

KUMIBITUMIPOHJAISIEN GEOMEMBRAANIEN
ASENTAMISEN LAADUNVALVONTA

Antti Kortelainen
2012
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

KUMIBITUMIPOHJAISIEN GEOMEMBRAANIEN ASENTAMISEN LAADUNVALVONTA

Antti Kortelainen
Opinnäytetyö
24.1.2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma

Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto

Yhdyskuntatekniikka

Työn tilaaja

Icopal Oy

Työn nimi

Kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonta

Avainsanat

geomembraani, keinotekoinen eriste, kumibitumi, laadunvalvonta, tiivistysrakennus

Opinnäytetyö

Insinöörityö

Aika

24.1.2012

Työn tekijä

Antti Kortelainen

Sivuja

56

+

Liitteitä

+

6

Tässä työssä käsitellään yksityiskohtaisesti kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvontaa. Työn pohjana oleva aineisto kuvineen ja taulukoineen on koottu pääosin kesällä 2010 tapahtuneen Kittilän kaivoksen NP3-rikastushiekka-altaan maarakennustöiden laadunvalvonnan tuloksena.

Lähtökohdat kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvontaan olivat haasteelliset, sillä valmiit ja yksiselitteiset ohjeet kyseiseen laadunvalvontatyöhön puuttuivat kokonaan. Tämän työn tavoitteena olikin tuoda esille työohjelmallisessa muodossa kyseisellä työmaalla käytetyt laadunvalvontamenetelmät kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laatuun liittyen. NP3-rikastushiekka-allas toimii kullan rikastusprosessissa syntyvän ympäristölle haitallisen jätelietteen loppusijoituspaikkana, joten yksi työn tavoitteista oli korostaa myös asianmukaisen laadunvalvonnan tärkeyttä ympäristön kannalta.

Tutkimusmenetelmänä kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonnassa toimi pääasiassa geomembraanien välisien saumojen hitsin laadun silmämääräinen tarkastelu. Lisäksi poikkeavat kohdat saumoissa tutkittiin tarkemmin sauman paksuuksia tietyssä kohdassa ilmoittavalla ultraäänitutkalla. Laadunvalvonnan tuloksena paikattavia kohtia geomembraaneissa ja niiden välisissä saumoissa kertyi yhteensä 284 kappaletta. Geomembraanien asennusalue, jolla poikkeamat havaittiin, oli noin 24 hehtaarin kokoinen.

Degree programme	Thesis	Pages	+	Appendices
Civil Engineering	B.Eng.	56	+	6
Line	Date			
Municipal Engineering	24 January 2012			
Commissioned by	Author			
Icopal Ltd.	Antti Kortelainen			
Thesis title				
Quality Control of Bituminous Geomembranes During Installation				
Keywords				
geomembrane, quality control, sbs elastomeric bitumen, groundwater protection				

This study concerns the quality control of bituminous geomembranes during installation in detail. The subject of this study with all the pictures and tables, bases mainly on to the results of the quality control, made in Kittilä Mine's NP3 –tailings pond construction site during summer 2010.

The starting point within the quality control of the bituminous geomembranes during installation was challenging, because there were no completed and unambiguous instructions for the concerned quality control task. Thus the aim of this study is to disclose the used procedures in the quality control on this named construction site. One aim is also to emphasize the importance of the suitable quality control regarding environment. In this case, the tailings are contaminant byproducts, which are formed during the gold concentration process.

The quality control task proceeded mainly by examining the welded seams of the geomembranes by eye. The deviant spots on the seams were examined more closely with a thickness-notifying ultrasonic radar. Due to the quality control of the bituminous geomembranes during installation, there were 284 spots found, which needed to be patched up. The installation area of the geomembranes was approximately 24 hectares.

ALKUSANAT

Haluan kiittää työn tilaajaa Icopal Oy:tä ja erityisesti Icopal Oy:n tuotepäällikkö Mikko Nikanderia, sekä Agnico-Eagle Finland Oy:n projekti-insinööri Markku Arffmania, jotka mahdollistivat tämän opinnäytetyön tekemisen.

Lisäksi haluan kiittää työn ohjaajina toimineita yliopettaja Jyrki Röpelistä Oulun seudun ammattikorkeakoulusta ja dosentti Kauko Kujalaa Oulun yliopistosta kaikesta tuesta ja hyvistä neuvoista, jotka edesauttoivat tämän työn tekemistä.

Oulussa 24.1.2012

Antti Kortelainen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
TERMIT	8
1 JOHDANTO	9
2 RIKASTUSHIEKKA-ALLASRAKENTEET	10
2.1 Pohjarakenteet	11
2.2 Patorakenteet	12
2.3 Rikastushiekka-allasrakenteiden vaatimukset	13
2.3.1 Ympäristölupa ja siihen vaikuttava lainsäädäntö	13
2.3.2 Pohjarakenteille asetetut vaatimukset	14
2.3.3 Patorakenteille asetetut vaatimukset	15
3 TIIVISTYSRAKENTEIDEN LAADUNVALVONTA	16
3.1 Laadunvalvonta käsitteenä	16
3.2 Rakennusaikaisen laadunvalvonnan osapuolet ja näiden tehtävät	16
3.3 Laatuvaatimusten määrittäminen	18
4 KITTILÄN KAIVOS	19
4.1 Ensimmäisen vaiheen rikastushiekka-altaat	20
4.2 NP3-rikastushiekka-allas	20
4.2.1 Rakenne	22
4.2.2 Vaurioiden havaitseminen	23
5 TERANAP 331 TP –KUMIBITUMIPOHJAINEN GEOMEMBRAANI	24
5.1 Ominaisuudet ja valmistus	24
5.2 Käsittely ja varastointi	26
5.3 Asentaminen	27
5.3.1 Rakennusalustan vaatimukset	27
5.3.2 Levitys	28
5.3.3 Limitys	29
5.3.4 Painotus	29
5.3.5 Hitsaus	30
5.3.6 Yläreunan ankkurointi luiskissa	32
5.3.7 Sääolosuhteiden vaikutukset asentamiseen	32

6 NP3-RIKASTUSHIEKKA-ALTAAN KUMIBITUMIPOHJAISIEN GEOMEMBRAANIEN ASENTAMISEN LAADUNVALVONTA.....	34
6.1 Asentamisen laatuvaatimukset.....	34
6.2 Asentamisen laatuun vaikuttavat tekijät	35
6.3 Silmämääräinen tarkastus	36
6.4 Ultraäänitarkastus.....	37
6.4.1 Ultraäänitutka ja sen toimintaperiaate	38
6.4.2 Mittaukset ja niiden dokumentointi	40
6.4.3 Mittaustulokset ja niiden analyysi	41
6.5 Laadunalitukset ja niiden tyypillisimmät syntyvaiheet.....	42
6.5.1 Asennusvirheet.....	43
6.5.2 Kuljetusvauriot.....	45
6.5.3 Valmistusvirheet	46
6.5.4 Kivet	47
6.6 Toimenpiteet laadun alittuessa	47
6.6.1 Paikattavan kohdan laajuuden määrittäminen	47
6.6.2 Dokumentointi ja maastoon merkitseminen	48
6.6.3 Paikkaus.....	50
7 YHTEENVETO	52
LÄHTEET	54
LIITTEET	57

TERMIT

geomembraani	maaperän ja pohjavesien suojaamiseen sekä muuhun vaativaan vedeneristykseen tarkoitettu lähes vettä läpipäästämätön keinotekoinen eriste
keinotekoinen eriste	nesteiden tai kaasujen eristykseen käytetty ohut ja taipuisa tiivistyskalvo, joka on valmistettu yleensä polymeereistä tai bitumista
kumibitumi	valmistettu bitumimassasta, johon on lisätty SBS-elastomeeriä
laadunvalvonta	laadunvalvonnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä rakennusaikaista valvontaa, jonka avulla osoitetaan, että toteutus noudattaa suunnitelmia ja työselityksissä asetettuja vaatimuksia
rikastushiekka-allas	malmin rikastamisprosessissa muodostuvan rikastushiekan käsittelyä sekä prosessiveden kierrättämistä ja puhdistamista varten rakennettu järjestelmä
suotovesi	maamassan läpi suotautunut vesi
tiivistysrakenne	pohjavedensuojusrakenne, jonka suojausvaikutus perustuu alhaiseen vedenläpäisevyyteen
vedenläpäisevyys	vedenläpäisevyydellä tarkoitetaan vesimäärää, joka aikayksikössä virtaa määrätyn poikkileikkauksen kautta

1 JOHDANTO

Geomembraanit ovat ohuita, vaativaan vedeneristykseen tarkoitettuja tiivistyskalvoja, jotka on valmistettu yleensä polymeereistä tai bitumista. Geomembraaneja käytetäänkin maaperän ja pohjavesien suojaamiseen esimerkiksi kaatopaikkojen tiivistysrakenteissa sekä kaivosten rikastushiekka-altaissa, vastaavanlaisissa pohjarakenteissa. Tiivistysrakenteissa geomembraanit toimivat varsinaista tiivistävää rakennetta haitalliselta kuormitukselta suojaavana kerroksena sekä suotovesien keräilijöinä. Lähtökohtaisesti tiivistysrakenteet ovat aina vaativia rakenteita, joiden suunnitteleminen ja rakentaminen vaativat asianomaisilta riittävää pätevyyttä ja kokemusta kyseisistä rakenteista.

Tässä työssä käsitellään yksityiskohtaisesti kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvontaa. Työn pohjana oleva aineisto kuvineen ja taulukoineen on koottu pääosin kesällä 2010 tapahtuneen Kittilän kaivoksen NP3-rikastushiekka-altaan maarakennustöiden laadunvalvonnan tuloksena. Tämän työn tilaajana toimiva sekä Kittilän kaivokselle kumibitumipohjaiset geomembraanit toimittanut Icopal Oy hyödyntää työn tuloksia osaltaan toiminnassaan.

Kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonnan aloittaminen NP3-rikastushiekka-altaan työmaalla oli haasteellista, sillä valmiit ja yksiselitteiset ohjeet kyseiseen laadunvalvontatyöhön puuttuivat kokonaan. Tämän työn tavoitteena onkin tuoda esille työhjermäisessä muodossa kyseisellä työmaalla käytetyt menetelmät kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonnassa. Yksi työn tavoitteista on korostaa myös tiivistysrakenteiden asianmukaisen laadunvalvonnan tärkeyttä ympäristön kannalta katsottuna.

Rikastushiekka-altaat vaativat erillisten pohjarakenteiden lisäksi myös erilliset pintarakenteet, kun altaat aikanaan poistetaan käytöstä. Tässä työssä käsitellään kuitenkin vain rikastushiekka-aldaiden toiminnan aikaisia rakenteita, joten pintarakenteisiin ja niille asetettuihin vaatimuksiin ei ole otettu kantaa.

2 RIKASTUSHIEKKA-ALLASRAKENTEET

Rikastusprosessissa kaivoksesta louhitusta raaka-aineesta eli malmista poistetaan hyödyttömät mineraalit eli harmeet. Prosessissa muodostunut jäte, rikastushiekka, koostuu pääasiassa näistä harmeista. Se saattaa sisältää lisäksi prosessivettä, prosessikemikaaleja ja jonkin verran mineraaleja, joita ei ole saatu talteen. Rikastushiekka loppusijoitetaan rikastushiekka-altaisiin, eli rikastushiekan käsittelyä sekä prosessiveden puhdistamista ja kierrättämistä varten rakennettuihin järjestelmiin, jotka koostuvat erikseen rakennettujen pohjarakenteiden lisäksi yleensä patorakenteista. (Himmi 2007, 37-38.)

Kaatopaikalla tarkoitetaan jätteiden käsittelypaikkaa, jossa jätettä sijoitetaan maan päälle tai maahan. Kaatopaikalla tarkoitetaan myös tuotantopaikan yhteydessä olevaa paikkaa, jonne jätteen tuottaja sijoittaa omaa jätettään, sekä lisäksi paikkaa, joka on käytössä yli vuoden ja jossa jätettä varastoidaan väliaikaisesti (VNp 1049/1999, 2. §). Kaatopaikat luokitellaan kolmeen luokkaan kaatopaikoille sijoitettavan jätteen ominaisuuksien perusteella seuraavasti (VNp 861/1997, 3. §):

- pysyvän jätteen kaatopaikka
- tavanomaisen jätteen kaatopaikka
- ongelmajätteen kaatopaikka.

Kaatopaikoille saa sijoittaa vain niiden luokituksen mukaisia jätteitä. Pysyvällä jätteellä tarkoitetaan jätettä, jossa ei pitkänkään ajan kuluessa tapahdu olennaisia fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia muutoksia eikä jäte aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Tavanomaisella jätteellä tarkoitetaan jätettä, joka ei ole ongelmajätettä eikä pysyvää jätettä, eli käytännössä yhdyskunta- ja teollisuusjätettä (VNp 861/1997, 2.-3. §). Ongelmajätteellä tarkoitetaan jätettä, joka voi kemiallisten tai muiden ominaisuuksiensa perusteella aiheuttaa erityistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle (VNp 1072/1993, 3. §). Rikastushiekka luokitellaan sen ominaisuuksien mukaan joko ongelmajätteeksi, tavanomaiseksi jätteeksi tai pysyväksi jätteeksi.

