivukivi todettiin kuitenkin happoa tuottavaksi. Alueella on varastoituna luvan vastaisesti happoa muodostavia murskekasoja yhteensä n.12 000 tonnia. Uudessa vuonna 2016 aluehallintoviraston antamassa toiminnan lopettamista koskevassa luvassa on määräys sijoittaa happoa muodostavat sivukivet louhokseen. Lisäksi aikoinaan käytössä olleiden vesienkäsittelylaitaiden pohjalla on 1 400 m<sup>3</sup> ”pilaantuneita maa-aineksia”.

Kaivoksen jälkihoitamiseen suunniteltiin kolme erilaista vaihtoehtoa, joista kaksi vaihtoehtoa olisi hyödyntänyt uusiomateriaaleja rakenteissa. Seuraavassa kappaleessa on esitelty nämä kolme vaihtoehtoa. Jälkitoimenpiteiden pilotointi ei toteutunut rahoituksen puuttumisen vuoksi.

#### 6.1.1 Vaihtoehto 1

Tässä vaihtoehdossa pilaantuneet maa-ainekset ja sivukivi ja murske kuljetetaan takaisin louhokseen veden alle. Näin olisi estetty ilman aiheuttama hapettuminen. Täytön jälkeen kaivoksen suotovedet käsitellään joko aktiivisella tai passiivisella menetelmällä. Käsittelyä varten kaivoksen läheisyyteen pitäisi rakentaa uusi vedenkäsittelyallas.

Tämän toimenpiteen etuna on alhainen hinta, mutta vesienkäsittely voi tulla kalliiksi, mikäli sen tarve jatkuu pitkälle tulevaisuuteen. Suotovesien muodostuminen vain altaasta helpottaisi päästöjen hallintaa, sillä ei tarvitsisi huolehtia kuin yhden kohteen vesien puhdistamisesta. Tässä

vaihtoehdossa ei hyödynnetä uusiomateriaaleja kaivosteollisuudessa, joten tämän toimenpiteen toteutuessa se ei olisi osa UPACMIC hanketta.

#### 6.1.2 Vaihtoehto 2

Sivukivikasat peitetään nykyistä paremmin ja suotovedet ohjataan kaivokseen. Peiterakenne koostuisi tuhkasta ja moreenista tehdyllä seoksella, jonka ominaisuudet ovat nykyistä paremmat. Vesien ohjaus kasoilta vaatisi arviolta 300 m ojakaivannon, joka pitäisi myös eristää, jottei vesi suotautuisi ojasta maaperään.

Murskekasat siirrettäisiin tiivispohjarakenteen päälle, ja murske stabiloitaisiin ennen peittämistä. Tiiviin pohjarakenteen tarkoituksena on estää kasoista suotautuvan veden imeytyminen maaperään. Louhoksen vedet käsiteltäisiin joko passiivisesti tai aktiivisesti.

Tässä ratkaisussa kiven ja murskeen hapontuotanto vähenisi hapettuneen pintaosan neutralisoinnin ansiosta, silti olisi tarvetta vedenpuhdistukselle. Louhokselta suotautuva vesi on edelleen hyvin metallipitoista ja hapanta, joten sen puhdistaminen vaatii lähes yhtä järeitä menetelmiä kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa.

#### 6.1.3 Vaihtoehto 3

Murske ja sivukivi sekoitetaan siirtovaiheessa keskenään ennen kuin ne sekoitetaan tuhkaan tai jätekalkkiin. Tällöin kiviseos neutraloituu. Tämä seos siirretään louhokseen. Louhos voidaan joutua tyhjentämään ainakin osaksi vedestä ennen massan siirtoa, jottei hetkellisiä suuria virtauksia pääsisi muodostumaan. Massojen siirron jälkeen louhoksen vedenpinta nostettaisiin samalle tasolle kuin aikaisemmin. Neutralointimassat laskevat louhoksen veden pH:ta, joka myös vähentää veden puhdistuksen tarvetta alentuneen metallipitoisuuden vuoksi. Vedenkäsittely helpottuu massojen etukäteenneutralisoinnin ansiosta, joten passiivinen vedenkäsittelyratkaisu voisi soveltua kohteeseen. Passiivinen vedenkäsittely koostuisi reaktiivisesta kerroksesta, jonka läpi kulkiessa veden pH madaltuisi ja sen sisältämät metallit saostuisivat sakaksi altaan pohjalle. Muodostunut sakka voitaisiin kerätä altaan pohjalta ja viedä louhokseen. Myös loppuun kulunut mutta silti hieman aktiivinen vedenpuhdistusmateriaali voitaisiin siirtää louhokseen, jolloin sen koko potentiaali tulisi hyödynnettyksi. Vaihtoehdon 3 taustalla on ajatus, että olisi järkevämpää ja halvempaa neutraloida hapanta kiviainesta, kuin käsitellä siitä suotautuvaa vettä.

Tämän vaihtoehdon etuna on vähäisempi veden puhdistustarve massojen esineutralisoinnista johtuen. Huonona puolena on runsas massojen sekoittamisen tarve. Myös passiivinen vedenkäsittely vaatii lisätutkimusta ennen täysimittaista käyttöönottoa.

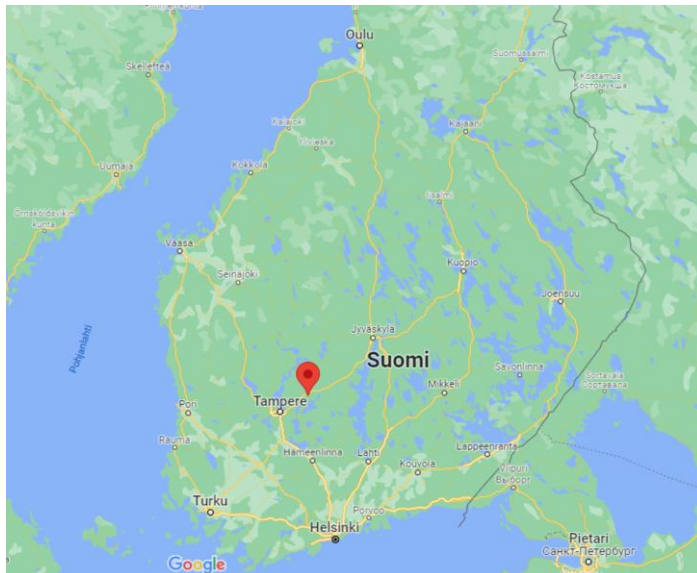
## 7. ORIVEDEN KAIVOKSEN SIVUKIVIALUEEN LAAJEN- NUS

UPACMIC hankkeen pohjarakenteen pilottikohteeksi tarkasteltiin Orivedellä sijaitsevan Dragon Mining Oy:n sivukivialueen laajennusta. Ramboll Finland Oy päivitti Dragon Mining Oy:n toimeksiantosta Oriveden kaivoksen sivukivialueen länsireunan laajennuksen yleissuunnitelman 23.5.2017 (viiteraportti *Dragon Mining Oy Oriveden kaivos: Sivukivialueen laajennuksen yleissuunnitelma, suunnitelmaselostus (5/2017)*). Päivitettyssä suunnitelmassa pohjarakenteen tiivistyskerroksen moreeni korvataan ns. kuitusavella, joka on peräisin Metsä Tissue Oyj:n Mäntän paperitehtaalta. Yleissuunnitelman päivittämisen yhteydessä nykyistä sivukivialuetta esitetään laajennettavaksi itään päin. Itäpuolinen laajennus on tarpeen länsireunan laajennusosan rakennussuunnittelun ja rakentamisen ajaksi. Laajennusten sijainnit on esitetty kuvissa 10 ja 11. Alkuperäisen yleissuunnittelun lähtökohtana oli Pirkanmaan ELY-keskuksen valvontakirjeessä 7.10.2014 esitetyt vaatimukset laajennusalueen pohjarakenteesta, vesien johtamisesta sekä käsittelystä ja tarkkailusta. Yleissuunnitelman päivittämisestä sekä nykyisen sivukivialueen laajentamisesta itään päin pidettiin 21.4.2017 palaveri Pirkanmaan ELY-keskuksen ja Dragon Mining Oy:n kanssa.

Pilottin tarkoituksena olisi ollut kuitusaven hyödyntäminen kaivosteollisuuden sivukivikasojen pohjarakenteissa. Tällöin olisi päästy pilotoimaan täydessä mittakaavassa aikaisemmin Hituraa varten tehdyissä kokeissa hyväksi havaittuja pohjarakenteita. Tämä pilotti ei kuitenkaan edennyt toteutukseen, sillä viranomaiset löysivät vuonna 2018 laittoman kaatopaikan kaivoksen hylätyistä tunneleista, minkä jälkeen kaivos suljettiin ja laajennusalueen tarve poistui.

### 7.1 Kaavaillun laajennusalueen sijainti

Dragon mining Oy omistaa kaivoksen Orivedellä Laajennus on suunniteltu sijaitsevan nykyisen sivukivi alueen länsipuolella. Sen ala on noin 0,5 ha. Alue on ainoa varteenotettava vaihtoehto laajennukselle nykyisen sivukivialueen läheisyydessä, sillä pohjoisessa vesienkäsittelyaltaat rajoittavat laajennusta. Toinen laajennettava suunta on itään päin mutta tämän laajennuksen ala on huomattavasti pienempi teiden aiheuttaman rajauksen vuoksi. Itäinen laajennusalue on tarpeen rakentaa käytettäväksi läntisten rakennustöiden ajaksi.



**Kuva 9.** Oriveden sijainti Suomen kartalla.



**Kuva 10.** Länsireunan laajennusalueen sijainti.

## 7.2 Rakennussuunnitelma

Länsireunan laajennusalue on rakennettua aluetta ja alueella on mm. vanhat louheella täytetyt avolouhokset, sakka-altaat ja vanha moreenipatorakenne kuvan 11 mukaisesti. Laajennusalueen luontainen vesien purkureitti on Ylä-Jalkajärven suuntaan kuvassa 11 esitetyn nuolen 6 mukaisesti.



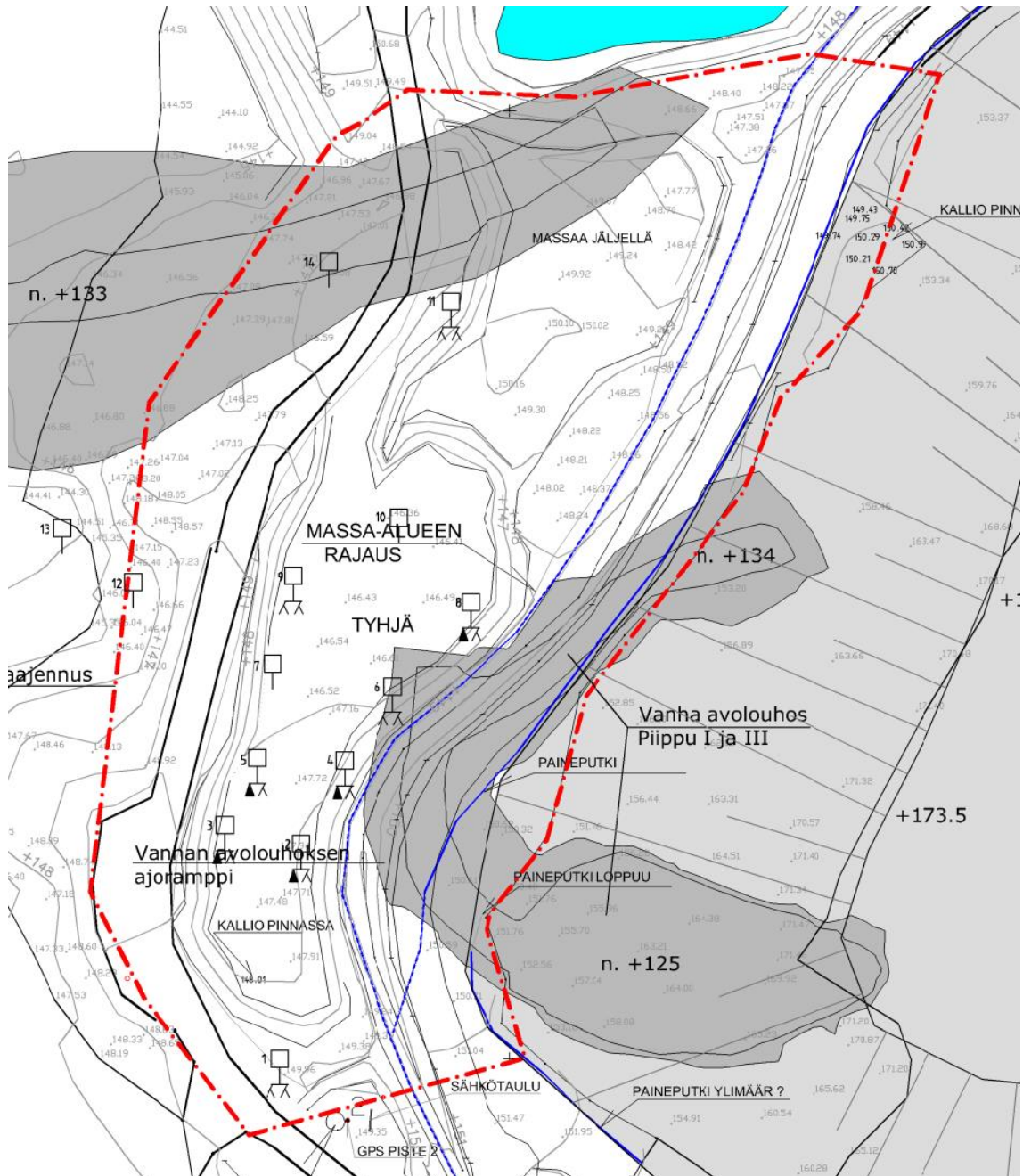
**Kuva 11.** Länsireunan laajennusalueella olevat rakenteet.

### 7.2.1 Kartoitus ja pohjatutkimukset

Länsireunan laajennusalue ja sen lähiympäristö kartoitettiin 12/2014 KKJ N60 mukaisessa koordinaattijärjestelmässä (N60 korkoihin lisättävä +0,31 m muutettaessa N2000- korkeusjärjestelmään). Ennen kartoitusta laajennusalueen sakka-altaat pyrittiin tyhjentämään. Kartoituksesta tehtiin maastomalli suunnittelua varten. Maastomalli yhdistettiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoon. Lisäksi kaivos-yhtiö luovutti mm. vanhojen kaivosten sijaintitiedot (x,y,z) kaivoksen koordinaatistossa. Aineistolle tehtiin koordinaattimuunnos ja ne mallinnettiin suunnittelua varten.

Maastonmuodoiltaan laajennusalue on maljamainen. Alin maanpinnan korkeusasema on alueen keskiosalla noin tasolla +146.5 nousten sivulle päin tasolle +148. Ala- ja Ylä-Jalkajärven vesipinnat ovat noin tasolla +142.5...+143.8.

Suunnittelun yhteydessä alueella tehtiin pohjatutkimuksia, jotta voitiin varmistua alueen maaperän soveltuvuudesta sivukivialueen laajennuksen rakentamiseen. Koska alueella on suoritettu erilaisia rakennustoimenpiteitä, valittiin tutkimusmenetelmäksi koekuopat. Koekuopat tehtiin sakka-altaiden tyhjentämisen jälkeen tammikuussa 2015. Koekuoppia tehtiin kaikkiaan 14 kpl. Koekuoppien sijainnit on esitetty kuvassa 12.



**Kuva 12.** Koekuoppien sijainti kartalla.

Koekuoppien ja kartoituksen perusteella alueen alueella on kalliota ja erilaisia täyttökerroksia. Tehdyt tutkimukset, maastokäynnin ja karttatarkastelun perusteella alueen maapohja on kantavaa ja se soveltuu sivukivialueen laajennuksen rakentamiseen.

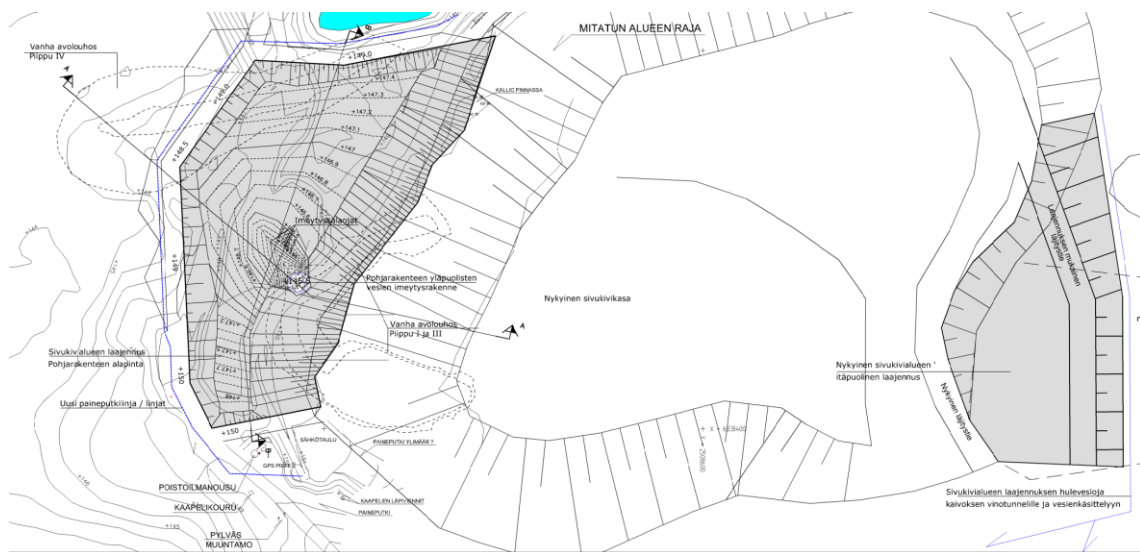
### 7.2.2 Pohjarakenteet sekä vesien keruu ja johtaminen

Suunnittelussa arvioitiin eri vaihtoehtoja, joilla vesien suotautuminen Ylä- ja Ala-Jalkajärven suuntaan voitaisiin estää. Vaihtoehtoina nousi esille:

- Pohjarakenne koko alueelle
- Patorakenne alueen ulkoreunalle

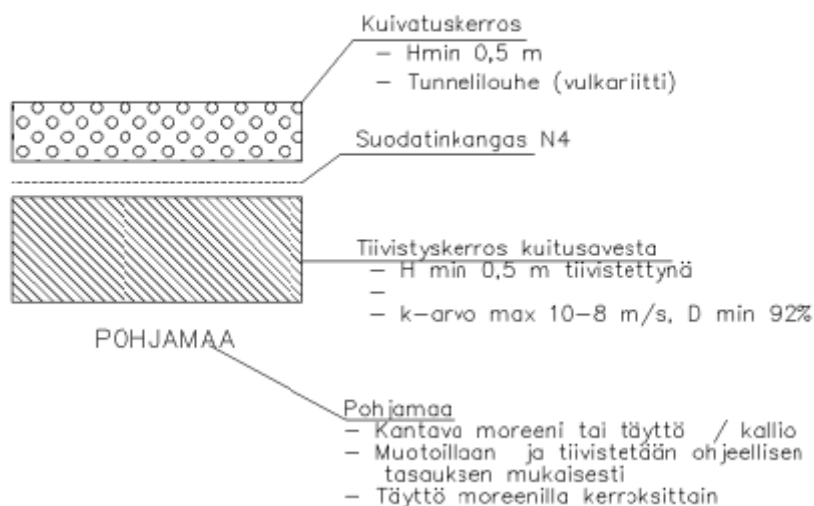
Vesien keruun ja johtamisen kannalta luotettavampana ja toteutuskelpoisempana pidettiin pohjarakenteen rakentamista koko laajennusalueen pohjalle. Alueen reunapenkereitä korotetaan, jotta alueesta saadaan maljamainen ja vesien johtuminen laajennusalueen ulkopuolelle voidaan estää.

Suunnitelmapiirustuksessa kuvassa 13 on esitetty alueen pohjan ohjeellinen tasaus. Pohjan kaltevuus on vähintään 1 %. Tasauksen mukaan alueelle saadaan riittävät kaadot alueen keskelle sisäisten vesien keruuta ja johtamista varten. Lisäksi kuitusavi, jonka vedenläpäisevyys on moreenia huomattavasti alhaisempi, estää tehokkaasti vesien imeytymistä pohjarakenteen läpi.



**Kuva 13.** Suunnitelmapiirustus ohjan tasauksesta.

#### SIVUKIVIALUEEN LÄNSIREUNAN LAAJENNUKSEN POHJARAKENNE



**Kuva 14.** Suunniteltu pohjarakenne.

Suunniteltu pohjarakenne on esitetty kuvassa 14 ja se on alhaalta ylöspäin lueteltuna:

- Pohjan muotoilu
- Tiivistyskerros kuitusavesta, paksuus  $H_{\min} > 0,5$  m (ennen kuormitusta noin 1 m)



-Suodatinkangas N4

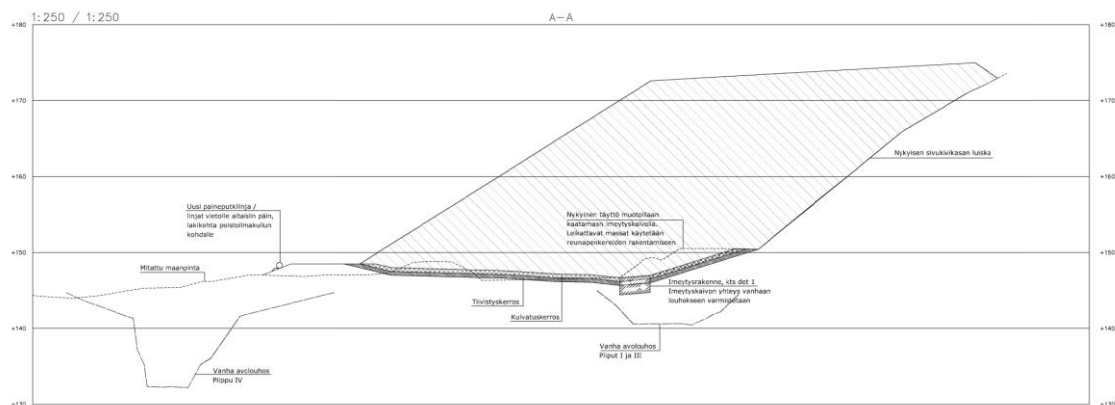
-Kuivatuskerros  $H_{\min}$  0,5 m tunnelilouheesta (vulkaniitti)

Tiivistyskerros esitetään rakennettavaksi kuitusavesta. Lopullisen tiivistetyn kerroksen paksuus tulee olla vähintään 0,5 m. Kuitusaven vedenläpäisevyys on tunnetusti  $1 \times 10^{-8}$  m/s tai pienempi. Kuitusavesta rakennettaessa tiivistyskerroksesta saadaan huomattavasti aiemmin esitettyä moreenirakennetta tiiviimpi. Aiemmin suunnitellun moreenikerroksen vedenläpäisevyydeksi esitettiin  $1 \times 10^{-6}$ , mikä vastaa tyypillistä Suomessa patorakentamisessa käytetyn moreenin vedenjohtavuutta. Pohjarakenteen vedenpaine on kuivatuskerroksen johdosta pieni ja täten myös läpi suotautuva vesimäärä jää vähäiseksi. Rakenteeseen käytettävän kuitusaven laatu varmistetaan etukäteen.

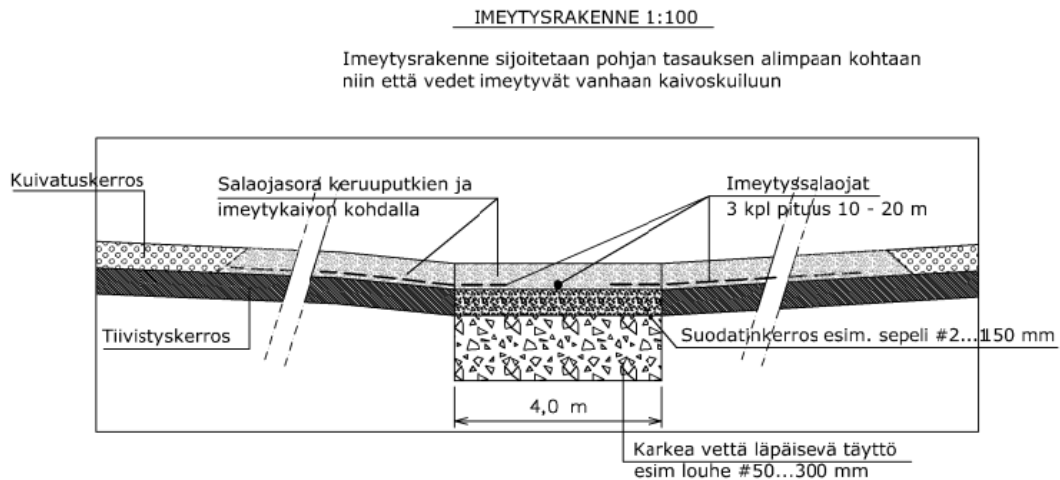
Kuitusavesta rakennettavan tiivistyskerroksen vaihtoehtona on sen rakentaminen ohuena teknisenä rakenteena, mutta ko. tyyppisten rakenteiden toimintaan liittyy riskejä ja ne ovat vaurioherkkiä. Kuitusavea on käytetty Suomessa yleisesti muun muassa kaatopaikkojen sekä läjitysalueiden pohja- ja pintarakenteissa tiivistyskerroksena. Oikein toteutettuna kuitusavirakenteesta saadaan hyvin tiivis ja vettä pidättävä.

Laajennusalueen sisäiset vedet kerätään pintakallistuksilla alueen alimpaan kohtaan, josta ne imeytetään vanhaan louhokseen (piiput I ja III). Kaivoksen vuosikertomusten perusteella piipuista I ja III on yhteys maanalaiseen louhokseen. Tämä näkyy keväisin myös lisääntyvänä vuotona kaivokseen ko. yhteyksien alueella.

Imeytysrakenne on esitetty kuvissa 15 ja 16. Imeytyskaivon kohdalla kuivatuskerros rakennetaan salaojatorasta koko kaivon alueelle. Kuivatuskerroksen vesien imeytyminen kaivoon varmistetaan rakennettavilla keruusalaojilla, jotka ympäröidään salaojatoralla.



**Kuva 15.** Piirustus kaivonsijainnista kuivatuskerrokseen nähden.



**Kuva 16.** Tarkempi kuvaus imeytysrakenteesta.

### 7.3 Tarkkailuohjelma

Läntisen laajennusalueen vesien keräyksen toimivuus on varmistettava tarkkailulla. Tarkkailun toteuttamiseksi laajennusalueen ja Ylä-Jalkajärven väliin esitetään asennettavaksi pohjaveden havaintoputki (ks. piirustus 04). Asennetusta pohjavesiputkesta laaditaan asianmukaiset putkikortit.

Pohjaveden osalta pinnankorkeudet esitetään mitattavaksi neljä kertaa vuodessa ja veden laatu kaksi kertaa vuodessa. Pohjaveden pinnantasot mitataan näytteenoton yhteydessä. Ensimmäinen näytteenotto tulee suorittaa ennen laajennusalueen käyttöönottoa. Näytteet otetaan pumppamalla. Näytteenoton aikaiset havainnot pohjaveden laadusta ja pumppauksesta merkitään näytteenottopöytäkirjaan. Vedestä esitetään analysoitavaksi: Lämpötila, pH, sähkönjohtavuus, sameus, COD, DOC, happi, kiintoaine, Kokonaistyyppi N,  $SO^4$ , Cl, Na, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, U, Zn ja Cr. Näiden lisäksi uraani U analysoidaan kahdella näytteenotokerralla, ennen laajennusalueen käyttöönottoa ja kertaalleen toiminnan aloittamisen jälkeen.

Lisäksi pintaveden tarkkailu esitetään toteutettavaksi Ylä-Jalkajärvestä kaivoksen nykyisen tarkkailuohjelman mukaisesta pisteestä (asema 0). Pintaveden osalta tarkkailun tiheys ja analyysivalikoima esitetään pidettäväksi nykyisellään.

### 7.4 Rakentaminen ja käyttö

Länsireunan laajennusalueen rakentamisesta tulee laatia rakennussuunnitelmat ennen töiden aloitusta. Rakennussuunnitelmat tulee toimittaa sovitusti Pirkanmaan ELY-keskukselle ennen rakentamisen aloittamista.

Tiivistyskerrosten rakentaminen on tehtävä sulan maan aikana ja tämä on huomioitava rakennusaikataulua suunniteltaessa. Rakennusaika on arviolta 1-2 kuukautta. Laajennusalueen täyttämässä on huomioitava pohjarakenne ja täyttö on suositeltavaa tehdä kerrospengerryksenä eikä nykyisen sivukivikasan korkuisena päätypenkereenä. Rakenteen stabiliteetti on varmistettava laskelein rakennussuunnittelun yhteydessä.

## 8. PYHÄSALMEN KAIVOKSEN SÄILIÖKOKEET

Säiliökokeiden tarkoituksena oli selvittää, miten erilaiset rakenteet toimivat rikastushiekka-altaiden peittämishankkeissa ja kuinka niillä voidaan vaikuttaa suotautuvan veden laatuun ja määrään.

Rikastushiekka on malmin rikastuksessa syntyvää jätettä, jonka määrään vaikuttavat rikastettava malmi ja rikastusprosessin tehokkuus. Suomen kaivosteollisuudessa rikastushiekkaa muodostuu yhteensä noin 15–20 miljoona tonnia vuodessa. Rikastusprosesseissa muodostuva hiekka kuljetetaan vesilietteenä yleensä purkuputkia pitkin padottuihin rikastushiekka-altaisiin, joita Suomessa oli vuonna 2015 yhteensä 47 kappaletta. Altaat ovat 1–900 ha kokoisia ja niiden tilavuudet vaihtelevat 10 000 – 100 000 000 m<sup>3</sup> välillä.

Rikastushiekka-altaan täytyessä ja kaivostoiminnan loppuessa rikastushiekka-altaisiin tulee rakentaa pintarakenteet. Koska rikastushiekka-altaat ovat laajoja alueita, altain pintarakenteisiin tarvitaan suuret määrät erilaisia peitemateriaaleja. Esimerkiksi Pyhäsalmen kaivoksen rikastushiekka-altaiden pintarakenteisiin tarvittavien materiaalin kokonaismäärä on arvioitu olevan lähes 600 000 m<sup>3</sup>, kun suljettavan alueen kokonaispinta-ala on noin 65 hehtaaria. Materiaalimäärät ovat niin suuria, että kaivosten arvioiduista sulkemiskustannuksista jopa puolet voi syntyä rikastushiekka-altaiden sulkemiseen tarvittavista materiaaleista ja niiden logistiikasta. Suurten kustannusten lisäksi huolenaiheena on neitseellisten luonnonmateriaalien kuluminen, sillä pintarakenteissa käytetään usein luonnonmateriaaleja kuten moreenia. Tavoitteena olisikin luonnonmateriaalien ja geosynteettisten kalvojen korvaaminen ja jalostaminen kaivosten omilla massoilla sekä hyödynnettävissä olevilla teollisuuden sivutuotteilla, joita teollisuudessa syntyy huomattavia määriä. Esimerkiksi Suomen energianpolttoprosesseissa syntyy vuosittain arviolta 1,5 miljoona tonnia tuhkaa. Tuhkien lisäksi hyödynnettävissä olevia sivutuotteita syntyy muun muassa paperi-, valimo- ja kemianteollisuudessa.

UPACMIC-hankkeessa tutkittavat uusiomateriaalit ovat energianpolttoprosessien tuhkat, kipsi, valimohiekka ja kuitusavi. Näistä tuhkan ja kipsin, sekä kaivosalueen omien materiaalien kuten moreenin ja rikastushiekan hyödyntämistä rikastushiekka-altaiden pintarakenteissa tutkittiin Pyhäsalmen kaivoksen alueella säiliökokeilla, joita varten rakennettiin todellisiin olosuhteisiin mahdollisimman lähelle todellisuutta mukailevat pilottirakenteet. Pyhäsalmen kaivoksen pilottirakenteissa hyödynnettiin Hituran materiaaleilla tehtyjen materiaalitutkimusten tuloksia, jotka ovat tarkemmin nähtävillä raportissa A3. Kanadalaisen konsulttifirman (KCB) Pyhäsalmen kaivokselle tekemiä tutkimussuunnitelmia hyödynnettiin pilottirakenteiden kerrosten suunnittelussa. Tässä raportissa kerrotaan vain pilottisuunnitelmasta, jonka pohjalta toteutuneen pilotin rakentamien käsitellään raportissa B1.

Pilottirakenne koostui sylinteristä, johon kerrostettiin tutkittavia materiaaleja, sekä lysimetristä. Pilotin rakentaminen suoritettiin Pyhäsalmen kaivoksella keväällä 2016. Materiaalin läpisuotautuva vesi kerättiin lysimetrillä ja veden sisältämät haitta-aineet analysoitiin. Seuranta toteutettiin aikavälillä 5/2016 – 8/2017. Rakenteet purettiin syksyllä 2019.

Tavoitteena pilotissa oli löytää mahdollisimman hyvät ja toimintavarmat uusiomateriaalisovellukset, joiden hyödyntämisellä saavutettaisiin ympäristöllisiä ja taloudellisia hyötyjä, vähentää

luonnonmateriaalien kulutusta, pienentää altaiden sulkemiskustannuksia sekä tehostaa teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttöä.

### 8.1 Säiliökokeiden suorituspaikka

Pilotin rakentaminen toteutettiin Pyhäsalmen kaivoksen alueella 9.–16.5.2016. Pilotti suoritettiin 10 m<sup>3</sup> kokoisina säiliötesteinä, joita tehtiin yhteensä 10 kpl. Tavoitteena oli selvittää aiemmin UPACMIC- hankkeen puitteissa sekä kanadalaisen konsultin (KCB) toimesta testattujen materiaa- lratkaisujen toimivuutta käytännön olosuhteissa. Testauksen painopisteenä oli valittujen materiaali- / rakenneratkaisujen vedenläpäisy- ja liukoisuusominaisuuksista jo olemassa olevan labora- toriotutkimustiedon täydentäminen mm. suotautuvan veden laadun seuraamisella. Pilotin rakenta- misen yhteydessä kiinnitettiin huomiota materiaalien käsiteltävyyteen, sekoittamiseen ja tiivistä- miseen. Koetoimintaan valittiin laboratoriossa testatuista materiaaleista tilaajan kannalta kiinnos- tavimmat ratkaisut ja ne, joista tarvitaan lisätietoa mahdollisesti myöhemmin Pyhäsalmeilla toteu- tettavien laajempien pilottirakenteiden suunnittelua varten.

Pilottirakentaminen toteutettiin Pyhäsalmi Mine Oy:n alueella ja rakentamisen yhdyshenkilönä hei- dän osaltaan toimii Maria Hänninen. Suomen Maastorakentajat Oy vastasi rakentamisesta ja siihen liittyvistä kalustoista ja materiaaleista. Teknisistä ohjeista, laadunvalvonnasta, raportoinnista ja ohjeistamisesta vastaa Ramboll Finland Oy. Ramboll Finland Oy:ssä projektipäällikkönä toimii Harri Jyrävä. Koetoiminnan toteuttamisen periaatteiden suunnittelu ja pilottirakentamisen ohjeistus sekä laadunvalvontatyöt on toteutettu pääosin Noora Karjalaisen ja Merja Autiolan (Ramboll) toimesta Harri Jyrävän ohjaamana.