2.1 Pohjarakenteet

Niin kuin kaatopaikkarakenteilta, myös rikastushiekka-altaiden pohjarakenteilta edellytetään erillisiä pohjavedensuojusrakenteita, sillä mikään pohjamaatyyppe ei yleensä täytä yhtäaikaan vaadittuja pohjamaan kantavuus- ja vedenläpäisevyysarvoja. Rikastushiekka-altaiden pohjat ovatkin rakenteiltaan tiivistysrakenteita eli varsinaisesta tiivistävästä kerroksesta ja sitä haitalliselta kuormitukselta suojaavasta kerroksesta koostuvia monikerrosrakenteita.

Varsinainen tiivistävä kerros eli mineraalinen tiivistyskerros rakennetaan yleensä tietyt vedenläpäisevyys- ja paksuusvaatimukset täyttävästä luonnon kivennäismaa-aineksesta (kuva 1). Kun mineraalisen tiivistyskerroksen alapuolisen pohjamaan ensisijaisena tehtävänä on olla riittävän kantava, estää varsinainen tiivistävä kerros haitta-aineita suotautumasta maaperään. Mineraalisella aineksella on lisäksi kyky sitoa itseensä myös raskasmetalleja. (Leppänen 1998, 54.)



KUVA 1. Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamista pohjamaan päälle NP3-rikastushiekka-altaan työmaalla (Arffman. 2010)

Mineraalista tiivistyskerrosta haitalliselta kuormitukselta suojaava kerros, eli keinotekoinen eriste, pidättää joitakin haitta-aineita, kuten esimerkiksi orgaanisia yhdisteitä, ja tehostaa suotovesien keräilyä. Mineraalinen tiivistyskerros ja sitä täydentävä keinotekoinen eriste muodostavatkin yhdessä yhdistelmätiivisterakenteen ja estävät haitta-aineiden kulkeutumisen tehokkaammin kuin yksittäinen rakenne erikseen. Keinotekoisena eristeenä käytetään yleensä geomembraania eli nesteiden ja kaasujen eristykseen käytettävää ohutta ja taipuisaa tiivistyskalvoa, jonka paksuus on vähintään 2,0 mm. Mikäli geomembraani ei kestä mekaanista rasitusta (esimerkiksi HDPE-muovikalvo), suojataan se vielä erillisellä suojarakenteella, kuten esimerkiksi mineraaliaineksella tai geotekstiilillä. (Leppänen 1998, 55-56.)

2.2 Patorakenteet

Rikastushiekka-altaat koostuvat erikseen rakennettujen pohjarakenteiden lisäksi altaita ympäröivistä patorakenteista. Padolla tarkoitetaan patoturvallisuuslain (VNp 494/2009, 4. §) mukaan seinämäistä tai vallimaista rakennetta, jonka tarkoituksena on pysyvästi tai tilapäisesti estää rakenteen takana olevan nesteen tai nestemäisesti käyttäytyvän aineen leviäminen tai säädellä padotun aineen pinnan korkeutta.

Rikastushiekka-altaita ympäröivät padot eli kaivospadot voivat olla joko vettä läpi suotaavia (esimerkkinä liite 1) tai kokonaan vesitiiviitä (esimerkkinä liite 2). Kaivospadot voivat olla lisäksi rakenteiltaan joko vyöhykepatoja, jotka muodostuvat vedenläpäisevyydeltään useasta erilaisesta materiaalista, tai homogeenisiä maapatoja, jotka koostuvat vuorostaan suurimmaksi osaksi yhdestä materiaalista. Liitteen 1 mukainen esimerkki suotavasta vyöhykepadosta koostuu toiminnaltaan erilaisista rakenteellisista osista. Tiivistysosan (1) tehtävänä on toimia vettä padottavana rakenteena. Suodattimet (2) estävät padon sisäistä eroosiota ja kuivatusjärjestelmään (3) purkautuvat padon läpi suotautuvat vedet. Tukipenger (4) varmistaa padon vakavuuden yhdessä muiden rakenneosien kanssa. Padon ylimpien kerroksien eli luiskaverhouksien (5) tehtävänä on estää tukipenkereen eroosio sateen tai aallokon vaikutuksesta. Verhoukset parantavat lisäksi luiskien vakavuutta. (Sivonen – Frilander 2002, 16-17.)

2.3 Rikastushiekka-allasrakenteiden vaatimukset

2.3.1 Ympäristölupa ja siihen vaikuttava lainsäädäntö

Vuonna 2000 voimaan tullut ympäristönsuojelulaki (YSL) koskee kaikkia ympäristön osa-alueita mahdollisesti pilaavaa toimintaa sekä toimintaa, jossa syntyy jätettä. Jätteen hyödyntäminen ja käsittely ovat myös YSL:n alaisia. YSL:n mukaan ympäristön pilaantumisen tarkoitetaan sellaista ihmisen toiminnasta johtuvaa, muun muassa aineen päästämistä tai jättämistä ympäristöön niin, että sen seurauksena aiheutuu joko yksin tai yhdessä muiden päästöjen kanssa terveyshaittaa, haittaa luonnolle ja sen toiminnoille tai luonnonvarojen käyttämisen estymistä tai melkoista vaikeutumista. Lisäksi YSL:iin kuuluvan maaperän pilaamiskiellon mukaan maahan ei saa jättää tai päästää jätettä eikä muutaakaan ainetta siten, että seurauksena on sellainen maaperän laadun huononeminen, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (86/2000, 2.-7. §)

Toiminnalle, joka aiheuttaa terveyshaittaa tai ympäristön pilaantumisen vaaraa, vaaditaan YSL:n mukainen ympäristölupa. Ympäristönsuojeluasetuksella (169/2000) säädetään tarkemmin luvanvaraisista toiminnoista. Asetuksen mukaan kaivannaisjätteen jätealueet eli rikastushiekka-altaat ovat luvanvaraisia, joten niillä on oltava ympäristölupa. Ympäristölupa on oikeusharkintainen hallintolupa, joka myönnetään vasta, kun luvan edellytykset täyttyvät. ”Luvan myöntäminen edellyttää, ettei toiminnasta, asetettavat lupamääräykset ja toiminnan sijoituspaikka huomioon ottaen, aiheudu yksinään tai yhdessä muiden toimintojen kanssa” (86/2000, 28.-42. §)

- terveyshaittaa
- merkittävää muuta ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa
- erityisten luonnonolosuhteiden huonontumista tai vedenhankinnan tai yleiseltä kannalta tärkeän muun käyttömahdollisuuden vaarantumista toiminnan vaikutusalueella.

2.3.2 Pohjarakenteille asetetut vaatimukset

Rikastushiekka-altaiden pohjarakenteisiin sovelletaan samaa lainsäädäntöä kuin mitä kaatopaikkojen pohjarakenteilta vaaditaan.

Valtioneuvoston päätöksen kaatopaikoista (861/1997) mukaan maaperän on oltava kantava ja täytettävä yhteisvaikutuksiltaan vähintään taulukon 1 mukaiset veden kyllästäjän maan vedenläpäisevyys- (k) ja paksuusvaatimukset. Jos kaatopaikan maaperän tiiveys ei vastaa luonnostaan taulukon 1 mukaisia vaatimuksia, sitä tulee parantaa rakennetuilla tiivistyskerroksilla vastaavan suojatason saavuttamiseksi. Pysyvän ja tavanomaisen jätteen kaatopaikoilla rakennettun tiivistyskerroksen on oltava vähintään 0,5 metriä ja ongelmajätteen kaatopaikoilla vähintään 1,0 metrin. Suotovesien keräämiseksi ja haitta-aineiden pidättämiseksi on tavanomaisen jätteen ja ongelmajätteen kaatopaikkojen maaperän tai tiivistyskerroksen päälle lisäksi asennettava keinotekoinen eriste. Pysyvän jätteen kaatopaikoilla määrätään tapauskohtaisesti keinotekoisien eristeen tarve. Toisin kuin kaatopaikkojen pohjarakenteet, rikastushiekka-altaiden pohjat eivät vaadi kuivatuskerrosta, sillä rikastushiekka sijoitetaan suoraan keinotekoisien eristeen päälle.

TAULUKKO 1. VNp 861/1997 mukaisia kaatopaikan pohjarakenteen vaatimuksia

Kerros	Kaatopaikkaluokka		
	Pysyvä jäte	Tavanomainen jäte	Ongelmajäte
Maaperä	Paksuus $\geq 1,0$ m; $k = 1,0 \times 10^{-7}$ m/s	Paksuus $\geq 1,0$ m; $k = 1,0 \times 10^{-9}$ m/s	Paksuus $\geq 5,0$ m; $k = 1,0 \times 10^{-9}$ m/s
Rakennettu tiivistyskerros	Vaaditaan, paksuus $\geq 0,5$ m	Vaaditaan, paksuus $\geq 0,5$ m	Vaaditaan, paksuus $\geq 1,0$ m
Keinotekoinen eriste	Määrätään tapauskohtaisesti	Vaaditaan	Vaaditaan
Kuivatuskerros	Määrätään tapauskohtaisesti	Vaaditaan, paksuus $\geq 0,5$ m	Vaaditaan, paksuus $\geq 0,5$ m

2.3.3 Patorakenteille asetetut vaatimukset

Kaivospatoihin sovelletaan uuden kaivoslain (621/2011) mukaisia säännöksiä, mutta varsinaiset patoturvallisuusasiat määräytyvät Maa- ja metsätalousministeriön laatimien patoturvallisuusohjeiden mukaan. Koska ohjeet ovat viranomaisten määräyksiä ja ohjeita koskevista toimenpiteistä annetun lain (573/1989) mukaan vain yleisiä sääntöjä, eivät ne siten ole velvoittavia. (MMM 1997, 7.)

”Padon rakenteellisen varmuuden ja käyttövarmuuden on täytettävä sellaiset vaatimukset, ettei siitä aiheudu vaaraa turvallisuudelle”. Padon varmuus määräytyy suunnittelu- ja rakennusvaiheessa, joten näiden vaiheiden tulee noudattaa kulloinkin hyväksyttyä suunnittelu- ja rakennustapaa (MMM 1997, 10). Kaivospatojen eli maapatojen suunnittelulle, rakentamiselle ja tarkkailulle on annettu tiettyjä vaatimuksia patoturvallisuusohjeissa. Ohjeissa on annettu lisäksi maapadoilta vaadittavia vähimmäismittoja ja -arvoja muun muassa padon vakavuudelle, turvavaralle, eli tiivistysosan ja ylimmän vedenpinnan tason (HW-tason) väliselle erotukselle, sekä padon harjan leveydelle. (MMM 1997, 51-54.)

3 TIIVISTYSRAKENTEIDEN LAADUNVALVONTA

3.1 Laadunvalvonta käsitteenä

Tiivistysrakenteiden laadunvalvonta jakaantuu **materiaalin valmistuksen** laadunvalvontaan ja **rakennusaikaiseen** laadunvalvontaan. Ensimmäiseksi mainitussa laadunvalvonnan osassa kyse on esimerkiksi teollisesti valmistetun tuotteen, kuten geomembraanin, valmistusvaiheen laadunvalvonnasta, joka on toteutettu jo tuotantolaitoksessa (Leppänen – Vahanne – Ahonen 2006, 8). Laadunvalvonnalla tarkoitetaan kuitenkin tässä yhteydessä rakennusaikaista, toteutettavien rakenteiden valvontaa, jonka avulla pyritään osoittamaan, että toteutus noudattaa suunnitelmia ja työohjeissa asetettuja vaatimuksia.

Laadunvalvonta perustuu kuitenkin pitkälti haluttuihin laatuominaisuuksiin ja se pyrkii vastaamaan kysymyksiin (Kankainen – Junnonen 2001, 53.)

- miten todetaan haluttujen laatuvaatimusten täytyminen
- miten menetellään poikkeamatapauksissa ja miten ne raportoidaan
- mitkä ovat työvaiheeseen liittyvät yleisimmät virheet, miten ne syntyvät ja miten virheet tulisi ehkäistä.

3.2 Rakennusaikaisen laadunvalvonnan osapuolet ja näiden tehtävät

Tiivistysrakenteet ovat vaativia rakenteita, joiden suunnitteleminen ja rakentaminen edellyttävät asianomaisilta riittävää kokemusta ja tietämystä niin käytettävien materiaalien ominaisuuksista kuin rakentamistavoistakin. Rakenteiden vaativuus yhdistettynä niille sijoitettavan jätteen hallinta- ja rajoittamistarpeeseen asettavat rakentamisen laadunvalvonnalle suuria haasteita (Leppänen ym. 2006, 4). ”Pohjaveden suojausrakennehankkeissa on tärkeää tehdä kaikille työn osapuolille selväksi, miten tärkeää rakenteen onnistumisen kannalta on, että kaikki työvaiheet tehdään huolellisesti” (Leppänen 1998, 113).

Tiivistysrakenteiden rakennusaikainen laadunvalvonta voidaan jaotella (Leppänen ym. 2006, 8.)

- rakennuttajan laadunvalvontaan (rakennuttajalla tarkoitetaan tässä yhteydessä ympäristöluvan saanutta rakennuskohteen haltijaa)
- urakoitsijan laadunvalvontaan
- viranomaisen laadunvalvontaan
- riippumattoman laadunvalvojan laadunvalvontaan.

Rakennuttaja vastaa aina tiivistysrakenteiden ympäristöluvan ehtojen täyttymisestä. Pääasiallisena rakennuttajan laadunvalvontatoimenpiteenä rakentamisvaiheessa on työmaavalvonta. Rakennuttajan työmaavalvoja, paikallisvalvoja, seuraa ja raportoi työmaan etenemistä päivittäin (Leppänen ym. 2006, 5-8). Raportoinnin tavoitteena on dokumentoida hyväksi koetut menettelytavat sekä tunnistaa laaturiskejä sisältävät työt. Laaturiskejä sisältävien töiden tunnistaminen auttaa selvittämään mahdollisten, jo syntyneiden virheiden aiheuttamissyitä, jotta tulevaisuudessa voitaisiin välttää nämä virheelliset menettelytavat (Kankainen ym. 2001, 38).

Urakoitsijan vähimmäisvaatimukset laadunvalvontatoimenpiteiden osalta määrittellään työselityksessä ja laadunvalvontasuunnitelmassa. Urakoitsija tekee lisäksi oman laatujärjestelmänsä mukaisia ja työn suorituksen kannalta tarpeelliseksi näkemiään laadunvarmistustoimenpiteitä, kuten esimerkiksi mittauksia, tarkastuksia ja katselmuksia. Laadunvalvonnan sisältö esitetään urakoitsijan laatusuunnitelmassa, jossa esitetään myös toimenpiteet laatuvaatimusten alittuessa. (Leppänen ym. 2006, 11.)

Viranomaiset määrittävät laadunvalvonnan osalta rakennushankkeessa vain vähimmäistason, jonka sen on täytettävä. Viranomaisten ensisijainen tehtävä on varmistaa rakennushankkeessa olevien asiantuntemus ja pätevyys, sekä huolehtia, että hankkeessa noudatetaan lainsäädännössä asetettuja toimintavelvoitteita (Kankainen ym. 2001, 39). Viranomainen voi valvoa tiivistysrakennehankkeen etenemistä alueellisen ympäristökeskuksen, paikallisen viranomaisen tai työsuojeluviranomaisen edustajan voimin (Leppänen ym. 2006, 5).

Usein tiivistysrakenteiden lupaehdoissa edellytetään asiantuntijavalvojan käyttöä, jolla ei ole riippuvuussuhteita rakennushankkeen urakoitsijoihin, materiaali-toimittajiin tai suunnittelijoihin, eli **riippumattoman laadunvalvojan** käyttöä. Riippumaton laadunvalvoja edustaa rakennuttajaa ja ympäristölupaviranomais-ta ja seuraa urakoitsijan materiaalien, työsuoritusten ja laadunvalvonnan laatua, sekä lupamääräysten toteutumista. (Leppänen ym. 2006, 3-5.)

3.3 Laatuvaatimusten määrittäminen

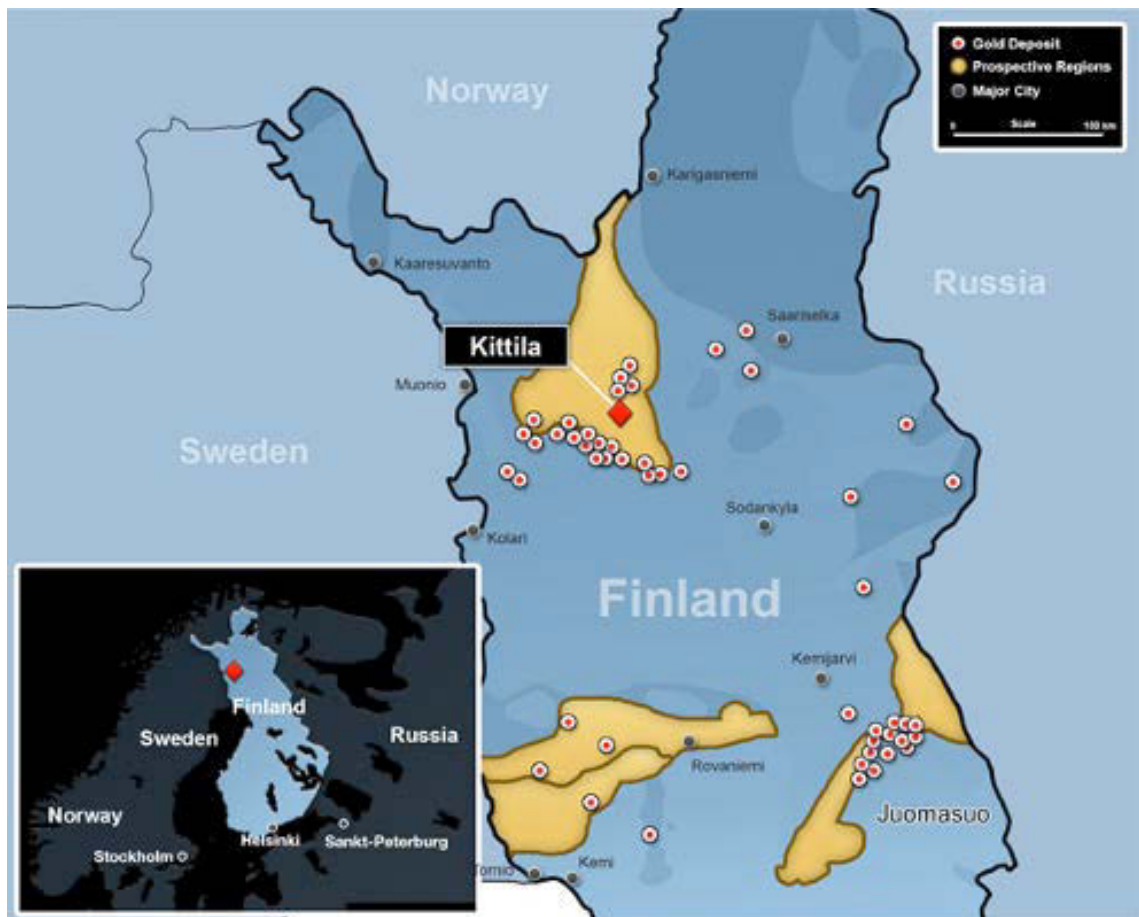
Rakennustyömailla vallitseva laatuajattelumalli, valmistuskeskeinen laatu, ko-rostaa työn virheettömyyttä ja yhdenmukaisuutta erikseen määritettyihin spesi-fikaatioihin ja suunnitelmiin nähden. Nämä annetut standardit, piirustukset, tole-ranssit ja työohjeet määrittelevät hyväksyttävän laadun tarkkaan ja tekevät näin ollen valmistuskeskeisestä laadusta yksiselitteisen. Laatuvaatimusten ymmär-täminen ja niiden yksiselitteisyys onkin laadun tekemisen tärkein edellytys. (Kankainen ym. 2001, 8-37.)

Tiivistysrakenteissa käytettäviä materiaaleja valittaessa on tärkeää, että suunni-telmissa esitetään materiaali- ja laatuvaatimukset kullekin rakenteelle. Laatu-vaatimukset määritetään tiivistysrakenteissa aina tapauskohtaisesti käytettävi-en materiaalien ja paikallisten olosuhteiden mukaan, erityisesti huomioimalla pohjamaan laatu, sekä jätteen ja suotoveden koostumus. Osa laatuvaatimuk-sista on kuitenkin määritelty jo kaatopaikkoja koskevassa lainsäädännössä, ku-ten rakennekerrosten paksuudet ja vedenläpäisevyysvaatimukset. (Leppänen ym. 2006, 9-10.)

Suunnitelma-asiakirjoissa esitettävä laadunvalvontasuunnitelma määrittelee, millä menetelmillä ja millä tiheydellä sekä mitä parametreja eri rakenneosissa seurataan rakentamisen aikana. Suunnitelmissa tulisi esittää lisäksi kulloinkin käytettävien materiaalien kaikki keskeiset materiaalivaatimukset määritysmene-telmineen, esimerkiksi viittaamalla standardiin. ”Erityisesti geosynteettisten tuotteiden laadunvalvonnassa käytetään rinnakkaisia (standardi)menetelmiä, joilla saadaan koejärjestelyjen eroista johtuen erilaisia tuloksia”. (Leppänen ym. 2006, 10.)

4 KITTILÄN KAIIVOS

Kittilän kaivos sijaitsee Kittilän Suurikuusikossa, noin 35 kilometriä Kittilän kuntakeskuksesta koilliseen (kuva 2). Kaivosalueen (liite 3) lähimmät kylät ovat etelässä Kiistala (4-5 km), idässä Rouravaara (0,8 - 1,5 km) ja luoteessa Lintula (4 km). Kittilän kaivos on Euroopan suurin toiminnassa oleva kultakaivos ja sen omistaa kanadalainen kaivosyhtiö Agnico-Eagle Mines Limited. Malmin louhinta kaivoksella aloitettiin toukokuussa 2008 avolouhoksena ja ensimmäinen kultaharkko valettiin 14.1.2009. Kaivoksen yhteydessä toimii myös rikastamo. Nykyinen vuosituotanto on noin 5 000 kiloa ja kultakaivoksen eliniäksi on arvioitu ainakin 21 vuotta. (Agnico-Eagle Mines Limited. 2011.)



KUVA 2. Kittilän kaivoksen sijainti (Agnico-Eagle Mines Limited. 2011)

4.1 Ensimmäisen vaiheen rikastushiekka-altaat

Kittilän kaivoksen ensimmäisen vaiheen rikastushiekka-altaat oli otettu käyttöön syksyllä 2008. Rikastushiekka-alue koostui tuolloin kahdesta eri altaasta; CIL-rikastushiekka-altaasta ja NP-rikastushiekka-altaasta (liite 3). CIL-allas sisältää hienorakeista ja mahdollisesti syanidijäämiä sisältävää hiekkaa, kun taas NP-altaaseen pumpataan karkeampaa, ympäristön kannalta haitattomampaa hiekkaa. (Suunnitelmaselostus. 2009, 1.)

Sekä CIL- että NP-allas on rakennettu kauttaaltaan vesitiiviiksi bitumigeomembraanista ja moreenista muodostuvasta yhdistelmätiivisterakenteesta altaiden pohjilla ja luiskissa. Kyseisten altaiden laskennallinen käyttöikä oli niiden valmistumishetkestä eteenpäin noin 3,5 vuotta, jonka jälkeen oli tarvetta lisäkapasiteetille rikastushiekka-alueella. (Suunnitelmaselostus. 2009, 1.)

4.2 NP3-rikastushiekka-allas

Lisäkapasiteetin hankkimiseksi oli talvella 2008-2009 tehty vaihtoehtojen selvitys ja vertailu ja päädytty siihen, että rikastushiekalle rakennetaan uusi allas jo olemassa olleen NP-rikastushiekka-altaan pohjoispuolelle; NP3-rikastushiekka-allas eli NP3-allas (liite 3, liite 4, kuva 3). NP3-allas rakennettiin jälkihoidon helpottamiseksi niin kutsuttuna suotavana patona, jossa padon läpi suotautuvat vedet kerätään sen alle asennettujen geomembraanien avulla ja pumpataan takaisin altaaseen (Suunnitelmaselostus. 2009, 1). NP3-altaan ympäristöluvan (lupapäätös nro 66/09/1) mukaan uusi patoratkaisu on tiivispatoa ympäristösuojaustasoltaan parempi, sillä se mahdollistaa rikastushiekka-altaan paremman kuivatuksen sen sulkemisvaiheessa ja tehostaa näin maisemointitoimenpiteitä.



KUVA 3. NP3-rikastushiekka-allas kuvattuna sen rakennusvaiheessa pohjoisesta, takana näkyy myös NP-rikastushiekka-allas (Arffman. 2010)

Icopal Oy:n ranskalaisen tytäryhtiön Siplastin valmistama kumibitumipohjainen geomembraani Teranap 331 TP valittiin uuden NP3-altaan pohjaeristemateriaaliksi. Lupapäätöksen nro 47/07/1 mukaan bitumin soveltuvuus rikastushiekka-altaissa käytettävissä keinotekoisissa eristeissä juontuu siitä, että bitumi on kemiallisesti kestävä altaissa esiintyviä kemiallisia rasituksia vastaan. Bitumi kestää hyvin happojen, emästen ja suolojen syövyttävää vaikutusta, eikä se läpäise myöskään vettä (Siikanen 2009, 279).

NP3-altaan laajuus ensimmäisessä vaiheessa, niin kutsutussa "Starter Dam"-vaiheessa on 48 ha ja vastaava kapasiteetti noin 6,0 Mtn. Alkuvaiheessa rikastushiekka-altaan padon reunan korkeus on +232,00 ja altaan suurin sallittu vedenpinnan korkeus HW = +230,00. Allas otetaan kuitenkin vaiheittain käyttöön, suurin sallittu vedenpinnan korkeus vuodelle 2010 on +223,00 ja vasta vuonna 2012 vedenpinnan korkeustaso on HW-tasossa. NP3-altaan käyttöönoton jälkeen lisäkapasiteetti hankitaan patoja korottamalla, jolloin lopullinen laajuus tulee olemaan patorakenteineen 152 ha. (Suunnitelmaselostus. 2009, 1.)

4.2.1 Rakenne

NP3-altaaseen sijoitettava rikastushiekka on luokiteltu tavanomaiseksi jätteeksi Pohjois-Suomen ympäristölupaviraston (nykyinen Aluehallintovirasto) laatiman ympäristöluvan (lupapäätös nro 69/02/1) mukaisesti. Rikastushiekalle on asetettu luvassa samantyyppinen yhdistelmätiivisterakenteeseen perustuva rakennevaatimus kuin kaatopaikkarakenteissa. NP3-allas onkin suunniteltu yhtenäiseksi, tiiviiksi altaaksi pohjan yhdistelmätiivisterakenteesta ja sitä ympäröivistä patorakenteista. Padot koostuvat NP3-altaalle rakennetusta pääpadosta ja NP-allaasta vasten olevasta välipato 2:sta (liite 4). (Selvitys NP3-rikastushiekka-altaan rakenteista. 2008, 1-2.)