Säiliökokeiden paikaksi valittiin Pyhäsalmen kaivosalueelta kohta, jonne säiliöt pystytettiin sijoitta- maan helposti seurattavaan paikkaan, jatkuvan seurannan alaiseksi. Kuvaan 17 on merkitty säi- liötestien sijainti punaisella pisteellä. Alue sijaitsee rikastushiekka-altaiden välittömässä läheisyy- dessä.



**Kuva 17.** Säiliöiden sijainti Pyhäsalmen kaivoksella.

Pilottirakennelma purettiin marraskuussa 2019. Purkamisen yhteydessä otettiin lukuisia maanäytteitä eri kerroksista ja paksummista kerroksista noin 20 cm välein näytteet, jotka analysoitiin.

## 8.2 Säiliökokeissa käytettävät materiaalit

Säiliökokeissa käytettävät materiaalit ovat eri erää kuin aiemmin Hituran kaivoksen suunniteltuihin pilotteihin tehdyissä laboratoriokokeissa ja ovat siten ominaisuuksiltaan jonkin verran erilaisia. Tästä syystä rakentamisessa käytettävien materiaalien vesipitoisuudet ja tavoiteteiheydet tulee tarkastaa ennen rakentamisen aloittamista. Lisäksi jokaisesta materiaalista otetaan vähintään 3 litran näyte myöhempiä laboratoriotutkimuksia varten.

Päämateriaalina kaikissa pilottirakenteissa käytetään Pyhäsalmen kaivoksen rikastushiekkaa (hieno ja karkea). Materiaalien tunnetut ominaisuudet on esitetty materiaalitestauksen koontiraportissa *A3 Final technical report*, joten niitä ei käydä tarkemmin tässä raportissa läpi.

### 8.2.1.1 Inertti kiviaines

Jokaisen säiliön alimmaiseksi kerrokseksi rakennetaan 0,2 m kerros hyvin läpäisevästä "inertistä" kiviaineksesta. Kiviaineksen suositeltava raekoko on 10-15 mm ja kiviaineksen tulee olla pestyä ja mahdollisuuksien mukaan luonnon soraa vastaavaa. Myös murskattu kiviaines käy, mutta räjähdysainejäämien vuoksi kalliokiviaineksen käyttöä tulee välttää. Tässä tapauksessa Pyhäsalmen kaivoksen kiviaineista ei käytetä, sillä se voi sisältää räjähdysainejäämiä. Materiaalivalinnan tekee Suomen Maastorakentajat. Inertti maa-aines säiliön pohjalla toimii suodatinkerroksena, joka ohjaa veden rakenteesta pois.

#### 8.2.1.2 Rikastushiekka

Säiliötesteissä käytettävät rikastushiekat tulee Pyhäsalmen kaivokselta. Hyödynnettävät rikastushiekat on suositeltavaa kaivaa ja kasata aumoihin, jolloin se kuivuu jonkin verran ennen käyttöä. Tällöin materiaalien käsittely ja tiivistäminen on helpompaa. Huomioitavaa on, että aumatut rikastushiekat altistuvat hapettumiselle. Säiliötesteissä käytetään kahta erilaista rikastushiekkaa, karkeaa ( $10^{-7}$  m/s) ja hienoa ( $10^{-9}$  m/s).

#### 8.2.1.3 Tuhka

Säiliötesteissä käytettävä tuhka tulee Oulun Energialta. Tuhkan pitää olla tuoretta ja kostutettua, tiivistetty kasatuhka ei sovellu testaukseen. Tuhka kostutetaan laitoksella noin 15% vesipitoisuuteen (veden määrä kuivamassasta). Veden lisääminen tapahtuu tuottajien toimesta. Tuhkakerros toimii rakenteissa reaktiivisena kerroksena, jonka läpi suotautuvan veden pH oletettavasti muuttuu. Säiliötesteihin tuhkakerros tiivistetään kevyesti.

#### 8.2.1.4 Moreeni

Säiliötesteissä käytettävä moreeni on paikallista moreenia. Rakentamisen yhteydessä moreenin rakeisuus on huomioitava. Maksimi raekoko on 60-80 mm. Suuret kivet poistetaan esimerkiksi välpällä tai seulakauhalla.

#### 8.2.1.5 Kipsi

Kipsi tulee Yaran Siilinjärven varastoalueella valmiiksi olevasta kipsikasasta, jossa kipsin on hieman kuivempaa kuin suoraan prosessista otettuna. Kipsi tulee olla alle 12 kuukautta varastoitua kipsiä. Kipsin vesipitoisuus ja määrät tarkistetaan ja tarkentuvat kentällä. Kenttäkokeiden aikana kipsin työstettävyyttä on huomioitava (sekoitus, kosteus). Maastorakentajat vastaavat materiaalin homogeenisuudesta.

#### 8.2.1.6 Kasvukerros

Kaikkiin pilottirakenteisiin tulee kasvukerros lukuun ottamatta pilottirakenteita 5 ja 8. Kasvukerros materiaalina käytetään paikallisen yrittäjän, Rönkön Puutarhan nurmikkomultaa. Huomioitavaa on, ettei kypsytysvaiheessa oleva kompostimulta sovellu tähän tarkoitukseen.

#### 8.2.1.7 Siirtonurmi

Kaikkiin pilottirakenteisiin tulee siirtonurmi lukuun ottamatta pilottirakenteita 5 ja 8.

#### 8.2.1.8 Suodatinkangas

Inertin materiaalin ja varsinaisten rakennekerrosten väliin tulee suodatinkangas estämään hienompien materiaalien sekoittumisen inerttiin kerrokseen. Kangas tulee leikata ympyrän muotoiseksi eikä kangasta voi nostaa yli 20 cm ylemmäs säiliön reunoille, sillä suodatinkangas voi muodostaa veden virtauskanavan säiliön reunoille, mikäli kangas nousee säiliön reunassa liian ylös.

Kankaan tarve, kun kangas leikataan säiliön pohjan kanssa samankokoiseksi. Säiliön pinta-alan ollessa  $4,52\text{m}^2$  (ympyrä), on tarvittavan kankaan pinta-ala neliön muodossa  $5,76\text{ m}^2$ . Kun kangasta nostetaan maksimissaan 20 cm säiliön laidoille (ympyrän  $d= 2,8\text{cm}$ ), on kankaan pinta-ala neliön muodossa  $2,8\text{m} * 2,8\text{m} = 7,84\text{ m}^2$  ja 10 säiliön pinta-ala =  $10 * 7,84\text{ m}^2 = 78,4\text{ m}^2$ .

### 8.2.2 Materiaalien määrä

Tarvittavat arvioidut materiaalmäärät on esitetty taulukossa 10. Materiaalimäärissä on otettu huomioon 20 % lisämateriaalitarve siltä varalta, että rakennekerroksia joudutaan työn aikana uusimaan. Esitetyn moreenin lisäksi, moreenia tarvitaan suuri määrä suojarakenteisiin (kuva 24 s. 56).

**Taulukko 10.** Arvioidut materiaalmäärät (Huom! arvioita).

<b>Materiaali määrät</b>	<b>kuivamassa [t]</b>	<b>arvioitu vesipitoisuus [%]</b>	<b>märkämassa [t]</b>
moreeni		8	12
Rikastushiekka (hieno)	81		95
Rikastushiekka (karkea)	56		66
kipsi	8,2	20-30	11
tuhka	2	15	2,5
kasvukerros	Ei tietoa	Ei tietoa	Ei tietoa
inertti maa-aines	Ei tietoa	Ei tietoa	Ei tietoa

**Taulukko 11.** Muut materiaalit.

<b>Muut materiaalit</b>	<b>määrä</b>	<b>yksikkö</b>
Siirtonurmi	n. 40	$\text{m}^2$
Suodatinkangas	70- 95	$\text{m}^2$
Säiliöt ( $10\text{m}^3$ )	10	kpl
Mikrolysimetri	2	kpl
Lysimetrit	10	kpl
Lysimetrikaivot	10	kpl
Pintavaluntakaivo	10	kpl
Pohjakaivo	20	kpl
Styrox- kannet+ sisäkannet	30	kpl
putket (+suoja-putket)	30	kpl
näytepullo (0,1 l)	n. 280	kpl
näytepullot (0,25 l)	n. 280	kpl
näytepullot ( 0,5 l)	150	kpl

### 8.3 Materiaalien kuljetus

Pääosa materiaalikuljetuksista voidaan hoitaa normaalia avolavakalustoa käyttäen, kunhan huolehditaan kuormien peittämisestä pressuin. Massojen kuljetukset on pyrittävä järjestämään pilot-tirakentamisen aikataulutukseen nivoutuen, tarvittaessa vaiheistettuna ja pyrkien minimoimaan lyhytaikainen varastointitarve sekä lähtöpäässä että käyttöpaikalla. Lyhyen, muutaman päivän mittaisen, välivarastoinnin yhteydessä ei ole tarvetta välivarastokasojen suojaamiselle muutoin kuin kuivien sideaineiden osalta.

Tarvittaessa Pyhäsalmi Mine Oy osoittaa varastointipaikan tuotaville massoille. Urakoitsijan on varauduttava tarvittaessa parantamaan välivarastoalueen kantavuutta esim. murskekerroksella. Materiaalit kannattaa pyrkiä läjittämään mahdollisimman lähelle pilottirakentamispaikkaa, jossa pilottirakenteissa käytettävät massat valmistetaan. Herkimmät materiaalit, kuten tuhka ja kipsi on syytä läjittää esimerkiksi pressun päälle.

Kuljetuksessa tulee ottaa huomioon materiaalien mahdollinen pölyäminen. Kippausvaiheessa on huomioitava ympäristö ja kippausuunta. Suunta tulee valita niin, ettei koesäiliöt likaannu pölyämisen seurauksena. Etenkin tuhkaa kipatessa tulee olla huolellinen. Vaikka tuhka toimitetaan paikankäälle kostutettuna, voi se aiheuttaa pölyämistä kuorman purkuvaiheessa.

### 8.4 Materiaalit / Välineet

Tässä kappaleessa esitellään säiliökokeissa tarvittavia välineitä. Rakentamisesta, kalustosta ja rakentamiseen liittyvistä välineistä vastaa Suomen Maastorakentajat Oy.

#### 8.4.1 Säiliöt

Säiliökokeissa käytettävät säiliöt (10kpl) ovat 10 m<sup>3</sup> kokoisia kuvan 18 mukaisia säiliöitä. Säiliöt on valmistettu polyeteenista (PE). Astioiden korkeus on 2,2 m. Sisähalkaisija on 2,4 m ja ulkohalkaisija 2,6 m. Säiliöt ovat muodoltaan sylinterimäisiä. Muoto tulee ottaa huomioon muun muassa materiaaleja tiivistäessä. Materiaalien tiivistäminen astioiden reunoille voidaan tehdä esimerkiksi tömpän avulla.



LAITETIEDOT	
Rungon halkaisija (mm)	2400/2592
Kokonaiskorkeus (mm)	2200
Tukijalat (kpl)	8
Nostorivat (kpl)	2
Yläreunus (mm)	10
Sisäpuoli PE-levy (mm)	6

**Kuva 18.** PE-säiliö jota kaavaillaan säiliöiksi pilottiin.



Testipaikaksi on valittu Pyhäsalmen kaivosalue, jossa säiliöt voidaan sijoittaa helposti seurattavaan paikkaan ja jatkuvan seurannan alaiseksi. Säiliöt sijoitetaan taivasalle, paikkaan jossa ne ovat alttiina säätilojen vaihteluille.

Jokaiseen koesäiliöön tulee 3 vedenpoistoputkea (pintavalunta, lysimetri, säiliön pohja). Koeastioihin tulee porata putkien halkaisijan kokoiset reiät, joihin putket asennetaan. Liitosten tulee olla tiiviitä, jottei vesivuotoja pääse tapahtumaan putken ulkopuolelta.

#### 8.4.2 Poistoputket

Säiliötesteissä tarvitaan yhteensä 30 kpl putkea, 3kpl per säiliö. Putkien kautta suotautuneet vedet ja ylimääräiset pintavedet johdetaan keräilykaivoihin.

Kaikkien materiaalit on oltava sellaisia, ettei niistä liukene seuranta haittaavia komponentteja kerättäviin vesinäytteisiin. Poistoputkien ympärille olisi hyvä asentaa suojaputket estämään mahdollisia litistymiä ja vaurioita.

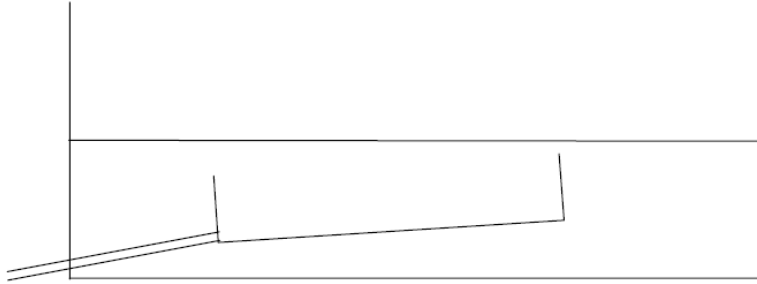
#### 8.4.3 Pintavesikaivo

Mahdollista runsaampaa, pintaan seisomaan jäävää vettä varten asennetaan poistoputki siirtonurmen yläpintaan. Siirtonurmen ja kasvukerroksen puuttuessa, poistoputki asennetaan ylimmän kerroksen yläpuolelle.

Mikäli rakenteen pintaan ei kerry seisovaa vettä, vaan vesi suotautuu ongelmitta rakenteeseen, putki tukitaan. Lähtöoletuksena poistoputki tukitaan ja avaustarvetta harkitaan myöhemmin. Poistoputken mahdollista avausta ja runsaampaa vesimäärää varten poistoputken päähän asennetaan pintavesikaivo, johon ylimääräinen pintavalunta kerätään. Pintavesikaivo voi olla pieni, sillä oletuksena on, että pintavalunta on pientä.

#### 8.4.4 Lysimetrit

Kaikkien astioiden inerttikerrokseen tulee lysimetrit (kuva 19), joiden avulla rakenteen läpi suotautuvaa vettä kerätään talteen seuraten sekä läpi suotautuvan veden määrää että laatua. Lysimetrin keräämä vesi johdetaan astioiden ulkopuolelle sijoitettaviin lysimetrikaivoihin, joita käyttäen suotovesien määrä- ja laatuseuranta toteutetaan.



**Kuva 19.** Säiliökokeen lysimetrin periaatekuva.

Lysimetrit ovat pinta-alaltaan 0,5-0,75m<sup>2</sup>, astioiden muodoilla ei ole merkitystä. Lysimetrin maksimikorkeus on 10 cm, jotta lysimetri mahtuu kallistumaan riittävästi inerttikerroksessa.

Kaikkien lysimetrien materiaalit (lysimetriallas, putket, liitokset, mittakaivot sekä lysimetrialtaan sisälle tuleva materiaali) on oltava sellaisia, ettei niistä liukene seurantaan haittaavia komponentteja kerättäviin vesinäytteisiin. Esim. Polypropeeni (PP) ja polyeteeni (PE) sopivat käytettäväksi lysimetrirakenteissa.

#### 8.4.5 Lysimetrikaivot

Lysimetrien keräämä vesi johdetaan altaiden ulkopuolelle sijoitettaviin lysimetrikaivoihin, joita käyttäen suotovesien määrä- ja laatusuranta toteutetaan. Lysimetrikaivot täytyy asentaa siten, että tuloputkeen saadaan riittävä kallistus, vesimäärämittaus on mahdollista suorittaa ja niin, että kaivojen tyhjentäminen sekä näytteenotto ovat helposti toteutettavissa.

Kokeen aikana tarvittavat vesinäytteet ja rakenteen läpi suotatutuneet vesimäärät otetaan ja mitataan lysimetrikaivoista manuaalisesti. Vesimäärän mittaamiseen voidaan käyttää apuna esimerkiksi mittatikkuja. Lysimetrikaivot on rakenteeltaan kuvan 20 mukainen. Kuva ei ole oikeassa mittakaavassa.



**Kuva 20.** Lysimetrikaivo, ei mittakaavassa.

Lysimetrikaivon koon valintaan vaikuttavat tekijät:

- Lysimetrin pinta-ala: 0,5–0,75 m<sup>2</sup>

→ Maksimi vesimäärä, joka suotautuu kuukauden aikana rakenteen läpi ( $37 \text{ l/m}^2 * 0,5\text{m}^2$  ---  $37 \text{ l/m}^2 * 0,75\text{m}^2$ ) = 18,5–27,8 litraa /kk.

→ Maksimi vesimäärä viikossa 4,6 – 6,95 litraa /viikko.

→ Suositeltava astiakoko **n. 20 l.**

Lysimetrikaivo asennetaan niin, että sen yläpinta on hieman maanpintaa korkeammalla. Näin pintavedet eivät pääse valumaan kaivoon. Astioissa tulee olla kannet sadeveden ja roskien pääsyn estämiseksi. Talven ajaksi kaivoihin asennetaan lisäksi esim. styrox-kannet estämään vesien jäätyminen.

#### 8.4.6 Pohjakaivot

Pilottirakenteiden läpi suotautuneet vedet johdetaan astioiden pohjasta vieressä oleviin keräilykaivoihin. Jokaisella pilottirakenteella on omat keräilykaivot, joista suotautuneet vesimäärät mitataan manuaalisesti esim. mittatikun avulla. Pohjakaivo on kuvan 4 mukainen kaivo. Astioissa tulee olla kannet sadeveden ja roskien pääsyn estämiseksi. Talven ajaksi kaivoihin asennetaan lisäksi esim. styrox-kannet estämään vesien jäätyminen.

Pohjakaivoista otetaan vesinäytteitä vain tapauksissa, jolloin lysimetrikaivoon ei ole suotautunut riittävästi vettä näytteitä varten. Mutta alustavasti kaikki vesinäytteet otetaan lysimetrikaivoista.

Pohjakaivon koon valintaan vaikuttavat tekijät:

Suotautuvan veden pinta-ala = 3,75 – 4,0m<sup>2</sup>

→ Maksimi vesimäärä kuukaudessa ( $37\text{l/m}^2 * 3,75$  ---  $37\text{l/m}^2 * 4$ ) = 139 – 148 litraa/kk

→ Maksimi vesimäärä viikossa = 35 – 37 litraa/vk

→ Suositeltava astiakoko **n. 100 l.**

#### 8.4.7 Mikrolysimetri

Pilottirakenteiden läheisyyteen (moreenipenkkaan) asennetaan kaksi mikrolysimetriä, toinen täytetään kasvukerrosmaalilla, toinen hienolla rikastushiekalla. Haihduntaseuranta tehdään punnitsemalla astiat aina näytteenoton yhteydessä. Kuvassa 21 on esitetty mikrolysimetrin toimintaperiaate, mutta yksinkertaisimmillaan mikrolysimetri voidaan rakentaa kahdesta erikokoisesta ämpäristä, kuten esimerkiksi 8 ja 10 litran ämpäreistä.

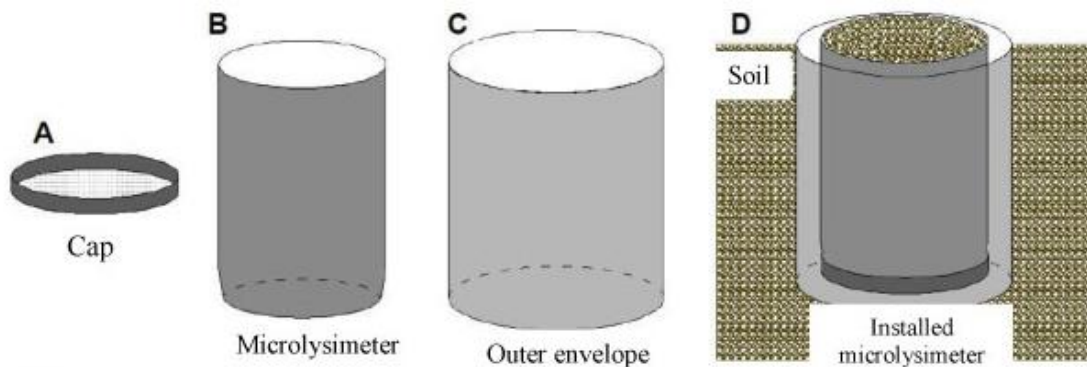


FIGURE 1. Components of a microlysimeter system for measurement of soil evaporation, in which (A) is cap to avoid drainage, (B) is microlysimeter, (C) is outer envelope, and (D) is installed microlysimeter.

**Kuva 21.** Mikrolysimetrin toimintaperiaate (Danilton et al., 2012).

#### 8.4.8 Näytepullot

Koeastioista otetaan vesinäytteitä kerran viikossa ensimmäisen kuukauden aikana ja tämän jälkeen kerran kuukaudessa. Näytteenotto aloitetaan siitä, kun havaitaan että rakenteesta alkaa suotautua vettä läpi. Ensimmäinen näyte otetaan, kun lysimetrin keräilykaivoon on suotautunut vähintään noin 1,6 l vettä. Myös sadevedestä otetaan vesinäytteitä.

Näytteet pakastetaan 0.1, 0.25 ja 0.5 litran näytepulloissa. Pyhäsalmen kaivoksen tulee hankkia pakastin näytteiden pakastusta varten.

#### 8.4.9 Sääasema

Sääaseman avulla saadaan tietoa alueen sääolosuhteista kuten, lämpötilasta, kosteudesta, sademääristä ja pilvisyydestä. Sääaseman data saadaan Pyhäsalmen kaivoksen tietojärjestelmään suoraan, joten erillistä lomaketta kirjaamiselle ei tarvita. Sääasema sijaitsee noin 700 metrin päässä koepaikasta.

Sääasema ei kykene mittaamaan lumisadetta ja haihduntaa, joten lumen paksuus on mitattava esimerkiksi vesinäytteenoton yhteydessä. Lumen paksuus kirjataan esimerkiksi näytteenottolomakkeen huomiot/havainnot sarakkeeseen. Haihdunta määritetään mikrolysimetrin avulla.

#### 8.4.10 Proctor- välineet

Rakentamisen aikana suoritettavat tiivistystestit toteutetaan Proctor-välineistöllä. Käytettävä tiivistystyömäärä on 10 iskua/kerros – tiivistys 5 kerroksena Proctor-muottiin. Proctor kokeet tekee Ramboll. Proctor-kokeisiin tarvittavista välineistä vastaa Ramboll.

#### 8.4.11 Seulakauha

Moreenin maksimi raekoko on 60-80 mm. Tätä suuremmat rakeet tulee poistaa esimerkiksi seula-  
kauhan avulla. Seulonnasta vastaa Suomen Maastorakentajat.

### 8.5 Säiliöiden rakenne

Pyhäsalmen säiliökokeet toteutetaan kuvan 22 mukaisesti ja rakentamisessa käytetään normaalisti  
maarakentamisessa käytettävää kalustoa. Traktoria ja siihen liitettävää betonimyllyä käytetään  
seos kerrosten materiaalien yhteen sekoittamiseen ja homogenisointiin. Pyöräkuormaajaa käyte-  
tään materiaalien siirtelyyn ja kaivinkonetta käytetään siirtelyn lisäksi materiaalien tiivistämiseen.  
Tärylätkeä käytetään materiaalien tiivistämiseen. Rakennekerrosten inerttikerros rakennetaan jo-  
kaiseen säiliöön samasta materiaalista. Näin minimoidaan sen aiheuttama vaikutus tulosten ver-  
tailulle. Myös kasvukerros on identtinen säiliöiden välillä ja kasvukerroksen päälle tulee siirtonurmi.



**Kuva 22.** Säiliökokeiden pilottirakenteet

Eri rakenteilla tavoiteltava tieto on esitetty taulukossa 12.

**Taulukko 12.** Eri rakenteilla tavoiteltavat tiedot.

Rakenne 1	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa.
Rakenne 2	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Verrataan tuloksia rakenteeseen nro 1.
Rakenne 3	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Sekoituksen ja reaktiomatkan vaikutus, verrataan pilottirakenteeseen 2. Huom. tuhkamäärät ovat samat kuin rakenteissa 1 ja 2.
Rakenne 4	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Tuloksia verrataan pilottirakenteeseen 1, 5 sekä muihin rakenteisiin. Tarkoitus on osoittaa nk. normaalirakenteen vaikutus liukoisuuksiin.
Rakenne 5	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Pilottirakenteessa saadaan lähtötieto itse rikastushiekan liukoisuuksista paikallisissa olosuhteissa. Tuloksia verrataan muihin pilottirakenteisiin sekä rikastushiekasta tehtyihin ravistelutestituloksiin. L/S-suhde tärkeä mitattava tieto.
Rakenne 6	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Kipsin vaikutus neutraloivana komponenttina. Verrataan erityisesti rakenteeseen 1,3 ja 5.
Rakenne 7	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Sekoituksen ja laimentumisen merkitys. Verrataan erityisesti rakenteeseen 6.
Rakenne 8	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Pilottirakenteessa saadaan lähtötieto itse rikastushiekan liukoisuuksista paikallisissa olosuhteissa. Tuloksia verrataan muihin pilottirakenteisiin sekä rikastushiekasta tehtyihin ravistelutestituloksiin. L/S-suhde tärkeä mitattava tieto.
Rakenne 9	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Kasvukerroksen merkitys, verrataan pilottirakenne 8:seen. Oletetaan että kasvukerroksen vähentää sadeveden happipitoisuutta ja vähentää näin ollen haitta-aineiden liukenemistä.
Rakenne 10	Sadeveden muuttuminen suotautumisen jälkeen pilottirakenteessa. Kipsin vaikutus neutraloivana komponenttina.

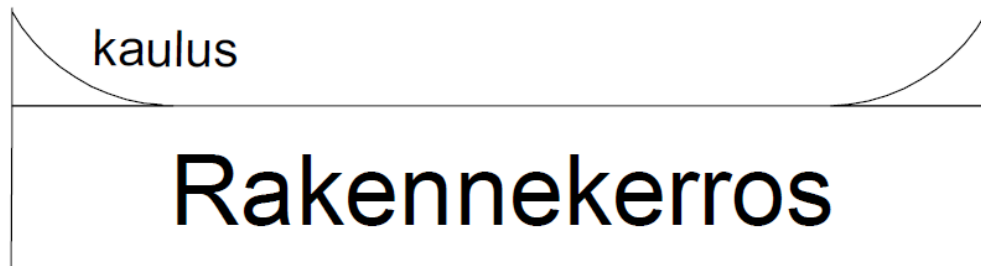
## 8.6 Rakentaminen

Rakentaminen aloitetaan pohjien tasaamisella sekä koeastioiden modifioinnilla testaamiseen soveltuvaksi. Tasaamisen jälkeen jokaisen säiliön sisäpuolelle laitetaan korkeusmerkinnät helpottamaan kerrospaksuuksien määrittämisessä ja materiaalien tiivistämisestä. Korkeusmerkinnät tehdään maalarinteipillä tai maalimerkintöinä. Tämä jälkeen jokaisen säiliön pohjalle tiivistetään saman verran (tiivistettynä 20 cm) inerttiä kiviainesta. Ennen rakentamista lasketaan materiaalille se määrä, joka pitää saada tiivistettyä 0,2 m:n kerrokseksi. Asemasekoittimelta saadaan käytetyt materiaalimäärät, jotka kirjataan rakentamisen yhteydessä ylös pilottirakenne- ja kerroskohtaisesti.

Astioihin tuleva lysimetri asennetaan inerttikerroksen sisään kallelleen, jotta lysimetriin suotautunut vesi valuu putkea pitkin lysimetrikaivoon (kuva 19). Lysimetrin päällä kannattaa olla riittävästi inerttiä kiviainesta, jotta päälle tulevien kerrosten tiivistäminen ei riko lysimetriä tai sen osia. Inerttikerrosta rakentaessa tulee ottaa huomioon lysimetri toimivuus. Tiivistys ei saa olla liian voimakasta, ettei lysimetri vaurioidu tai putket litisty. Inerttikerroksen rakentamisen jälkeen testataan lysimetrin toimivuus ennen muiden kerrosten rakentamista valuttamalla puhdasta vettä rakenteen läpi. Veden tulisi ohjautua lysimetrikaivoon ja pohjakaivoon esteettä.

Tiivistämisen jälkeen inertin materiaalin päälle asennetaan suodatinkangas. Suodatinkangas leikataan pyöreäksi ja mahdollisimman hyvin säiliöön sopivaksi. Kankaan reunoja ei saa nostaa kovin korkealle säiliön seinämiä vasten, jottei reunaan synny vedelle kulkureittejä. Tämän jälkeen pilot-tirakenteet rakennetaan edellisessä kappaleessa esitettyjen pilottirakenteiden mukaisesti. Kaikissa kerrosrakenteissa kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus on 200-300 mm. Tiivistyskerrosten välinen pinta rikotetaan karheaksi, jottei kerrosten väliin jäisi saumakohtaa. Näin kerroksista saadaan yhtenäinen, eikä vesi kulkeudu esim. kerrosrajoja pitkin vaakasuuntaan.

Viimeisen rakennekerroksen laidoille, mahdollisen kasvukerrosmateriaalin alle, rakennetaan eräänlainen kaulus ohjaamaan sadevesi pois säiliön reunoilta (kuva 23). Reunoja pitkin kulkeutuva vesi ei ole suotavaa missään olosuhteissa. Reunus voi olla esim. pieni kallistus tai koroke (20-50 mm) rakennekerrosmateriaalissa.



**Kuva 23.** Pilottirakenteen päällimmäiseen kerrokseen reunoille rakennettu kaulus.

Kaikki valmiit säiliökokeet valokuvataan. Parista ennakkoon sovittavasta pilottirakenteesta kuvataan kaikki työvaiheet.

## 8.7 Rakentamisessa huomioon otettavat asiat

### 8.7.1 Materiaalien sekoitus ja homogenisointi

Säiliötesteissä käytettävät seokset (tuhka-rikastushiekka ja moreeni-kipsi) on sekoitettava toisiinsa hyvin tasaisesti siten, että näyte on silmämääräisesti homogeenista. Sekoitukset tehdään paikan päällä juuri ennen tiivistämistä. Sekoituksessa tulee huomioida muun muassa materiaalien käsiteltävyys, kosteuden vaikutus sekoitettavuuteen ja yms. Esimerkiksi kipsi voi holvaantua "sekoitusmyllyn" reunoihin. Ennen suurempien erien sekoitusta on syytä testata eri sekoitusmenetelmien soveltuvuutta. Etenkin kipsin ja tuhkan vesipitoisuuden merkitystä käsiteltävyyteen on syytä tarkastella. Tietyn sekoitustavan valinta ja perustelut toimitetaan laadunvalvojalle.

Materiaalien homogeenisuus arvioidaan ennen tiivistämistä. Mikäli jonkin materiaalierän kohdalla on havaittavissa selvää epähomogeenisuutta, on kyseinen massaerä homogenisoitava ennen käyttöä ja sekoitusta muihin materiaaleihin. Materiaali tulee olla sama koko tutkimuksessa, materiaalierä ei saa vaihtua kesken rakentamisen. Vesipitoisuuden osalta toimenpidetarve on arvioitava erikseen, mikäli massojen vesipitoisuustaso poikkeaa huomattavasti oletus-/tavoitetasosta. Arvioinnin tekee paikalla oleva laadunvalvonnasta vastaava henkilö proctor-testauksen ja vesipitoisuusmittausten perusteella.

Sekoitukset ja homogenisoinnit suoritetaan Maastorakentajien esittämillä menetelmillä. Menetelmät on kuitenkin valittava siten, että rakentamisessa saavutetaan riittävän homogeeninen, tiivis ja tarkoituksenmukainen lopputulos.

#### 8.7.2 Rakeisuus

Säiliötesteissä käytettävän moreenin rakeisuus on huomioitava. Maksimi raekoko voi olla noin 60 – 80mm. Moreenista poistetaan tätä isommat rakeet esimerkiksi seulakauhan avulla. Seulonnasta huolehtii Suomen Maastorakentajat.

#### 8.7.3 Kerrosten tiivistäminen, astioiden muoto

Ennen rakentamista lasketaan kullekin materiaalille se määrä, joka pitää saada tiivistettyä 0,2 - 0,3 m:n kerrokseksi, sillä paksut materiaalikerrokset tiivistetään säiliöön useassa, noin 200- 300 mm erissä. Tiivistettyjen kerrosten välinen pinta tulee rikkoo (karhita) ennen seuraavan kerroksen rakentamista, jolloin kerrosten väliin ei jäisi saumakohtaa.

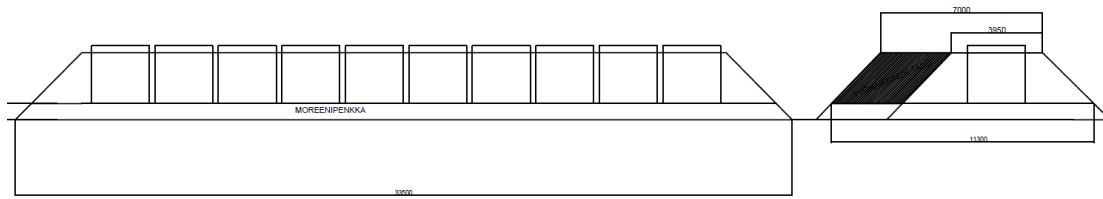
Kaikki kerrokset tiivistetään samoilla periaatteilla lukuun ottamatta tuhkan ja kasvukerrosmateriaalin tiivistämistä, jotka tehdään kokemusperäisesti. Tuhka tiivistetään kevyesti. Tavoitteena on saada tuhka tiivistettyä n. 90 % tiiveysasteeseen. Astioiden reunaosien tiivistämiseen täytyy kiinnittää erityishuomiota kaarevien reunojen vuoksi. Tiivistämistä voidaan tehostaa esimerkiksi kaarevan levyn avulla, tömpää apuna käyttäen.

Kun tiivistys on tehty ja tiedetään materiaalin massa ja tilavuus saadaan tiheys määritettyä laskennallisesti. Tiheyttä on muutoin vaikea määrittää rikkomatta näin pientä rakennetta. Tiivistys tehdään optimivesipitoisuudessa. Mikäli oletettua tiheyttä ei saada toteutettua päättää laadunvalvoja riittävästä tiivistystyömäärästä ja toteutunut tiivistystyö ja tiheys kirjataan ylös. Tiheyttä ja vesipitoisuutta voidaan kontrolloida Troxler-laitteella. Kokemusta mittaustavan soveltuvuudesta kaikille testattaville materiaaleille ei kuitenkaan ole. Eli samalla saadaan testattua ko. laitteen soveltuvuus näiden materiaalien mittaamiseen.

#### 8.7.4 Pakkassuojaus

Koesäiliöt sijoitetaan tasoitetun moreenipenkan päälle kuvan 24 mukaisesti. Lopuksi koesäiliöt ympäröidään moreenilla, jolloin sivuille tuleva materiaali tukee ja suojaa astioita pakkaselta. Pakkassuojien materiaalina käytetään Pyhäsalmen moreenia. Suojarakenteet on esitetty kuvassa 24. Näytteenottoaivojen paikat ja pakkassuojaus tulee myös huomioida. Vesinäytteiden jäätyminen tulee estää esim. styrox-kansilla ja kaivojen upottamisella maahan. Näytteenoton ja kaivojen tyhjentämisen tulee olla toteutettavissa mahdollisimman vaivattomasti.

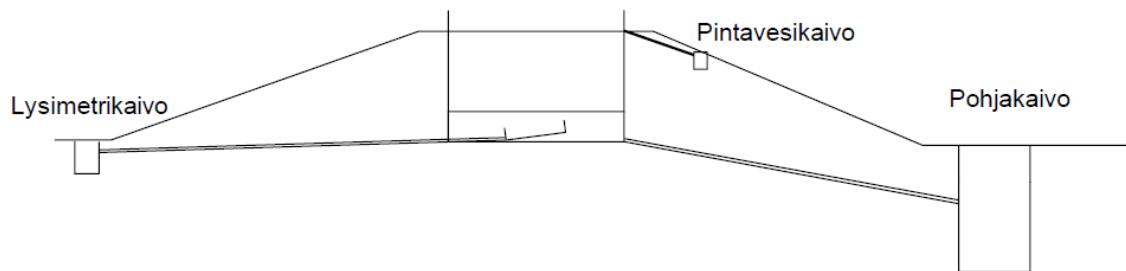




**Kuva 24.** Suojarakenteet.

Suojarakenteiden rakentamisessa tulee ottaa huomioon kaivojen sijainnit ja putkien johtaminen kaivoihin.

Suojarakenteita tehdessä tulee olla huolellinen, etteivät putket vaurioidu tai litisty työaikana, jotta vesi pääsee virtaamaan kaivoihin ongelmitta. Kuvassa 25 on esitetty vesikaivojen ja putkien periaatteet. Kuva ei ole mittakaavassa. Lysimetrikaivot voidaan asentaa muiden kaivojen kanssa samalle puolelle. Varsinaisten putkiin voi lisätä myös suojaputket.



**Kuva 25.** Vedenjohtamisen periaatekuva.

#### 8.7.5 Rakenteiden pinta

Säiliötestien rakenteiden pinnat tasataan vaakasuoriksi. Mahdollista runsaampaa, pintaan seisomaan jäävää vettä varten asennetaan poistoputki rakenteen pinnan yläpuolelle (kasvukerroksen alapintaan). Mikäli seisovaa vettä ei esiinny, putki tukitaan. Oletuksena on, että lysimetristä ei saada kerättyä suuria vesimääriä, joten koko sadannan imeytyminen rakenteen läpi on suotavaa. Näin ollen testin alussa poistoputki tukitaan. Rakennekerroksen pintaan rakennetaan laidalle kaulus. Kauluksen periaate on esitetty kuvassa 23.

### 8.8 Vastuunjako

Rambollin vastuulla on koeastioiden merkitseminen, tekniset ohjeet, laadunvarmistustyöt ja ohjaus rakentamisvaiheessa. Lisäksi Ramboll vastaa rakentamistyön raportoinnista, seurantasuunnitelmasta ja ohjeistuksesta, seurantatulosten käsittelystä ja raportoinnista. Pyhäsalmi Mine Oy vastaa näytteenotosta, vesianalyyseistä ja kokoomanäytteiden teosta. Suomen Maastorakentajien vastuulla on säiliökokeiden rakentaminen ja rakentamiseen liittyvät kalustot, laitteet ja materiaalit. Lisäksi Suomen Maastorakentajat vastaavat muun muassa suurien materiaalmäärien sekoitusmenetelmien testaamisesta ja soveltuvuudesta.

## 8.9 Erikoistilanteet

Tähän kappaleeseen on kerrottu erityistoimenpiteitä pilottirakentamisesta ja säiliöiden kastelemisesta, mikäli sadevettä ei tule sään johdosta tarpeeksi.

### 8.9.1 Materiaalien rakennettavuuden testaaminen

Ennen varsinaista rakentamista materiaalien sekoitus, työstettävyys ja tiivistäminen testataan koerakentamisella. Näin varmistetaan parhaat mahdolliset työtavat. Nähdään, miten kokeen suoritus käytännössä onnistuu, sekä mitä asioita työn aikana tulee huomioida. Samassa yhteydessä nähdään esim. sekoitustyön lisätarve, homogeenisuus, tiivistäminen ja sen tiivistämismäärät tärylät-källä jne.

Kokeilua varten rakennusmateriaaleja on tilattava ”ylimäärin” (otettu määrien laskuissa huomioon). Materiaalien määrissä tulee ottaa huomioon myös mahdolliset virheet rakennusvaiheessa ja niistä johtuva kokeen uusiminen. Rakennekokeilun ei tarvitse edustaa mitään em. pilottirakenteista, vaan testissä voidaan testata kaikista hankalimmiksi koettuja rakenteita. Koerakentaminen suoritetaan kentällä, lähellä säiliökoepaikkaa. Pilottirakentamista ei tehdä säiliöön.

### 8.9.2 Koesäiliöiden kastelu

Rakentamisen jälkeen kaikkien koeastioiden nurmet kastellaan vedellä. Veden laatu, määrä ja kastelun ajankohta tulee olla sama kaikilla astioilla. Kastelua jatketaan rakentamisen jälkeen. Kastelu tehdään sulan maan aikana noin 2 viikon välein esimerkiksi näytteenoton yhteydessä. Veden määränä voidaan käyttää esimerkiksi suurinta sademäärää. Lisätty vesimäärä kirjataan aina näytteenottolomakkeeseen. Esimerkiksi: kastelu kahden viikon välein a 20 litraa / säiliö tasaisesti koko säiliön pinta-alalle (kastelukannu).

## 8.10 Kerättävät tiedot pilotointiaikana

Pilottirakenteista kerätään tietoa sekä ympäristökelpoisuusominaisuuksista että materiaalien rakennettavuudesta tulevia suurempia rakentamiskokonaisuuksia varten. Seuraavassa esitettyä listäusta on tarkennettu myöhemmissä kappaleissa 8.11 ja 8.12.

### 8.10.1 Kerättävä tieto rakentamisen aikana

Rakentamisen aikana kootaan tiedot seurantalomakkeelle.

#### **Tekninen:**

- Materiaalien työstettävyys, käytetyt menetelmät ja koneet
  - tiivistystyömäärät vs. suunniteltu tiheys, tiivistettävyys/käsiteltävyys
  - rakentamisen haasteet ja jatkossa huomioitavat seikat
  - visuaalinen tarkastelu, halkeamat, pölyävyys, kuivuminen, väri, painuminen, valumajäljet
  - tiheys kaikista rakennekerroksista
  - koekappaleet: lujuus, vedenläpäisevyys
  - rakennepaksuudet

- näytteet kaikista materiaaleista (min. 3litraa/materiaali)

#### **Ympäristö:**

- Sääolosuhteet: lämpötila, kosteus, sademäärät, pilvisuus (sääasemasta)
- haihdunta mikrolysimetristä, sillä sääasema ei ole haihdunnan osalta tarpeeksi tarkka
- lumisade, lumen paksuus mitataan vesinäytteenoton yhteydessä
- käytettyjen materiaalien:
  - kokonaispitoisuudet ja
  - liukoisuudet 2-vaiheisella ravistelutestillä

#### **Muut:**

- pölyävyys rakentamisen aikana (työsuojelu)
- materiaalien säilyvyys varastoinnin aikana, (varastoinnissa huomioon otettavat seikat)
- kuljetuksessa havaitut seikat

### 8.10.2 Kerättävä tieto rakentamisen jälkeen

#### **Tekninen:**

- visuaalinen tarkastelu, halkeamat, pölyävyys, kuivuminen, väri, painuminen, valumajäljet
- rakenteen pintaan jäävä seisova vesi, sen määrä ja tarve poistoputken avaamiselle
- tiiveys
- lujuus, vedenläpäisevyys
- pitkäaikaistoimivuus

#### **Ympäristö:**

- sadeveden laatu (happi, sähkönjohtavuus, pH, redox) ja määrä
- läpisuotautuvan veden määrä
- sääolosuhteet: lämpötila, kosteus, sademäärät, pilvisuus (sääasemasta)
- haihdunta mikrolysimetristä, sillä sääasema ei tarpeeksi tarkka
- lumisade, lumen paksuus mitataan vesinäytteenoton yhteydessä
- vesinäytteistä mitataan tuoreeltaan (EC, pH ja redox) jonka jälkeen näytteet pakastetaan. Pakastetuista näytteistä muodostetaan myöhemmin kokoomanäytteitä, joiden kokoamistapa ja analysointi päätetään myöhemmin. Analysoitavat parametrit on käsitelty tarkemmin kappaleessa 8.12.

### 8.11 Tekniset seurantatiedot

#### 8.11.1 Ennen rakentamista huomioitavat seikat

Ennen rakentamisen aloittamista lähtömateriaalien laatu homogeenisuuden osalta on arvioitava silmämääräisesti ja massojen vesipitoisuus on suositeltavaa määrittää vähintään 5 eri kohdasta

kutakin hyödynnettävää materiaalierää heti homogenisoinnin tai uudelleen sekoituksen jälkeen. Kaikki rakentamisessa käytettävä materiaali on homogenisoitava /sekoitettava uudelleen ennen rakentamista. Vesipitoisuuden osalta toimenpidetarve on arvioitava erikseen, mikäli massojen vesipitoisuustaso poikkeaa huomattavasti esitetystä oletus-/tavoitetasosta. Arvioinnin viimeksi mainitulta osin tekee paikalla oleva laadunvalvonnasta vastaava henkilö.

Lähtömateriaalien tavoitevesipitoisuudet tiivisrakennekerroksessa käytettäessä ovat seuraavat:

Moreeni	--- alle 10 %	(+/- 2 %)
Rikastushiekka (hieno)	--- alle 17 %	(+/- 2 %)
Rikastushiekka (karkea)	--- määritetään paikan päällä	
Tuhka	--- noin 15%	(+/- 2 %)
Kipsi	--- noin 30 %	(+/- 4 %) (kuivauslpt 40oC)

Mikäli hyödynnettävien massojen vesipitoisuus poikkeaa huomattavasti edellä esitetystä, on sen vaikutus lopputuloksen laatuun ja/tai käytettävään seokseen arvioitava ennen sekoitustyön käynnistämistä.

#### 8.11.2 Rakentamisen aikana huomioitavat seikat

Laadunvalvonnan yhteydessä kiinnitetään erityshuomiota silmämääräiseen laadun/homogeenisuuden seuraamiseen, suunnitellun seossuhteen toteutumiseen (punnitustiedot) sekä valmiiden massojen vesipitoisuusseurantaan. Ennen varsinaista sekoitustyötä varmistetaan rakentamisessa käytettäviä materiaaleja käyttäen toteutettavalla tiivistystestillä siitä, että valmiin massan laatu ja käsiteltävyys vastaavat suunniteltua. Samalla tarkennetaan myös kyseisen materiaaliseoksen tiivistystyön laadunvalvonnassa käytettävää tiheystavoitetta. Tiivistystesti toteutetaan Proctor-välineistöllä ja käytettävä tiivistystyömäärä on 10 iskua/kerros – tiivistys 5 kerroksena Proctor-muottiin. Rakenteeseen tiivistetyn materiaalin tiiveyden tulos saa vaihdella 1 % tavoitteesta.

Rakennekerroksista kootaan mm, seuraavat tiedot:

- W%
  - tiheys
  - kerrospaksuudet
  - homogeenisuus ja sekoitettavuus
  - sekoitustyön määrä
  - työstettävyys
  - Troxlerin käytettävyys eri materiaaleille
  - näytteet kaikista käytetyistä materiaaleista (min 5 litraa/näyte) laboratoriossa tehtäviä vesipitoisuus- ja tiivistymistarkistuksia varten.
- (Ramboll hoitaa näytteenoton, Pyhäsalmi toimittaa eteenpäin)

#### 8.11.3 Rakentamisen jälkeen tarkasteltavat asiat

Rakentamisen jälkeen rakenteet sekä säiliöt valokuvataan. Vesinäytteiden oton yhteydessä tarkaillaan myös astioiden kuntoa mm. pinnana halkeilua ja veden imeytymistä ja kertymistä pääl-  
limmäisten kerrosten pintaan.

## 8.12 Seurantatiedot ympäristökelpoisuus

Kaikista käytetyistä rakennemateriaaleista otetaan vähintään 3 litran näytteet (ramboll), joista määritetään materiaalien kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet (2-vaiheinen ravistelutesti). Ramboll vastaa näytteenotosta pilottirakentamisen aikana ja Pyhäsalmen kaivos vastaa näytteiden säilytyksestä ja toimittamisesta analysoitavaksi. Näytteistä analysoidaan samat parametrit kuin seurannana vesinäytteistä.

Materiaalitestauksen lisäksi yksi tärkeimmistä seurattavista ympäristökelpoisuuteen vaikuttavista tekijöistä on pilottirakenteiden läpi suotautuvan veden määrän ja laadun analysointi.

Määrän arviointia varten kerätään alueelle asennettavan sääaseman avulla sadantaa, lämpötilaa, ilmakeuhetta, tuulisuutta yms. parametrejä. Haihdunnan seuranta toteutetaan nk. mikrolysimetrin avulla, jonka massaa seurataan 1-2- viikon välein.

Kaikista koeastioista on mahdollista kerätä vesinäytteitä kolmesta eri paikasta. Koesäiliön rakennetaan keräilyputket 1) pintavedelle sekä säiliön 2) pohjaosaan lysimetrille ja koesäiliön 3) pohjalle kertyvälle suotovedelle. Seuraavassa on esitetty eri keräyspaikkojen tiedonkeruutavat ja tarkoitukset.

1) Mikäli rakenne on tiivis, voi rakenteen pintaan jäädä vettä. Liiallisen veden kerääntyminen estetään asentamalla poistoputki kasvukerroksen alaosaan. Tästä vedestä on mahdollista kerätä näyte, jolla testataan sadeveden muuttumista kasvukerroksessa. Kiinnostavia parametrejä ovat pH, redox ja happipitoisuus. Tätä tietoa kerätään ensimmäisen vuoden aikana yhteensä 4 kertaa yhdestä pilottirakenteesta. Näytteenotto otetaan koesäiliöstä, jossa vesi pääsee seurantatietojen mukaan parhaiten kertymään. Samaan aikaan kerätään näytteet myös itse sadevedestä. Myös sadevedestä määritetään pH, sähkönjohtavuus, redox ja happipitoisuus sekä muut vesinäytteistä analysoitavat parametrit, jotka on esitetty seuraavissa kappaleissa. Lähtökohtaisesti pinteveden poistoputki on kuitenkin kiinni.

2) Erillisellä lysimetrillä ehkäistään mahdollisten suorien reunavaluntavesien pääsy analysoitavaan näytteeseen. Lysimetrillä kerätty näyte on edustavampi kuin astian pohjalle kertyvä näyte, sillä kaltevan pinnan vuoksi veden ei pitäisi jäädä seisomaan lysimetriin. Myös analysoitavien vesien määrä pysyy näin kohtuullisena, kun lysimetrin pinta-ala voidaan pitää pienempänä. Lysimetristä kertyvä vesi johdetaan omalla putkellaan lysimetrikaivoon.

3) Koesäiliön pohjalle kertyvä suotovesi poistetaan omalla putkellaan pohjakaivoon. Koesäiliön pohjalle kertyvä vesi poistetaan, jotta kokeessa voidaan määrittää rakenteen läpi suotautuvan veden laatua, eikä rakenteessa "seisseen" veden laatua.

### 8.12.1 Suotautuneen veden määrä

Suotautuneen veden määrä on tärkeimpiä mitattavia parametrejä kokeen aikana. Sekä pintavesikaivon (rakennetaan jos tarpeen), lysimetrien että pohjakaivon keräämää vesimäärää seurataan jatkuvasti ja vesimäärämittaukset sekä kaivojen tyhjentäminen sovitetaan läpi suotautuvien vesimäärien mukaisesti. Ensimmäisen tarkkailukuukauden aikana kaivot tyhjenetään kerran viikossa. Tämän jälkeen tyhjennys voidaan tehdä kahden viikon välein.

Tavoitteena on saada mitattua kumulatiivisesti koesäiliön keräämä vesi (läpi menneen veden kokonaismäärä) ajan funktiona. Vesimäärämittausten rinnalla seurataan myös sademäärää (sääasema) ja haihduntaa (mikrolysimetri) kunkin mittausjakson aikana. Tarvittavien kaivojen tyhjennysten sekä näytteenoton ja säätietojen kirjaamisen käytännön toteutus tapahtuu Pyhäsalmi Mine Oy:n toimesta.

L/S- suhteen laskentaa varten, kaikki näytteenottokaivoista poistettu vesi tulee mitata ja merkitä seurantalomakkeelle. Suotautuneen veden määrää määrittäessä on huomioitava sekä lysimetrikaivossa että suotovesikaivossa oleva suotautunut vesi. Suotautuneen veden kokonaismäärä on siis lysimetrikaivon ja suotovesikaivon yhteenlaskettu määrä. Mikäli rakenteen pintaan jää vettä suotautumatta tai se poistetaan pintavesikaivoon, on tämä myös tärkeä tieto, jota käytetään L/S suhteen määrittämisessä.

#### 8.12.2 Vesinäytteet

Näytteitä otetaan lysimetrikaivoista ensimmäisen kuukauden aikana kerran viikossa ja näytteet pakastetaan 0,1, 0,25 ja 0,5 litran pulloissa taulukon 4 mukaisesti. 0,1 litran pullot tulee olla happopestyjä muovipulloja. 0,25 ja 0,5 litran pullot ovat muovipulloja, jotka eivät saa olla happopestyjä (katso taulukko).

Metallianalyysiin menevä näyte tulee suodattaa ja pakastaa 0,1 l näytepulloissa. Eli kaikki näytteet, jotka pakastetaan 0,1 l näytepulloissa, tulee suodattaa. 0,25 litran pulloihin pakastetaan DOC, kloridi, sulfaatti ja fluoridin määrittämiseen menevät näytteet ja 0,5 litran muovipullot on tarkoitettu varanäytteille.

**Taulukko 13.** Näytteenotto suunnitelma.

Näytteenotto aika	Näytteiden pakastus (yhdeksi pilottirakenteelle)	Näytettä yhteensä ( l )
1vk	1 x 0,5 l , 3 x 0,25 l ja 3 x 0,1 l	1,55
2vk	1 x 0,5 l , 3 x 0,25 l ja 3 x 0,1 l	1,55
3vk	1 x 0,5 l , 3 x 0,25 l ja 3 x 0,1 l	1,55
4vk	1 x 0,5 l , 3 x 0,25 l ja 3 x 0,1 l	1,55
2kk	1 x 0,5 l , 2 x 0,25 l ja 2 x 0,1 l	1,2
3kk	1 x 0,5 l , 2 x 0,25 l ja 2 x 0,1 l	1,2
4kk	1 x 0,5 l , 2 x 0,25 l ja 2 x 0,1 l	1,2
5kk	1 x 0,5 l , 2 x 0,25 l ja 2 x 0,1 l	1,2
6kk	1 x 0,5 l , 2 x 0,25 l ja 2 x 0,1 l	1,2
7kk	1 x 0,5 l , 1x 0,25 l ja 1 x 0,1 l	0,85
8kk	1 x 0,5 l , 1x 0,25 l ja 1 x 0,1 l	0,85
9kk	1 x 0,5 l , 1x 0,25 l ja 1 x 0,1 l	0,85
10kk	1 x 0,5 l , 1x 0,25 l ja 1 x 0,1 l	0,85
11kk	1 x 0,5 l , 1x 0,25 l ja 1 x 0,1 l	0,85
12kk	1 x 0,5 l , 1x 0,25 l ja 1 x 0,1 l	0,85

Välittömästi näytteenoton jälkeen suotautuneesta vedestä mitataan happipitoisuus, pH, sähköjohtavuus ja redox. Näytteenoton ja analysoinnin tekee kaivoksen henkilökunta.

Näytteenoton yhteydessä näytepullot tulee merkitä selkeästi tarvittavilla tiedoilla. Merkkaaminen on todella tärkeää ja se tulee tehdä huolellisesti. Alapuolella esimerkki näytepullojen merkkaamisesta ja merkkaamisessa käytettävät lyhenteet.

Näytepullojen merkkaaminen:

- Näytteenotto paikka: PS1 – PS10 (säiliön numero)
- Näytteenottokerran järjestysnumero (1vk, 2vk, 3vk...12kk)
- Rinnakkaisnäytteiden koodi (A,B,C ja D), jossa
  - A = 1 kk kokoomaan menevät näytteet
  - B = 6kk kokoomaan menevät näytteet
  - C = 12 kk kokoomaan menevät näytteet
  - D = varanäytteet
- Näytteenottopäivämäärä

**Esimerkiksi:** PS1 1vk A 13.4.2016

Näytteenoton yhteydessä tulee seurata mm. seuraavia asioita; rakenteen kunto, vesinäytteen mahdollinen haju ja väri, kaivon kunto. Rakenteessa voi esiintyä pakkasen aiheuttamia halkeamia. Mahdolliset halkeamat ja muut vauriot tulee kuvata kameralla. Havaitut asiat kirjataan näytteenottolomakkeeseen.

Jos lysimetrikaivossa ei ole riittävästi suotautunutta vettä näytteenottoa varten, otetaan vesinäyte suotovesikaivosta. Tällöin tilanne kirjataan näytteenottolomakkeeseen sekä näytepulloihin.

Teoreettisen laskelman mukaan koesäiliöstä kertyvät näytemäärät vaihtelevat 13,5 – 41,5 l / viikko. Määrät ovat laskettu liitteen 1 mukaisesti ja perustuvat keskimääräisiin kuukausisadanta-tietoihin.

Mikäli lysimetrin pinta-ala on 0,5 m<sup>2</sup> on lysimetristä saatavan näytteen määrä noin 11 % koko säiliön läpi suotautuvasta vesimäärästä eli suotautuva vesi lysimetriin on n. 1,3- 4 l / viikko. Lysimetrin pinta-alasuositus on 0,5-0,75 m<sup>2</sup>. Maastorakentajat ilmoittavat pinta-alan, kun materiaali-valinta on tehty.

Ensimmäisiä näytteitä pilottirakenteista saadaan hyvin todennäköisesti vasta keväällä 2016, koska rakenne ei ole kyllästytneessä tilassa, ja huokostilavuuden täytyminen vie aikaa.

8.12.2.1 Analysoitavat parametrit:

**Ensimmäisen kuukauden** pakastetuista osanäytteistä muodostetaan kokoomanäyte, josta analysoidaan

- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl-, F-, pH, EC, redox, happi, DOC
- Sb, Ar, Ba, Hg, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, V, Mn, Mg, Fe, Al, Ca, Na, K

**Kerran puolella vuodessa** pakastetuista osanäytteistä muodostetaan kokoomanäyte, josta analysoidaan

- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl-, F-, pH, EC, redox, happi, DOC
- Sb, Ar, Ba, Hg, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, V, Mn, Mg, Fe, Al, Ca, Na, K,

**Taulukko 14.** Kaikki analysoitavat vedet ja niiden analysointitiheys.

Analysoitava	Analyysitiheys	Analysoitavia näytteitä yhteensä	Näytemäärät yhteensä	Näytteenottokerat
Rakennusmateriaalit	kokonaispitoisuudet ja 2-vaiheinen ravistelutesti	9	9* 3 l=27 l	1
Sadevesi	4 krt ensimmäisen vuoden aikana	4	4*2 l= 8 l	4 krt vuodessa
Pintavesi	4 krt ensimmäisen vuoden aikana	4	4*2 l= 8 l	4 krt vuodessa
Lysimetrivedet	1 kk:n kokooma			
	6 kk:n kokooma (1-6 kk)			
	12 kk:n kooma (1-12 kk)			

**Taulukko 15.** Analysoitavien kokoomanäytteiden koostumukset.

Kokooma	Näyte koostuu	Kokoomaan tarvittava näytemäärä	Kokooman kokonaismäärä
kokooma 1 kk	1 vk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	"suola"kokooma yht. 1,0l ja metallikokooma yht. 0,4l
	2vk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	3vk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	4vk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
kokooma 6kk	1 kk (kokooma)	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	"suola"kokooma yht. 1,5 l ja metallikokooma yht. 0,6l
	2kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	3kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	4kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	5kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	6kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
Kokooma 12 kk	1 kk (kokooma)	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	"suola"kokooma yht. 3 l ja metallikokooma yht. 1,2 l (Vuoden kokoomasta ylimääräiset näytteet talteen myöhempää tutkimusta varten)
	2kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	3kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	4kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	5kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	6kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	7kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	8kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	9kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	10kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	11kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	
	12kk	0,25 l (suolat) + 0,1 l (metallit)	

1 kk kokooma (kokoomiin 6kk ja 12kk) tehdään yhdistämällä 1-4vk:n l näytteet, josta kokoomaan otetaan 0,25 l ja 0,1 l (sama näytemäärä eri kuukausilta). Lisäksi jokaisesta pilottirakenteesta



tulee olla 0,5 litran varanäyte jokaiselta kuukaudelta. Tehdyistä kokoomista on hyvä ottaa kaikki ylimääräinen näytemäärä talteen ja pakastaa uudelleen kahden vuoden kokoomanäytettä ja myöhempää tutkimusta varten. Pakastettavien pullojen lisäksi kaivoksen tulee huolehtia heti otettavien näytteiden pulloista/astioista (0,25 l) (happi, pH, redox...).

## 9. HITURAN PILOTOINTI - KUITUSAVI PEITEMATERIAALINA

Belvedere Mining Oy:n omistama Hituran kaivosalue sijaitsee Suomessa Nivalan kaupungin alueella. Belvedere Mining oli myös yksi UPACMIC hankkeen edunsaajista, mutta yritys meni konkurssiin joulukuussa 2015, ja se poistettiin projektista. Nikkelin rikastaminen ja kaivostoiminta lopetettiin vuonna 2013 nikkelin hinnan romahduksen seurauksena.

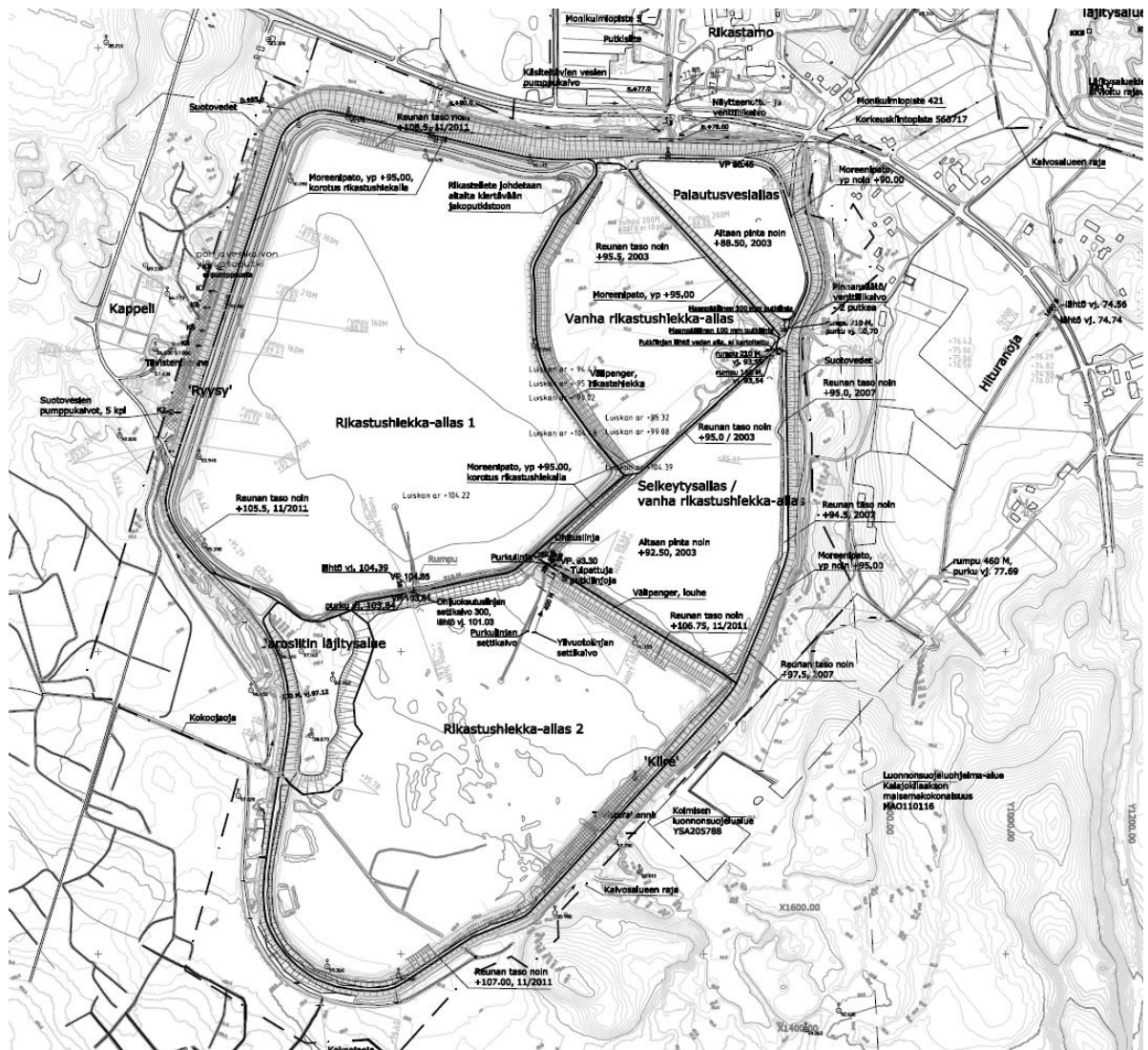
Belvedere Mining Oy:n Hituran kaivosalueella on noin 108 ha laajuinen nikkelin rikastuksesta alkunsa saanut rikastushiekka-alue. Rikastushiekkaa alueelle on sijoitettu noin 15 miljoonaa tonnia. Rikastushiekka-altaat täytyi peittää sadeveden läpisyötäytymisen estämiseksi. Kaivoksen jälkitoimet siirtyivät Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen eli ELY-keskuksen vastuulle. Peittäminen rahoitetaan osaksi kaivosyhtiön aloituksen yhteydessä varaamalla rahasummalla ja tämän ylimenevän osuuden rahoittaa valtio. Sulkeminen suoritetaan kahdessa vaiheessa, joista ensimmäinen on suoritettu 2017–2019 ja toinen vaihe tullaan suorittamaan aikavälillä 2019–2022. Ensimmäisen vaiheen projektikilpailutuksen voitti Fortum Environmental Construction Oy (nykyisin Fortum Waste Solutions Oy). Fortum tarjosi peiterakenteeksi alkuperäisestä sopimuksesta poiketen UPACMICiin hyvin yhteensopivaa ratkaisua, jossa hyödynnettäisiin paperiteollisuuden kuitusavea ja jätemaita neitseellisen moreenin sijasta. Tämä vaihtoehtoinen rakenne hyväksyttiin ELY-keskuksella. Tarkasteltava parametri oli vedenläpäisevyys, jonka täytyi olla  $k < 1 \times 10^{-8}$  m/s. Hituran kohdetta varten testattiin erilaisia peitemateriaaleja vuonna 2014 materiaalitestauksen yhteydessä. Kuitusavipeiterakenne pilotti on osa UPACMIC hankkeen pilotointia B1. Pilotissa käytettyjä materiaaleja on testattu hankkeen vaiheessa A3. Tässä raportissa A4 käydään läpi suunnittelu ja ennako koetestaaminen rakenteen hyväksymiseksi, varsinainen toteutunut rakenne käsitellään tarkemmin raportissa B1. Raporteissa keskitytään vain kuitusavista rakennettuihin osuuksiin sillä muu rakenne ei kuulu UPACMIC-projektiin.

### 9.1 Peiterakenteiden testauspaikka

Hituran kaivosalue sijaitsee Suomessa Nivalan kaupungin alueella. Peiterakenteita testataan kaksivaiheisen projektin ensimmäisessä peittämisvaiheessa.



**Kuva 26.** Hituran kaivos sijaitsee Suomessa Nivalassa.



**Kuva 27.** Rikastushiekka-altaat Hituran kaivosalueella.

Ensimmäisessä vaiheessa oheisen kuvan 27 rikastushiekka-allas 2 peitettiin. Tämän altaan peittämisessä käytettiin kuitusavea, moreenia sekä kasvukerroksena oksahaketta sekä jätevedenpuhdistamon lietettä.

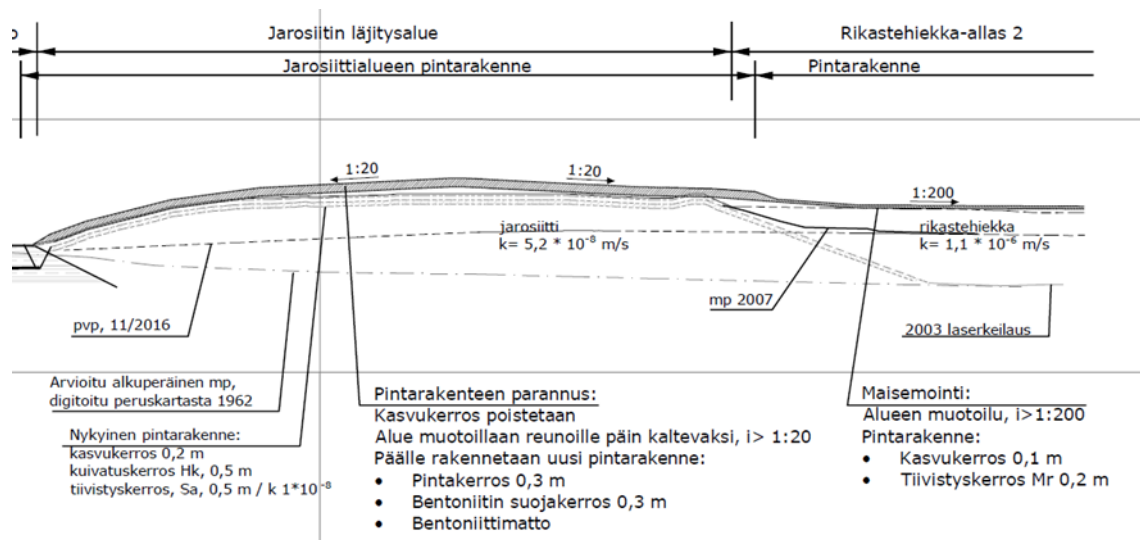
## 9.2 Peittorakenteiden suunniteltu rakenne

Belvedere Mining Oy:n konkurssi muutti etenemissuunnitelmia aluksi, mutta Fortum sai lopulta tarjouskilpailun kautta rikastushiekka-aitaiden peittämisprojektin. Peitto materiaalina oli tällöin tarkoitus käyttää moreenia. Sulkemisprojektin saatuaan ehdotti Fortum UPACMIC yhteensopivaa kuitusavella tehtävien rakenteiden kokeilua Hituran kaivoksella. Tätä varten hankittiin kaksi lausuntoa kuitusaven soveltuvuudesta kaivosympäristöön ja rikastushiekka-aitaiden peittämiseen. Nämä lausunnot antoivat Ramboll ja Envineer. Lausunnoissa painotettiin myös sitä, että kuitusaven vedenläpäisyarvo on huomattavasti pienempi kuin alkuperäisen suunnitelman mukaisen moreenipeitteen tavoite vedenläpäisevyysarvo  $1,0 \times 10^{-8}$  m/s. Rakenne hyväksyttiin ELY-keskuksella. Kaikkiaan kolmelta eri materiaalitoimittajalta tullutta kuitusavea testattiin ja hyväksyttiin koerakenteilla.

Kuitusavi on paperintuotannossa syntyvä sivuvirta, joka on peräisin siustausprosessista. Kuitusavi koostuu siustausprosessissa kierrätyspaperista poistetuista epäpuhtauksista. Kuitusavea on hyödynnetty erilaisissa maanrakennuskohteissa, kuten tie- ja urheilukenttien rakenteissa lentotuhkaseoksena.