NP3-altaan pohjan yhdistelmätiivisterakenne koostuu mineraalisesta tiivistekerroksesta ja sen päälle asennettavasta kumibitumipohjaisesta geomembraanista. Pohjarakenteelle on annettu seuraavat ympäristönsuojaukselliset vaatimukset (Suunnitelmaselostus. 2009, 3.):

- Mineraalitiivisteiden materiaali on alueen pohjamoorenia tai vastaavaa luonnonmaata.
- Kerroksen vedenläpäisevyyksien keskiarvon tulee olla $k \leq 5 \times 10^{-8}$ m/s.
- Yksittäisen moreeninäytteen vedenläpäisevyyden tulee olla $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s.
- Edellä olevat vaatimukset täyttävän kerroksen paksuuden tulee olla vähintään 1,0 m.
- Moreenikerroksen pinnan tulee olla kauttaaltaan geomembraania vasten, jotta rakenne toimii yhdistelmätiivisteinä.

Louhetukipenkereestä, suodatinkerroksesta ja NP3-altaan märältä puolelta eroosiosuojatusta moreenitiivisteestä rakennettu pääpato (liite 1) on niin sanottu suotava patotyyppi. Pääpadon alle on asennettu sekä sivu- että pituuskaltevat vedenkeräilyrakenteena toimivat kumibitumipohjaiset geomembraanit. Padon ulkoluisikan alareunassa geomembraani on nostettu huoltotietä vasten siten, että reunaan syntyy suotovesien keräilyjoja. Suotovedet saadaan ohjattua ojaa pitkin pumppaamolle, josta suotovedet pumpataan takaisin altaaseen. (Selvitys NP3-rikastushiekka-altaan rakenteista. 2008, 1.)

Välipato 2 (liite 2) on rakennettu kauttaaltaan vesitiiviiksi louhetukipenkereestä ja sen sisäluisikan moreenitiivisteestä ja kumibitumipohjaisesta geomembraanista muodostuvasta yhdistelmätiivisteestä. Moreenitiivisten ja louhetukipenkereen väliin on rakennettu lisäksi suodatinkerros pienlouheesta, kalliomurskeesta ja suodatinkankaasta. (Selvitys NP3-rikastushiekka-altaan rakenteista. 2008, 1.)

4.2.2 Vaurioiden havaitseminen

NP3-altaan pääpadon suotovesien määrää ja laatua seurataan. Tilanteissa, joissa pääpadon suotovesien pumppausmäärissä havaitaan poikkeuksellista lisääntymistä tai jos suotovesissä on samentumaa, voidaan mahdolliset vuotopaikat etsiä patoon asennetun valokuitukaapelin avulla. Kaapelista saadaan tehtyä lämpötilamääritysmittaus hyvin tiheällä välillä, jossa mahdolliset vuotokohtat näkyvät mittauksessa kylmempänä kohtana. (Selvitys NP3-rikastushiekka-altaan rakenteista. 2008, 2.)

Välipato 2:n alle on asennettu ulkohalkaisijaltaan 160 mm, suuren rengasjäykkyyden omaava salaojaputki, niin kutsuttu juoruputki. Juoruputki on suunniteltu siten, että sen avulla voidaan havaita mahdolliset välipato 2:n patorakenteeseen tulleet vuodot. Vuotovesi ohjautuu juoruputkeen ja on havaittavissa putken purkupäästä. Juoruputkista ei ole odotettavissa suotoveden tuloa niin kauan kuin välipato 2:n luiskaan ja altaan pohjaan asennettu kumibitumipohjainen geomembraani pysyy vaurioitumattomana. (Selvitys NP3-rikastushiekka-altaan rakenteista. 2008, 2.)

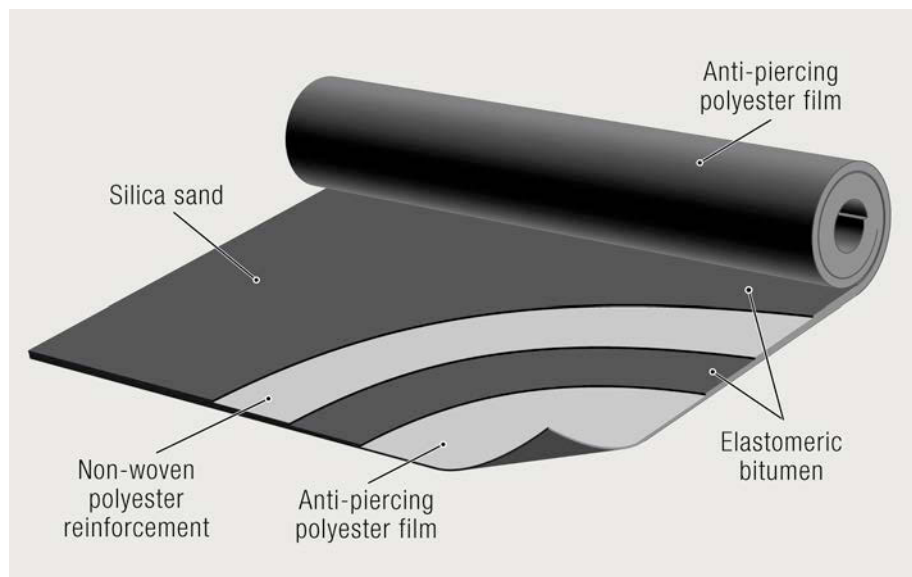
Geomembraanien suhteen varaudutaan yleensä kuitenkin siihen, että niihin voi syntyä pieniä reikiä ajan mittaan. Tällöin juoruputkissa voi esiintyä pientä suotoveden virtausta. Muodostuneiden suotovesien laatua tarkkaillaan ja ne voidaan tarvittaessa kerätä ja pumpata takaisin rikastushiekka-altaaseen. Mikäli altaan keskiosalla tapahtuu vastaavaa vuotoa, ei vuotovesi ohjautu juoruputkiin vaan imeytyy hitaasti pohjamoreenin läpi ja sekoittuu kalliopohjaveteen. Kalliopohjaveden laatua seurataan sekä allasalueen ylä- että alapuolella. (Selvitys NP3-rikastushiekka-altaan rakenteista. 2008, 2.)

5 TERANAP 331 TP –KUMIBITUMIPOHJAINEN GEO-MEMBRAANI

5.1 Ominaisuudet ja valmistus

Kun bitumiin lisätään synteettistä kumia, niin sanottua SBS-blokkipolymeeria (SBS = styreenibutadienistyreeni), saa bitumi kumimaiset ominaisuudet. Polymeerin lisäämisen tavoitteena on kasvattaa oleellisesti bitumin käyttöikä. Kumibitumituotteet ovat joustavia, alustan lämpöliikkeiden ja painumien hyvin kestäviä sekä tavallisiin bitumituotteisiin verrattuna venyvämpiä ja mekaanisesti kestävämpiä. (Siikanen 2009, 282-285.)

Teranap 331 TP –kumibitumipohjainen geomembraani koostuu materiaaleiltaan erilaisista kerroksista (kuva 4). Geomembraanin yläpinta on kvartsihiekkapäälysteinen ja alapinta polyesterimuovipäälysteinen.

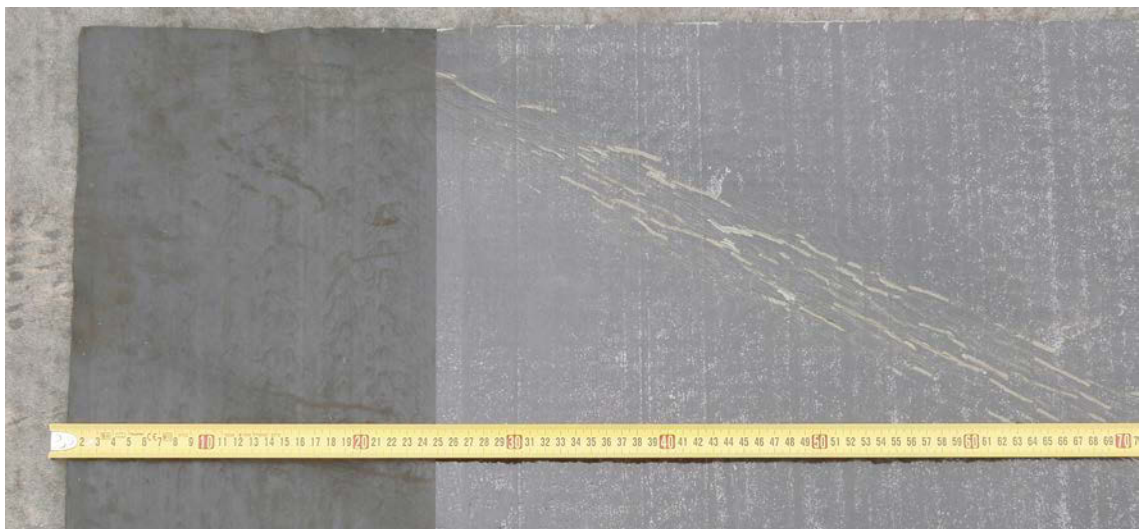


KUVA 4. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisen geomembraanin rakenne (Siplast. 2011)

Muovikalvon tarkoituksena on estää eri kerrosten tarttuminen toisiinsa rullassa varastoinnin aikana. Kalvopäälyste estää lisäksi tehokkaasti erityisesti juuria läpäisemästä geomembraania (Bitumipitoiset geomembraanit. 2010, 4), asen-

nusvaiheessa tämä ohut muovikalvo sulaa pois riittävän lämmön vaikutuksesta. Kvartsihiekkaisen yläpinnan tehtävänä on muodostaa geomembraania suojaava kerros, sillä vaaleanharmaa kvartsihiekkä heijastaa auringon UV-säteilyä. Lisäksi karhea hiekkapinta tekee asennustyöstä turvallisempaa, etenkin luiskissa, sillä asennuspinta ei ole liukas. Geomembraanin tukikerroksena toimii polyesterikuitukangas, joka kyllästetään ja pinnoitetaan valmistusvaiheessa molemmin puolin elastomeerisella kumibitumilla (Siikanen 2009, 283). Bitumi antaa geomembraanille vesitiiviyyden, kankaat mekaanisen lujuuden.

Asennusvaiheessa kumibitumipohjaiset geomembraanit limitetään toistensa päälle reunoistaan ja hitsataan toisiinsa kiinni liekillä tai riittävällä kuumailmalla lämmittämällä. Asentamista helpottaen, valmistusvaiheessa Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisen geomembraanin alapinnasta jätetään kokonaan joko oikea tai vasen reuna päällystämättä muovikalvolla 250 mm:n leveydeltä (kuva 5).



KUVA 5. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisen geomembraanin alapinnan 250 mm:n levyinen hitsaussauma, josta suojamuovi poistettu (2011)

Geomembraaniin muodostuu näin niin sanottu ”hitsaussauma”. Hitsaussauma suojataan erillisellä suojamuovilla, jonka tehtävänä on pitää liitospinta mahdollisimman puhtaana. Suojamuovi irroitetaan hitsaussauman päältä vasta juuri ennen hitsausvaihetta (Bitumipitoiset geomembraanit. 2010, 5). Geomembraanit voidaan asentaa myös ”väärinpäin” eli, kun geomembraanit on limitetty, jää

päällimmäisen geomembraanin hitsaussauma vastakkaiselle puolelle. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltava asennustapa, vaikka aiemmin mainittiinkin, että Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisen geomembraanin alapinnan ohut muovikalvo sulaa pois riittävän lämmön vaikutuksesta. Asennus vaatii onnistuakseen enemmän lämpöä ja voi siten vaurioittaa geomembraanin tukikerroksia.

Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisen geomembraanin keskeisimpiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 2. Yhden rullan pituus levitettynä on 110 metriä ja leveys 4,0 metriä, paksuudeltaan geomembraani on 3,6 mm:stä. Taulukossa 2 ilmoitettu vetolujuus tarkoittaa suurinta voiman arvoa, jonka materiaali kestää vetorasituksen alaisena murtumatta (ensimmäinen arvo pituussuunnassa mitattu arvo ja jälkimmäinen vastaavasti poikkisuunnassa). Murtovenymällä tarkoitetaan alkavaan murtumiseen asti venytetyn testikappaleen pituuden muutosta ja puhkaisulujuudella suurinta voiman arvoa, jonka materiaali kestää puhkeamatta piikkimäisen rasituksen alaisena.

TAULUKKO 2. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisen geomembraanin mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet (Siplast. 2011)

Ominaisuus	
Paksuus (mm)	3,6
Neliöpaino (kg/m ²)	4,15
Leveys (m)	4,0
Pituus (m)	110
Vetolujuus (kN/m)	20/13
Murtovenymä (%)	49/53
Puhkaisulujuus (kN)	2,46
Kylmätaivutettavuus (°C)	-20
Läpäisevä vesimäärä (m ³ /m ² /d)	≤ 10 ⁻⁷

5.2 Käsittely ja varastointi

Geomembraanit toimitetaan tehtaalta yleensä suoraan työmaalle. Työmaalla toimitettua kuormaa purettaessa on huolehdittava, että rullien päällimmäiset kerrokset eivät vaurioidu. Tästä johtuen geomembraanit säilytetään alkuperäispakkauksissaan ja rullien suojamuovit poistetaan vasta juuri ennen levitysvaihetta. Kuorman purkamiseen käytetään asianmukaista käsittelykalustoa. Geomembraanit varastoidaan vaakasuoraan ja rinnakkain tasaiselle, maasta irti

olevalle riittävän tukevalle alustalle. Rullia saa säilyttää enintään kolme päällekkäin esimerkiksi kuvan 6 mukaisesti, sillä tätä korkeammat pinot voivat vaurioittaa alimmaisista geomembraaneja painumien muodossa (Bitumipitoiset geomembraanit. 2010, 2). Myös geomembraanien käsittely vaikeutuu sekä pinon sortumisen vaara kasvaa, jos rullia varastoidaan enemmän kuin kolme päällekkäin.