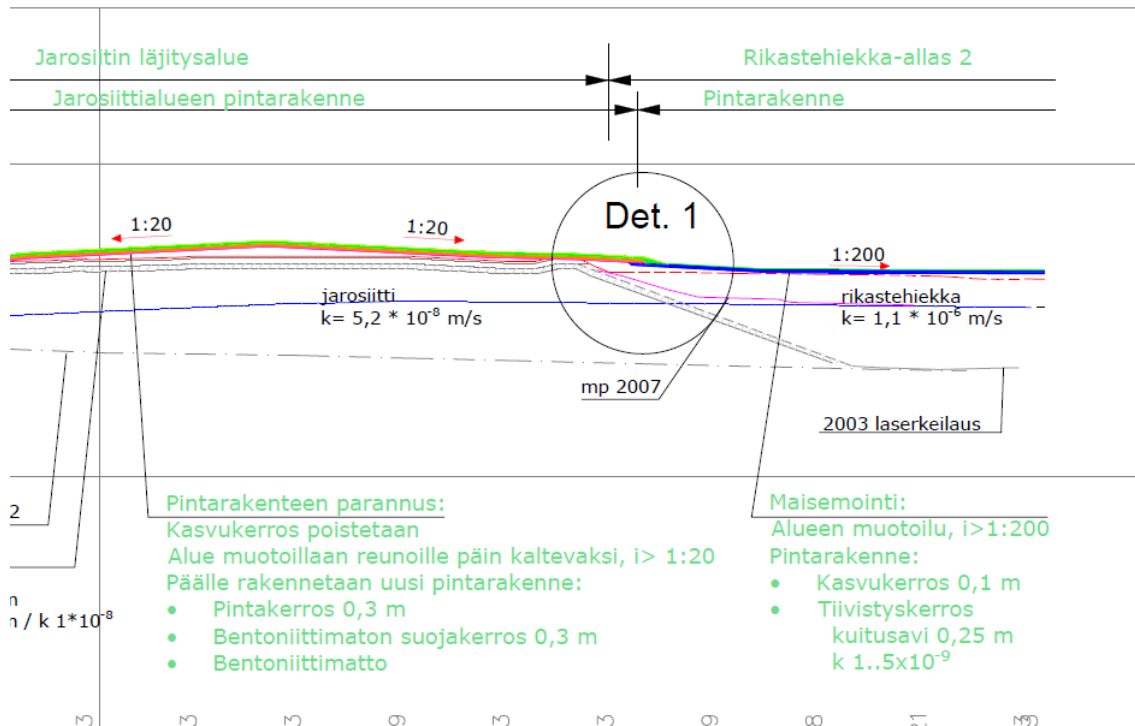
Pilottiprojektin kuitusavet ovat toimittajilta: Metsä Tissue Mänttä, Stora Enso Oyj Oulu ja Metsä Board Oyj Äänekoski. Kuitusaville tehtiin ympäristökelpoisuustestit ja kaikki kolme jaetta täyttivät maarakentamiselta vaaditut parametrit. Kuitusaven vedenläpäisy on selvästi mineraalikerrosta parempi eli pienempi, joten sen käyttäminen peitemateriaalina on parempi vaihtoehto kuin tavanomaisesti käytetty moreenikerros.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan peitekerroksessa käytetään ainakin 200 mm moreenia ja sen päälle tulee 100 mm kasvukerros.



**Kuva 28.** Alkuperäinen rakennussuunnitelma peitekerroksen rakenteeksi oikeassa alalaidassa.

Pilottipeitteiden rakenne oli vähintään 250 mm kerros kuitusavea, jonka päälle tuli ainakin 100 mm kasvukerros. Tavoitearvo vedenläpäisevyydelle oli ainakin alittaa  $k:n$  arvo  $1 \times 10^{-8}$  m/s. Organisia aineita sisältävä kuitusavi hajoaa ajansaotossa. Kuitusavi tiivistyy hajoessaan, joten rakenne mitä luultavimmin tiivistyy entisestään tulevaisuudessa. Pitkällä tähtäimellä hajoaminen (noin 5 %) on otettu huomioon kuitusavirakenteen paksuudessa.



**Kuva 29.** Muutettu rakennussuunnitelma, jossa aikaisemman kuvan 28 200 mm moreenikerros korvattu 250 mm kuitusavikerroksella.

Suunnitelmana on kuljettaa kuitusavet talven aikana rakennuspaikalle ja ne varastoidaan kolmeen kasaan syntypaikkansa mukaan. Materiaalit ovat olomuodoltaan ja ominaisuuksiltaan hieman erilaisia erilaisen syntyprosessinsa seurauksena. Tämän vuoksi materiaalit on pyrittävä pitämään erillään toisistaan. Esimerkiksi materiaalien väreissä ja vesipitoisuudessa on eroa.

Ojalinjosten kohdat on varmistettava bentoniittimattolla, jottei ojissa kulkeva vesi suotautuisi ojan pohjan lävitse.

### 9.3 Esitestausta koekenttien avulla

Koekenttärakentamisen tarkoituksena on varmistaa tiivistyskerroksen rakentamisessa käytettävien materiaalien sekä työmenetelmien soveltuvuus tiivistysrakenteeseen. Lisäksi koerakentamisen tarkoituksena on tuoda esiin mahdolliset ongelmat, joita tiivistyskerroksen rakentamisessa voi ilmetä

Rakentamistyö dokumentoidaan valokuvilla. Koekentästä tehdyt mittaukset kirjataan vihkoon. Koekenttäalue ja mittaus- sekä näytteenottopisteet tarkemmitaan. Koekentän rakentamisesta sekä koekentästä tehdyistä laadunvalvontamittauksista laaditaan koekenttäraportti. Koekenttärakentamista edelsi materiaalitestaus, joka on esitelty tarkemmin raportissa *A3 Final technical report*.

Ennen varsinaisia peiterakenteita tehdään jokaisella kuitusavella noin 10 m x 20 m kokoiset koekentät, joilla määritettiin tarvittavan materiaalikerroksen paksuutta ennen tiivistystä. Tiivistyskerroksen materiaalin levityksessä käytetään muotoilukauhalla varustettua 20-30 t tela-alustaista kaivinkonetta. Tiivistyksessä käytettävän kaivinkoneen yliajokertoja vaihdellaan, jotta voidaan

määrittää tarvittava tiivistystyö tavoitekuivatilavuuspainon saavuttamiseksi. Rakenteet rakennetaan siten, että tiivistyksen jälkeen kerrospaksuus on ainakin 250 mm. Muita tavoiteltuja ominaisuuksia ovat  $445 \text{ kg/m}^3$  kuivatiheyden saavuttaminen ja  $k$  arvon  $1,0 \times 10^{-8} \text{ m/s}$  alitus. Troxler-mittauksia käytetään näiden arvojen selvittämiseksi ja arvot varmennetaan laboratoriokokeilla.

### 9.3.1 Koekenttärakenteiden laadunvalvonta

Koekenttärakenteiden rakentamisen laadunvalvonnan kannalta mitattavia ja seurattavia arvoja ovat seuraavat:

-Koerakenteen kerrospaksuus ja sijainti  $2 \text{ m} * 2 \text{ m}$  ruutuun.

-Tiivistyskokeiden seuranta Troxler-laitteella.

-Vähintään 8 kpl vesipitoisuusvertailumittauksia mikroalouunissa Troxler-laitteen vesipitoisuuden tarkastukseen.

-Vähintään 4 kpl hiekkavolymetrimittauksia Troxler-laitteen tiheysmittauksen tarkastukseen.

- Vedenläpäisevyyden määrittäminen laboratoriossa koekentästä otetusta näytteestä. Vedenläpäisevyyden tavoite on  $k$ -arvo  $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ . Koekappaleiden tiivistys IC-kiertotiivistyslaitteella koekentässä saavutettuun tiheyteen. Valmistetaan 3 koekappaleita vedenläpäisevyyksimittaukseen. Mikäli ensimmäisen mitatun koekappaleen  $k$ -arvo ei täytä vaatimusta, mitataan kappaleet 2 ja 3.

Laadunvalvontamittausten tarkoituksena on osoittaa, että asetetut laatutavoitteet saavutetaan valituilla työmenetelmillä. Koekentävaiheessa varmistetaan Troxler-laitteen mittaustulosten luotettavuus vertailumittauksin sekä tarvittaessa määritetään korjauskertoimet.

Mikäli tiivistyskerrokselle asetettuja vaatimuksia ei pystytä saavuttamaan suunnitelluilla menetelmillä, menetelmiä muutetaan siten, että tiivistyskerrokselle asetetut tavoitteet saavutetaan. Mahdollisiin muutoksiin johtaneet syyt sekä muutokset ennalta suunnitelluista menetelmissä kuvataan koekenttäraportissa.

### 9.4 Laadunvarmistussuunnitelma Hituran 2. altaan peitto

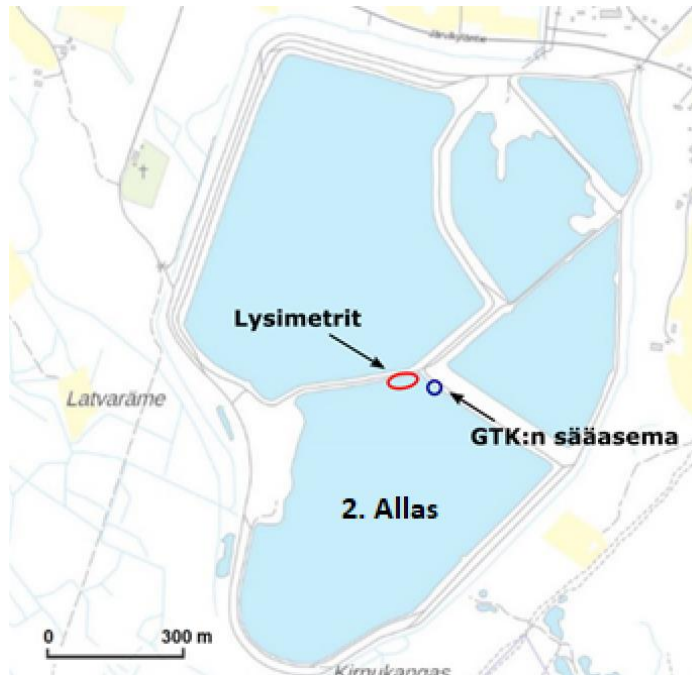
Hituran 2. rikastushiekka-altaan sulkemisurakalle laadittu laadunvarmistussuunnitelma se on liitteenä 2, jonka on laatinut Fortum.

### 9.5 Rakenteiden seurannan suunnittelu

Alueelle asennetaan 9.-10.7.2020 lysimetrit, joihin rakennetaan kaikilla 3 kuitusavella vastaavat rakenteet kuin peiterakenteissakin käytettynä. Eli 250 mm tiivistys kerros, jonka päälle tasataan noin 200 mm moreenikerros ja 100 mm kasvukerros. Näiden lisäksi rakennetaan moreenista vertailurakenne, jossa käytetään ensimmäisen suunnitelman mukaista 200 mm kerrospaksuutta ja 100 mm kasvukerrosta. Viides lysimetri koostuu vain rikastushiekasta, jonka päälle ei rakenneta minkäänlaista kerrosta. Viidennen lysimetrin tarkoituksena on antaa vertailutietoa peittämättömän rikastushiekan käyttäytymisestä.

Testi aloitettiin heinäkuussa 2020 asentamalla lysimetrit ja peittokerrokset ja testiä jatketaan vuoden 2022 loppupuolelle. Tutkimusjakson aikana lysimetrien avulla kerätään tietoa rakenteiden vedenläpäisevyydestä ja suotoveden kemiallisia ominaisuuksia analysoidaan säännöllisesti.

Lysimetrit asennetaan Hituran rikastushiekka-altaan 2:n reunalle, lähelle GTK:n sääasemaa. Lysimetrien tarkka sijainti on esitetty kuvassa 30.



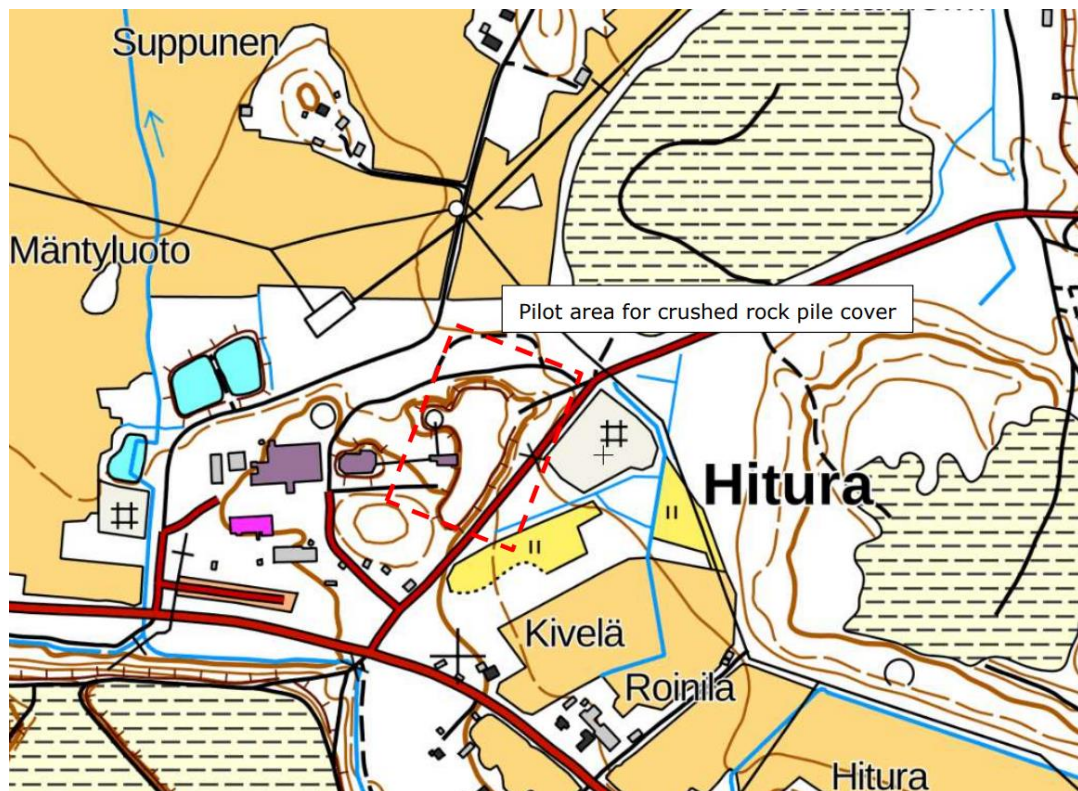
**Kuva 30.** Lysimetrien sijainti Hituran rikastushiekka-altaan 2 reunassa.

## 10. HITURA KIVIMURSKEKASAN PEITTORAKENNE

Hituran alueelle on suunniteltu pilotoitavaksi kesällä 2021 murskekasan peitterakenne. rakenteella on tarkoitus peittää esimurskaus alue, jolla sijaitsee murskattua kiveä. Peitemateriaalina toimii ylijäämäsavei. Kivikasan sijainti on merkitty kuvan 31 karttaan. Tarkoituksena on selvittää ylijäämäsavein potentiaalia murskekasan pintarakenteiden rakentamisessa verrattuna aikaisemmassa pilottirakenteessa käytettyihin kuitusaviin tai muista teollisuuden jättemateriaaleista rakennettuihin rakenteisiin. Ylijäämäsavella rakennetaan samanlainen peitterakenne kuin aikaisemmin Skartan rakentama rakenne kiillegneissikasalle, jossa savikerroksen paksuus on 500 mm ja sen päällä on 100 mm kasvukerros. Suunniteltu rakennusajankohta on 4/2021- 7/2021. Peitettävän alueen laajuus on 33 941 m<sup>2</sup> ja savikerroksen paksuus 500 mm sekä sen päällä olevan kasvukerroksen paksuus 100 mm. Rakenteen rakentaja on Skarta Finland ja aliurakoitsija Koneurakointi M.Sikala.



**Kuva 31.** Karttakuva peittorakenteista.



**Kuva 32.** Murskekasan peiterakennepilotin sijainti kartalla.



Pilotin tarkoituksena on tutkia teollisuuden sivuvirtojen ja ylijäämäsaveen kuljetuksen eroja kustannusten, kuljetuskapasiteetin ja tarvittavien matkojen suhteen, joka käydään tarkemmin läpi raportissa B2. Tuloksien perusteella arvioidaan ylijäämäsaveen potentiaalia verrattuna teollisuuden sivutuotteisiin. Oletuksena on, että ylijäämäsavea on monin paikoin helpommin ja lähempää saatavilla kuin teollisuuden sivuvirtoja. Teollisuuden sivuvirrat syntyvät aina tietyssä paikassa, jolloin kuljetusmatkaan ei voida vaikuttaa samaan tapaan kuin ylijäämämaiden kohdalla, joita syntyy monin paikoin ja mahdollisesti paikallisesti hyvinkin lähellä kunnostettavaa aluetta. Suoritetaan myös LCA-laskentaa tarkentamaan arviota koko rakentamisprosessin ja rakenteen elinkaaren vaatimista resursseista ja ympäristövaikutuksista. Sivuvirtamateriaalien ja ylijäämämaan työstettävyyttä vertaillaan keskenään.

Rakennekerroksien paksuudet ovat 500 mm savikerros ja sen päällä 100 mm kasvukerros. Kasvukerros on peltomultaa, joka saatiin kaivetun saveen päältä. Savi on peräisin kaivospiirin alueelta. Rakenne toteutetaan käyttäen kaivinkonetta ja puskutyökönnettä. Työnaikana seurataan kerrosvahvuutta koneohjauksen (infrakitissä tarkkeet) ja pistokoeluontoisten tarkastusten avulla.

## 11. PYSTYERISTYSSEINÄ

Pystyeristysseinämän pilotointi korvaa alun perin suunnitellun pohjarakenteiden pilotoinnin Hituran kaivoksella, koska kaivoksen sulkemisorakan yhteydessä suunniteltu vaarallisen jätteen loppusijoitusaltaan rakentaminen vesienkäsittelyn sakkua varten ei toteutunut. Sen sijaan, vesienkäsittelysakka päädyttiin kuljettamaan Kuopioon, jossa se hyödynnetään stabiloituna pystyeristysseinämän tukitäytössä. Erottavana rakenteena toimivan pystyeristysseinän toimintaperiaate ja vaatimukset ovat samat kuin pohjarakenteellakin olisi.

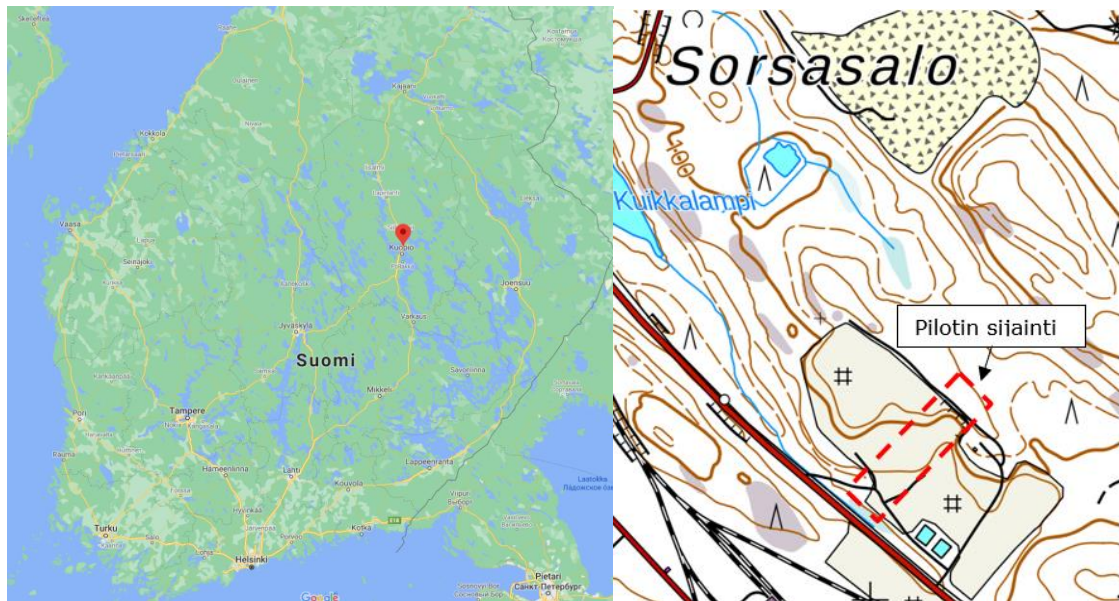
Kuopiossa sijaitsevalla vaarallisen jätteen ja tavanomaisen jätteen kaatopaikalla rakennetaan pystyeristysseinää, jonka rakentaminen on yhä kesken, ja seinämän rakentamista jatketaan kesällä 2022. Tämä on yksi UPACMIC:n piloteista ja siinä kokeillaan eristysseinämän rakentamista uusiomateriaaleista. Eristysseinän tehtävä on estää suotovesien valuminen vaarallisen jätteen läjitysalueelta tavanomaisen jätteen läjitysalueelle. Samalla voidaan erottaa kaksi läjitysalueita toisistaan. Pystyeristysseinältä vaaditaan vedenläpäisyarvoa  $k \leq 1 \times 10^{-9}$  m/s.

Pystyseiniä rakennetaan kahden kaatopaikka-alueen väliin sitä mukaa kun kaatopaikalle läjitetyn materiaalin korkeus kasvaa. Seinää siis tehdään kerrallaan noin metrin korkuinen siivu. Seinän ympärille läjitetään uusiomateriaaleja tukiaineiksi ja kuivatuskerroksiksi. Kuivatuskerrosten väliin nouseva seinä ei tällöin ole jatkuvasti veden alla vaan sen luokse suotautuva vesi imeytyy kuivatuskerroksen läpi pohjalla oleviin salaojaputkiin ja sieltä se kulkeutuu kaatopaikan hulevesijärjestelmään.

### 11.1 Sijainti

Pystyeristysseinämän suunniteltu ja toteutunut pilottikohde sijaitsee Sorsasalon saarella teollisuusjätekeskuksen alueella osoitteessa Selluntie 142, 70420 KUOPIO. Saaren alueella on vaarallisen jätteen läjitysalue, sekä tavanomaisen jätteen läjitysalue. Pystyeristysseinä rakennetaan näiden kahden läjitysalueen väliin estämään suotovesien sekoittuminen tavanomaisen jätteen puolelle, jonka vettä läpäisemätön pohja on matalammalla kuin vaarallisen jätteen puolella.

Eristysseinän rakentamista edelsi 07.10.2020 rakennettu koerakenne, jossa testattiin rakennusmenetelmän toimivuutta ja hyväksyttiin rakenne valvojalta. Koerakenteesta mitattiin Troxler laitteella tiheyksiä ja niitä verrattiin laboratoriossa vastaavalla materiaalilla tavoitteen mukaiset vedenläpäisevyysarvot saavuttaneiden testikappaleiden tiheyksiin. Eristysseinän rakenne hyväksyttiin ja rakentaminen jatkuu kaatopaikalla, sitä mukaa kun kaatopaikka täyttyy ja tarvitaan korkeampi seinä kaatopaikkojen väliin.



**Kuva 33.** Pystyeristysseinän pilotin sijainti.

## 11.2 Eristysseinän periaate

Pystyeristysseinämän periaatteena on toimia vertikaalisena eristerakenteena ja estää veden ja haitta-aineiden kulkeutuminen. Kyseinen rakennetyyppi soveltuu myös kaivosten rakenteisiin, vaikka kyseinen pilotointi on suunniteltu Kuopion Sorsasalon kaatopaikalle toteutettavaksi. Pystyeristysseinämän rakenteissa hyödynnetään kuvan 34 mukaisesti: 1) ylijäämäsavea pystyeristysseinämässä 2) Jätteenpolton kuonaa kuivatuskerroksessa 3) Hituran vesienkäsittelysakkua lentotuhkalla stabiloituna tukitötössä.

Pystyeristysseinää rakennetaan tiivistysapuvälinettä käyttäen kerros kerrokselta. Tiivistysapuväline on eräänlainen suuri muotti, jolla kyetään rakentamaan noin metrin paksuinen ja metrin korkuinen pala savesta kaivinkoneella muottiin tiivistäen. Tiivistäminen tapahtuu painelemalla kauhalla savea muottiin, kunnes saavutetaan tavoiteltu tiheystaso, jossa ennakkotesteissä todennettiin vaaditun vedenläpäisevyysarvon täyttyminen. Tiivistysapuvälineen avulla tiivistetyn saven suunniteltu tavoite vedenläpäisevyysarvo on  $6 \times 10^{-10}$  m/s. Apuvälineellä saavutettava tavoite on asetettu hieman rakenteelta vaadittua tiukemmalle, jotta apuvälinettä käyttäen päästään ainakin tavoitteeseen. Suunnitteluarvoa on käytetty apuvälineen mitoittamiseen ja valmistukseen. Vedenläpäisevyysarvo saadaan johdettua ennakkotutkimusten perusteella rakenteen kuivatiheydestä. Ennakkotutkimukset suoritetaan laboratoriossa samalla savella samaan kuivatiheyteen puristetuilla kappaleilla, joista mitataan vedenläpäisevyys.



#### 11.4 Rakentamisen aikainen laadunvarmistus

Työsuunnitelma ja rakentamisen aikainen tekninen seuranta löytyvät liitteestä 4.

#### 11.5 Tulokset pystyeristysseinä esirakenteen rakentamisesta

Rakennetta varten tehtiin esirakenne tiivistämällä muotin avulla savea yhden muotillisen verran. Tämän koepalan koko oli noin 1 x 1 x 4 m. Rakentamisen yhteydessä rakenteen tiheyttä seurattiin Troxler-laitteella. Mittauksia suoritettiin noin 50 mm kerrospaksuuden välein kolmesta kohdasta per kerros. Koepalan valmistuttua otettiin valmiista rakenteesta palan päältä ja keskeltä näytteitä laboratoriossa suoritettavia vedenläpäisevyyssmäärytyksiä varten. Keskeltä otettavia näytteitä varten pala leikattiin vertikaalisesti noin puolestavälistä. Näytteistä valmistettiin laboratoriossa kaksi näytettä eri tiheyksillä vastaamaan rakentamisen aikaisia mittauksia, ja niille tehtiin vedenläpäisevyysskoeket. Näissä vedenläpäisevyysskokeissa saatiin tulokseksi k-arvoja väliltä  $1,5 \times 10^{-10}$ ... $5 \times 10^{-10}$  m/s, jotka siis alittavat selvästi rakenteelle asetetun vaatimuksen  $1 \times 10^{-9}$  m/s, ja samoin niukasti myös tiivistysapulaitteiston erillisen tavoitteen  $6 \times 10^{-10}$  m/s. Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että pilottirakentamisessa käytetyn kaltaisella savella ja käytetyllä rakentamismenetelmällä on saavutettavissa riittävä rakennetiheys ja sitä kautta riittävän pieni vedenläpäisevyys rakenteen tarkoituksenmukaista toimivuutta ajatellen.

Tiivistetty savirakenne ja savi soveltuvat käyttökohteeseen ja pilotoinnin perusteella voitiin todeta laitteisto toimivaksi varsinaista täysimittaista rakennetta varten.

## 12. REAKTIIVISET RAKENTEET KAIVOSVESIEN KÄSITTELYSSÄ

Kaivosteollisuuden sivukivikasoista liukenee sadevesien mukaan merkittäviä määriä raskasmetalleja ja muita epäpuhtauksia. Aktiivinen vedenkäsittely on pitkällä aikavälillä kallista eikä sivukivikasoista suotautuva vesi ei lopu kesken. Tämän vuoksi on herännyt kiinnostus passiivisia vedenpuhdistusrakenteita kohtaan, joilla voidaan puhdistaa kaivosteollisuuden metallipitoisia vesiä, ilman jatkuvaa energian tarvetta. UPACMIC hankkeen puitteissa tutkittiin reaktiivisia rakenteita, jotka koostuivat pääasiassa uusiomateriaaleista ja teollisuuden sivuvirroista. Pilotti toteutettiin yhteistyössä KAIVASU-hankkeen kanssa. Pilotoitava reaktiivinen rakenne koostui peräkkäin asennetuista kalkkikivivallista ja geopolymeeristä. Näiden rinnalla pilotoitiin myös kaupallisena sovelluksena reaktiivista mattoa. Rakentamisesta vastasi Skarta (entinen Suomen maastorakentajat Oy). Näytteenotosta vastaa Feasib analytics laboratorio.

Pohjarakenteet ja pilottirakenteet rakennettiin kesällä 2021 Hituran kaivosalueelle. Pilotissa tutkittiin kiillegneissi-sivukivikasasta suotautuvan veden puhdistusta passiivisilla rakenteilla. Tässä raportissa A4 käsitellään vain rakenteiden suunnittelua ja pilottien rakentaminen käydään läpi raportissa B1.

#### 12.1 Reaktiivisten rakenteiden pilotointialue

Pilottirakenteet sijaitsevat Hituran kaivosalueella sivukivikasan läheisyydessä. Pilotteihin tuleva vesi otetaan sivukivikasan kuivatusojasta, joka virtaa Hituran vanhaan avolouhokseen. Louhos on osittain jo täytetty vedellä ja annetaan täyttyä hiljalleen.



## 12.2 Suunnittelun aloitus

Jotta vedellä passiivisesti toimiva rakenne olisi mahdollinen, tarvitaan korkeusero. Pilottirakenteen paikan määrittelemiseksi ja riittävän korkeuseron löytämiseksi mitattiin suotovesiojasta korkoja kuvan 37 mukaisesti. Näiden korkojen mukaan kuvan 37 mukainen paikka osoittautui soveltuvaksi pilottia varten. Alueen kohdalla suotovesioja laskee noin metrin verran alaspäin.



**Kuva 37.** Suotovesiojan korkoja kartalla.

## 12.3 Reaktiivisen seinämän pilottirakenne

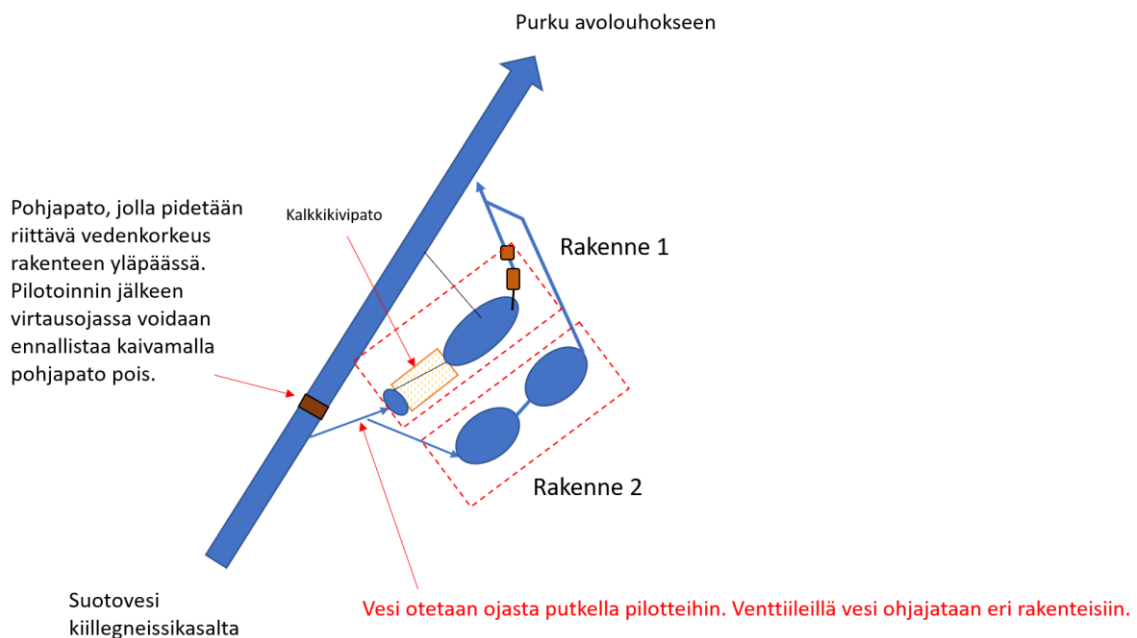
Rakenne koostuu kahdesta vaiheesta, joista ensimmäinen on pH:n säätö kalkkikivipadolla sekä metallien saostuminen ja toinen metallien adsorboituminen geopolymeeriin. Pilotissa käytettävä kalkkikivi on rakeisuudeltaan 5–20 mm ja se on ylijäämämateriaalia SMA Minerals Oy:n kalkkikivi-kaivokselta. Kalkkikivimurske on kalkkikiven leikkauksen yhteydessä syntynyttä sivukiveä. Geopolymeerin on tuottanut Oulun Yliopisto ja sitä tutkitaan myös KAIVASU-projektissa. Geopolymeeri on valmistettu teollisuuden sivuvirroista. Pilotin periaatekuva on esitetty alla kuvassa 38.

Kalkkikiven tehtävä on nostaa läpikulkevan veden pH:ta, jolloin veden sisältämät metallit saostuvat niukkaliukoisina suoloina padon partikkelien pinnalle ja sen jälkeiseen altaaseen. Kalkkikiven toimintaa reaktiivisissa rakenteissa on tutkittu läpivirtauskokeilla, joiden toteutuksesta ja tuloksista löytyy lisätietoa raportista A3. Geopolymeerin tehtävänä on sitoa jäljelle jääneitä metalleja vieläkin pienemmän pitoisuuden saavuttamiseksi.

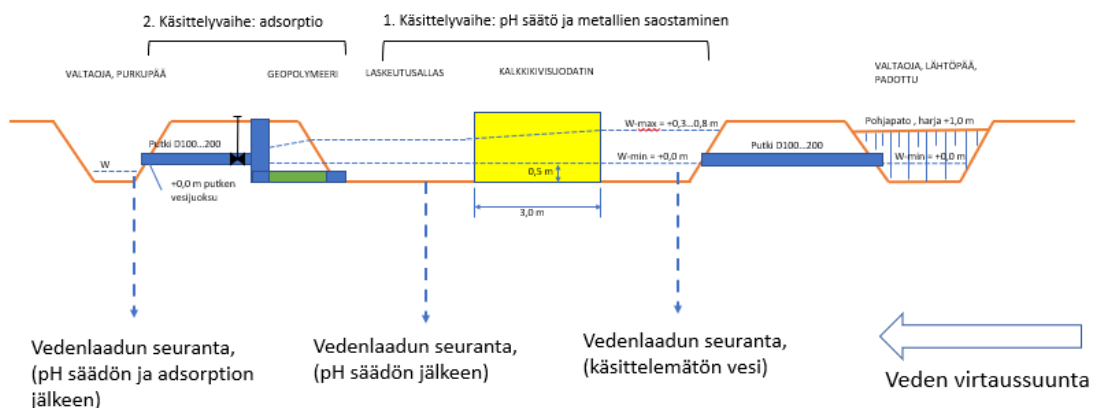
Pilottiin tuleva vesi otetaan osittain padotusta ojasta (pinta saatu nostettua korkeammalle). Padottu oja vuorataan savella, jottei padottu vesi suotaudu maaperän läpi. Vesi tulee virtaamaan korkeuserojen ansiosta passiivisesti rakenteen läpi ja palaa purkuputkea pitkin takaisin samaan uomaan.