KUVA 6. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaiset geomembraanit varastoitiin lastauslavojen päälle NP3-rikastushiekka-altaan työmaalla (Arffman. 2010)

5.3 Asentaminen

5.3.1 Rakennusalustan vaatimukset

Geomembraanien rakennusalustan tulee olla mahdollisimman tasainen, kuiva ja kantava. Erityisesti terävät kivet pohjamaasta tulee poistaa, minkä jälkeen kivien kohdat tasoitetaan käsityökaluilla. Myös mahdolliset työkoneiden jäljet rakennusalustalla ja kaikki veden aiheuttamat syöpyvät pohjamaassa sekä huuhtoutuneet ja lajittuneet materiaalit rakennusalustan päällä käsitellään. Syöpyneen eroosiovyöhykkeen kohta leikataan tarvittaessa loivaluiskaisesti pois, minkä jälkeen kohta täytetään maa-aineksella ja tiivistetään uudelleen. (NP3-altaan patojen massanvaihdot, tukipenkereet ja massanvaihdot. 2009, 10.)

Rakennusalustan luiskien suositeltava pysty-vaaka-kaltevuussuhde on pienempi kuin 1:2 hyvien työskentelyolosuhteiden takaamiseksi varsinkin kosteissa ja tuulisissa olosuhteissa. Henkilöiden ja pyörällisten ajoneuvojen liikkuminen luiskissa geomembraanien asennusvaiheessa helpottuu loivempien kaltevuussuhteiden myötä. (Bitumipitoiset geomembraanit. 2010, 3.)

5.3.2 Levitys

Geomembraanit levitetään rakennusalustalle levityssuunnitelman mukaisesti. Levitykseen käytetään siihen tarkoitettuja työvälineitä ja työkoneita, kuten kairavinkonetta erillisellä levityspuomilla varustettuna (kuva 7). Geomembraanin on oltava levitysvaiheessa suoraan rakennusalustan päällä ja limityksen on oltava kohdallaan. (Leppänen 1998, 103.)



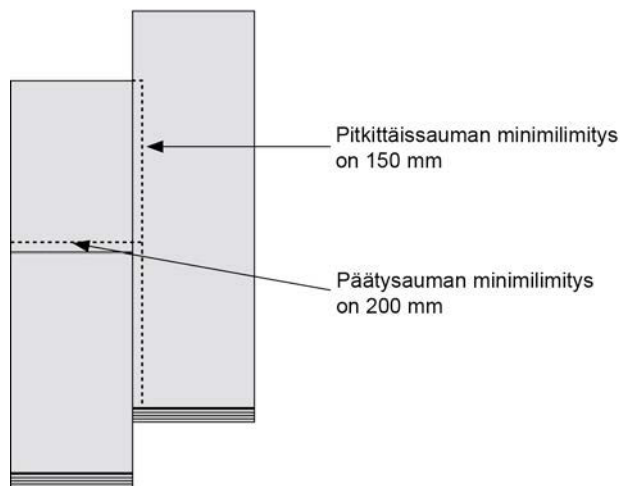
KUVA 7. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien levitystä NP3-rikastushiekka-altaan työmaalla (Arffman. 2010)

Mahdollisiin työkonoiden renkaiden tai telojen liikkeistä johtuviin alusrakenteen pinnan muutoksiin on kiinnitettävä huomiota ja epätasaisuudet tuleekin tasoittaa (Leppänen 1998, 103). Geomembraanirulla tulee rullata auki mahdollisim-

man suoraan, sillä pienimmätkin sivuttaisliikkeet levitysvaiheessa lisäävät asentamista vaikeuttavien taitoksien muodostumista geomembraaneihin (kuva 26). Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisen geomembraanin hitsaussaumaa suojaava suojamuovi voidaan myös irroittaa levityksen yhteydessä.

5.3.3 Limitys

Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien pitkittäissaumojen minimilimitys on 150 mm ja päätysaumojen vastaava minimilimitys on 200 mm (kuva 8). Kahden pitkittäisen kaistan päätysaumat eivät saa tulla samalle tasolle, niiden on oltava vähintään metrin etäisyydellä toisistaan. Nelinkertaiset päällekkäisliitokset, joissa sauman paksuus on yhtä kuin neljän geomembraanin paksuus, ovat kiellettyjä. Mahdollisiin kolminkertaisiin päällekkäisliitoksiin tulee kiinnittää erityishuomiota ja pyrkiä mieluummin välttämään niiden syntymistä. (Bitumipitoiset geomembraanit. 2010, 2-5.)



KUVA 8. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien minimilimitysleveydet (Icopal Oy. 2010)

5.3.4 Painotus

Geomembraanin päälle tulee asentaa painoja heti sen jälkeen, kun geomembraanirulla on levitetty rakennusalustalle. Näin varmistetaan, että geomembraani pysyy paikoillaan saumojen limityksineen, tuulisista olosuhteista huolimatta. Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2002 julkaisemassa ”Kaatopaikan

tiivistysrakenteet” –ympäristöoppaassa vähimmäisvaatimuksena painotuksen suhteen pidetään 20 kg painoja (esimerkiksi hiekkasäkkejä) sijoitettuna 5 x 5 metrin kokoisen alueen välein. Geomembraanin reunaan ja saumaamattomiin liitoskohtiin painoja tulee laittaa tiheämmin, suunnilleen 2,5 m välein. Saumattujen kohtien päälle jätettävien painojen määrä voi olla pienempi (Leppänen 1998, 101-102). Asennuskalustolla esteettömän liikkumisen huomioiden, painot sijoitetaan mahdollisimman keskelle geomembraania (kuvat 9 ja 10). Kuvassa 9 näkyy lisäksi oikealla työsauma, jonka väliaikaisina painoina käytettiin helposti siirrettäviä hiekkasäkkejä geomembraanin reunassa, kun asennustyöt jatkuivat.



KUVA 9. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien painotus toteutettiin murskeella ja hiekkasäkeillä NP3-rikastushiekka-altaan työmaalla (Arffman. 2010)

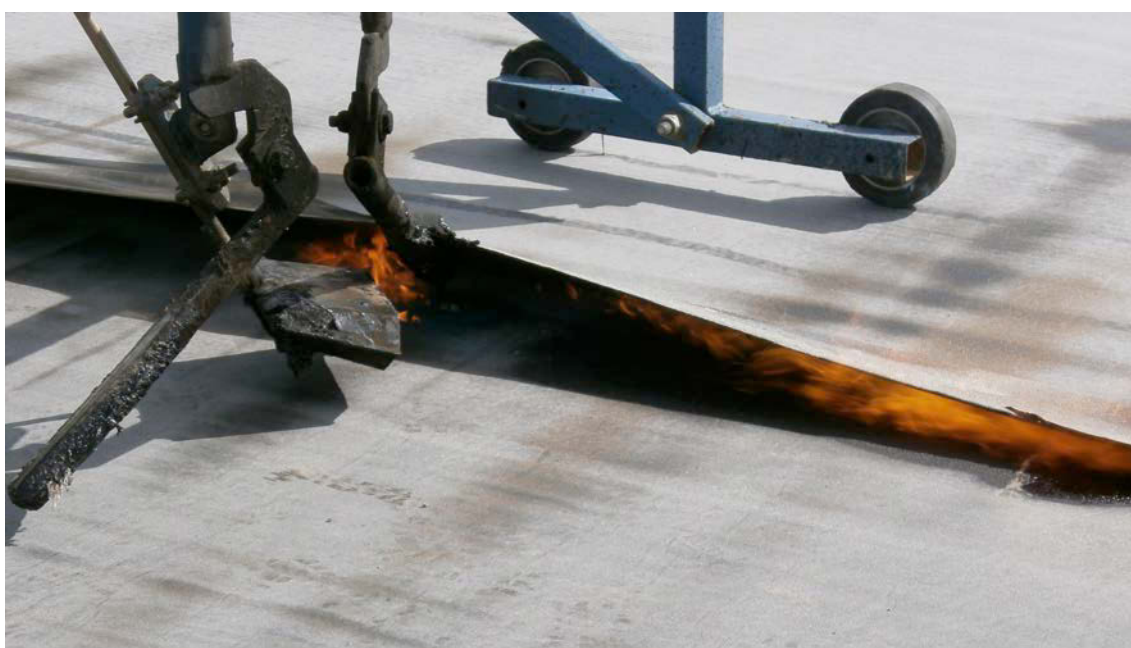
5.3.5 Hitsaus

Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien väliset limitykset liittospintoihin hitsataan toisiinsa kiinni kuumailman tai liekin avulla. Ennen hitsauksen aloittamista hitsaussaumaa suojaava suojamuovi poistetaan. Limitettyjen geomembraanien päällimmäistä kaistaa nostetaan ylös reunastaan ja limitykseen johdetaan kuumailmaa (kuva 10).



KUVA 10. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien saumojen hitsaamista NP3-rikastushiekka-altaan työmaalla (Arffman. 2010)

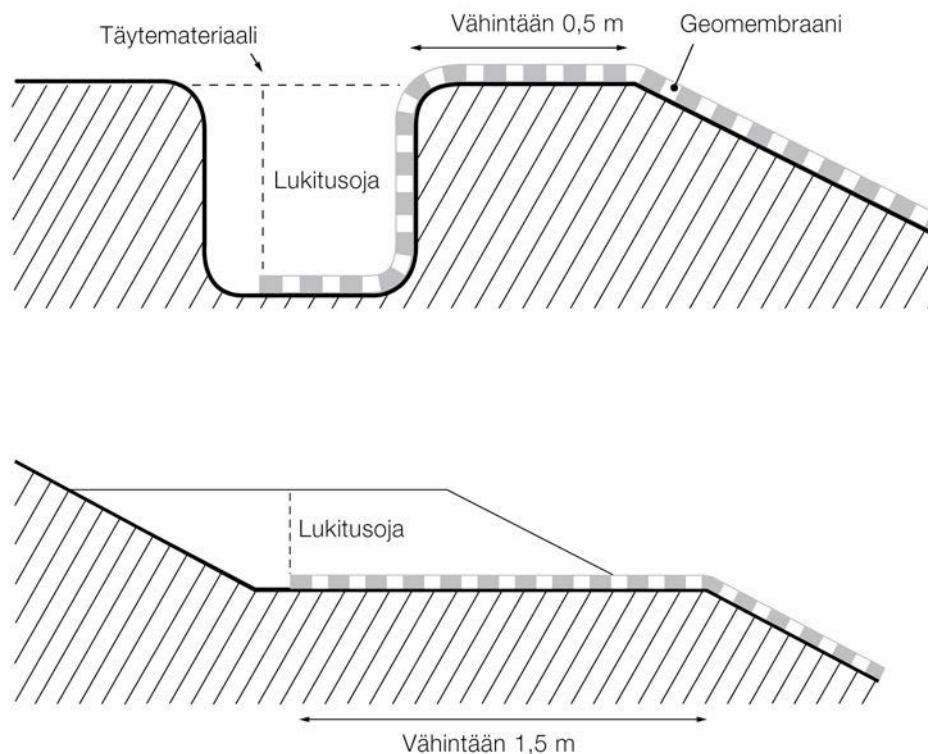
Tarvittava lämpö saadaan aikaan esimerkiksi kaasuliekillä (kuva 11). Liitospinnan bitumi (kuva 5) päällimmäisen geomembraanin alapinnassa sulaa lähes nestemäiseksi, minkä jälkeen liitospinnat saumataan toisiinsa kiinni painotelalla telaamalla (kuva 10). Telauksen avulla sulanut bitumi saadaan levitettyä tasaisesti koko limityksen leveydelle niin, että limityskaistojen väliin ei jää tyhjätillaa. Bitumin kuivuessa geomembraanien välisistä saumoista muodostuu tiiviitä ja vettä läpäisemättömiä. On kuitenkin muistettava, että geomembraaneja ei saa kuumentaa hitsausvaiheessa liikaa, etteivät niiden tukikerrokset vaurioidu.



KUVA 11. Lähikuva sauman hitsaamisesta (2011)

5.3.6 Yläreunan ankkurointi luiskissa

Kun geomembraaneja asennetaan luiskiin, ankkuroidaan ne yläreunoistaan. Tällä toimenpiteellä estetään geomembraanien paikaltaan pois liukuminen ja tuulen aiheuttamien nostevoimien syntyminen. Geomembraanit tulisi kiinnittää kaltevan pinnan yläreunaan jo ennen ankkurointimateriaalin asentamista. Ankkurointikeinona voidaan käyttää esimerkiksi kuvan 12 mukaisia menetelmiä. (Geomembraanit. 2010, 3.)



KUVA 12. Esimerkit geomembraanien yläreunan ankkurointimenetelmistä luiskissa (Icopal Oy. 2010)

5.3.7 Sääolosuhteiden vaikutukset asentamiseen

Suomen oloissa kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamiseen vaikuttavat ympäristötekijät ovat

- lämpötila
- sade ja kosteus
- tuuli.

Teranap 331 TP –kumibitumipohjaiset geomembraanit kestävät hyvin säänvaihteluita. Suuret lämpötilanvaihtelut voivat kuitenkin kutistaa ja laajentaa geomembraania ja aiheuttaa siinä joko pysyviä tai tilapäisiä jännityksiä tai venymiä (Geomembraanit. 2010, 6). Lisäksi alhaisissa lämpötiloissa geomembraanista tulee jäykkää ja sen levitys siten hankaloituu.

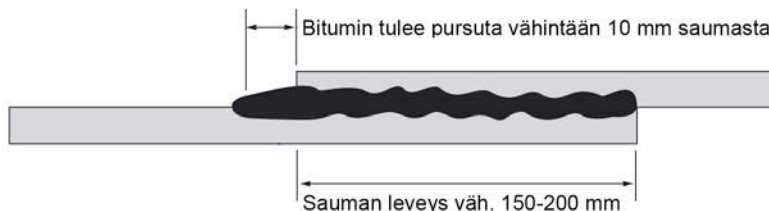
Kumibitumipohjaisien geomembraanien asennustöitä ei saa suorittaa sateella tai kosteissa olosuhteissa, koska silloin ei saavuteta bitumin kunnollista tartuntaa. Sade aiheuttaa lisäksi asennusalustan eli mineraalisen tiivistyskerroksen yläpinnan liettymistä, joka likaa geomembraania. Likaantunut saumauspinta on puhdistettava ennen asennustöiden jatkamista, sillä epäpuhtaudet geomembraanin hitsauspinnassa vaikuttavat myös osaltaan bitumin tarttuvuuteen sitä heikentävästi. Rakennussuuntaa suunniteltaessa tulee huomioida rakennusalustan kaltevuus. Asennustyö helpottuu, kun suunta valitaan siten, että sadevesi ei ohjaudu geomembraania pitkin sen asennuspinnan eteen vaan pois asennus- ja saumausalueelta.

Kovalla ja puuskittaisella tuulella geomembraanien asennusta tulee välttää. Tuuli vaikeuttaa geomembraanien levitystä, sillä rullia ei saada välttämättä levitettyä auki suoraan, jolloin levitettyyn geomembraaniin syntyy asennusta vaikeuttavia taitoksia. Lisäksi tuulen aiheuttama noste pyrkii nostamaan ja liikuttamaan jo limitettyjä geomembraaneja. Geomembraanien päälle tuleekin asentaa painot heti, kun ne on levitetty rakennusalustalle aiemmin mainituin käytäntein.

6 NP3-RIKASTUSHIEKKA-ALTAAN KUMIBITUMIPOH- JAIEN GEOMEMBRAANIEN ASENTAMISEN LAA- DUNVALVONTA

6.1 Asentamisen laatuvaatimukset

Hitsatut liitokset ovat yleensä hitsatun rakenteen heikoin kohta, joten niiden tulee olla riittävän lujia ja kestäviä liitoksiin kohdistuvia erilaisia kuormituksia vastaan. Tämä toiminto edellyttää, että hitsausliitokset on tehty huolellisesti ja laadukkaasti ja niille asetetut vaatimukset täyttyvät. Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien välisien saumojen onnistuneessa hitsauksessa polttojälki on sauman vieressä yhtenäinen sekä bitumi on levinnyt saumassa tasaisesti ja tiiviisti. Bitumin tulee pursuta saumasta lisäksi vähintään 10 mm. Sauman leveyden tulee olla vähintään 150 - 200 mm, riippuen siitä, onko kyseessä pitkittäis- vai päätysauma (kuvat 13 ja 14).

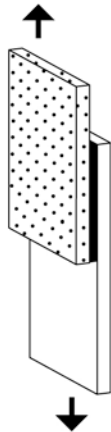


KUVA 13. Vähimmäisvaatimukset Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien välisille hitsatuille saumoille (Icopal Oy. 2010)



KUVA 14. Asentamisen laatuvaatimukset täyttävä sauma (2011)

Teranap 331 TP –kumibitumipohjaisien geomembraanien hitsatuille saumoille on määritelty lisäksi ranskalaisen NFP 84-502/1 standardin mukainen vaatimus vetorasituskokeen arvolle; $f = 16 \text{ kN/m}$ (kuva 15). Määritelty arvo tarkoittaa saumalta vaadittua voiman arvoa, jonka sen on kestävä vetorasituksen alaisena repeytymättä. Jotta vetorasituskoe voidaan suorittaa, se vaatii ainetta rikkovana koetusmenetelmänä näytepalan hitsatusta saumasta. Koska paikattu näytteenottoa ei ole koskaan yhtä tiivis kuin ehjä sauma, tulee liiallista näytteenottoa rajoittaa.



KUVA 15. Standardin NFP 84-502/1 mukaisen vetorasituskokeen periaate (Icopal Oy. 2010)

6.2 Asentamisen laatuun vaikuttavat tekijät

Yleisesti geomembraanien asentamisen laatuun vaikuttavat ympäristötekijöiden lisäksi (Leppänen 1998, 100)

- asentajien pätevyys
- asennusmenetelmä
- asennuskalusto.

Asentajien pätevyydellä on suuri merkitys yhtenäisen ja tiiviin geomembraanikerroksen muodostumisessa. Geomembraanien asentajilta vaaditaankin pätevoitymistä kyseisten töiden suorittamiseen. Materiaalitoimittaja hyväksyy yleensä asennusyrityksen, mutta geomembraanien asentajien pätevyys on todettava aina ennen asennustöiden aloittamista asentajilta edellytetyjen työnäytteiden pohjalta. (Leppänen 1998, 106.)

Myös asentajien käyttämä asennusmenetelmä ja asennuskalusto vaikuttavat lopputuloksen laatuun. Geomembraanien asennukseen saa käyttää vain tähän tarkoitukseen hyväksytyjä asennus- ja saumauslaitteita. Asennusmenetelmä määräytyy pitkälti levityssuunnitelman mukaisesti, esimerkiksi luiskissa työkenneltäessä on suunniteltava käytettävä asennusmenetelmä erikseen työn tuoma haasteellisuus huomioiden.

6.3 Silmämääräinen tarkastus

Hitsattujen liitosten laatutasoa pidetään yllä tarkastusten avulla. Visuaalinen eli silmämääräinen tarkastus (VT) on yksi hitsattujen materiaalien ainetta rikkomatonta koetusmenetelmistä. Menetelmän avulla tarkastellaan hitsien yleistä ulkonäköä, mittoja ja mahdollisia poikkeamia materiaalin pinnassa. Silmämääräinen tarkastus suoritetaan aina ennen muita tarkastusmenetelmiä.

Myös NP3-altaan kumibitumipohjaisien geomembraanien hitsattujen saumojen laadun silmämääräinen tarkastus perustui sauman yleisen ulkonäön tarkasteluun sekä näytekappaleeseen vertaamiseen. Vertailukappaleena käytettiin asentamisen laatuvaatimukset täyttävää palaa hitsatusta saumasta. Silmämääräisessä tarkastuksessa käytettiin lisäksi aputyökaluna noin metrin mittaista, 6,0 mm:n paksuista pyöröteräksistä tankoa (kuva 16). Pyöröterästangon avulla voitiin selvittää saumassa mahdollisesti esiintyvien vekkien pituus (kuva 26). Lisäksi tapauksissa, joissa sauman reuna ei ollut tiiviisti kiinni, pystyi tangon avulla tutkimaan, mikäli sauma aukeni laajemmalla alueella (kuvat 23 ja 24).



KUVA 16. Silmämääräisessä tarkastuksessa käytetty aputyökalu (Nousiainen, 2010)

Saumojen hitsin laadun yksityiskohtaisempi tarkastusmenetelmä tuli kysymykseen, mikäli saumoissa havaittiin poikkeamia, joiden laatua ei voinut selvittää ainoastaan silmämääräisen tarkastuksen keinoin. Kuvailut poikkeamat ilmenivät muun muassa seuraavien näköhavaintojen yhteydessä:

- Sauman vieressä ei ollut havaittavissa selkeää hitsauksesta syntynyttä polttojälkeä tai polttojälki oli katkonainen (kuva 23).
- Sauman alta ei ollut pursunut yli bitumia tai bitumin ylipursuminen oli katkonaista (kuva 23).
- Sauma oli osittain tai kokonaan veden alla.
- Saumassa oli havaittavissa yksi tai useampi vekki (kuva 26).
- Sauman reuna oli osittain auki (kuva 30).

6.4 Ultraäänitarkastus

Kumibitumipohjaisten geomembraanien saumojen laadun yksityiskohtaisempaan, mahdollisten saumojen sisäisten vikojen tutkimiseen käytettiin toista ainetta rikkomatonta koetusmenetelmää, ultraäänitarkastusta (UT). Sauman sisäisestä viasta puhuttiin esimerkiksi silloin, kun bitumi ei ollut levinnyt saumassa tasaisesti jättäen siihen ilmarakoja. Ultraäänitarkastus perustuu kiinteiden materiaalien paksuuden mittaukseen niiden hyvän äänenjohtamiskyvyn ansiosta. Tutkittavaan materiaaliin lähetetään ultraääntä, joka heijastuu takaisin materiaalin rajapinnoista. Äänipulssin etenemiseen ja paluuseen kulunut aika mitataan tarkasti ja heijastajan etäisyys materiaalissa saadaan laskettua. ”Materiaalin vaikutus ääneen on sitä merkittävämpi mitä pienempi aallonpituus on, eli mitä korkeampi taajuus on”. Yksinkertaisimmillaan tätä yhteyttä voidaan kuvata aallonpituuden kaavalla 1 (Berke 1993, 4).

$$\lambda = c/f$$

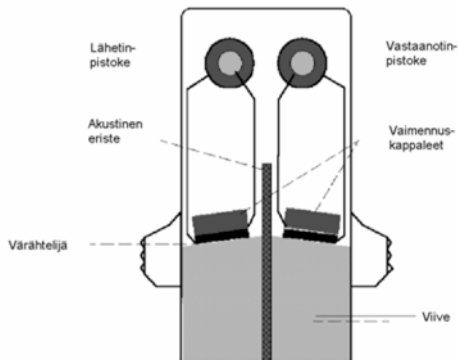
KAAVA 1

c on äänennopeus

f on taajuus

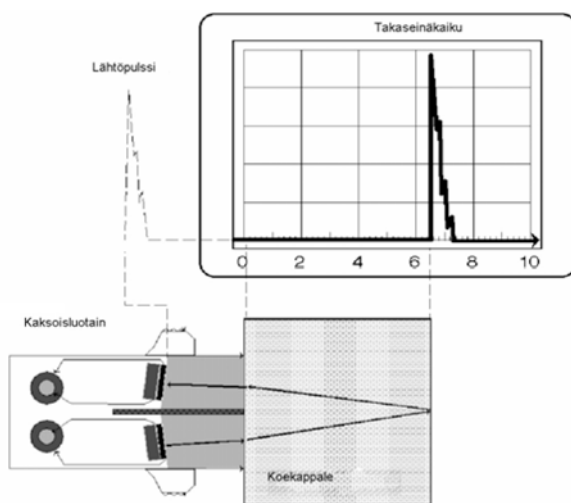
6.4.1 Ultraäänitutka ja sen toimintaperiaate

Ultraäänitutkan luotain (tässä yhteydessä kaksoisluotain, kuva 17) kytketään tarkastettavalle pinnalle siihen soveltuvan nesteen, kuten esimerkiksi tapettiliis-
terin tai veden avulla, jotta ääni kulkisi luotaimesta suoraan tutkittavaan materi-
aaliin ja takaisin. (Berke 1993, 19.)



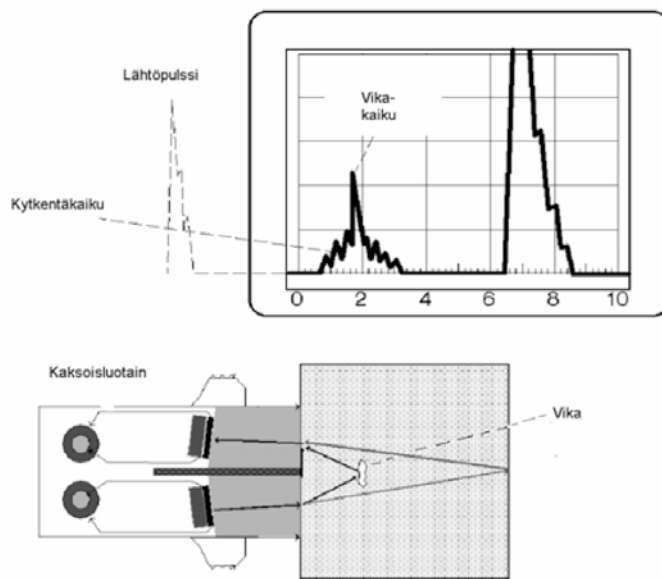
KUVA 17. Kaksoisluotaimen poikkileikkaus (Berke. 1993)

Kaksoisluotaimen lähetinpistoke muuntaa ultraäänitutkan sähköpulssein eli läh-
töpulssein äänienergiaksi ja lähettää ultraäänipulssein tutkittavaan materiaaliin.
Kaksoisluotaimen vastaanotinpistoke vastaanottaa materiaalin rajapinnasta hei-
jastuneen äänisignaalin eli niin kutsutun takaseinäkaulun ja muuntaa sen takai-
sin sähköiseksi signaaliksi. Tämä muodostunut kaiku on nähtävissä ultraääni-
tutkan kuvapinnalla (kuva 18). (Berke 1993, 19.)