Kalkkikivipato sijaitsee suunnitelman mukaan altaassa, joka on noin 4 m leveä, 14 m pitkä ja 1 m syvä. Kalkkikivipato on koko altaan levyinen (4 m) ja sijainti altaassa on noin 1/3 pituuden kohdalla tulovirtauksen suunnasta katsottuna. Näin saadaan padon jälkeiselle laskeutusaltaalle enemmän pituutta, jotta laskeutuminen ehtii tapahtua. Patoaltaaseen menevä putki on halkaisijaltaan 110 mm ja siltä poistuva putki on halkaisijaltaan myös 110 mm. Altaan pohjalle tulee muovikalvo estämään veden suotautumisen maaperään ja mursketta pitämään kalvo paikoillaan. Veden virtausta säännöstellään säätökaivojen ja venttiilien avulla. Rakenteessa käytettävien sulkuventtiilien avulla virtaus voidaan pysäyttää muutos- ja huoltotöiden mahdollistamiseksi. Venttiilit asennetaan aina-kin altaaseen tulevaan ja sieltä lähtevään putkeen.

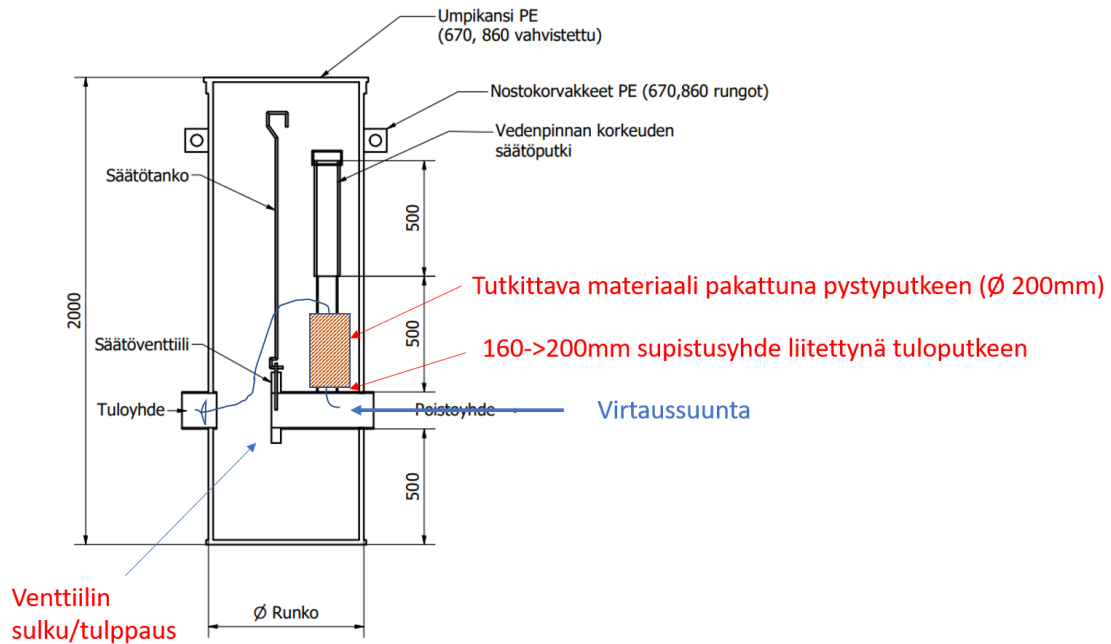
Putkilinjoihin asennetaan myös näytteenottokaivo tulevaan linjaan ja geopolymeerille kuvan 41 mukainen kaivo altaasta lähtevään linjaan. Samassa kaivossa on sulkuventtiili ja säätöputki. Säätöputkella voidaan säätää altaassa olevan vedenpinnan korkeutta.



**Kuva 38.** Passiivisesti toimivan reaktiivisen pilottirakenteen periaatekuva.



**Kuva 40.** Reaktiivisista materiaaleista rakennetun pilottin periaatekuva.



**Kuva 41.** Geopolymeerikaivon rakennekuva.

Altaaseen ei rakenneta kalkkikivipatoa heti, vaan allas täytetään ensin vedellä ja annetaan sen jälkeen virrata rakenteen läpi. Tällöin testataan geopolymeeriä yksinään kaivossa. Tämä vaihe kestää noin viikon. Viikon jälkeen kalkkikivipato rakennetaan altaaseen ja yhteisvaikutusta seurataan noin 4 kk.

#### 12.4 Horisontaalinen reaktiivinen seinämä kaupallisella tuotteella

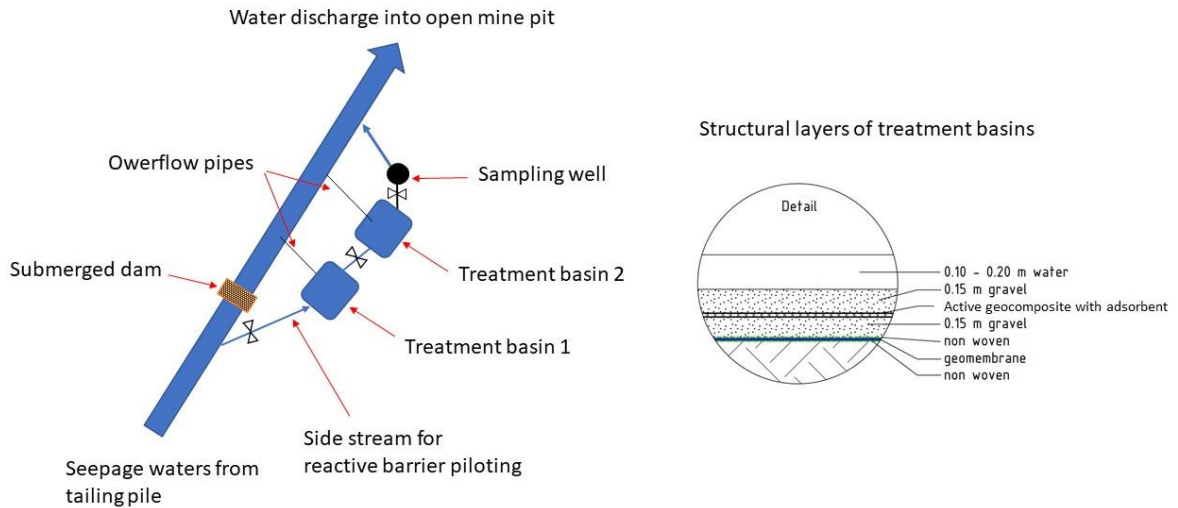
Teollisuuden sivutuotteista rakennettavan reaktiivisen seinämän rinnalle rakennetaan kaupallisesta tuotteesta vertailurakenne. Kaupallinen tuote reaktiivinen matto on myyntinimeltään Tektoseal® Active HM 4000. Tektoseal Active HM on aktiivinen geokomposiitti, joka koostuu kahdesta geotekstiilikerroksesta ja niiden välissä olevasta rakeisesta kationisesta adsorbentista. Hituran kohteessa kantava- ja suojaava geotekstiili on 220 g kuitukangasta. Pilottirakenteeseen Hiturassa asennettavassa matossa on 4000 g adsorbenttia jokaista neliometriä kohden.

Yleisesti ottaen Tektoseal Active on passiivinen käsittelymenetelmä, joka pysäyttää kontaminaatit ennen kuin ne pääsevät maaperään tai sen jälkeen kun ne poistuvat maaperästä, kuten esimerkiksi pohjaveden mukana kulkeutuessa maaperästä vesistöön. Rakeinen adsorbentti Tektoseal Active HM:ssä on kalsiumalumiinisilikaattia, joka on valmistettu metallien poistamiseen vedestä. Maton läpi kulkiessaan metallien pilaama vesi puhdistuu ja metallit jäävät adsorbenttimateriaaliin kiinni. Aluksi metallit kiinnittyvät rakeisen materiaalin ulkopinnalle, ennen kuin ne siirtyvät syvemmälle materiaaliin. Tässä siirtymässä menee muutamasta sekunnista minuutteihin.

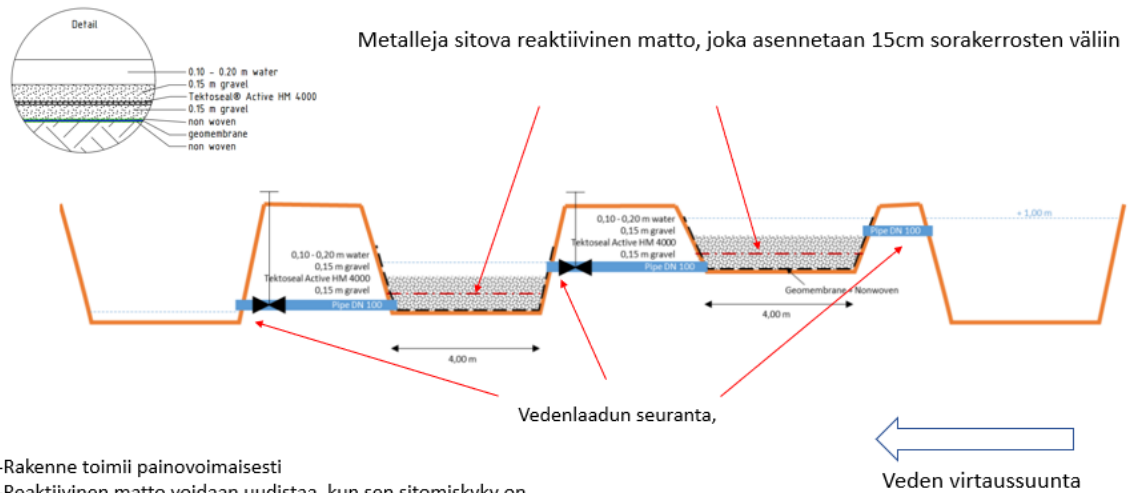
Vertailtava rakenne koostuu kahdesta samanlaisesta altaasta, jossa sorakerrosten väliin asennetaan kaupallinen reaktiivinen matto Tektoseal. Maton läpi kulkiessaan, veden sisältämät metallit adsorboituvat mattoon ja vesi puhdistuu. Vesi kulkee maton läpi painovoimaisesti eli altaassa maton yläpuolella oleva vesimassa painaa vettä maton läpi ja läpi kulkenut vesi siirtyy seuraavaan altaaseen, jossa sama toistuu. Altaita rakennetaan kaksi peräkkäin, jotta voidaan paremmin



arvioida maton käyttöikä ja sarjoitettujen altaiden tarvetta ja toimivuutta. Periaatekuva on nähtävillä alla kuvassa 43.



**Kuva 42.** Kaupallisella tuotteella suunnitellun pilottirakenne.

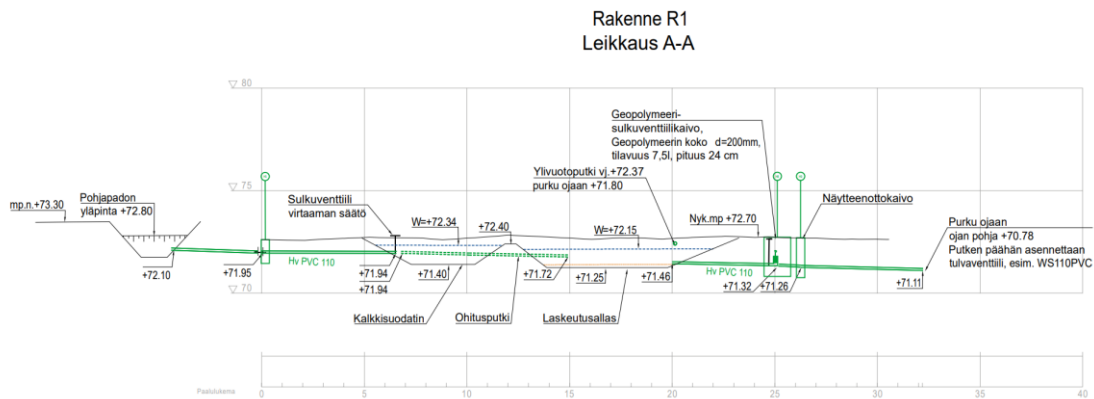


- Rakenne toimii painovoimaisesti
- Reaktiivinen matto voidaan uudistaa, kun sen sitomiskyky on loppu. Uudistamisen ajaksi vesi ohjataan toiseen käsittelyaltaaseen
- Altaiden pinta-ala 2 x (4x5m = 20m<sup>2</sup>) (+ luiskat)

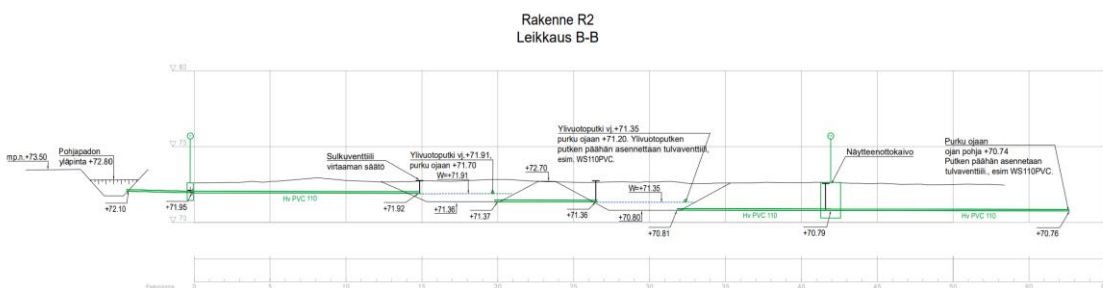
**Kuva 43.** Reaktiivisten mattojen pilotin periaatekuva.

Altaiden suunniteltu virtaus on noin 4 m<sup>3</sup>/d. Laboratoriotestien perusteella reaktiiviset matot kykenevät kuitenkin käsittelemään vettä virtausnopeudella 12 m<sup>3</sup>/d. Altaiin asennettavat ylivuotoputket suljetaan ja avataan vain tarvittaessa, kuten esimerkiksi altaiden tulviessa erityisen voimakkaan sateen vaikutuksesta. Reaktiivisen maton altaiden pohjalle asennetaan geomembraani, joka estää veden imeytymisen maaperään sekä materiaalien sekoittumisen. Geomembraani on koostumukseltaan kumimaton kaltainen. Reaktiivisille matoille rakennettujen altaiden koot ovat 4x5 m = 20 m<sup>2</sup>. Altaat ovat samankokoisia mutta eri korkoon rakennettuja, jotta vesi kulkee painovoimaisesti rakenteiden läpi. Altaissa käytettävä sora tulee olla raekooltaan 16/32 mm kokoista singeliä. Singeli mahdollistaa hyvän esteettömän vedenvirtauksen rakenteen läpi. Reaktiivisen maton molemmille puolille tuli noin 150 mm kerros tätä mursketta. Veden virtausta säännöstellään





**Kuva 45.** Kalkkikivipatorakenteen pituusleikkauskuva.



**Kuva 46.** Reaktiivisten mattojen altaiden pituusleikkauskuva.

## 12.6 Reaktiivisten rakenteiden pilotin seuranta

Pilotissa seurataan veden pH, sähkönjohtavuutta (EC) ja sulfaattipitoisuutta. Näiden yleismittauksen lisäksi analysoidaan vedestä alumiini Al, kalsium Ca, koboltti Co, kupari Cu, rauta Fe, magnesium Mg, mangaani Mn, nikkeli Ni ja sinkki Zn. Näistä metalleista mielenkiintoisimpia ovat alumiini-, kupari-, rauta-, mangaani-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet. Ympäristönsuojelunkannalta suurinta huolta vedessä aiheuttaa verrattain korkea nikkelpitoisuus, jota halutaan pienentää ennen veden ohjautumista täyttyvään avolouhokseen.

Aluksi reaktiivisen seinämän pilotirakenteessa testataan viikon ajan vain geopolymeerin kykyä poistaa raskasmetalleja. Tällöin näyte otetaan päivittäin viikon ajan. Virtaus säädetään noin arvoon 0,5 m<sup>3</sup>/d. Näyte otetaan tulevan veden näytteenotto-kaivosta ja tämä näyte on ns. nollanäyte. Ensimmäisen viikon aikana otetaan näyte vain geopolymeerin läpi menneestä vedestä. Tämän jälkeen lisätään myös kalkkikivipato altaaseen, jolloin näiden yhteisvaikutusta voidaan seurata. Myös virtaus säädetään 4 m<sup>3</sup>/d. Samalla harvennetaan näytteenottoa 1 kertaan viikossa. Vesinäytteet otetaan noin viikon välein altaan tulokaivosta ennen kalkkipatota, kalkkipadon jälkeen ennen geopolymeeriä ja geopolymeerin jälkeen. Seuranta toteutetaan noin 4 kk ajan.

Reaktiivisten mattojen altaista otetaan niin ikään nollanäyte tulevasta vedestä ja molempien altaiden lähtövedestä. Näytteitä otetaan kerran viikossa. Seuranta toteutetaan noin 4 kk ajan.

Virtausta rakenteiden läpi seuraa Feasibin laboratorion henkilökunta ja virtaus säädetään tarvittaessa tavoitteeseen 4 m<sup>3</sup>/d. Feasibin laboratorio sijaitsee Hituran kaivoksella kaivoksen entisissä tiloissa. Samaisessa laboratoriossa analysoidaan näytteet.

### 13. POHJARAKENTEET YLEISESTI

Kaivoksien rikastushiekka-altaiden pohjarakenteissa on todettu mahdollisesti toimiviksi osa materiaaleista ja seoksista, joita testattu Hituran kaivoksen kohteisiin materiaalitestauksen yhteydessä. Materiaalitestauksesta kerrotaan tarkemmin raportissa *A3 Final technical report*. Myös vedenläpäisevyyden tulee olla hyvin pieni. Esimerkiksi kuitusavi toimisi pohjarakenteena, luoden niukasti vettä läpisevän kerroksen rikastushiekkan alle. Positiivinen puoli kuitusavirakenteiden käyttämisessä pohjarakenteissa on se, että materiaalin päällä oleva maakerroksen massa ja sen aiheuttama paine tiivistää kuitusavea entisestään. Tällöin päästään suurempiin tiheyksiin ja pienempiin vedenläpäisevyyksiin kuin pintarakenteissa. Kuitusaven orgaanisen aineksen hajoamisen vaikutus kerroksen paksuuteen tulee ottaa huomioon varmuutena mitoituksessa.

Paras pohjarakenne olisi sivukivi/rikastushiekka yhdistettynä esimerkiksi tuhkaan. Tällöin välttyäisiin materiaalin kuljetuksilta, sillä suurin osa materiaalista olisi jo saatavilla kaivoksen alueelta. Tuhkan on oltava kuivaa ennen sen rakentamisen aikasita kastelua, että sen lujittumisominaisuudet säilyisivät mahdollisimman hyvinä, sillä nekin voivat vaikuttaa vedenläpäisevyyteen. Optimivesipitoisuudessa tiivistäminen on erittäin tärkeää parhaan tiiviuden saavuttamiseksi. Esimerkiksi moreenipohjan ominaisuuksia, kuten vedenläpäisevyyttä, voitaisiin mahdollisesti pienentää hyvinkin maltillisella 1–5 % tuhkan lisäyksellä. Tällöin jo paikalla olevaa heikkolaatuista maa-ainesta voitaisiin hyödyntää jalostettuna pienentyneen vedenläpäisyominaisuutensa ansiosta ja suurilta maamassojen siirroilta välttyttäisiin.

Hiturassa oli suunniteltu uusia sivukivialueita, joissa olisi mahdollisesti käytetty edellä mainittuja rakenteita, mutta konkurssi poisti tarpeen uusille altaille ja nämä suunnitelmat eivät edenneet materiaalitestausta pidemmälle.

## 14. VIITERAPORTIT

Danilton L. Flumignan, Rogério T. De Faria, Bruno P. Lena. Test of a microlysimeter for measurement of soil evaporation (1/2012)

Belvedere Mining Oy, Hituran kaivoksen uusien rikastushiekka-altaiden pohjatutkimukset (3/2013)

Klohn Crippen Berger, Closure Cover Design Report (7/2015)

Ramboll, Särkiniemen kaivosalue jälkihoitotoimenpiteiden kustannusarvio (10/2015)

UPACMIC, Koetointi 2015- astiatestit Pyhäsalmen materiaaleilla toteutettavan koerakentamisen periaatteet ja työn ohjeistus (11/2015)

Ramboll, Särkiniemen kaivosalueen nykyisen kuormituksen ja kuormituspotentialin arviointi (5/2017)

UPACMIC, Dragon Mining Oy Oriveden kaivos: Sivukivialueen laajennuksen yleissuunnitelma, suunnitelmaselostus (5/2017)

Fortum, Hituran kaivos rikastushiekka-altaiden sulkeminen, v. 2017 urakka koekenttäsuunnitelma (9/2017)

Fortum, Pystyeristerakenne, rakennusurakka (9/2020)

UPACMIC, A4 Plans for the bottom structure/isolation barrier piloting (6/2021)

Fortum, UPACMIC, A4 Plans for the cover structure piloting (6/2021)

UPACMIC, A4 Plans for reactive barrier piloting (6/2021)

## LIITE 1. Arvio sadannasta

Sadantatiedot perustuvat Ilmatieteenlaitoksen tilastoihin Haapaveden Mustikkamäen sääasemalta vv. 1988-2010.

-vuosisadanta 530 mm

-haihdunta 50% (vakioitu tässä yhteydessä)

-imeytyvä vesimäärä 265 mm / v

-tilavuutena 0,265 m<sup>3</sup>/v -- 266 l/v -- vastaa n. 4-10 l vesimääriä /m<sup>2</sup> / viikko

tammikuussa 18 l

helmikuussa 13 l

maaliskuussa 13 l

huhtikuussa 12 l

toukokuussa 21 l

kesäkuussa 29 l

heinäkuussa 36 l

elokuussa 37 l

syyskuussa 26 l

lokakuussa 23 l

marraskuussa 20 l

joulukuussa 18 l

-tiivisrakenteen läpi teoreettisesti imeytyvä vesimäärä vuodessa:

-k-arvolla  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s = 32 m vuodessa

-k-arvolla  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s = 3,2 m vuodessa

-k-arvolla  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s = 0,32 m vuodessa

-kerättävät vesimäärät lysimetreistä ovat arviolta 1 m<sup>2</sup> alueelta:

-arvolla  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s → kaikki läpi suotautuva vesi (maks. 300 l)

-arvolla  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s → kaikki läpi suotautuva vesi (maks. 300 l)

-arvolla  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s → jos tiivisrakenteen paksuus on alle 0,32 m, suotautuu rakenteen läpi kaikki vesi (maks. 300 l)

JaS

09.04.2018

## HITURAN KAIVOS

## RIKASTUSHIEKKA-ALTAIDEN SULKEMINEN, V. 2017 URAKKA

## LAADUNVARMISTUSSUUNNITELMA

JaS

## Sisällys

1	RAKENNUSHANKKEEN YLEISET TIEDOT .....	3
1.1	Rakennushankkeen kuvaus.....	3
2	LAADUNVARMISTUSORGANISAATIO.....	3
2.1	Rakennuttaja ja tilaaja .....	3
2.2	Urakoitsija.....	3
2.3	Suunnittelija .....	4
2.4	Työmaavalvonta.....	4
3	KATSELMUKSET .....	5
3.1	Alkukatselmus.....	5
3.2	Pohjarakenteen katselmuksset .....	5
3.3	Vesihuoltolinjojen katselmus .....	5
3.4	Toimintasuunnitelma muuttuvien sääolojen varalta .....	5
3.5	Varastot ja varastoalueet .....	5
4	MAASTOTUTKIMUKSET .....	5
4.1	Suunnitelmamittaukset ja pohjatutkimukset .....	5
5	DOKUMENTOINTI.....	6
6	TYÖNAIKAISET MITTAUKSET .....	6
6.1	Lähtö- ja kiintopisteet.....	7
6.2	Mittauskalusto .....	7
6.3	Mittausformaatti .....	7
6.4	Mittauksessa käytettävät tunnisteet .....	9
6.5	Mitattavat tasot ja pisteet .....	12
6.6	Tulosteet ja tulostusformaatti .....	12
7	LAADUNVALVONTA .....	12
7.1	Materiaalien laadunvalvonta.....	12
8	MAA-, POHJA- JA KALLIORAKENTEET .....	13
9	PÄÄLLYS- JA PINTARAKENTEET .....	13
10	PINTARAKENTEET.....	13
10.1	Bentonittimatto .....	13
10.2	Tiivistyskerros kuitusavi .....	14
10.2.1	Tiivistyskerroksen ennakkokokeet (kuitusavi) .....	14
10.2.2	Tiivistyskerroksen koerakenne (kuitusavi) .....	15
10.2.3	Tiivistyskerroksen työnaikainen laadunvalvonta (kuitusavi) .....	16
10.3	Tiivistyskerros moreeni .....	16
10.3.1	Mineraalisen tiivistyskerroksen ennakkokokeet (moreeni) .....	17
10.3.2	Mineraalisen tiivistyskerroksen suppea koerakenne (moreeni) .....	17
10.3.3	Mineraalisen tiivistyskerroksen työnaikainen laadunvalvonta (moreeni) .....	18
10.4	Tiivistyskerros savi.....	19
10.5	Tiivistyskerros (savi) .....	19
10.5.1	Tiivistyskerroksen ennakkokokeet (savi).....	19
10.5.2	Tiivistyskerroksen suppea koerakenne (savi) .....	20
10.5.3	Tiivistyskerroksen työnaikainenlaadunvalvonta (savi).....	21
10.5.4	Tiivisterakenteen läpiviennit .....	22
10.5.5	Pintakerroksen alaosa / bentoniittimaton suojakerros .....	22
10.5.6	Luiskaverhoukset ja eroosiosuojaukset.....	22
11	KASVILLISUUSRAKENTEET .....	22
11.1	Kasvukerros .....	22
11.2	Nurmi ja niittyverhoukset.....	23
12	JÄRJESTELMÄT .....	23
13	LOPPURAPORTTI.....	23



JaS

## 1 RAKENNUSHANKKEEN YLEISET TIEDOT

### 1.1 Rakennushankkeen kuvaus

Rakennushanke sisältää Hituran kaivoksen rikastushiekka-altaiden sulkemisen. Työn laajuus on esitetty urakkaohjelmassa ja suunnitelmapiirustuksissa.

## 2 LAADUNVARMISTUSORGANISAATIO

### 2.1 Rakennuttaja ja tilaaja

Pohjois-Pohjanmaan ELY-Keskus  
PL 86, 90101 Oulu

**Sopimusasiat:**

Timo Karjalainen  
p. 040 766 0574  
e-mail. [timo.k.karjalainen@ely-keskus.fi](mailto:timo.k.karjalainen@ely-keskus.fi)

### 2.2 Urakoitsija

Fortum Environmental Construction Oy  
PL 181  
11101 Riihimäki  
p. 010 7551 000

**Sopimusasiat (viranomaisyhteydet, sopimukset):**

Antti Virtanen  
Rakennuspäällikkö  
p. 050 3866107  
e-mail. [antti.virtanen@fortum.com](mailto:antti.virtanen@fortum.com)

**Mittaukset (Sunnitelma, mittaukset):**

Tommi Virtanen  
suunnittelupäällikkö  
p. 050 544 0821  
e-mail. [tommi.virtanen@fortum.com](mailto:tommi.virtanen@fortum.com)

JaS

**Laadunvarmistus (laadunvarmistussuunnitelma, laadunvarmistuskokeet)**

Janne Silvonen  
laadunvarmistuspäällikkö  
p.050 5960 590  
e-mail. [janne.silvonen@fortum.com](mailto:janne.silvonen@fortum.com)

**Työmaa (yleisjohto, sopimukset)**

Hannu Valtonen  
työpäällikkö  
p. 050 3866 107  
e-mail. [hannu.valtonen@fortum.com](mailto:hannu.valtonen@fortum.com)

**Työmaa (työnjohto, aliurakoitsijat, materiaalit)**

Jukka Palo-oja  
työmaapäällikkö  
p. 050 5613 028  
E-mail. [jukka.palo-oja@fortum.com](mailto:jukka.palo-oja@fortum.com)

## 2.3 Suunnittelija

Ramboll Finland Oy  
Kirjastokatu 4  
70100 Kuopio

Tarja Simonen  
Projektipäällikkö  
p. 050 300 1226  
e-mail. [tarja.simonen@ramboll.fi](mailto:tarja.simonen@ramboll.fi)

## 2.4 Työmaavalvonta

Juhani Kortelainen  
Rakennuttajan valvoja  
p. 0400 191658  
e-mail. [juhani.kortelainen@ely-keskus.fi](mailto:juhani.kortelainen@ely-keskus.fi)

JaS

### 3 KATSELMUKSET

Hankkeessa suoritetaan rakenteiden katselmuksia. Katselmuksiin osallistuvat rakennuttajan, ulkopuolisen laadunvalvonnan ja urakoitsijan edustajat, tarpeen mukaisesti. Katselmustilaisuuksista laaditaan tarvittaessa muistio.

#### 3.1 Alkukatselmus

Alkukatselmuksessa todetaan rakennusalueen nykytilanne, pohjamaan laatu, rakennetut reunarakenteet, kiinteistöjen ja kaivoksen rajat, luonnonsuojelualueet ja rakentamisen aikana varottavat rakenteet.

#### 3.2 Pohjarakenteen katselmukset

Katselmuksessa todetaan rakennetun kerroksen suunnitelmanmukaisuus ja laadunvarmistuksen tulokset. Seuraavan kerroksen rakentamista ei saa aloittaa ennen kuin laadunvalvoja ja rakennuttaja ovat hyväksyneet alemman kerroksen rakentamisen. Kerrokset voidaan hyväksyä myös vaiheittain osissa. Pohjarakenteen osalta katselmoidaan tasattu ja tiivistetty alusrakenne sekä valmis tiivistyskerros.

#### 3.3 Vesihuoltolinjojen katselmus

Katselmuksessa todetaan valmiiden putkilinjojen, kaivojen ja pumppaamoiden suunnitelmanmukaisuus sekä hyväksytysti tehdyt tiivistyskokeet ja mittaukset. Katselmukset voidaan pitää linjaosuuksin.

#### 3.4 Toimintasuunnitelma muuttuvien sääolojen varalta

Säätietoja tulee seurata työmaalla sekä ennusteista. Työt tulee suunnitella niin, että sään vaikutus materiaaleihin sekä työn laatuun ei ole laatua heikentävä.

#### 3.5 Varastot ja varastoalueet

Raaka-aineet ja materiaalit varastoidaan työmaan läheisyyteen. Materiaalit varastoidaan materiaalityömaalla ohjeiden mukaisesti.

### 4 MAAASTOTUTKIMUKSET

#### 4.1 Suunnitelmamittaukset ja pohjatutkimukset

Osa suunnitelmätiedoista kuten patorakenteet ja pohjaveden virtauksen katkaisuun rakennetut padot ovat vanhoista suunnitelma-asiakirjoista. Todellinen rakenne voi poiketa suunnitelma-asiakirjoissa esitetystä.

JaS

Altaiisiin läjitetyn rikastehiekan pölyäminen sekä rikastushiekan sisältämät haitta-aineet on huomioitava työn suunnittelussa.

Alueen etelänpuoleiset penger- ja täyttöalueet tulee tarkastaa koekuopin, ennen täyttötöytä. Alueella saattaa olla pehmeikköjä.

Rakennuspohjaa ja maaperää tulee havainnoida työn aikana, mikäli havaitaan poikkeamia suunnitelmiin ja ennakkotietoihin niistä tulee olla yhteydessä rakennuttajaan.

## 5 DOKUMENTOINTI

Työmaapäällikkö pitää työmaapäiväkirjaa, johon merkitään työmaan kannalta kaikki tärkeät tapahtumat.

Työmaapäällikkö kirjaa eri työvaiheiden etenemisen työmaapäiväkirjaan tai mikäli mittauskalusto on jatkuvasti työmaan käytettävissä, kartoittaa päivittäin työn etenemän omaan tiedostoonsa.

Työmaapäällikkö vastaa siitä, että tässä laadunvalvontasuunnitelmassa esitetyt laadunvarmistustoimenpiteet toteutetaan. Toimenpiteiden toteutuksesta pidetään kaksinkertaista (paperi + tietokone) kirjanpitoa tehdyistä toimenpiteistä. Laadunvarmistukseen liittyvät dokumentit säilytetään työmaalla..

Osa laadunvarmistustoimenpiteistä tehdään työmaan ulkopuolisessa laboratoriossa. Laboratoriolla on oma laatujärjestelmä. Työmaalla ja laboratoriossa tehtävien kokeiden tulokset yhdistetään laatuasioista vastaavien toimesta yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Mahdolliset korjaustoimenpiteet ilmoitetaan viipymättä riippumattomalle laadunvalvojalle. Merkitykseltään vähäiset korjaustoimet kirjataan työmaapäiväkirjaan ja mikäli ne kohdistuvat rakenteeseen niin korjaustoimenpiteiden sijainti tallennetaan mittalaitteelle.

Rakentamisen aikana tapahtuneista merkitykseltään suurista virheistä/laaturajojen poikkeamista laaditaan erillinen poikkeamaraportti, jossa laatu-poikkeama, korjaavat toimet sekä laatu-poikkeaman merkitys hyvän lopputuloksen kannalta, kuvataan yksityiskohtaisesti.

## 6 TYÖNAIKAISET MITTAUKSET

Urakoitsija tekee kaikki työn toteuttamisen vaatimat rakenteiden korkeusaseman ja sijainnin mittaukset suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. Kaikki mittaustulokset kootaan sellaisessa muodossa, että niitä voidaan käyttää laadunvalvonnassa rakenteiden mitta- ja sijaintitarkkuuden analysointiin. Kaikki mittaustulokset toimitetaan työn edistymisen mukaan rakennuttajan valvojalle.

Mittaukseen liittyvistä töistä työmaalla vastaa työmaan työmaapäällikkö.

JaS

## 6.1 Lähtö- ja kiintopisteet

Mittausten lähtötasona käytetään kiintopisteitä, joiden perusteella urakoitsija tekee mittaukset. Ennen työn aloitusta urakoitsija vertaa lähtöpisteiden korkeus- ja sijaintitietoja suunnittelukorkoihin ja –mittauksiin.

Käytettyjen kiinto- ja apupisteiden keskinäinen asema kontrolloidaan jokaisen orientoinnin yhteydessä. Orientointivirheistä laskettu tarkkuusluku tallentuu jokaisen mitatun pisteen attribuuttitietoihin.

## 6.2 Mittauskalusto

Työmaan mittaukset tehdään joko robottitakymetrillä ja VRS GPS-GNSS kalustolla. Tarpeen mukaan apuna voidaan käyttää tarkistettuja taso- ja putkilasereita ja konevastaanottimia. Työssä käytetään mahdollisuuksien mukaan suoraan työkoneeseen liitettyä 3D-koneohjausjärjestelmää.

Robottitakymetrikalustona käytetään Trimblen S6-, 5600- tai 600- sarjan laitteita. GPS-kalustona käytetään Trimblen 5800- ja R8-sarjan GPS/GNSS- vastaanottimia. Takymetrin/GPS:n tyypistä riippumatta maastotallentimena käytetään graafista Trimble TCU-maastotietokonetta. Kaikissa tallentimissa käytössä on Trimblen Survey Controller maastonmittausohjelmisto. Mittaukset perustuvat maastomallien, aktiivisen taustakartan ja paikalleenmittaustiedostojen käyttöön.

Takymetrin kollimaatio- ja tappikaltevuusvirheet korjataan ennen työmaan aloitusta ja työn aikana tarvittaessa.

## 6.3 Mittausformaatti

Urakoitsija on kehittänyt oman formaatin (\*.ekp), jota kaikki käytössä olevat mittalaitteet tuottavat. Tallennettava tietomäärä on huomattavasti perinteisiä menetelmiä kattavampi. Takymetrikäytössä tallennetaan:

Työhön liittyvät yleiset ns. header-tiedot: Luontipäivä ja –aika, mittaja, projektiin liittyvät viitteet ja kommentit, käytettävä ohjelmaversio ym.