KUVA 18. Ultraäänipulssein kulku ja näkyminen ultraäänitutkan kuvapinnalla (Berke. 1993)

Jos tutkittavassa materiaalissa on jotain vikaa, lähetetty ultraäänipulssi heijastuu osittain epäjatkuvuuskohdan rajapinnasta ja on nähtävissä ultraäänitutkan kuvapinnalla vikakaikuna (kuva 19) takaseinäkaikun lisäksi. Ultraäänen suurella vahvistuksella tai tutkittavan materiaalin pinnan ollessa karhea tapahtuu äänen siirtyminen suoraan kaksoisluotaimen lähettimestä vastaanottimeen. Ultraäänitutkan kuvapinnalle muodostuu häiriökaiku eli kytkentäkaiku (kuva 19). Kytken-
täkaiku on tavallisesti niin pieni tai sitä ei edes synny, eikä se näin ollen vaikuta ratkaisevasti epäjatkuvuuskohtien havaitsemiseen. (Berke 1993, 19.)



KUVA 19. Ultraäänipulssin heijastuminen viallisesta kohdasta ja näkyminen ultraäänitutkan kuvapinnalla (Berke. 1993)

NP3-altaan kumibitumipohjaisien geomembraanien hitsattujen saumojen ultraäänitarkastusta suoritettiin Panametricsin Epoch III Model 2300 -ultraäänitutkalla (kuva 20), johon oli kytketty kaksoisluotain. Kaksoisluotainta käytetään yleensä ohuiden materiaalien paksuuden mittaukseen ja sen avulla voidaan löytää lähellä materiaalin pintaa olevat epäjatkuvuuskohdat (Berke 1993, 19). Kun kaksoisluotain reagoi vielä normaaliluotainta huomattavasti vähemmän kontaktin muutoksiin, se sopii erinomaisesti karheiden, kvartsihiekkäpäällysteisten geomembraanien saumojen hitsauksen laadun tarkastukseen.



KUVA 20. Panametricsin Epoch III Model 2300 -ultraäänitutka kuvan vasemmassa reunassa (Nousiainen. 2010)

6.4.2 Mittaukset ja niiden dokumentointi

Mahdollisten poikkeavien kohtien tarkemman tutkimisen lisäksi ultraäänitutkalla suoritettiin mittauksia hitsatuista saumoista siten, että jokaisesta pituudeltaan 110 metrin mittaisesta geomembraanista mitattiin yhteensä viisi mittauspistettä. Geomembraanin pitkältä sivusaumalta tehtiin neljä mittausta tasaisin välimatkoin (mittaustiheys noin 20 metrin välein) sekä yksi mittaus geomembraanin päätysaumasta. Mittauspisteiden sijainnit kirjattiin tutkittavasta geomembraanista laaditussa rullakartassa (liite 5) kohtaan, josta ne suunnilleen oli mitattu. Näiden mittausten pääasiallinen tehtävä (laadunvalvonnan lisäksi) oli yhdessä geomembraanien rullanumeroiden kanssa toimia karttana, joiden avulla mahdolliset paikkausta vaativat kohdat voitiin myöhemmin paikallistaa. Asennettujen geomembraanien toteutunut asema rullanumeroineen NP3-altaassa esitettiin erillisessä karttapiirroksessa, tässä tapauksessa liitteessä 6.

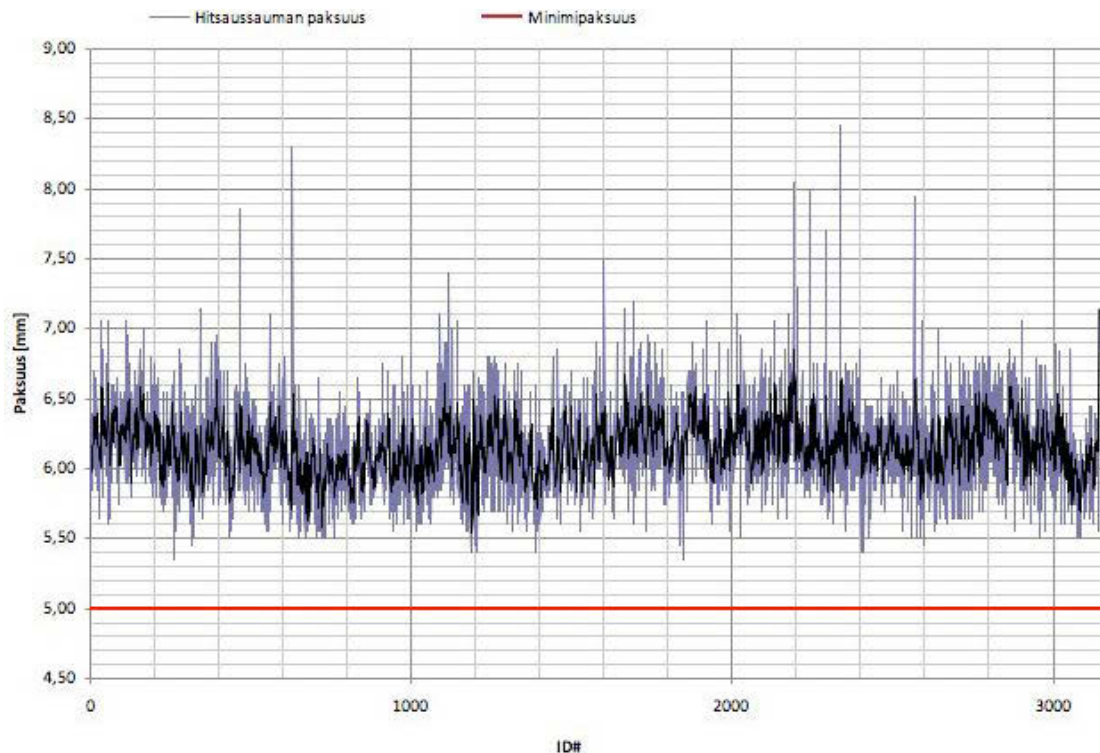
Tutkittavasta geomembraanista laadittuun rullakarttaan merkittiin lisäksi viereisten geomembraanirullien numerot, rullan levityssuunta (nuoli oikeassa yläreunassa), rullan valmistuspäivämäärä, mahdolliset löytyneet laadunalitukset sekä muut huomioitavat asiat. Esimerkiksi mikäli geomembraanin reuna ei täyttänyt sille asetettuja laatuvaatimuksia, oli se huomioitava erikseen (liite 5). Rullakarttaan täytetyt tiedot sekä ultraäänitutkalla suoritettut mittaukset siirrettiin lopulta Excel-taulukkoon (kuva 21), jonka avulla laadunvalvontatyön edistymisen seuranta helpottui.

			Rullan numero	Paikkauksen metrimäärä	Paikkauksen tyyppi	Korjattu	Rullan valmistuspäivämäärä
ID>75	PEAK	5,65 mm	43		0.5 Asennusvirhe	Korjattu	9.4.2010
ID>76	PEAK	6,35 mm					
ID>77	PEAK	6,05 mm					
ID>78	PEAK	6,15 mm					
ID>79	PEAK	6,35 mm					
ID>80	PEAK	5,85 mm	72		1.0 Kuljetusvaurio		9.4.2010
ID>81	PEAK	6,40 mm					
ID>82	PEAK	6,15 mm					
ID>83	PEAK	6,30 mm					
ID>84	PEAK	6,25 mm					
ID>85	PEAK	6,20 mm	71				9.4.2010
ID>86	PEAK	6,70 mm					
ID>87	PEAK	6,15 mm					
ID>88	PEAK	6,50 mm					
ID>89	PEAK	6,40 mm					

KUVA 21. Rullakarttaan työmaalla kirjattu informaatio Excel-muodossa (Nousiainen. 2010)

6.4.3 Mittaustulokset ja niiden analyysi

Mittauspisteitä ultraäänitutkalla kertyi geomembraanien välisistä saumoista yhteensä 3 148 kappaletta mittaustiheyden ollessa yksi mittaus alkavaa 20 metriä kohden (kuva 22). Oheisesta kuvasta 22 käy ilmi, että (saumojen laatuvaatimukset täyttävissä) mittauspisteissä sauman paksuus vaihteli enimmäkseen noin 5,50 ja 7,00 mm:n välillä. Hitsatun sauman paksuudelta vaadittavaksi minimiarvoksi asetettiin 5,00 mm, sillä tätä ohuempia saumavahvuudet tarkoittivat yleensä sitä, että geomembraanien väliset bitumimassat eivät olleet tarttuneet kunnolla toisiinsa kiinni. Suoritettut mittaukset saumoista olivat kuitenkin vain pistokoetyyppisiä, eikä mittaus kattanut kerralla koko sauman leveyttä (kaksoisluotaimen anturiosa pinta-alaltaan noin 1,0 cm²:n kokoinen), mutta ne antavat hyvän kuvan siitä, millä välillä onnistuneen hitsaussauman paksuus vaihtelee.



KUVA 22. Ultraäänitutkan mittauspisteiden tulokset (Nousiainen. 2010)

6.5 Laadunalitukset ja niiden tyypillisimmät syntyvaiheet

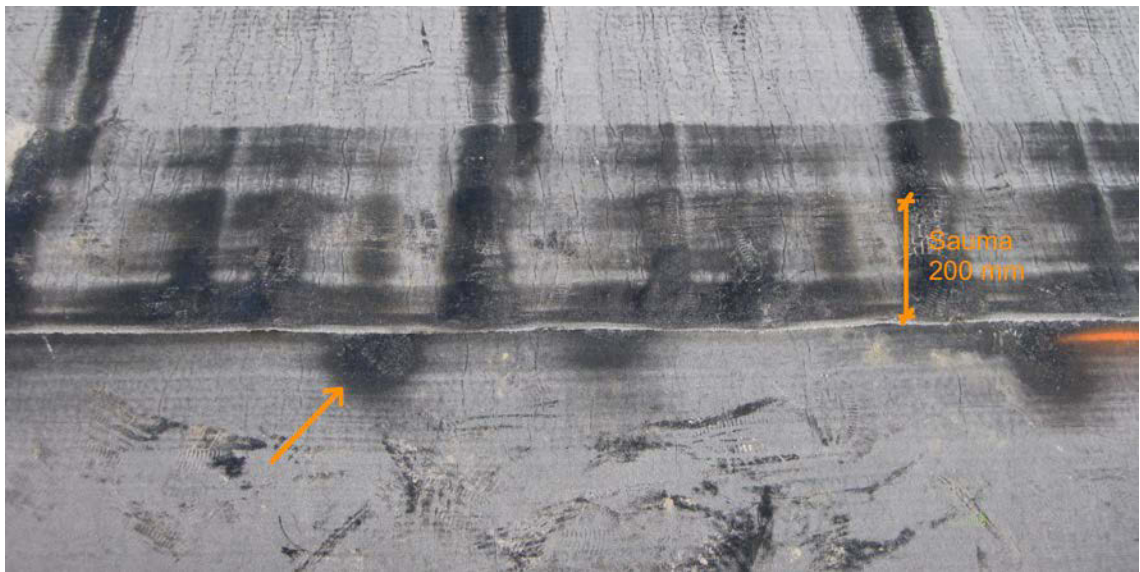
Paikkausta vaativat kohdat geomembraaneissa pyrittiin luokittelemaan niiden syntyvän ja –ajankohdan sekä sijainnin perusteella eri tyyppiluokkiin. Luokittelu auttoi tunnistamaan mahdollisia laadunalituksia sekä selvittämään niiden aiheutumissyitä. Kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonta ei rajoittunut vain hitsattujen saumojen laadun tarkkailuun, vaan paikkausta vaativia kohtia oli voinut syntyä myös monista muista tekijöistä eri puolille geomembraania. Laadunalitukset luokiteltiin lopulta

- geomembraanien asennusvaiheessa syntyneisiin **asennusvirheisiin**
- geomembraanien kuljetusvaiheessa syntyneisiin **kuljetusvaurioihin**
- geomembraanien valmistusvaiheessa syntyneisiin **valmistusvirheisiin**
- geomembraanien alle jääneiden terävien **kivien** aiheuttamiin vaurioihin.

Luvuissa 6.5.1 – 6.5.4 esitellään tyypillisimpiä esimerkkejä kyseisen luokituksen mukaisista laadunalituksista. Lisäksi liitteessä 6 on esitetty kaikki löytyneet (ja paikatut) laadunalitukset kesällä 2010 NP3-rikastushiekka-altaaseen asennetuissa geomembraaneissa.

6.5.1 Asennusvirheet

Geomembraanien välisistä saumoista löytyneet laadunalitukset luokiteltiin asennusvirheiksi. Selkeimmillään löytyneet asennusvirheet saattoivat olla esimerkkikuvien 23, 24 ja 25 kaltaisia, joissa kyseinen hitsattu sauma repeytyi tarkastelun tuloksena helpohkosti auki noin 3,0 metrin pituudelta. Jo ensimmäisestä kuvasta 23 käy ilmi, että sauman vieressä ei ole nähtävissä yhtenäistä hitsausvaiheessa syntyvää polttojälkeä, eikä bitumia ole pursunut reunan yli.