- Kullekin kartoituspisteelle tallennetaan:
- pintakoodi (mitattavan rakennepinnan koodi)
- taiteviivanumero
- pisteen koodi
- pistenumero

## JaS

- pisteen korkeusaseman ero käytössä olevaan maastomalliin
- käytössä olevan maastomallin nimi
- taiteviivojen geometria (avoin / suljettu)
- X, Y ja Z- koordinaatit
- mittaustapa (taky / gps, gps -käytössä alustuksen taso)
- pisteen synty tapa (syötetty / mitattu)
- prismakorkeus
- tarkkuusluvut (takymetrikäytössä orientointivirheet)
- mittauspäivä
- mittausaika
- mittaajan nimi (header-tiedoista)
- vapaa kommentti, johon mittaaja kirjaa tarvittaessa pisteeseen liittyviä huomioita.

GPS-käytössä tallennetaan lisäksi mm. DOP- ja RMS-tiedot.

Mittaustiedot käsitellään 3D-Win-ohjelmalla. Tällöin header-tiedot häviävät, mutta kaikki pisteisiin liittyvä tieto säilyy, kukin tieto omana attribuuttinaan.

Paikalleenmittaus perustuu maastomallien käyttöön. Kustakin rakennepinnasta tehdään 3D-Winillä oma mallinsa. Malli rakennetaan pursottamalla edellisen rakennekerroksen tarkemittauksista siten että täysi rakennepaksuus saavutetaan joka kohdassa, myös jireissä, taitteissa ja luiskissa. Valmis malli käännetään 3D-Winillä tallentimen käyttämään ttm- muotoon, tai koneenohjausjärjestelmän kyseessä ollen DXF-muotoon.

Oleellista em. prosessissa on se, että malli siirtyy suunnitelmasta työmaalle matemaattisesti muuttumattomana. Kolmiointia tms. ei tehdä tallentimessa, jolloin sen oikeellisuudesta esim. keilamaisissa rakenteissa ei olisi varmuutta.

Mallin syötön yhteydessä tallentimelle siirretään myös taustakartta mallin käsittävistä alueista. Sen avulla mittaaja pystyy maastoonmerkitsemään ja kiinnittämään huomiota taitekohtiin.

Paikalleenmitattavat pistemäiset kohteet tai linjat syötetään tallentimelle tilanteesta riippuen joko geonic- (paikalleenmittaustiedostona) tai dxf- muodossa (aktiivisena taustakarttana). Koneenohjausjärjestelmässä käytetään \*.lin- muotoista linjatietoa.

JaS

Syöttötavasta riippumatta haluttu kohde on poimittavissa tallentimen näytöltä paikalleenmitattavaksi.

#### 6.4 Mittauksessa käytettävät tunnisteen

Urakoitsijan koodaus perustuu Tielaitoksen käyttämään koodaukseen. Sitä on kuitenkin täydennetty ja editoitu.

Eri rakennekerrokset erotetaan toisistaan seuraavilla pintakoodeilla:

- 0 Hajapiste
- 1 Kiintopiste (virallinen)
- 10 Korkeuskiintopiste
- 12 Apupiste
- 20 Erikoiskohde, selvitys kommentissa
- 90 Avokallion hajapiste
- 99 Muu aluerajaus viivalla
- 100 Maan- tai muun pinnan taite
- 121 Tien keskilinja
- 122 Päällysteen reuna
- 123 Pientareen ulkoreuna
- 127 Muu tien taiteviiva
- 128 Jalkakäytävä tai pyörätie reuna
- 129 Polku
- 130 Reunakiven alareuna
- 131 Reunakiven yläreuna
- 132 Tukimuurin reuna
- 133 Tukimuurin yläreuna
- 140 Ojanreuna
- 141 Ojanpohja
- 146 Joen reuna (törmän yläreuna)
- 147 Rantaviiva
- 148 Vesipinnan korkeus
- 150 Luiskan alareuna
- 151 Luiskan yläreuna
- 191 Avokallion rajaus
- 192 Kallioleikkauksen yläreuna
- 193 Kallioleikkauksen alareuna
- 200 Rakennuksen nurkka
- 202 Betonilaatta tai muu rakenne
- 203 Katos
- 204 Portaat
- 205 Muu rakenne
- 206 Talon pystyviiva

## JaS

- 210 Aita
- 211 Puuaita
- 212 Verkkoaita
- 213 Kiviaita, tiili- tai betonimuuri
- 214 Puurivi tai -aita
- 215 Havupuurivi tai -aita
- 220 Kaide
- 221 Teräskaide
- 222 Puukaide
- 230 Liikennemerkkin jalusta
- 231 Porttaali
- 232 Liikennevalopylväs
- 233 Kaapelin merkkipaalu
- 234 Valaisinpylväs
- 240 Maaliviiva sillalla
- 241 Silta
- 242 Sillan reunapalkin tai korokkeen alar.
- 243 Sillan reunapalkin tai korokkeen ylar.
- 244 Maatuki
- 245 Pilari
- 246 Palkki
- 248 Arkku/Perustus
- 249 Muu sillan taiteviiva
- 250 Rajapyykki
- 251 Rajapaalu
- 252 Hävinnyt rajapyykki
- 254 Rajalinja
- 259 Tiealueen raja
- 260 Kuvioraja yleensä
- 261 Pellon reuna
- 263 Suo
- 264 Metsä
- 271 Kivi
- 272 Lehtipuu
- 273 Havupuu
- 274 Pensas
- 280 Rautatiekiskon selkä
- 290 Maaliviiva
- 300 Rumpu putken päältä
- 301 Rumpu vesijuoksu
- 315 Saniteettiviemäri
- 316 Talousvesiputki
- 321 Sadevesiviemäri
- 326 Suojaputki
- 331 Salaojaputki
- 336 Jätevesiviemäri



## JaS

- 338 Paineviemäri
- 340 Vesijohto
- 345 Kaasuputki
- 346 Imuputki
- 347 Kaukolämpöputki
- 350 Putken vesijuoksu
- 351 Putkitarke päältä
- 360 Kaasunkeräyssalaoja alataite
- 361 Kaasunkeräyssalaoja ylätaitte
- 380 Louhesalaoja alataite
- 381 Louhesalaoja ylätaitte
- 400 Kaivo (laatu määrittelemättä)
- 401 Sadevesikaivo
- 402 Salaojakaivo
- 403 Kaapelikaivo
- 404 Jätevesikaivo
- 405 Tarkastuskaivo
- 406 Kaasunkeräyskaivo
- 407 Porakaivo (PK)
- 408 Pumpukaivo (PU)
- 409 Venttiilikaivo
- 410 Havaintoputki (HP)
- 412 Allaskaivo
- 414 Talousvesikaivo
- 415 Kaivon pohja (selite kommentissa)
- 419 Kalliokairausreikä (KKR)
- 420 Näytepiste (NP)
- 422 Koekuoppa
- 450 Imeytyskaivo
- 470 Tarkastus- tai tuuletusputki
- 480 Venttiili
- 490 Paloposti
- 507 Muu geotekstiili
- 508 Muovikalvo
- 509 Bentoniittimatto
- 510 Suodatinkangas
- 511 Salaojamatto
- 514 Troxler 1. kerros
- 515 Troxler 2. kerros
- 516 Troxler 3. kerros
- 520 Painumatanko
- 600 Kaapelit
- 601 Puhelinkaapeli
- 602 Sähkökaapeli
- 5000 Sähkö- tai puhelinpylväs
- 5001 Ilmajohto

JaS

AutoCad-tiedostoissa pintakoodia ei ole eikä tarvita, sillä yleensä kustakin rakennepinnasta tehdään oma tiedostonsa.

Pistekoodi siirtyy AutoCadissa layer- nimeksi joko numeromuodossa tai selväkielisenä, käyttötarpeen mukaan.

## 6.5 Mitattavat tasot ja pisteet

- Rakennettavan alueen lähtötilanteen pinta mitataan 20 m \* 20 m ruutuun.
- Tasattu ja tiivistetty alusrakenne 20 m \* 20 m ruutuun
- Tiivistyskerroksen valmis pinta 20 m \* 20 m ruutuun
- Luiskien ylä- ja alataitteet, ojat jne. mitataan taiteviivoina enintään 5 m pistevälillä
- Laadunvalvontamittaus- ja näytteenottopisteiden sijaintipisteet mitataan.

## 6.6 Tulosteet ja tulostusformaatti

Loppuraporttikuvat tehdään AutoCadilla. Urakoitsija merkitsee suunnitelmapiiirustuksiin kaikki työn aikaiset erot ja poikkeamat alkuperäisestä suunnitelmasta. Piiirustukset luovutetaan rakennuttajalle, kun työ on valmis ja hyväksytty.

Urakoitsija toimittaa rakennuttajalle ja riippumattomalle laadunvalvojalle mittausaineistosta 1:1000 karttapohjille tulostetut korkeuskäyrät toteutuneista valmiista pinnoista. Aineisto toimitetaan myös sähköisessä muodossa.

# 7 LAADUNVALVONTA

## 7.1 Materiaalien laadunvalvonta

Materiaalien kelpoisuus osoitetaan ennen niiden käyttöönottoa ensisijaisesti Standardin SFS-EN mukaisella CE-merkinnällä.

Jos kelpoisuutta ei ole osoitettu CE-merkinnällä, asiakirjoissa vaaditut tuotteiden ominaisuudet voidaan osoittaa luotettavilla tutkimustuloksilla.

Mikäli materiaali ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, sitä ei käytettä rakentamiseen. Ennen hylkäämispäätöksen tekemistä voidaan vaatimukset täyttämätöntä koetta kohti

JaS

tehdä kaksi uutta koetta, joiden molempien tulee täyttää asetetut vaatimukset, jotta kyseistä materiaalierää voidaan käyttää rakentamiseen. Materiaaleille suoritettujen parantamis- tai korjaustoimenpiteiden jälkeen sen kelpoisuus on osoitettava kahdella uudella kokeella.

## 8 MAA-, POHJA- JA KALLIORAKENTEET

InfraRYL mukaisesti

## 9 PÄÄLLYS- JA PINTARAKENTEET

InfrRYL mukaisesti

## 10 PINTARAKENTEET

Pintarakenteen tiivistysrakenteina käytetään bentoniittimattoa, kuitusavea, moreenia sekä mahdollisesti savea.

Koekenttä täydellisenä on tarkoituksenmukaista tehdä yhden kerran. Materiaalien ja materiaalialkuperän vaihtuessa tehdään suppeampia koekenttä, jossa todetaan materiaalin soveltuvuus sekä mahdolliset muutokset työmenetelmiin. Tarkastetaan materiaalin tiiveys (Troxler) sekä tarvittava tiivistystyö. Mitataan vedenläpäisevyys laboratoriossa työmaalla saavutetussa tiiveydessä.

Koekenttien tulosten avulla laaditaan työohje kullekin materiaalille.

Tiivistyskerroksen rakentaminen talvityönä: Materiaali levitetään ja tiivistetään rakenteeksi heti sen saavuttua työmaalle. Tehdään suunnitelmanmukaiset laadunvarmistustoimet.

Tiivistyskerroksessa käytettävä materiaali ei saa olla jäässä eikä se saa sisältää jäätä eikä lunta. Työn aikana liettynyt tai häiriintynyt materiaali on poistettava.

### 10.1 Bentonittimatto

Jarosiittialueen tiivistyskerros ja rikastushiekka-altaan 2 ja vanhan rikastushiekka-altaan pintavesiojen pohjan tiivistys toteutetaan molemminpuolisella kuitukankaalla varustetulla laatuvaatimukset täyttävällä bentoniittimatolla, jonka vedenläpäisevyys on  $k$ -arvo  $\leq 5,0E-11$  m/s.

Bentoniittimatto varastoidaan valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Bentoniittimatto saumataan limittämällä, limityksen tulee olla vierekkäisillä saumoilla vähintään 300 mm ja poikkisaumoilla 500 mm. saumapintojen tulee olla puhtaat, eikä

JaS

niissä saa olla poimuja. Luiskissa poikittaissaumojen pysyvyys varmistetaan kumentamalla. Pitkittäisiin lisätään tasaisesti koko sauman pituudelta 0,5 kg/m bentoniittijauhetta, poikittäisiin vähintään 0,8 kg/m.

Voidaan myös käyttää bentoniittimattoa, jonka reunakaista on bentoniitilla kyllästetty, vähintään 0,8 kg/m<sup>2</sup>. Sauman tulee vastata tiiveydeltään muun maton tiiveyttä.

Kaikki maton vauriot, reiät, repeämät ja kastuneet alueet tulee paikata asentamalla päälle uusi bentoniittimatto, joka ulottuu 0,5 m vauriokohdan ulkopuolelle. Mattoa asennetaan vain se määrä, joka voidaan työvuoron loputtua peittää. Mattoa ei saa jättää suojaamatta yön yli. Bentoniittimatto tulee peittää vähintään 30 cm maakerroksella 24 tunnin sisällä asennuksesta. Bentoniittimaton peittokerroksen maksimiraekoko on suhteistuneella maa-aineksella 64 mm, sekarakeisella materiaalilla 32 mm ja tasarakeisella 16 mm. Pääsääntöisesti materiaalin toimittajan ohjeen mukaisesti.

Peittämätön matto suojataan sateelta ja valuilta vedeltä. Työkoneilla maton päällä liikkuminen ja tarvikkeiden varastointi on kielletty.

## 10.2 Tiivistyskerros kuitusavi

Tiivistyskerros tehdään ennakkokokeiden perusteella tarkoitukseen hyväksytystä kuitusavesta. Tiivistyskerroksen materiaalin tulee tiivistettynä täyttää vedenläpäisevyyden k-arvo  $\leq 1,0E-08$  m/s.

Tiivistyskerroksen asennusalustan tulee olla kantava ja kuiva.

Tiivistyskerroksen kerrospaksuus  $\geq 250$  mm (+50/-0 mm)

Tiivistyskerroksen tasaisuutta arvioidaan jatkuvasti silmämääräisesti. Vaatimus  $\pm 50$  mm, eikä vettä kerääviä painanteita.

Tiivistyskerroksen tiiveysvaatimus (kuivatilavuuspaino) määritetään ennakkokokeiden ja koekentän perusteella.

Tiivistyskerros tiivistetään tarkoitukseen soveltuvalla kalustolla. Tiivistyskerroksen pinta tasataan sileäksi. Valmiin pinnan päällä ei saa liikkua sellaisilla koneilla, jotka voivat aiheuttaa muodonmuutoksia pintaan tai materiaalin irtoamista siitä.

### 10.2.1 Tiivistyskerroksen ennakkokokeet (kuitusavi)

Ennakkokokeilla selvitetään tiivistyskerrokseen käyttävän materiaalin ominaisuuksien vaihtelu sekä millaisilla ominaisuuksilla vaadittu vedenläpäisevyysvaatimus täyttyy. Ennakkokokeiden avulla määritetään työnaikaiset laadunvarmistusparametrit.

#### Tiivistyskerroksen ennakkokokeina tehtävät määritykset:

- Vesipitoisuus

JaS

- Sullontaominaisuudet (Proctor koe / ICT kiertotiivistys, optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino)

Ennakkokokeita tehdään riittävä määrä, jotta materiaalin laadunvaihtelut saadaan selvitettyä.

### 10.2.2 Tiivistyskerroksen koerakenne (kuitusavi)

Ennen varsinaisen tiivistysrakenteen tekemisen aloittamista rakennetaan koekenttä, joka voi olla asetetut vaatimukset täyttäessään osa tiivistysrakennetta. Koekentän koko on 20 m \* 20 m. Koerakentamisesta laaditaan raportti, jossa esitetään saadut tulokset ja johtopäätökset. Työn dokumentoinnissa käytetään lisäksi valokuvausta.

Koetiivistyksen avulla tarkistetaan:

- Työmenetelmien soveltuvuus
- Materiaalin levitys- ja tiivistysmenetelmät
- Tiivistystyössä käytettävä nopeus ja ylityskertojen määrä
- Saavutettava kuivatilavuuspaino ja sitä vastaava vedenläpäisevyys
- Laadunvalvontamenetelmät ja hyväksymistasot
- Mittalaitteiden toimivuus

#### Kokeet:

1. Kerrospaksuus mitataan takymetrillä 2 m \* 2 m ruutuun. Pinnan tasaisuus silmämääräisesti.
2. Vähintään 4 kpl vesipitoisuusvertailumittauksia uunissa Troxler-laitteen vesipitoisuuden kalibrointiin.
3. Vähintään 3 kpl tiheyden määrityksiä hiekkavolymetrillä Troxler-laitteen tiheysmittauksen kalibrointiin.

#### Vaatimukset/toiminta poikkeamatilanteessa (kun esitetty vaatimus ei täyty):

(vastaava numerointi kuin edellä olevassa kohdassa kokeet)

JaS

1. Kerrospaksuus ja pinnan tasaisuus tavoitteen mukainen // Massan lisäys, uudelleen tiivistys ja tasaus
2. Tarvittaessa Troxler laitteen vesipitoisuuskorjauskertoimen laskeminen
3. Tarvittaessa Troxler-laitteen tiheyskorjauskertoimen laskeminen.

### 10.2.3 Tiivistyskerroksen työnaikainen laadunvalvonta (kuitusavi)

Tiivistyskerros rakennetaan suunnitelman mukaiseksi. Kerrospaksuus tiivistettynä vähintään 250 mm.

Tiivistyskerroksen rakentaminen talvityönä: Materiaali levitetään ja tiivistetään rakenteeksi heti sen saavuttua työmaalle. Tehdään suunnitelmanmukaiset laadunvarmistustoimet.

#### Tutkittavat parametrit:

- Vesipitoisuus laboratoriossa 1 määrittäminen / 5000 m<sup>2</sup>. Vertailu Troxlerin mittaamaan vesipitoisuuteen – tarvittaessa korjauskertoimen laskeminen. Mikäli kuitusavi on liian märkää, kuitusaven kuivattaminen.
- Vesipitoisuus, kuivatilavuuspaino, märkätilavuuspaino Troxler-laitteella 1 kpl / 1000 m<sup>2</sup> valmista tiivistysrakennetta. Tavoitekuivatilavuuspaino ennakkokokeissa määritetty. Mikäli tavoitekuivatilavuuspainoa ei saavuteta, suoritetaan lisätiivistys.
- Materiaalin silmämääräinen tarkkailu rakentamisen aikana
- Kerrospaksuus tiivistettynä vähintään 250 mm. Tasaisuus silmämääräisesti. Vaatimus 4 m matkalla ± 50 mm.

### 10.3 Tiivistyskerros moreeni

Tiivistyskerros tehdään ennakkokokeiden perusteella tarkoitukseen hyväksytystä moreenista. Tiivistyskerroksen materiaalin tulee tiivistettynä täyttää vedenläpäisevyyden k-arvo  $\leq 1,0E-08$  m/s.

Tiivistyskerroksen asennusalustan tulee olla kantava ja kuiva.

Tiivistyskerroksen kerrospaksuus  $\geq 200$  mm (+50/-0 mm)

Tiivistyskerroksen tasaisuutta arvioidaan jatkuvasti silmämääräisesti. Vaatimus  $\pm 50$  mm, eikä vettä kerääviä painanteita.

Tiivistyskerroksen tiiveysvaatimus (kuivatilavuuspaino) määritetään ennakkokokeiden ja koekentän perusteella.

JaS

Tiivistyskerros tiivistetään tarkoitukseen soveltuvalla kalustolla. Tiivistyskerroksen pinta tasataan sileäksi. Valmiin pinnan päällä ei saa liikkua sellaisilla koneilla, jotka voivat aiheuttaa muodonmuutoksia pintaan tai materiaalin irtoamista siitä.

### 10.3.1 Mineraalisen tiivistyskerroksen ennakkokokeet (moreeni)

Ennakkokokeilla selvitetään tiivistyskerrokseen käyttävän materiaalin ominaisuuksien vaihtelu sekä millaisilla ominaisuuksilla vaadittu vedenläpäisevyysvaatimus täyttyy. Ennakkokokeiden avulla määritetään työnaikaiset laadunvarmistusparametrit.

#### Mineraalisen tiivistyskerroksen ennakkokokeina tehtävät määritykset:

- Rakeisuusjakauma, seulonta ja/tai areometri
- Vesipitoisuus
- Hehkutushäviö (< 2 %)
- Sullontaominaisuudet (Proctor koe / ICT kiertotiivistys, optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino)
- Tiivistysasteen vaikutus vedenläpäisevyyteen
- Vedenläpäisevyys (k-arvo  $\leq 1E-08$  m/s)

Ennakkokokeita tehdään riittävä määrä, jotta materiaalin laadunvaihtelut saadaan selvitettyä.

### 10.3.2 Mineraalisen tiivistyskerroksen suppea koerakenne (moreeni)

Ennen varsinaisen tiivistysrakenteen aloittamista rakennetaan koekenttä, joka voi olla asetetut vaatimukset täyttäessään osa tiivistysrakennetta. Koekentän koko on 20 m \* 20 m. Koerakentämisestä laaditaan raportti, jossa esitetään saadut tulokset ja johtopäätökset. Työn dokumentoinnissa käytetään lisäksi valokuvausta.

Koetiivistyksen avulla tarkistetaan:

- Työmenetelmien soveltuvuus
- Materiaalin levitys- ja tiivistysmenetelmät
- Tiivistystyössä käytettävä nopeus ja ylityskertojen määrä
- Saavutettava kuivatilavuuspaino ja sitä vastaava vedenläpäisevyys
- Laadunvalvontamenetelmät ja hyväksymistasot
- Mittalaitteiden toimivuus

JaS

**Kokeet:**

1. Tiivistyskokeet 200 mm kerrospaksuudella
2. Kerrospaksuus mitataan takymetrillä 2 m \* 2 m ruutuun. Pinnan tasaisuus silmämääräisesti.
3. Vähintään 2 kpl rakeisuusmäärittämiä
4. Vedenläpäisevyyden määrittäminen (ASTM D 5084, joustavaseinäisessä sellissä takapaineella) laboratoriossa koekentästä otetusta näytteestä, kolme koekappaletta, joista vähintään kaksi testataan. tiivistys IC-kiertotiivistyslaitteella koekentässä saavutettuun tiheyteen.

**Vaatimukset/toiminta poikkeamatilanteessa (kun esitetty vaatimus ei täyty):**

(vastaava numerointi kuin edellä olevassa kohdassa kokeet)

1. Tiivistystavoite saavutetaan rakennettuun kerrospaksuuteen // Lisätiivistys
2. Paksuus ja pinnan tasaisuus tavoitteen mukainen // Massan lisäys, uudelleen tiivistys ja tasaus
3. Ennakkokokeiden mukainen // Vaikutus vedenläpäisevyyteen, mahdollisesti hyväksyttävän rakeisuusohjealueen laajentaminen.
4. k-arvo tavoitteen mukainen ( $k \leq 1E-08$  m/s) // Kolmannen koekappaleen testaus. Mikäli kahden koekappaleen tulos ei saavuta tavoitearvoa -> materiaalin vaihto.

**10.3.3 Mineraalisen tiivistyskerroksen työnaikainen laadunvalvonta (moreeni)**

Mineraalinen tiivistyskerros rakennetaan suunnitelman mukaiseksi. Mineraalisen tiivistyskerroksen päälle levitetään kuivumisen ja kastumisen välttämiseksi välittömästi laadunvalvontamittausten ja hyväksymisen jälkeen kasvukerros. Liettynyt tai irtonainen tiivistyskerros poistetaan ja korvataan uudella materiaalilla.

Tiivistyskerroksen materiaalin muuttuessa esikokeet uusitaan tarvittavin osin.

Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamisen aikana laadunvalvontana seurataan työtappaa ja rakenteen tasaisuutta.



JaS

Materiaalia valvotaan laboratoriomäärityksin. Laaturajat määritetään ennakkokokeissa.

**Tutkittavat parametrit:**

- Rakeisuus (maksimiraekoko ja hienoainespitoisuus), 1 näyte/ 1000 t
- Vesipitoisuus, 1 näyte/ 1000 t

**10.4 Tiivistyskerros savi**

**10.5 Tiivistyskerros (savi)**

Tiivistyskerros tehdään ennakkokokeiden perusteella tarkoitukseen hyväksytystä savesta. Tiivistyskerroksen materiaalin tulee tiivistettynä täyttää vedenläpäisevyyden k-arvo  $\leq 1,0E-08$  m/s.

Tiivistyskerroksen asennusalustan tulee olla kantava ja kuiva.

Tiivistyskerroksen kerrospaksuus  $\geq 200$  mm (+50/-0 mm)

Tiivistyskerroksen tasaisuutta arvioidaan jatkuvasti silmämääräisesti. Vaatimus  $\pm 50$  mm, eikä vettä kerääviä painanteita.

Tiivistyskerroksen tiiveysvaatimus (kuivatilavuuspaino) määritetään ennakkokokeiden ja koekentän perusteella.

Tiivistyskerros tiivistetään tarkoitukseen soveltuvalla kalustolla. Tiivistyskerroksen pinta tasataan sileäksi. Valmiin pinnan päällä ei saa liikkua sellaisilla koneilla, jotka voivat aiheuttaa muodonmuutoksia pintaan tai materiaalin irtoamista siitä.

Tiivistyskerroksessa käytettävä materiaali ei saa olla jäässä eikä se saa sisältää jäätä eikä lunta. Työn aikana liettynyt tai häiriintynyt materiaali on poistettava.

**10.5.1 Tiivistyskerroksen ennakkokokeet (savi)**

Ennakkokokeilla selvitetään tiivistyskerrokseen käytettävän materiaalin ominaisuuksien vaihtelu sekä millaisilla ominaisuuksilla vaadittu vedenläpäisevyysvaatimus täyttyy. Ennakkokokeiden avulla määritetään työnaikaiset laadunvarmistusparametrit.

**Tiivistyskerroksen ennakkokokeina tehtävät määritykset:**

- Rakeisuus (areometri)
- Vesipitoisuus
- Hehkutushäviö

JaS

- Sullontaominaisuudet (Proctor koe / ICT kiertotiivistys, optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino)
- Vedenläpäisevyys (k-arvo  $\leq 1E-08$  m/s)

Ennakkokokeita tehdään riittävä määrä, jotta materiaalin laadunvaihtelut saadaan selvitettyä.

### 10.5.2 Tiivistyskerroksen suppea koerakenne (savi)

Ennen varsinaisen tiivistysrakenteen tekemisen aloittamista rakennetaan koekenttä, joka voi olla asetetut vaatimukset täyttäessään osa tiivistysrakennetta. Koekentän koko on 20 m \* 20 m. Koerakentämisestä laaditaan raportti, jossa esitetään saadut tulokset ja johtopäätökset. Työn dokumentoinnissa käytetään lisäksi valokuvausta.

Kuitusavimateriaalin alkuperän vaihtuessa tehdään jokaisesta käytettävästä kuitusavimateriaalista suppea koekenttä, jossa todetaan materiaalin soveltuvuus sekä mahdolliset muutokset työmenetelmiin. Tarkastetaan materiaalin tiiveys (Troxler) sekä tarvittava tiivistystyö. Mitataan vedenläpäisevyys laboratoriossa työmaalla saavutetussa tiiveydessä.

Koetiivistyksen avulla tarkistetaan:

- Työmenetelmien soveltuvuus
- Materiaalin levitys- ja tiivistysmenetelmät
- Tiivistystyössä käytettävä nopeus ja ylityskertojen määrä
- Saavutettava kuivatilavuuspaino ja sitä vastaava vedenläpäisevyys
- Laadunvalvontamenetelmät ja hyväksymistasot
- Mittalaitteiden toimivuus

#### **Kokeet:**

1. Tiivistyskokeet 200 mm kerrospaksuudella
2. Kerrospaksuus mitataan takymetrillä 2 m \* 2 m ruutuun. Pinnan tasaisuus silmämääräisesti.
3. Vähintään 2 kpl rakeisuusmäärittämiä
4. Vedenläpäisevyyden määrittäminen (ASTM D 5084, joustavaseinäisessä sellissä takapaineella) laboratoriossa koekentästä otetusta näytteestä, kolme

JaS

koekappaletta, joista vähintään kaksi testataan. tiivistys IC-kiertotiivistyslaitteella koekentässä saavutettuun tiheyteen.

**Vaatimukset/toiminta poikkeamatilanteessa (kun esitetty vaatimus ei täyty):**

(vastaava numerointi kuin edellä olevassa kohdassa kokeet)

1. Tiivistystavoite saavutetaan rakennettuun kerrospaksuuteen // Lisätiivistys
2. Paksuus ja pinnan tasaisuus tavoitteen mukainen // Massan lisäys, uudelleen tiivistys ja tasaus
3. Ennakkokokeiden mukainen // Vaikutus vedenläpäisevyyteen, mahdollisesti hyväksyttävän rakeisuusohjealueen laajentaminen.
4. k-arvo tavoitteen mukainen ( $k \leq 1E-08$  m/s) // Kolmannen koekappaleen testaus. Mikäli kahden koekappaleen tulos ei saavuta tavoitearvoa -> materiaalin vaihto.

**10.5.3 Tiivistyskerroksen työnaikainenlaadunvalvonta (savi)**

Tiivistyskerros rakennetaan suunnitelman mukaiseksi. Kerrospaksuus tiivistettynä vähintään 200 mm.

**Tutkittavat parametrit:**

- Vesipitoisuus, kuivatilavuuspaino, märkätilavuuspaino Troxler-laitteella 1 kpl / 1000 m<sup>2</sup> valmista tiivistysrakennetta. Tavoitekuivatilavuuspaino ennakkokokeissa määritetty. Mikäli tavoitekuivatilavuuspainoa ei saavuteta, suoritetaan lisätiivistys.
- Materiaalin silmämääräinen tarkkailu rakentamisen aikana
- Kerrospaksuus tiivistettynä vähintään 250 mm. Tasaisuus silmämääräisesti tai tarvittaessa oikolaudalla. Vaatimus 4 m matkalla  $\pm 50$  mm.

JaS

#### 10.5.4 Tiivisterakenteen läpiviennit

Kaikkien tiivistysrakenteen läpäisevien rakenteiden tiiveys varmistetaan läpivientirakenteella. Läpimenevän rakenteen ympärille kiinnitetään bentoniittimatto. Läpiviennin kohdalle tiivistyskerroksen päälle asennetaan bentoniittimatto, joka ulottuu noin 0,5 m läpäisevän rakenteen ympärille. Matto kiinnitetään muovisilla pannoilla rakenteeseen kiinni. Kaikki saumat tiivistetään bentoniittijauheella.

#### 10.5.5 Pintakerroksen alaosa / bentoniittimaton suojakerros

Materiaalin eroosiokestävyys tulee arvioida ennen käyttöä.

Huoltotien kohdalla kerroksen yläosaan asennetaan tarvittaessa lujiteverkko ja materiaalivaatimuksia tarkistetaan verkon toimittajan ohjeiden mukaan.

Luiskan juuressa pintakerroksen alaosan sijaan rakennetaan eroosiosuojaus murskeesta 4-64 mm.

##### **Pintakerroksen alaosan laatuvaatimukset:**

- Kerrospaksuus  $\geq 300$  mm, koekuopat, 1 kpl/ 500 m<sup>2</sup>
- kaltevuus, max 1:3 luiskissa, takymetri/GPS, 5 \* 5 m ruutuun
- Materiaali, 0,063 mm <10 %, rakeisuusmääritys, 2 kpl
- Tasaisuus, tasainen ei vettä kerääviä painanteita
- Tiiveys, työtapatarkkailu

#### 10.5.6 Luiskaverhoukset ja eroosiosuojaukset

Tekniset vaatimukset InfraRYL 22000 mukaiset

Huoltotien luiskatäyttöjen materiaalina käytetään hienoainesmoreenia, josta poistetaan kivet.

## 11 KASVILLISUUSRAKENTEET

Tekniset vaatimukset ovat InfraRYL 23000 mukaiset

### 11.1 Kasvukerros

Pintarakenteen yläosaan rakennetaan kasvukerros humuspitoisista maista. Tekniset vaatimukset InfraRYL 23100 mukaan.

Materiaaliksi ei kelpaa kompostit tai muut ravintorikkaat materiaalit. Kompostiseosta on mahdollista käyttää, jos kompostin määrä on enintään kolmannes.

JaS

**Kasvukerroksen laatuvaatimukset:**

- Kerrospaksuus  $\geq 100$  mm (+100 mm/-0 mm), koekuopat, 1 kpl/ 2000 m<sup>2</sup>
- Materiaali, 0,063 mm <10 %, rakeisuusmääritys, 2 kpl
- Tasaisuus, tasainen ei vettä kerääviä painanteita
- Tiiveys, työtapatarkkailu, kolme yliajokertaa.

**11.2 Nurmi ja niittyverhoukset**

Tekniset vaatimukset ovat InfraRYL 23200 mukaiset

Suunnitelmassa esitetyt nurmikylvöalueet (alueet joille rakennetaan pintarakenne: rikastushiekka-allas 2, vanha rikastushiekka-allas ja jarosiittiallas) nurmetetaan tiehallinnon luokitukset 2 siemenseoksella, 0,5 kg/a.

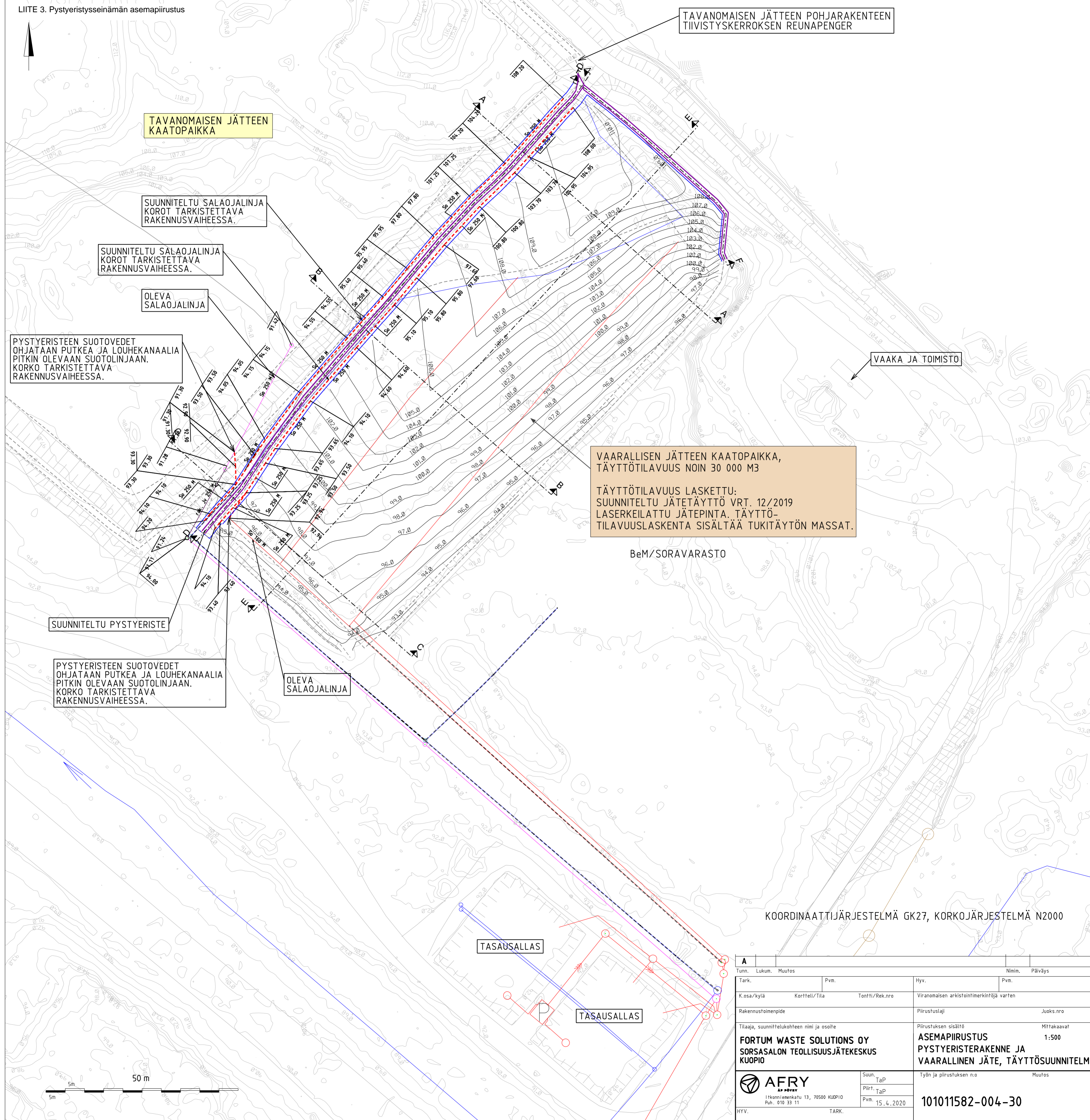
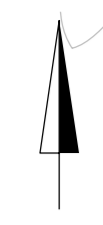
**12 JÄRJESTELMÄT**

Järjestelmät tehdään suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti käyttäen uusia, laadultaan hyviä ja jatkuvan laadunvalvonnan piirissä olevilta valmistajilta hankittuja putkia, kaivoja, säiliöitä, näiden osia sekä liitostarvikkeita.

Viemäriputkien ja- kaivojen tiivisteet ovat putken ja/tai kaivon materiaalin kanssa yhteensopivia ja käyttötarkoituksen mukaisia. Tiivisteiden tulee täyttää Suomessa voimassa olevien kansallisten tai kansallisiksi vahvistettujen standardien laatuvaatimukset. Kaikkien putki- ja kaivoliitosten tulee olla öljynkestäviä.

**13 LOPPURAPORTTI**

Urakoitsija kokoaa rakentamisesta kertyneet materiaali-, tutkimus-, mittaus- ja koetulokset sekä laatii raportin rakennuttajalle. Mittaustulokset, kerrospaksuudet sekä mittaus- ja näytteenottopisteiden sijainnit havainnollisina karttoina.

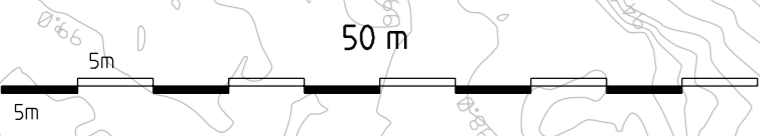


VAARALLISEN JÄTTEEN KAAKTOPAIKKA,  
TÄYTÖTILAVUUS NOIN 30 000 M3

TÄYTÖTILAVUUS LASKETTU:  
SUUNNITELTU JÄTETÄYTTÖ VRT. 12/2019  
LASERKEILATTU JÄTEPINTA. TÄYTÖTILAVUUSLASKENTA SISÄLTÄÄ TUKITÄYTÖN MASSAT.

BeM/SORAVARASTO

KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ GK27, KORKOJÄRJESTELMÄ N2000



A		Tunn.		Lukum.		Muutos		Nimim.		Päiväys	
Tark.	Pvm.	Hyv.	Pvm.								
K.osa/kylä		Korttel/Tila		Tontti/Rek.nro		Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten					
Rakennustoimenpide				Piirustustaji				Juoks.nro			
Tilaaaja, suunnittelukohteen nimi ja osoite						Piirustuksen sisältö			Mittakaavat		
<b>FORTUM WASTE SOLUTIONS OY</b> SORSASALON TEOLLISUUSJÄTEKESKUS KUOPIO						<b>ASEMPIIRUSTUS</b> PYSTYRISTERAKENNE JA VAARALLINEN JÄTE, TÄYTÖSUUNNITELMA			1:500		
AFRY		Suun. TaP		Piirt. TaP		Pvm. 15.4.2020		Työn ja piirustuksen n:o		Muutos	
HYV.		TARK.		101011582-004-30							

FORTUM WASTE SOLUTIONS OY  
Kuopion teollisuusjätekeskus

Pystyeristerakenne

Rakennusurakka



## Sisältö

00000	Maanrakennustyöt, yleistä .....	2
00100	Työkohteen esitiedot .....	2
00110	Rakennuttaja ja suunnittelija (yhteystiedot) .....	2
00120	Rakennuskohde .....	2
00130	Työn laajuus.....	3
00140	Suunnitelma-alueen nykytila .....	3
00150	Tekniset vaatimukset, noudatettavat asiakirjat ja määräykset.....	3
00160	Katselmukset.....	4
00170	Toimintasuunnitelma erilaisten sääolojen varalta.....	5
00200	Työmaa-alueet .....	5
00210	Liikennejärjestelyt .....	5
00210	Varastot ja varastoalueet.....	5
00220	Työturvallisuus .....	5
00300	Tutkimukset ja selvitykset.....	6
00310	Tutkimukset ja mittaukset .....	6
00400	Maastomittaukset ja laadunvalvonta .....	6
00410	Työnaikaiset mittaukset .....	6
00420	Laadunvalvonta.....	7
00430	Urakoitsijan laadunvalvonta .....	8
00440	Ulkopuolinen laadunvalvonta.....	9
00450	Tarkepiirustukset .....	9
11000	OLEVAT RAKENTEET JA RAKENNEOSAT.....	10
11200	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat rakenteet.....	10
11213	Suojattavat rakenteet .....	10
14000	Pohjarakenteet.....	10
14200	Suojaukset ja eristykset.....	10
14250	Maaperän eristerakenteet .....	10
142512	Tiivistyskerros.....	10
142515	Kuivatuskerros.....	17
142516	Tukikerros.....	18
142517	Routasuojakerros .....	19
14300	Kuivatusrakenteet.....	19
14311	Salaojat .....	19
16000	MAALEIKKAUKSET JA – KAIVANNOT .....	19
16100	Maa- jätteleikkaukset.....	19
20000	PÄÄLLYS- JA PINTARAKENTEET.....	20
21000	Päällysrakenteen osat .....	20
21100	Suodatinkankat.....	20
21120	Suodatinkankaat .....	20



## 00000 Maanrakennustyöt, yleistä

### 00100 Työkohteen esitiedot

#### 00110 Rakennuttaja ja suunnittelija (yhteystiedot)

Rakennuttaja sopimusasiat, tekniset asiat, valvonta ja rakennuttajan turvallisuuskoordinaattori

Nimi: Fortum Waste Solutions Oy  
Osoite: PL 181, 11120 RIIHIMÄKI  
Yhdyshenkilö: Rakennuttamispäällikkö Markus Lehtonen  
Puhelin: 050 566 7591  
Sähköposti: markus.lehtonen@fortum.com

Rakennuttajan paikallisvalvoja

Yhdyshenkilö: Yksikönpäällikkö Tuomas Vuolle  
Puhelin: 050 359 4940  
Sähköposti: [tuomas.vuolle@fortum.com](mailto:tuomas.vuolle@fortum.com)

Riippumaton laadunvalvoja

Nimetään myöhemmin

Suunnittelijat

Maanrakennus  
Nimi: Afry Finland Oy  
Osoite: Itkonniemenkatu 13 B, 70500 Kuopio  
Yhdyshenkilöt: Tanja Pikkarainen ja Kati Korhonen  
puhelin: 0400 777 821 ja 040 551 4784  
Sähköposti: [tanja.pikkarainen@afry.com](mailto:tanja.pikkarainen@afry.com), [kati.korhonen@afry.com](mailto:kati.korhonen@afry.com)

#### 00120 Rakennuskohde

Pystyeristeseinämän rakennuskohde sijaitsee Sorsasalonsaareen teollisuusjätekeskuksen alueella osoitteessa Selluntie 142, 70420 KUOPIO. Rakennuskohde sijoittuu teollisuusjätekeskuksen alueelle toiminnassa olevien tavanomaisen ja vaarallisen jätteen kaatopaikkojen väliselle alueelle kaatopaikkojen päälle.

Rakennuskohteena on Sorsasalon teollisuusjätekeskuksen toiminnassa olevien tavanomaisen ja vaarallisen jätteen kaatopaikkojen väliin rakennettavan pystyeristeseinämän rakentaminen asiakirjojen mukaisessa laajuudessa täysin valmiiksi ja käyttökuntoiseksi saatettuna.

Pystyeristerakenne voidaan toteuttaa ns. käänteisenä kuusirakenteena, kuusirakenteena tai muotilla rakennettuna rakenteena. Toteutustavat on esitetty liitteenä olevissa tyyppipoikkileikkauksissa.

#### 00130 Työn laajuus

Urakka käsittää seuraavat pääkohdat suunnitelmapiirustusten ja –asiakirjojen mukaisessa laajuudessa täysin valmiiksi ja käyttökuntoiseksi saatettuna:

- Liikenteenohjauksen suunnittelu ja liikenteenohjauksen toteutus koko urakan aikana urakka-alueella ja sen vaikutusalueella urakka-alueen erityispiirteet huomioon ottaen
- Suunnitelma-asiakirjojen mukaiset kaivu-, muotoilu- ja täyttötöyt
- Pystyeristeseinämän rakentaminen materiaaleineen (lukuunottamatta niitä materiaaleja jotka urakkaohjelmassa on määritetty tilaajan hankinnoiksi)
- Pystyeristeseinämän tukitötön ja routasuojauksen rakentaminen
- Suotoveden salaojalinjoiden rakentaminen
- Liitokset nykyisiin rakenteisiin
- Mahdolliset putkilinjoiden yms. työnaikaiset tuennat ja siirrot
- Kaikki laadunvalvontamittaukset (lukuunottamatta niitä, jotka urakkaohjelmassa on määritetty tilaajan tehtäviksi)
- Kaikki mittojen asettamiset ja tarkemittaukset, kuten putkilinjoiden tarkemittaukset ja tarkemittaustulosten toimittaminen tilaajalle pdf-, gt- ja dwg- muodossa.

Rakennettavat kohteet ja urakkarajat on esitetty tarjouspyyntöasiakirjoissa.

#### 00140 Suunnitelma-alueen nykytila

Pystyeristeseinämän rakennuskohde sijoittuu tavanomaisen ja vaarallisen jätteen jätetäyttöalueiden välissä sijaitsevalle alueelle jätetäyttöalueiden päälle. Urakka-alueen ympäristössä on teitä, suotovesilinjaston kaivoja ja putkilinjoja.

Alueella sijaitsevista mahdollisista kaapeleista ei ole tietoa. Urakoitsija on velvollinen selvittämään alueella mahdollisesti olevat kaapelit.

Ennen rakennustöiden aloittamista on varmistuttava rakennuspaikalla olevien putkijohtojen, kaivojen, kaapeleiden, pylväiden yms. sijainneista.

#### 00150 Tekniset vaatimukset, noudatettavat asiakirjat ja määräykset

Rakennustyön yleiset tekniset vaatimukset, toleranssit ja kelpoisuuden osoittaminen on esitetty InfraRYL julkaisuissa. Työssä noudatetaan aina uusinta InfraRYL julkaisua.

Tässä työselostuksessa tarkennetaan ja täydennetään em. julkaisuissa esitettyjä teknisiä vaatimuksia ja ohjeita.

Rakennustyössä noudatetaan voimassa olevia lakeja ja asetuksia sekä paikallisten viranomaisten ohjeita ja määräyksiä, joita tämä työselitys täydentää ja osittain korvaa. Lisäksi on noudatettava mm. seuraavia ohjeita ja määräyksiä:

- InfraRYL 2018/1
- Kaivanto-ohje RIL 263–2014
- Maahan ja veteen asennettavat kestopuoviputket, asennusohjeet RIL 77–2013
- Putkien, osien ja laitteiden valmistajien antamat ohjeet
- Infra 2015, Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määramittausohje
- Kapeat kaivannot, työsuojeluhallinnon julkaisu Työsuojeluoppaita ja –ohjeita 15/ 2010
- Työn valvojan ja suunnittelijan työn aikana antamat ohjeet
- Itä-Suomen aluehallintoviraston 27.9.2016 myöntämän ympäristöluvan nro 47/2016/1 määräykset, lupa löytyy: [https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/Lisatiedot.aspx?Asia\\_ID=1231382](https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/Lisatiedot.aspx?Asia_ID=1231382)
- Lait, asetukset, valtioneuvoston ja ministeriöiden päätökset sekä niihin rinnastettavat julkisoikeudelliset määräykset
- Työsuojeluviranomaisten määräykset
- Materiaalitoimittajien antamat materiaaleja, varastointia ja asennustöitä koskevat ohjeet sekä määräykset
- Kunnalliset, rakentamista koskevat paikalliset määräykset ja ohjeet
- Velvoittavina noudatetaan myös RIL:n ja BY:n ohjeita ja standardeja niiltä osin kuin sopimusasiakirjat eivät toisin määrää

Mikäli rakennustyön aikana havaitaan esitettyihin tietoihin nähden sellaisia poikkeamia, jotka vaikuttavat esitettyihin ratkaisuihin tai johtavat työturvallisuuden heikkenemiseen, on niistä ilmoitettava välittömästi valvojalle. Rakennuttaja ratkaisee suunnittelijoiden kanssa suunnitelmien muutostarpeen.

## 00160 Katselmukset

Tiivistysrakennekerroksia koskevia tarkastuksia ja katselmuksia pidetään vähintään alla esitetyn mukaisesti. Katselmukset ja tarkastukset dokumentoidaan vähintään työmaapöytäkirjaan tai tarvittaessa erillisellä pöytäkirjalla.

Tarkastuksiin osallistuvat rakennuttaja, ulkopuolisen laadunvalvojan ja pääurakoitsijan edustajat. Tarvittaessa tarkastuksiin ja katselmuksiin osallistuvat aliorakoitsijoiden, suunnittelijan tai ELY-keskuksen edustajat.

### Alusrakenteen tarkastus

Ennen tiivistysrakenteiden rakentamista tarkastetaan esiin kaivettu ja puhdistettu olevan tiivistysrakennekerroksen yläpuolinen kalvorakenne.

### Mineraalisen tiivistyskerroksen tarkastus

Tarkastuksessa todetaan urakoitsijan päivittäiset työsuoritukset ja tarkistetaan, että tiivistyskerroksen rakentaminen on tapahtunut suunnitelmien ja todentaminen laadunvalvontasuunnitelman mukaisesti ja että laadunvarmennustyöt on tehty hyväksyttävästi ja asetetut vaatimukset täyttyneet. Mikäli todetaan, että rakenne ei täytä asetettuja vaatimuksia, korjaus tehdään pääsääntöisesti poistamalla virheellinen rakenne ja rakentamalla se uudelleen. Tarkistus tehdään tarvittaessa päivittäin ennen seuraavan kerroksen levitystä.

### Kuivatuskerroksen tarkastus

Tarkastuksessa todetaan urakoitsijan päivittäin hyväksytyt työsuoritukset sekä hyväksytään kuivatuskerrosten rakentaminen tehdyksi suunnitelmien

sekä asennus- ja laadunvalvontasuunnitelman mukaisesti ja todetaan, että laadunvarmennustyöt on tehty hyväksyttävästi ja asetetut vaatimukset täyttyneet. Mikäli todetaan, että rakenne ei täytä asetettuja vaatimuksia, poistetaan laatuvaatimukset alittavat materiaalit ja tehdään tarvittavat korjaustoimenpiteet tilaajan ja valvojan hyväksymällä tavalla.

#### Tukikerrosten lopputarkastus

Lopputarkastuksessa todetaan, että tukikerrokset on tehty ja dokumentoitu suunnitelmien, laadunvalvontasuunnitelman mukaisesti.

#### Käyttöönottotarkastus

ELY-keskus antaa käyttöönottoluvan lausunnolla, joka perustuu riippumattoman laadunvalvojan lausuntoon, käyttöönottotarkastukseen kohteessa ja urakan toteutuksen ympäristöluvan mukaisuuteen.

#### Työtulosten raportointi

Urakoitsija kokoaa kaikki rakentamisessa kertyneet materiaali-, tutkimus-, mittaus- ja koetulokset yhteen kansioon sekä laatii urakoitsijan loppuraportin. Loppuraporttikansiot (2 kpl) ja aineisto sähköisenä luovutetaan Rakennuttajalle ja riippumattomalle laadunvalvojalle. Riippumaton laadunvalvoja laatii laadunvalvonnan loppuraportin, jonka liitteeksi tulee myös urakoitsijan loppuraportti.

### 00170 Toimintasuunnitelma erilaisten sääolojen varalta

Päivittäin selvitetään seuraavan työpäivän paikallinen sääennuste. Mikäli on odotettavissa rakennustyötä haittaavaa säätilaa, varaudutaan muuttamaan seuraavan päivän työsuunnitelmaa niiltä osin kuin on tarpeen.

Materiaalien varastoinnissa, asennuksessa ja käsittelyssä on huomioitava valmistajan ohjeet.

### 00200 Työmaa-alueet

#### 00210 Liikennejärjestelyt

Aloituskatselmuksessa sovitaan liikennejärjestelyistä sekä muista suojaustoimenpiteistä. Samassa yhteydessä sovitaan urakoitsijan tarvitsemista kulkureiteistä sekä niiden kunnossapidosta ks. myös urakkaohjelma

#### 00210 Varastot ja varastoalueet

Urakoitsijan käyttöön osoitetaan työmaatukikohdan paikka sekä materiaalien välivarastointi- ja käsittelyalueet.

Materiaalit varastoidaan materiaalitoimittajan ohjeita noudattaen siten, etteivät käsittely, kosteus, auringonvalo tai alustan epätasaisuudet ja epäpuhtaudet aiheuta muodonmuutoksia eikä vaurioita materiaaleissa. Pakkausten tulee säilyä ehjinä sekä tuote- ja materiaaliselosteiden luettavina.

#### 00220 Työturvallisuus

Urakoitsijan tulee noudattaa yleisessä työselityksessä esitettyjä vaatimuksia sekä asiaa käsitteleviä lakeja, asetuksia ja määräyksiä sekä yleisiä ohjeita. Urakka-asiakirjojen liitteenä on turvallisuusasiakirja sekä työmaan turvallisuussäännöt ja menettelyohjeet sekä EHS vaatimukset, joissa on selostettu kohteen erityispiirteet ja yleiset ohjeistukset. Urakoitsijan tulee laatia urakkoittainen työturvallisuussuunnitelma ja työvaihekohtaiset suunnitelmat.

## 00300 Tutkimukset ja selvitykset

### 00310 Tutkimukset ja mittaukset

Urakka alueilla ei ole tehty maaperätutkimuksia.

Alueella on suoritettu drone-kuvaus 12/2019, jonka tiedot on esitetty suunnitelmapiirustuksissa.

Pohjarakenteen rakentamisen aikana pohjarakenteista tehdyt tarkemittaukset on esitetty suunnitelmapiirustuksissa.

## 00400 Maastomittaukset ja laadunvalvonta

### 00410 Työnaikaiset mittaukset

Urakoitsija vastaa kaikista työn aikaisista mittauksista ja mittojen asettamisesta. Mitat on asetettava siten, että työ voidaan tehdä suunnitelmien mukaisesti.

Määrät mitataan InfraRYL2015 määrämittauserusteiden mukaisesti ja suunnitelmanmukaisten mittojen perusteella ottaen huomioon mahdollisesti työn aikana sovitut muutokset sekä maanpinnan todellinen korkeus. Pystyeristerakenteen tiivistys- ja kuivatuskerroksen massat lasketaan muotilla tehtävän rakenteen eli tyyppikuvan 1010011582-004-26 mukaisin teoreettisin määrin.

Kaikki tehdyt rakenteet kartoitetaan. Lisäksi kartoitetaan mahdollisesti rakennustöiden aikana esiin kaivautuvat olemassa olevat rakenteet kuten putkilinjat.

Mittaukset tehdään ennen seuraavan työvaiheen aloittamista. Urakoitsija tuostaa kussakin työvaiheessa mittaukset suunnitelmakartalle niin, että tuloksia voidaan verrata suunnitelmiin. Urakoitsija toimittaa työaikana mittaustuloksia rakennuttajalle pdf-, gt- ja dwg-muodoissa.

Suunnitelmakartoille merkitään myös toteutettujen rakenteiden sijainnit ja sijainnin poikkeamat suunnitelmaan verrattuna. Piirustuksiin merkitään myös työn aikana havaitut oleelliset poikkeamat suunnitelmaan nähden.

Käytetty korkeusjärjestelmä on N2000, tasojärjestelmä ETRS89-GK27.

Urakoitsijan tulee tarkastaa korkotasot ja ilmoittaa välittömästi kaikista havaitsemistaan rakentamiseen vaikuttavista poikkeamista tilaajalle esim. korkotason poikkeamista.

Urakoitsija laatii suunnitelmien perusteella mittaussuunnitelman, joka liitetään Urakoitsijan laatusuunnitelman liitteeksi. Kaikissa mittauksissa huomioidaan XYZ-koordinaatit. Mittaukset on suunniteltava siten, että niiden perusteella voidaan osoittaa kentän kaltevuusvaatimusten täyttyminen ja laatia tarvittavat tulosteet kaikista tehdyistä rakenteista yms.

Mittaussuunnitelmassa esitetään vähintään seuraavat asiat:

- vastaava mittamies ja käytettävät laitteistot ja mittatarkkuus
- mittausten koordinaatti- ja korkojärjestelmä
- työaikaisten mittausten dokumentointi ja laadunvalvontaa varten raportointi
- tarkemittausten tulostustavat ja toimitusmuodot: Tarkepiirustukset toimitetaan XYZ-koordinaatistossa rakennuttajalle. Sähköisen

aineiston toimitusmuoto dwg-, gt- ja pdf-muodossa. Aineisto toimitetaan loppuraportin liitteenä myös paperisarjana.

- esitetään mitattavat rakenteet kuten:
  - Kaikki rakennekerrokset kuten lähtöpinta, tiivistysrakenteen pinnat, kuivatusrakenteen pinnat, kalvon pinta, tukitäytön pinnat
  - Kaikki tehdyt rakenteet kuten suotovesilinjat liitoksineen
  - Kaapeleiden, putkijohtolinjojen, kaivojen ja liitosten yms. sijainti (X,Y,Z) todetaan työn aikana tehtävien tarkemittausten avulla.
  - Laadunvalvontamittauspisteiden sijainti

## 00420 Laadunvalvonta

Urakoitsija laatii suunnitelmien perusteella oman laatusuunnitelmansa, jossa on huomioitu kaikki vaaditut laadunvalvontaan ja -varmistukseen liittyvät tehtävät sekä urakoitsijan valitsemien rakenneratkaisujen vaatimat erityisasiat. Urakoitsijan laatusuunnitelman hyväksyy tilaaja.

Rakentamiseen käytettävät materiaalit on esitetty tarjouspyyntöasiakirjoissa. Materiaalien rakeisuuksien ohjekäyrät on esitetty julkaisussa InfraRYL.

Urakoitsijalla on päävastuu rakenteiden tekemisestä suunnitelmien ja viranomaisten määräämien kokeiden lisäksi urakoitsija on velvollinen teettämään ja kustantamaan ne kokeet, joiden tarkoituksena on osoittaa tarvikkeiden, aineen tai työtavan asiakirjojen mukaisuus ja kelpoisuus. Kaikki tarvittavat maarakennus- yms. töiden laadunvalvontakokeet suorittaa urakoitsija. Lisäksi rakennuttaja ja tarvittaessa viranomaiset vastaavat omasta laadunvalvonnastaan.

### Materiaalien, laitteiden ja rakenteiden laadunvalvonta

Työssä käytetään vain CE-merkittyjä, SFS-standardoituja ja laatuvaatimukset täyttäviä materiaaleja, tarvikkeita ja laitteita.

Urakoitsija hyväksyttää kohteen rakentamiseen muualta tuotavat materiaalit rakennuttajalla. Urakoitsijan kiviainesten tulee olla CE-merkittyjä (jos D < 90 mm) ja niistä tulee toimittaa tuotestandardin SFS-EN 13242 mukaiset tiedot. Työssä käytetään vain SFS/EN-standardoituja laatuvaatimukset täyttäviä materiaaleja.

Ennen materiaalien käyttöönottoa tehdään ne kokeet sekä hankitaan ne todistukset ja testiraportit, jotka on mainittu suunnitelmassa, tässä työselityksessä tai niissä asiakirjoissa, joihin suunnitelman tai tämän työselityksen asianomaisessa kohdassa on viitattu.

Mikäli tutkittu koekappale tai näyte ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, sitä materiaalierää, jota kyseinen koetulos edustaa, ei käytetä rakentamiseen ennen lisäselvityksiä.

Laadunvalvonnassa tehtävien kokeiden ja tarkastusten määrää lisätään, jos silmämääräisessä tarkastelussa huomataan materiaalin laadun muuttuneen.

Urakoitsijalla on päävastuu rakenteiden tekemisestä suunnitelmien mukaisesti. Vaatimusten täytyminen todetaan työnaikaisin laadunvarmistusmittauksin. Normien ja viranomaisten määräämien kokeiden lisäksi urakoitsija on velvollinen teettämään ja kustantamaan ne kokeet, joiden tarkoituksena on osoittaa tarvikkeiden, aineen tai työtavan asiakirjojen mukaisuus ja kelpoisuus. Kaikki tarvittavat maarakennus- yms. töiden laadunvalvontakokeet suorittaa urakoitsija, lukuun ottamatta urakkaohjelmassa esitettyjä tilaajalle kuuluvia tehtäviä. Lisäksi rakennuttaja ja viranomaiset vastaavat omasta laadunvalvonnastaan.

Tarvikkeiden kuljetuksessa, varastoinnissa ja käsittelyssä noudatetaan valmistajan antamia ohjeita ja yleistä työselostusta.

Tarvikkeiden saavuttua työmaalle ne tulee tarkastaa ja vioittuneet tai virheeliset materiaalit ja tarvikkeet poistaa työmaalta. Rakennuttajan valvojille on varattava mahdollisuus tarkastaa materiaalit ennen niiden asentamista.

Valmiiden rakenteiden sallitut mittapoikkeamat

Rakenteiden tulee täyttää kerrospaksuusvaatimukset.

Mineraalinen tiivistyskerros

Mineraalinen tiivistyskerros rakennetaan suunnitelmien mukaan. Rakenteen vedenläpäisevyyden tulee olla  $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s ja kerroksen kokonaispaksuuden  $\geq 1\ 000$  mm.

Kuivatuskerros

Kuivatuskerros rakennetaan suunnitelmien mukaan mineraalisen tiivistyskerroksen molemmin puolin. Kuivatuskerroksen kokonaispaksuus on  $\geq 500$  mm ja vedenläpäisevyys  $k > 1 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Tukikerros

Tukikerros rakennetaan suunnitelmien mukaan kuivatuskerroksen molemmin puolin.

Tiivistämistyön valvonta

Rakennekerrosten tiivistymistä ja kuivatilavuuspainoa valvotaan, mikäli rakenteelle on esitetty tiiviysvaatimus joko suunnitelma-asiakirjoissa tai yleisessä työselityksessä. Valvonnassa käytetään seuraavia menetelmiä:

- tiiviyssasteen määrittäminen (edellyttää vertailuarvon määrittämistä etukäteen laboratoriossa)
- työtapseuranta tiivistyskertojen lukumäärän ja käytetyn tiivistyskaluston mukaan.

Kunkin rakenteen kohdalla on jäljempänä todettu tiiviysvaatimukset ja laadun toteaminen.

#### 00430 Urakoitsijan laadunvalvonta

Urakoitsija tekee päivittäistä laadunvalvontaa työmaalla. Urakoitsija hankkii työhön tarvittavat materiaalit ja raaka-aineet, lukuun ottamatta niitä, jotka on urakkaohjelmassa esitetty rakennuttajan hankinnoiksi. Urakoitsija tekee kaikki laadunvalvontamittaukset lukuun ottamatta niitä, jotka urakkaohjelmassa on määritetty rakennuttajan tekemiksi. Mittauksia tehdään jäljempänä esitetyistä kohteista määriin ja pinta-aloihin sidottuna.

Urakoitsijan tulee ottaa huomioon tiivistyskerroksen rakentamisessa ulkopuolisen laadunvalvojan laadunvalvontamittausten perusteella tekemät huomautukset.

Urakoitsijan laadunvalvontasuunnitelman ja työvaihekohtaisten työsuunnitelmien tulee sisältää vähintään:

- urakoitsijan ja rakennuskohteen laadunvalvontaorganisaation kuvauksen (urakoitsija, ulkopuolinen laadunvalvoja, rakennuttaja),
- aliurakoitsijat yhteyshenkilöineen
- materiaalit, materiaaliestoimittajat ja hyväksyttämismenettelyn mukaan lukien ennakkokokeet,
- työ- ja laadunvalvontamenetelmien hyväksyttämismenettelyn,
- ennakkokoe- ja koerakennesuunnitelman sekä näiden raportoinnin
- työjärjestyksen ja aikataulun
- mittaussuunnitelman,
- näytteenottosuunnitelman ja -menetelmät,
- tutkittavat parametrit ja niiden vaatimustasot sekä tutkimusmenetelmät,
- raportointimenettelyn ja dokumentoinnin,
- toimenpiteet poikkeamien kohdalla,

- katselmukset ja tarkastukset

Laadunvalvontasuunnitelma toimitetaan tilaajalle ja valvojille sekä tarvittaessa myös ympäristöviranomaisille hyväksyttäväksi ennen töiden aloitusta. Laadunvalvontasuunnitelman liitteenä toimitetaan myös työmaasuunnitelma ja työturvallisuussuunnitelma sekä tarvittavat tuotetiedot ja laskelmat.

#### 00440 Ulkopuolinen laadunvalvonta

Laadunvalvonta tulee järjestää siten, että se vastaa työn etenemisnopeutta. Ulkopuolinen laadunvalvoja tekee työmaalla tarkastuskäyntejä. Tarkastuskäyntejä kohdennetaan erityisesti eri rakennekerrosten aloitusvaiheisiin ja tärkeimpien rakennekerrosten, kuten tiivistysrakenteiden rakentamiseen. Ulkopuolinen laadunvalvoja raportoi rakennuttajalle kaikista havaitsemistaan laadunlituksista.

Ulkopuolisen laadunvalvojan tehtäviin kuuluu seuraavia työ- ja tutkimusvaiheita:

- osallistua katselmuksiin, tarkastuksiin ja työmaakokouksiin
- tarkastaa urakoitsijan määrittämät työssä käytettävät vertailuarvot ja laadunvalvontamenetelmät laadunseuranta varten
- tarkastaa urakoitsijan ennakkokokeiden ja koetiivistysrakenteen rakentamisen perusteella valitsemat työmenetelmät ja käytettävät raaka-aineet.
- tarkastaa urakoitsijan mittaustulokset kerrospaksuuksien osalta kaikille rakennekerroksille koko alueelta
- tarkastaa urakoitsijan toimittamat laadunvalvontatulokset sitä mukaa kun niitä toimitetaan,
- tehdä valvontakäyntejä työmaalla ja tarkastaa urakoitsijan päivittäin tekemien laadunmittausten tulokset työmaapäiväkirjasta ja laadunvalvontapöytäkirjasta,
- raportoida kirjallisesti rakennuttajalle sekä ilmoittaa tälle välittömästi mahdollisista laadunlituksista ja poikkeamista
- hyväksyä ehdotetut korjaustoimet ja tarkastaa urakoitsijan laadunlitysten ja poikkeamien vuoksi tekemät korjaustyöt
- tehdä muita tarpeelliseksi katsomiaan laadunvalvontatoimenpiteitä suunnitelmien ja vaatimusten mukaisen lopputuloksen varmistamiseksi

Ulkopuolinen laadunvalvoja tarkastaa ja hyväksyy urakoitsijan loppuraportin edelleen toimitettavaksi ympäristöviranomaisille. Ulkopuolinen laadunvalvoja laatii urakoitsijan loppuraportin ja tekemänsä laadunvalvontatoimenpiteet raportiksi, jonka perusteella viranomainen voi hyväksyä tiivistysrakenteen.

#### 00450 Tarkepiirustukset

Urakoitsija toimittaa rakennuttajalle mittausohjeiden mukaisesta aineistosta 1:500 karttapohjille tulostetut seuraavat piirustukset:

- Lähtötaso ja kaikkien rakennekerrosten yläpinnat
- Tarkepiirustuksen/-piirustukset, jossa näkyy kaikki urakkaan kuuluvat rakenteet kuten putkijohtolinjat
- Piirustus/piirustukset, joilla on esitetty laadunvalvontapisteiden sijainnit
- Tarkepiirustuksen/-piirustukset, jossa näkyy olemassa olleet kaivot ja esiin kaivautuneet rakenteet kuten putkilinjat.

Urakoitsija on velvollinen merkitsemään kaikki mahdolliset työn aikaiset erot ja poikkeamat alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna sekä korjaustoimenpiteet.

Rakenteita ei saa peittää ennen kuin mittaukset tarkepiirustusten laatimista varten on tehty. Tarkepiirustustiedot toimitetaan rakennuttajalle sähköisessä muodossa (dwg-, gt- ja pdf-muodossa) ja 2 sarjaa loppuraportin liitteinä.



## 11000 OLEVAT RAKENTEET JA RAKENNEOSAT

### 11200 Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat rakenteet

#### 11213 Suojattavat rakenteet

Vahingoittumiselle alttiit, säilytettävät rakennusosat ja laitteet suojataan tarkoituksenmukaisesti rakennusalueella ja tarvittaessa myös rakennusalueen ulkopuolella. Toimenpiteet sovitaan alkukatselmuksessa ennen töiden aloittamista.

Urakoitsijan on aina ennen töiden aloittamista selvitettävä johtojen, putkien sekä muiden laitteiden ja rakenteiden sijainnit. Kaikki em. rakenteet on suojattava töiden ajaksi niin, etteivät ne vahingoitu. Yksityiskohtaiset sijaintitiedot urakoitsijan tulee hankkia laiteomistajilta. Mikäli edellä mainittuja rakenteita on siirrettävä työn aikana, on ennen siirtoa hankittava ao. rakenteen omistajan suostumus ja noudatettava omistajan antamia ohjeita.

Vastuu rakenteille tai kolmannelle osapuolelle aiheutuneista vahingoista kuuluu urakoitsijalle.

### 14000 Pohjarakenteet

Urakoitsijan on tarvittaessa otettava rakennuttajaan yhteyttä, mikäli rakennuspohja poikkeaa suunnitelmissa esitetystä.

### 14200 Suojaukset ja eristykset

#### 14250 Maaperän eristerakenteet

Testausmenetelmät InfraRYL:n mukaisesti.

#### 142512 Tiivistyskerros

Tiivistyskerroksen tarkoituksena on estää tavanomaisen ja vaarallisen jätteen sekä niistä suotautuvien vesien sekoittuminen toisiinsa.

Tiivistyskerros rakennetaan niin, että sen molemmin puolin rakennettavaan kuivatuskerrokseen kulkeutuva vesi valuu kuivatusrakennetta pitkin alimmaisessa kuivatuskerroksessa sijaitseviin salaojalinjoihin.

Mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalina voidaan käyttää savea, moreenia, maabentoniittia tai vastaavaa. Rakenteen vedenläpäisevyyden tulee olla  $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s ja kerroksen kokonaispaksuuden  $\geq 1\ 000$  mm.

Pystyeristeseinämä rakennetaan suunnitelmissa esitettyyn kohtaan. Ennen rakentamista seinämärakenteen kohdalta kaivetaan esiin olevan pohjarakenteen tiivistysrakenteen pinnassa oleva kalvo, jonka pinta puhdistetaan. Kaivutyö suoritetaan erityistä varovaisuutta noudattaen ettei kalvon pinta vahingoittuisi. Pystyeristeen tiivisterakenne yhdistetään olevaan pohjarakenteeseen ja tiivistysrakenteeseen nostetaan ylöspäin kerroksittain tiivistäen. Pystyeristerakennetta rakennetaan vaiheittain, valitulla materiaalilla, täytön edistymisen mukaisesti.

Tiivistysrakenteen materiaaleille tehdään ennakkokokeet ja koetiivistyskenttä, että varmistutaan käytettävissä olevan materiaalin laadusta, käytettävästä levitys- ja tiivistyskalustosta, ajettavien kertojen määrästä ja kerrolla tiivistettävän kerroksen paksuudesta.

Maabentoniittiseos on valmistettava annos- tai jatkuvasekoitusperiaatteisella asemasekoitusmenetelmällä. Sekoittimen on oltava pakkosekoittaja ja massan raaka-aineet on mitattava punnitsemalla. Urakoitsija määrittää

käytettävien materiaalien laadun ja käytettävät työmenetelmät ennakkokokeilla ja koerakenteella.

#### Ennakkokokeet

Ennakkokokeiden tarkoituksena on selvittää se tiiveysaste/kuivatilavuuspaino, vesipitoisuus, rakeisuusohjealueet ja maabentoniittiseoksen osalta myös bentoniittin määrä (% moreenin kuivapainosta), jolla vaadittu vedenläpäisevyys  $\leq 1,0 \cdot 10^{-9}$  m/s saavutetaan luotettavasti.

Saven ennakkokokeet ovat:

Urakoitsijan on tehtävä savesta seuraavat ennakkokoetutkimukset:

- Vedenläpäisevyys eri tiiveysasteissa, vähintään 3 kpl. Vedenläpäisevyys määritetään joustavaseinämaisessä sellissä takapaineella.
- Vesipitoisuus kaikista vedenläpäisevyyteen käytetyistä näytteistä, vähintään 3 kpl
- Maksimikuivatilavuuspaino ja sitä vastaava optimivesipitoisuus parannetulla Proctor-kokeella tai ICT-kiertotiivistimellä. Sullonta tehdään vähintään kolmessa eri vesipitoisuudessa.
- Rakeisuus kaikista vedenläpäisevyyskokeeseen käytetyistä näytteistä pesuseulonnalla ja/tai areometrikokeella. Savipitoisuusvaatimus  $\geq 14$  %, max. raekoko 100 mm.
- Konsistenssirajat (kieritysraja  $< 90\%$ , juoksuraja  $> 10\%$ ) (määrittää saven työstettävyyserajat)
- Tilavuuskutistuma (vaatimus  $< 5$  %)
- Humuspitoisuus alle 2%

Moreenin ennakkokokeet ovat:

Urakoitsijan on tehtävä moreenista seuraavat ennakkokoetutkimukset:

- Vedenläpäisevyyskokeita vähintään 3 kpl. Vedenläpäisevyys määritetään joustavaseinämaisessä sellissä takapaineella standardin ASTM D5084 mukaisesti. Mikäli materiaalin rakeisuus vaihtelee, tulee vedenläpäisevyyskokeissa huolehtia, että vedenläpäisevyyskokeita tulee tehtyä rakeisuudeltaan erilaisista näytteistä.
- Vesipitoisuus kaikista vedenläpäisevyyteen käytetyistä näytteistä, vähintään 3 kpl.
- Rakeisuus kaikista vedenläpäisevyyskokeeseen käytetyistä näytteistä, vähintään 3 kpl, rakeisuusmääritykset pesuseulonnalla ja areometrikokeella. Materiaalin on oltava tasalaatuista tai rakeisuustutkimusten määrää on lisättävä.
- Maksimikuivatilavuuspaino ja sitä vastaava optimivesipitoisuus parannetulla Proctor-kokeella tai ICT-kiertotiivistimellä. Sullonta tehdään vähintään kolmessa eri vesipitoisuudessa.
- Humuspitoisuus alle 2%

Maabentoniitin ennakkokokeet:

- Runkoaineen rakeisuus ja vesipitoisuus. Rakeisuus määritetään pesuseulonnalla ja areometrikokeella, vesipitoisuus uunikuivauksella. Määrityksiä tehdään jokaisesta runkoainemateriaalierästä vähintään 2 kpl.
- Maabentoniitti seoksia tehdään vähintään kahdella bentoniittimäärällä bentoniittimäärän vaikutuksen arvioimiseksi. Seoksista tehdään koekappaleet, joista tutkitaan vedenläpäisevyys joustavaseinämaisessä sellissä.
- Maksimiraekoko #32 mm
- Maabentoniitin runkoaineen hienoainepitoisuus ( $< 0,063$  mm lajite)  $\geq 15$  %
- Runkoaineen vesipitoisuuden vaihteluvälin suositus  $\leq 2$  %
- Valitusta seoksesta tutkitaan maksimikuivatilavuuspaino ja sitä vastaava optimivesipitoisuus parannetulla Proctor-kokeella tai ICT-

kiertotiivistimellä. Sullonta tehdään vähintään kolmessa eri vesipitoisuudessa.

- Valitusta seoksesta valmistetaan kolme koekappaletta, jotka tiivistetään eri tiiviyssasteisiin (esim. 85 %, 90 % ja 95 %) maksimikuivatavuuspainoon verrattuna. Koekappaleista määritetään vedenläpäisevyys tiiviyssasteen vaikutuksen arvioimiseksi.
- Vedenläpäisevyys määritetään laboratorioissa joustavaseinämissä sellissä takapaineella standardin ASTM D5084 mukaisesti.
- Valitun seoksen rakeisuus, vesipitoisuus ja bentoniittipitoisuus määritetään ja niiden perusteella annetaan ohjealue.
- Bentoniittitoimittaja toimittaa tiedot bentoniitin laadusta, alkuperästä, montmorillonittipitoisuudesta ja valmistuksen testaustiheyksistä.

Mikäli tiivistyskerroksen materiaali on tiivistyskokeiden perusteella herkkä vesipitoisuuden vaihteluille tai runkoaineissa on suuria vaihteluja vesipitoisuudessa, selvitetään tiivistysvesipitoisuuden vaikutus vedenläpäisevyyteen samalla tavoin kuin edellä on kuvattu tiiviyssasteen vaikutus eli tehdään rinnakkaisia koekappaleita samaan tavoitekuivatavuuspainoon (esim. 90 % tiiviyssasteeseen), mutta eri lähtövesipitoisuudessa, optimivesipitoisuuden molemmin puolin. Vastaavasti on ennakkokokeiden perusteella arvioitava runkoaineiden rakeisuuden vaihtelua, mikäli vaihtelualue on suuri tai työnäkainen lajittuminen on todennäköistä.

Ennakkokoetulokset raportoidaan rakennuttajalle ja ulkopuoliselle laadunvalvojalle ennen koekentän rakentamista.

Maabentoniitin lisäaineena käytettävän bentoniitin on täytettävä taulukon 1 tuotetiedot. Bentoniitista ilmoitetaan alkuperä ja laatu.

Taulukko 1. Maabentoniitin lisäaineena käytettävän bentoniitin tuotetiedot ja valmistuksen aikainen laadunvalvonta

Ominaisuus	Mitattava parametri	Menetelmä	Vaatus	Testaustiheys
Montmorillonittipitoisuus	Mineraalien määrä	XRD (röntgendiffraktio)	> 75 %	Kerran vuodessa
	Metyleenisinkulutus	VDG P 69	> 300 mg/g	1/5000 t
Paisumiskyky	Paisumisindeksi	ASTM D5890	≥ 24 ml/2 g	1/50 t
Kationinvaihtokyky (CEC)		ISO 11260	>70 meq/100 g	Kerran vuodessa
Kalsiumpitoisuus		esim. DIN 18129, ISO 11260	< 5 %	Kerran vuodessa
Vesipitoisuus		Uunikuivaus SFS-EN ISO 17892-1	Ilmoitettava	1/250 t
Rakeisuus		Kuivaseulonta	Ilmoitettava	1/250 t
Bentoniitin laatu (suositus)	Bentoniitin nestehukka (fluid loss)	ASTM D5891	≤ 18 ml (30 min)	1/250 t
	Absorptio bentoniitille	DIN 18132	≥ 400 %	Kerran vuodessa

### Koerakenne

Ennen varsinaisen tiivistyskerroksen tekoa urakoitsija rakentaa rakennuttajan osoittamaan paikkaan koerakenteen rakenteessa käytettävästä materiaalista. Koerakenne on tehtävä samalla kalustolla kuin varsinainen rakenne tullaan toteuttamaan.

Koerakenteen rakentaminen tulee ajoittaa niin, että ulkopuolinen laadunvalvoja pääsee valvomaan rakentamista. Koerakenne-/rakenteet tehdään vastaavana rakenteena kuin lopullinen tiivistyskerros. Koerakenne voi kaikki vaatimukset täyttäessään olla osa varsinaista rakennetta. Koerakenteen kaikki tulokset raportoidaan ulkopuoliselle laadunvalvojalle ja rakennuttajalle. Koerakenteen perusteella päivitetään tarvittaessa laadunvalvonta- ja mittaus-suunnitelma sekä työvaihe- ja turvallisuussuunnitelma. Koerakenteen raportin

ja muutetut suunnitelmat tulee hyväksyttävä ulkopuolisella valvojalla ja rakennuttajalla.

Koerakenteen avulla selvitetään seuraavia asioita:

- Materiaalin toimivuus työkohteessa ja -olosuhteissa,
- Materiaalin levitys- ja tiivistysmenetelmien ja –kaluston soveltuvuus,
- Työn toteutuksessa käytettävät laadunvalvontamenetelmät ja hyväksymistasot,
- Kalibroidaan valitut kenttämittausmenetelmät ja vertailuarvot tekemällä rinnakkaisia määrittäyksiä ja laboratoriotutkimuksia,
- Valitulle tiivistyskalustolle tiivistystyössä käytettävä nopeus ja ylityskertojen määrä,
- Mikäli on käytettävissä dynaamisella tiivistystarkkailujärjestelmällä varustettua tiivistyskalustoa, määritetään tiivistystavoitetta vastaavat ajoparametrit,
- Ulkopuolinen laadunvalvoja varmistaa materiaalin ja työtapojen soveltuvuuden koekentän tulosten ja omien tutkimusten perusteella.

Koerakenteen tulee vastata lopullista rakennetta. Koepenkeren rakennekerosten sijainti ja korkeusasema mitataan.

Kokeet

Koerakenteesta saatavilla tutkimustuloksilla sekä ennakkokokeilla urakoitsija osoittaa, että asetetut vaatimukset saavutetaan valituilla työtekniikoilla ja esitetyllä materiaalilla.

Koekenttien materiaaleista tehdään vähintään seuraavat kokeet, joiden tulosten on vastattava ennakkokokeiden tuloksia ja valmiin tiivistysrakenteen vaatimuksia:

Savi:

- vähintään 2 kpl vedenläpäisevyyسمääritystä laboratoriossa työmaalla saavutetussa kuivatilavuuspainossa.
- 5 kpl kuivatilavuuspainon mittausta esim. Troxler-laitteella. Mittauspisteistä otetaan näytteet, joista määritetään vesipitoisuus uunikuivauksella. Uunikuivauksella saatua vesipitoisuutta verrataan kentällä mitattuun vesipitoisuuteen ja tarvittaessa kalibroidaan mitalaite / korjataan kentälaitteen vesipitoisuutta.
- 3 kpl kuivatilavuuspainon vertailumittausta hiekkavolyometrillä
- vähintään 3 kpl rakeisuuden määrittäystä savimateriaalista areometrikokeella.
- Tiivistyskerroksen kantavuuden toteaminen silmämääräinen
- Kerrospaksuuden tarkistus
- Käytettävä kalusto, kokeiltavat työtavat ja ylityskertojen määrät dokumentoidaan.

Moreeni:

- vähintään 2 kpl vedenläpäisevyyسمääritystä laboratoriossa työmaalla saavutetussa kuivatilavuuspainossa.
- 5 kpl kuivatilavuuspainon mittausta esim. Troxler-laitteella. Mittauspisteistä otetaan näytteet, joista määritetään vesipitoisuus uunikuivauksella. Uunikuivauksella saatua vesipitoisuutta verrataan kentällä mitattuun vesipitoisuuteen ja tarvittaessa kalibroidaan mitalaite / korjataan kentälaitteen vesipitoisuutta.
- vähintään 3 kpl rakeisuuden määrittäystä pesuseulonalla ja areometrikokeella.
- Tiivistyskerroksen kantavuuden toteaminen silmämääräinen
- Kerrospaksuuden tarkistus
- Käytettävä kalusto, kokeiltavat työtavat ja ylityskertojen määrät dokumentoidaan.

#### Maabentoniitti:

- vähintään 2 kpl vedenläpäisevyyسمääritystä laboratoriossa työmaalla saavutetussa kuivatilavuuspainossa.
- 5 kpl kuivatilavuuspainon mittausta esim. Troxler-laitteella. Mittauspisteistä otetaan näytteet, joista määritetään vesipitoisuus uunikuivauksella. Uunikuivauksella saatua vesipitoisuutta verrataan kentällä mitattuun vesipitoisuuteen ja tarvittaessa kalibroidaan mitta-alaite / korjataan kentälaitteen vesipitoisuutta.
- vähintään 3 kpl rakeisuuden määrittämistä maabentoniittiseoksen runkoaineista (pesuseulonta + areometri).
- Maabentoniittiseoksesta bentoniittipitoisuus 0,5 %-yksikön tarkkuudella sekoitusaseman kalibroitujen vaakojen mittaamista määristä jokaisesta sekoitetusta annoksesta.
- Tiivistyskerroksen kantavuuden toteaminen silmämääräinen
- Kerrospaksuuden tarkistus
- Käytettävä kalusto, kokeiltavat työtavat ja ylityskertojen määrät dokumentoidaan.

#### Koerakenteen raportointi

Koerakenteen ja laboratoriomittausten tulosten perusteella hyväksytään urakoitsijan kohteeseen esittämät tarkennetut laadunvalvontamenetelmät ja hyväksymistasot. Urakoitsija saa aloittaa tiivistyskerroksen rakentamisen urakoitsijan vastuulla ennen koekentän laboratoriokokeiden valmistumista, mikäli ennakkokoe tulokset ja koekentästä kentällä tehdyt kokeet sitä tukevat.

#### Koerakentäraportti sisältää vähintään:

- laadunvalvontamittausten tulokset ja johtopäätökset
- saavutettu kuivatilavuuspaino ja tiivistysaste eri työmenetelmillä ja eri kerrospaksuuksilla (jos useita)
- toteutuksessa käytettävät työtavat, tiivistykseen käytettävät työkooneet ja mahdolliset vaihtoehdot
- rakennetun kerroksen laatu silmämääräisesti tarkasteltuna (valokuva)
- mahdolliset säävaikutukset
- maabentoniitin sekoitusasema, raaka-aineiden seossuhteet seoksessa, asemalla tuotetun seoksen homogeenisuus ja laitteistotiedot

Tiivistystason ollessa riittämätön vaihdetaan materiaalia, työmenetelmää tai lisätään työmäärää, kunnes vaatimus täyttyy.

#### Tiivistyskerroksen rakentaminen

Mineraalisen tiivistyskerroksen kokonaisvahvuus on vähintään 1000 mm. Tiivistyskerroksen vedenläpäisevyyden tulee olla alle  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s. Tiivistyskerros tehdään ennakkokokeiden ja koetiivistyskentän laadunvalvontatulosten perusteella tarkoitukseen hyväksytystä savesta, moreenista tai maabentoniittiseoksesta tms. Ennakkokokeiden ja koerakenteen avulla määrätään käytettävän tiivistysmateriaalin laatu, käytettävä levitys- ja tiivistyskalusto, kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus sekä tiivistyskerrat.

Materiaalin homogeenisuuden seurantaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Urakoitsijan on ilmoitettava rakennuttajalle ja ulkopuoliselle laadunvalvojalle heti, kun materiaalin koostumuksessa havaitaan muutoksia tai materiaalin seossuhteita muutetaan.

Tiivistyskerroksen yläpinta tiivistetään. Valmiin pinnan päällä ei saa liikkua sellaisilla koneilla, jotka voivat aiheuttaa muodonmuutoksia pintaan tai materiaalin irtoamista siitä. Mikäli mineraalinen tiivistyskerros häiriintyy liiallisen jyräämisen tai sateen takia, on materiaali niiltä osin poistettava.

Rakennuttaja ja ulkopuolinen laadunvalvoja tarkastavat ja hyväksyvät tiivistyskerroksen. Hyväksyminen kirjataan esim. työmaapäiväkirjaan ja vahvistetaan allekirjoituksin. Hyväksyty pinta suojataan haitalliselta kastumiselta ja kuivumiselta sekä mekaanisilta vaurioilta. Mikäli mineraalinen tiivistyskerros ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia, on virheellinen rakenne poistettava.

#### Työnaikaiset laadunvalvontakokeet

Kokeet tulee tehdä tasaisesti koko tiivistyskerroksesta. Mineraalisesta tiivistyskerroksesta tehdään vähintään seuraavat kokeet:

- Vedenläpäisevyyden mittaaminen laboratoriossa 1 kpl alkavaa 500 m<sup>2</sup> rtr kohti eli vähintään 2 mittauksia/rakennusvaihe kentällä saavutetussa kuivatilavuuspainossa (mittaukset voidaan siirtää tehtäväksi ennakkokokeina)
- Vesipitoisuuden ja kuivatiheyden mittaaminen Troxler-laitteella tai vastaavalla 1 mittaaminen alkavaa 100 metriä kohti. Vesipitoisuuden tarkistus 1/5 mittauksen välein uunikuivatuksella.
- Saven rakeisuustutkimukset arometrikokeella 1/250 m<sup>5</sup> rtr (mittaukset voidaan siirtää tehtäväksi ennakkokokeina).
- Moreenin ja maabentoniittiseoksesta runkoaineen rakeisuuden määrittäminen seulomalla ennen sekoitusta 1/250 m<sup>5</sup> rtr (mittaukset voidaan siirtää tehtäväksi ennakkokokeina).
- Maabentoniittimassan vesipitoisuuden määrittäminen laboratoriossa (uunikuivatus) vähintään 1 kpl/työvuoro.
- Maabentoniittimassan bentoniittipitoisuus määritetään 0,5 %-yksikön tarkkuudella sekoitusaseman kalibroittujen vaakojen mittauksista määritystä 1 kpl / 5 sekoitettua annosta.
- Bentoniitin laatu ennakkokokeiden ja koekentän mukainen.
- Ensimmäinen kerros ja valmiin rakenteen yläpinta kartoitetaan, lisäksi kartoitetaan joka kolmas rakennettava kerros, muiden kerrosten osalta paksuutta voidaan seurata työaikaisin mittauksin, jotka dokumentoidaan. Kartoitus tehdään pystyeristeen pituussuunnassa max 10 m välein, tiivistyskerroksesta kartoitetaan kapein kohta niin, että rakenteen minimi leveys saadaan selville.
- Jokainen kerros tarkastetaan silmämääräisesti ennen seuraavan kerroksen asentamista.
- Tiivistyskerroksen kantavuuden toteaminen kerroksittain silmämääräisesti

Tiivistyskerroksen materiaalin homogeenisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Urakoitsijan on ilmoitettava rakennuttajalle ja ulkopuoliselle laadunvalvojalle välittömästi, jos materiaalin koostumuksessa havaitaan muutoksia tai materiaalin seossuhteita muutetaan. Mikäli materiaali muuttuu tai materiaalin seossuhteita muutetaan, on uusittava ennakkokokeet ja koerakenne.

#### Virheet ja poikkeamat

Mikäli todetaan virheitä tai poikkeamia suunnitelman mukaisista tai yhteisesti sovituista ratkaisuista, kirjataan virhe tai poikkeama työmaapäiväkirjaan. Päiväkirjaan kirjataan mikä ja missä virhe tai poikkeama on tapahtunut, virheen tai poikkeaman laatu ja määrä. Sen jälkeen laaditaan suunnitelma virheen tai poikkeaman korjaamiseksi. Korjaussuunnitelma luovutetaan laadunvalvontaorganisaation hyväksyttäväksi ennen korjauksen tekemistä.

Vaatimukset/toiminta savesta ja moreenista tehtävän tiivistysrakenteen poikkeamatilanteissa

VAATIMUS	KORJAUSTOIMENPIDE
Materiaalin vesipitoisuus ennakkokokeiden ja koekentän mukainen $\pm 3 \%$	Vesipitoisuuden säätö kuivaamalla tai kastelemalla, lisätiivistys, uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä.
Kuivatilavuuspaino vastaa ennakkokoe- ja koekenttätuloksia	Lisätiivistys (tarvittaessa vesimäärän muuttaminen > uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä) Troxler-laitteen kalibrointi, mikäli tulokset poikkeavat laboratoriossa määritetyistä
Vedenläpäisevyys korkeintaan $1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s.	Työn keskeytys ja välitön sopiminen korjauksista toimenpiteistä. (lisätiivistys, uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä, rinnakkais-tutkimukset ja 3 rinnakkaisnäytteen keskiarvotuloksen hyväksyminen purkamatta rakennetta, rakenteen purku ja uudelleen rakentaminen, kerrospaksuuden lisäys korjaustoimenpiteet päätetään tapauskohtaisesti
Rakeisuusohjealueella: 0,063 mm seulan läpäisevyys saa alittaa enintään 5 % ennakkokokeiden ja koekentän mukaisista arvosta	Rinnakkaisnäytteet, lisävedenläpäisevyyskokeet, uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä
Paksuus vähintään 1000 mm	Materiaalin lisäys, uudelleen tasaus ja tiivistys.
Tiivistyskerroksen häiriintyminen	Materiaali kuivataan ja tiivistetään uudelleen tai häiriintynyt rakenne poistetaan ja korvataan uudella
Tiivistyskerroksen pinnan kuivuminen	Pinta jyrksitään ja tiivistetään uudelleen tai kuivunut rakenne poistetaan ja korvataan uudella

## Vaatimukset/toiminta maabentoniitista tehtävän tiivistysrakenteen poikkeamatilanteissa

VAATIMUS	KORJAUSTOIMENPIDE
Massan vesipitoisuus ennakkokokeiden ja koekentän mukainen $\pm 3 \%$	Vesimäärän muuttaminen, seossuhteiden tarkistus, seossuhteiden muuttaminen, uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä.
Kuivatilavuuspaino vastaa ennakkokoe- ja koekenttätuloksia	Lisätiivistys (tarvittaessa vesimäärän muuttaminen, seossuhteiden tarkistus, seossuhteiden muuttaminen, uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä)  Troxler-laitteen kalibrointi, mikäli tulokset poikkeavat laboratoriossa määritetyistä
Vedenläpäisevyys korkeintaan $1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s.	Työn keskeytys ja välitön sopiminen korjauksista toimenpiteistä. (lisätiivistys, seossuhteiden tarkistus ja muuttaminen, uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä, rinnakkais-tutkimukset ja 3 rinnakkaisnäytteen keskiarvotuloksen hyväksyminen purkamatta rakennetta, rakenteen purku ja uudelleen rakentaminen, kerrospaksuuden lisäys korjaustoimenpiteet päätetään tapauskohtaisesti
Rakeisuusohjealueella: 0,063 mm seulan läpäisevyys saa alittaa enintään 5 % ennakkokokeiden mukaisen arvon, enimmäisraekoko #32 mm	Seossuhteiden muutos, runkoaineen seulonta, uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä
Kolmen peräkkäisen annoksen bentoniittipitoisuuden keskiarvon oltava vähintään ennakkokokeiden mukainen. Yksittäinen poikkeama enintään 0,5 %-yksikköä	Bentoniittimäärän lisääminen 0,5 %-yksiköllä.
Paksuus vähintään 1000 mm	Massan lisäys, uudelleen tasaus ja tiivistys.
Bentoniitin laatu sama kuin ennakkokokeissa ja koekentässä	Uudet ennakkokokeet ja uusi koekenttä
Tiivistyskerroksen häiriintyminen	Materiaali kuivataan ja tiivistetään uudelleen tai häiriintynyt rakenne poistetaan ja korvataan uudella
Tiivistyskerroksen pinnan kuivuminen	Pinta jyrsitään ja tiivistetään uudelleen tai kuivunut rakenne poistetaan ja korvataan uudella

## 142515 Kuivatuskerros

Kuivatuskerros rakennetaan materiaalista, jonka vedenläpäisevyys on  $> 10^{-3}$  m/s. Vedenläpäisevyys voidaan arvioida rakeisuuden perusteella. Kuivatuskerros rakennetaan vähintään 500 mm paksuisena (levyisenä). Kuivatuskerroksessa käytetään soveltuvia jäteperäisiä tai muita materiaaleja, mikäli käytettävien materiaalien vedenläpäisevyysvaatimus täyttyy. Materiaalin



maksimiraekoko on <150 mm ja se määräytyy käytettävän materiaalin mukaan. Käytettävän materiaalin hienoainespitoisuuden (<0,063mm) tulee olla alle 5 %.

Rakeisuus tarkistetaan seulomalla 1/1000 tn (alkava) eli noin 1/500 m<sup>3</sup> rtr. Kuitenkin niin, että jokaisesta materiaalista tehdään vähintään yksi rakeisuusmääritys. Mikäli hienoainespitoisuus on yli 3 %, tehdään vedenläpäisevyysskoel 1 kpl/ "rakeisuuskäyrän tyyppi".

Kuivatuskerroksen materiaaleina voidaan käyttää:

- tavanomaisen jätetäytön puolella tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset täyttäviä materiaaleja jotka täyttävät asetetut vedenläpäisevyyksvaatimuksen. Materiaaleja ovat: karkea pohjakuona, puhtaat maa-ainekset kuten murske, sepeli ja sora tai muu soveltuva teollisuuden sivutuote tai jäte/purkumateriaalia
- vaarallisen jätetäytön puolella vaarallisen jätteen kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset täyttäviä materiaaleja jotka täyttävät asetetut vedenläpäisevyyksvaatimuksen. Materiaaleja ovat: karkea pohjakuona, pilaantuneet maa-ainekset esim. raidesepeli tai maa-aines tarvittaessa seulottuna, puhtaat maa-ainekset kuten murske, sepeli ja sora tai muu soveltuva teollisuuden sivutuote tai jäte/purkumateriaalia.

Salaojaputken ympärillä (päällä ja sivuilla) käytetään seulottua soraa tai murskattua kiviainesta. Materiaalin tulee olla InfraRYL:n 18320:K1 alueen 3 ohjealueen mukaista kiviainesta tai vastaavan rakeisuusohjealueen täyttävää hyötykäyttökelpoista jättemateriaalia. Kerroksen paksuus on vähintään 2 kertaa putken halkaisija.

Olemassa olevien pohjarakenteiden esille kaivun yhteydessä, pystyeristerakenteen kuivatuskerroksen alapuolelta pois kaivautunut, pohjarakenteen kalvon suojakerros ennallistetaan. Kuivatusrakenteet yhdistetään oleviin pohjarakenteen kuivatusrakenteisiin. Kuivatuskerrokset rakennetaan mineraalisen tiivistyskerroksen molemmin puolin. Kuivatuskerrokset rakennetaan siten, että sen molemmin puolin rakennettavaan kuivatuskerrokseen kulkeutuva vesi valuu kuivatusrakennetta pitkin alimmaisessa kuivatuskerroksessa sijaitseviin salaojalinjoihin. Kuivatusrakenteita nostetaan samanaikaisesti ylöspäin kerroksittain tiivistysrakenteen rakentamisen yhteydessä. Pystyeristerakennetta rakennetaan vaiheittain, valitulla materiaalilla, täytön edistymisen mukaisesti.

Kuivatuskerroksen yläpinta kartoitetaan. Välikerrosten paksuutta (=leveyttä) seurataan työnaikaisin mittauksin, jotka dokumentoidaan.

## 142516 Tukikerros

Tukikerros asennetaan kuivatuskerroksen molemmin puolin.

Tukikerroksen materiaaleina voidaan käyttää:

- tavanomaisen jätetäytön puolella: tiivistämiskelpoista maa-ainesta tai tiivistämiskelpoista jäte- tai teollisuuden sivutuotemateriaalia, jota käytetään maanrakentamisessa esim. betoni, tiili, tuhka, kuona ja joka täyttää ko. täyttöalueen kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset
- vaarallisen jätetäytön puolella: tiivistämiskelpoista maa-ainesta tai tiivistämiskelpoista jäte- tai teollisuuden sivutuotemateriaalia, jota käytetään maanrakentamisessa esim. betoni, tiili, tuhka, kuona ja joka täyttää ko. täyttöalueen kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset

Tukirakennetta nostetaan samanaikaisesti ylöspäin kerroksittain tiivistys- ja kuivatusrakenteiden rakentamisen yhteydessä. Kerros tiivistetään kerroksittain.

Tukikerros kartoitetaan. Tukikerroksen materiaalin soveltuvuus tutkitaan 1 kpl/materiaali.

## 142517 Routasuojakerros

Routasuojakerros rakennetaan väliaikaiseksi suojaksi pystyeristeseinämärakenteen yläpuolelle.

Routasuojakerroksen kokonaispaksuus on vähintään 1 000 mm. Routasuojaus rakennetaan tavanomaisen jätteen kaatopaikalle soveltuvasta jätteestä, joka täyttää tavanomaisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle asetetut vaatimukset.

Pystyeristerakenteen ja routa-suojakerroksen väliin asennetaan suodatinkangas.

Routasuojauksen sijainti merkitään näkyvästi jätetäyttöjen väliin ettei eri puolilla olevat jättemateriaalit pääsisi sekoittumaan toisiinsa.

Routasuojusrakenne poistetaan siinä vaiheessa, kun nostetaan pystyeristettä tai kun alueelle rakennetaan varsinaiset maisemointirakenteet.

## 14300 Kuivatusrakenteet

### 14311 Salaojat

Suotovesisalaojien sijainnit on esitetty suunnitelmapiiirustuksissa ja rakenteen periaatteista on tyyppikuva. Salaojaputkena käytetään Ø250 mm SN8 putkea. Salaojaputken ympärille asennetaan salaojasora tai sepeli tai muu soveltuva materiaali, jonka vedenläpäisevyys täyttää vaatimuksen  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s. Salaoja liitetään olemassa olevaan suotosalaojaan. Liitoskorot ja sijainnit on tarkastettava ennen rakentamisen aloittamista. Rakentamisessa noudatetaan Infra-RYL 14300.

Salaojat ja niiden liitokset kartoitetaan.

## 16000 MAALEIKKAUKSET JA – KAIVANNOT

### 16100 Maa- jäteleikkaukset

Jäteleikkaukset tehdään suunnitelma-asiakirjoissa esitetystä laajuudessaan.

#### Kaivutöistä yleisesti

Tässä urakassa kaivutyöt sijoittuvat tavanomaisen ja varallisen jätteen loppusijoitusalueille jätetäyttöön.

Urakoitsijan on laadittava kaivutöistä suunnitelmat.

Ennen kaivutyön aloittamista on urakoitsijan otettava selvää kaivualueella olevien kaatopaikan pohjaeristerakenteiden, johtojen, putkistojen, kaivojen sekä muiden varottavien rakenteiden sijainnista.

Urakoitsijan on tehtävä kaivutyö turvallisesti ottaen erityisesti huomioon jätteen laatu, kaivannon syvyys, sortuman vaara, luiskan kaltevuus ja kuormitus sekä vedestä, liikenteestä ja sääolosuhteista aiheutuvat vaaratekijät sekä käytettävän kaluston asettamat vaatimukset.

Kaivantojen työturvallisuudessa noudatetaan yleisiä kaivantoihin liittyviä turvallisuusohjeita. Kaivantoluiskia pyritään pitämään mahdollisimman lyhyen aikaa auki ja sitä seuraavat asennus- ja täyttötöet tehdään lyhyissä osissa. Viikonlopun ja muiden pyhien yli kaivantoja ei saa pitää auki. Kaivantojen pohjalla työskentely on minimoitava. Kaivannon pohjalla ei saa työskennellä ilman varmistavaa henkilö kaivannon ulkopuolella.

Jätetäyttöön saakka ulottuvissa kaivannoissa ja leikkauksissa on noudatettava erityistä varovaisuutta. Kaivantojen työturvallisuudessa noudatetaan

yleisiä kaivantoihin liittyviä turvallisuusohjeita ja lisäksi erityistä huomiota kiinnitetään siihen, että jätetäytössä voi esiintyä mm. tartuntavaarallisia aineita, kemikaaleja sekä jätetäyttö voi olla löyhää ja erittäin epähomogeenista. Jätetäyttöön tehtävien kaivantoluiskien vähimmäisluiskakaltevuudet ovat:

- matalat kaivannot, joiden syvyys alle 1 m 1:1
- kaivannot, joiden syvyys 1-2 m 1:1,5
- kaivannot, joiden syvyys yli 2 m 1:3.

Jätetäytössä kaivantoluiskat on porrastettava niin, että portaan korkeus on enintään 2 m. Työkoneella ei saa liikkua kaivannon välittömässä läheisyydessä silloin, kun kaivannossa työskennellään.

Mikäli jätetäyttöön tehdään kaivantoja tai kaivoja, joissa joudutaan työskentelemään, varaudutaan käyttämään hengityssuojaimia ja töiden alkaessa edustavasta paikasta mittaamaan (myöhemmin tarpeen mukaan): kaatopaikkakaasujen (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) pitoisuudet kenttämittarilla ja jätepenkereen lämpötila. Urakoitsija vastaa mittauksista.

Kaivantojen pohjalla työskentely minimoidaan. Kaivannon pohjalla ei saa työskennellä ilman kaasumittalaitetta ja varmistavaa henkilö kaivannon ulkopuolella.

#### Kaivutyöt erityistä

Nykyinen täyttö poistetaan suunnitellun pystyeristeseinämän tiivistysrakenteen kohdilta nykyisen pohjarakenteen tiivistyskerroksen kalvoon saakka. Kaivutyö ulotetaan riittävän laajalle, että suunnitelman mukainen pystyeristerakenne ja tarvittavat tukitäytöt saadaan toteutettua. Kaivutyö suoritetaan erityistä varovaisuutta noudattaen ettei nykyinen kalvorakenne vaurioidu.

Leikkauspohja puhdistetaan, tasataan ja tiivistetään suunnitelmapiirustusten mukaiseen kaltevuuteen/olemassa olevaan kaltevuuteen.

Suunnitellun kuivatusrakenteen kohdalta poistetaan oleva täyttö nykyisen pohjarakenteen kuivatusrakenteeseen saakka.

Rakenteisiin kelpaamaton ylijäämäainees kuljetetaan rakennuttajan osoittamaan paikkaan.

## 20000 PÄÄLLYS- JA PINTARAKENTEET

### 21000 Päällysrakenteen osat

#### 21100 Suodatinrakenteet

##### 21120 Suodatinkankaat

InfraRYL 2018/1, 21120

Salaojakaivannon yläpintaan asennetaan tarvittaessa suodatinkangas N3.

Keskeneräisen, korotettavan pystyeristerakenteen ja routa-suojakerroksen väliin asennetaan suodatinkangas N3.