KUVA 23. Asentamisen onnistumisesta epäilykset herättävä katkonainen polttojälki sauman vieressä, myöskään bitumia ei ole pursunut saumasta yli (Nousiainen. 2010)

Tarkempi tutkiminen kuvassa 24 (ultraäänitutkan ja pyöröterästangon avulla) osoitti, kuinka huonosti bitumi oli tarttunut kiinni ja kuinka katkonaista bitumin sulaminen saumassa oli ollut. Tämä johtui liian vähäisestä sauman hitsaamisesta. Lisäksi samalta kohdalta lähempää otetusta kuvasta 25 on nähtävissä, että jopa geomembraanien alapintaan asennettu erittäin ohut muovikalvo, jonka tarkoituksena on estää eri geomembraanikerrosten tarttuminen toisiinsa rullassa varastoinnin aikana, on vielä tallella. Vaikka kyseessä onkin ”väärinpäin” asennettu geomembraani (luku 5.1), sulaa tämä ohut muovikalvo pois riittävän lämmön vaikutuksesta hitsausvaiheessa. ”Väärinpäin” asennettujen geomembraanien saumojen laadun tarkastukseen tulee kuitenkin kiinnittää aina **erityis-**huomiota.



KUVA 24. Geomembraanien välinen sauma kokonaan auki (Nousiainen. 2010)



KUVA 25. Lähikuva saumasta; jopa geomembraanin alapinnan ohut muovikalvo on vielä tallella (Nousiainen. 2010)

Kun geomembraanirullaa ei oltu levitetty auki suoraan rullan levitysvaiheessa, oli geomembraanin pitkittäiskaistan reunaan muodostunut saumausalueelle pieniä taitoksia. Muodostuneet taitokset vaikeuttivat asennusta ja vaikuttivat osaltaan asennuksen laatuun. Hitsausvaiheen yhteydessä taitoksien päältä tehtiin usein painotelalla vain sauman suuntaisesti, jolloin saumaan syntyi kohollaan oleva ja koko sen leveydeltä läpi johtava vekki. Saumaan muodostuneen vekin läpijohtavuutta pystyi tutkimaan parhaiten pyöröterästangolla (kuva 26). Tilanteissa, joissa vekki johti vain osittain sauman läpi, tutkittiin ultraäänitutkalla, että sauma on vekin takaa kiinni riittävällä varmuudella, kuitenkin vähintään 150 mm:n leveydeltä.



KUVA 26. Koko geomembraanien sauman leveydeltä läpi johtava vekki (2011)

6.5.2 Kuljetusvauriot

Osaan geomembraanirullista oli tullut vaurioita kuljetuksen aikana. Vauriot joh-
tuivat suurimmaksi osaksi kuljetusliikkeen käyttämisestä, geomembraanirullien
kuormassa vierimisen estävistä kuormakiiloista, jotka oli asennettu liian syväälle
alimpien rullien alle. Alimmat geomembraanirullat olivat painuneet kiiloja vasten
(kuormassa kolme rullaa päällekkäin), jolloin kiilojen terävät reunat olivat lei-
kanneet geomembraaniin viiltoja (kuva 27).



KUVA 27. Kuormakiilan aiheuttama kuljetusvaurio (Nousiainen. 2010)

6.5.3 Valmistusvirheet

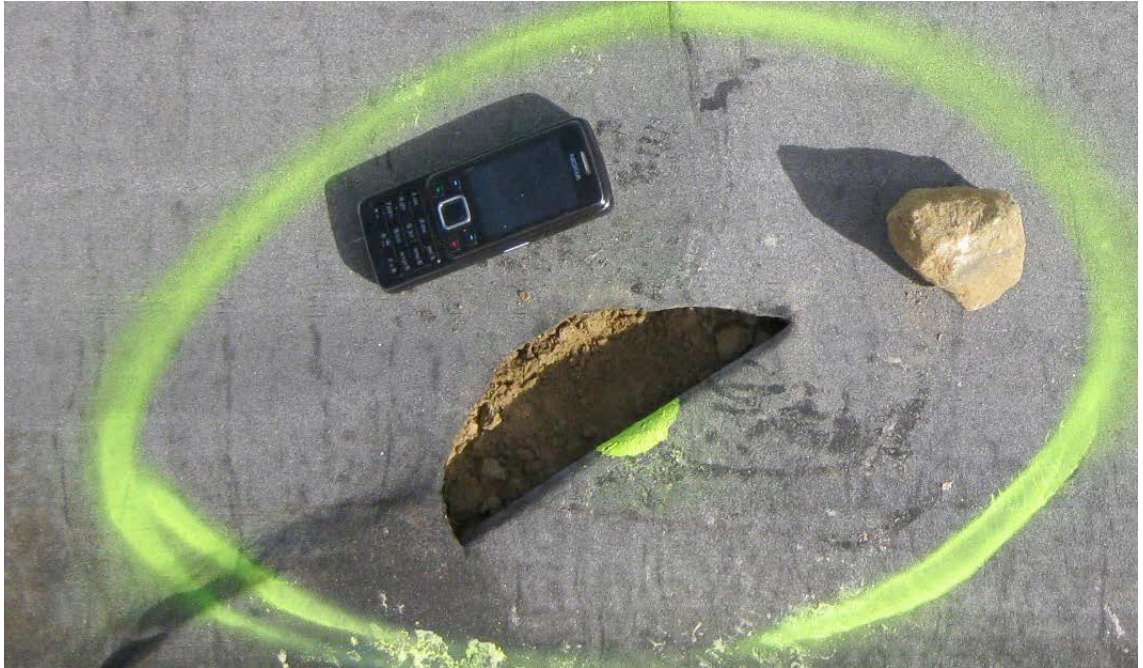
Osassa geomembraaneista oli havaittavissa niiden levitysvaiheen yhteydessä pitkittäisiä venymäjälkiä (kuva 28), jotka sijaittivat ilmetessään aina samassa kohdassa, symmetrisesti molemmin puolin geomembraanin päätyosaa. Ne olivat syntyneet mitä todennäköisimmin jo geomembraanien valmistusvaiheessa, tuotantoprosessin hetkellisten ongelmien seurauksena. Kuvan 28 esimerkki poikkeamasta ei vaatinut kuitenkaan paikkausta, sillä geomembraanin tukikerros oli pysynyt ehjänä. Vastaavia poikkeamia kuitenkin löytyi, joissa geomembraanin tukikerros oli vaurioitunut niin, että siihen oli muodostunut pieniä repeytymiä.



KUVA 28. Poikkeama geomembraanin päätyosassa (Nousiainen. 2010)

6.5.4 Kivet

Mahdolliset geomembraanien alle jääneet terävät kivet (levitysvaiheen yhteydessä) olisivat ajan mittaan puhkoneet geomembraaneihin reikiä, eristekerroksen päälle tulevan kuormituksen vaikutuksesta. Kivet tulikin poistaa tekemällä geomembraaniin viilto (kuva 29), minkä jälkeen leikkauskohta paikattiin.

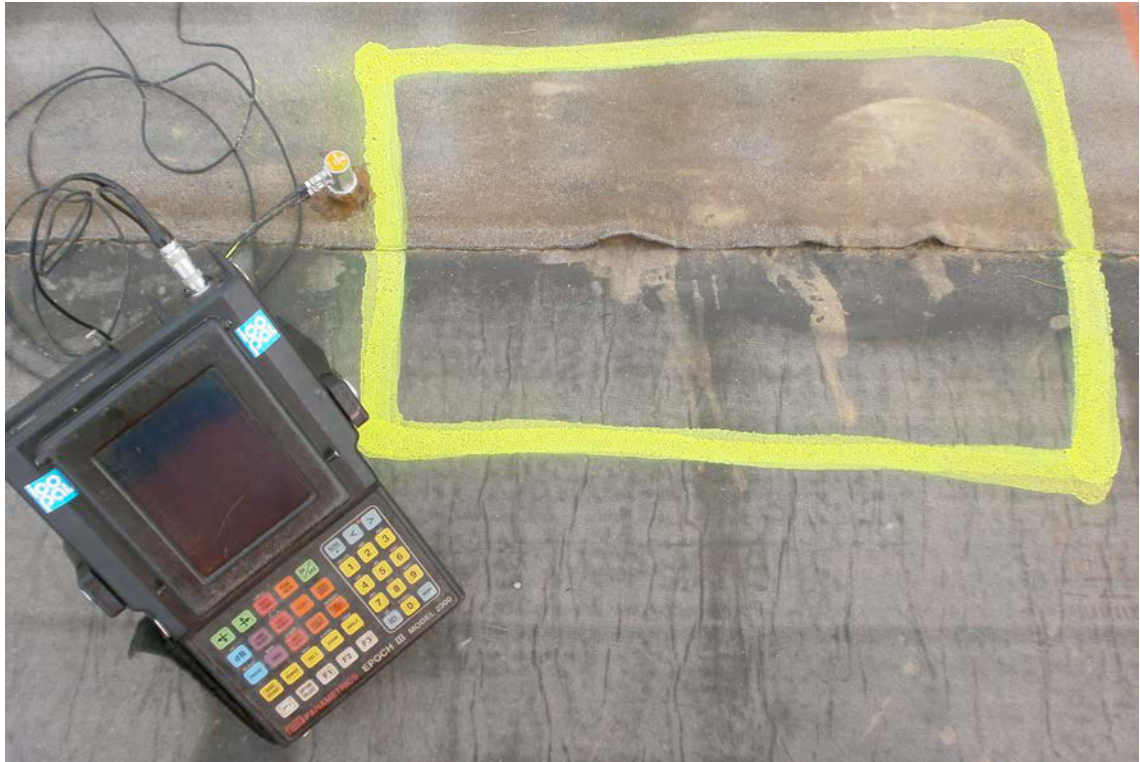


KUVA 29. Geomembraanin alle jäänyt terävä kivi (Nousiainen. 2010)

6.6 Toimenpiteet laadun alittuessa

6.6.1 Paikattavan kohdan laajuuden määrittäminen

Laadunalitusten paikkaustarve eli paikkaamiseen käytettävien paikkalappujen vähimmäiskoko oli määritettävä aina ennen paikkauksen aloittamista. Esimerkiksi mahdolliset kuljetuksessa geomembraaniin syntyneet vauriot tai levitysvaiheessa geomembraanin alle jääneiden terävien kivien aiheuttamat reiät olivat selkeitä ja paikkaustarpeen pystyi määrittämään silmämääräisesti. Laadunalitusten löytyessä geomembraanien välisistä saumoista, määritettiin paikattavan kohdan laajuus ultraäänitutkalla (kuva 30). Kuvan 30 geomembraanien sauman laadunalitus ilmeni siten, että sauman reuna oli auennut osittain saumaan asennusvaiheessa jääneen kosteuden vaikutuksesta.



KUVA 30. Paikattavan kohdan laajuuden määrittystä geomembraanien välisestä saumasta (2011)

Ultraäänitutkalla tehtiin mittauksia poikkeaman molemmin puolin ja tutkittiin, mistä kohtaa asentamisen laatuvaatimukset sekä ennen kaikkea onnistuneen sauman vaatima paksuus täyttyivät. Kun raja-alueet oli määritetty, maalattiin paikattavan alueen koko geomembraanin (kuva 30). Keltaisen värinen fosforipitoinen maali osoittautui selkeimmäksi ja näkyvämmäksi vaihtoehdoksi laadunalitusten merkintään.

6.6.2 Dokumentointi ja maastoon merkitseminen

Laadunalitukset merkittiin tutkittavasta geomembraanista laaditussa rullakartassa (liite 5) kohtaan, josta ne suunnilleen olivat löytyneet, paikkauksien koon (paikattavan kohdan pituus metreissä), lukumäärän sekä niiden syntytapojen mukaan. Nämä paikkaustiedot siirrettiin lisäksi Excel-taulukkoon (kuva 21).

Myös geomembraaniin maalattiin paikkauksen laajuuden määrittämisen lisäksi laadunalituksen tyyppiä ilmoittavat merkinnät, esimerkiksi kuvan 31 mukaisesti (kuvan 31 esimerkissä kuljetusvaurio geomembraanin päätyosassa). Asennus-

virheiden merkinnässä käytettiin lyhennettä AV, kuljetusvaurioiden yhteydessä KV- ja valmistusvirheiden yhteydessä VV-merkintää. Geomembraanien alle jääneiden kivien yhteydessä käytettiin ”kivi”-merkintää. Lisäksi paikattavan kohdan uudelleenpaikallistamisen helpottamiseksi pystytettiin geomembraanin painotukseen käytettyyn murskekasaan aurausviitta lähelle havaittua poikkeamaa (kuva 31).



KUVA 31. Laadunalituksen tyypin ja sijainnin ilmoittavat merkinnät (2011)

Laadunalitusten selkeä tyypiluokittelu niin laadunvalvontadokumentteihin kuin itse geomembraaneihinkin oli tärkeää niin asentajille kuin materiaalintoimittajal- lekin. Geomembraanien asentajat laskuttivat erikseen niiden laadunalitusten paikkaamisesta, jotka eivät olleet syntyneet heidän oman asennustyönsä yhteydessä. Näin he pystyivät saamaan laadunalitusten merkinnöistä suoraa tietoa jo työmaalla siitä, oliko kyseinen poikkeama esimerkiksi kuljetusvaurio vai asennusvirhe. Materiaalintoimittaja hyötyi vuorostaan luokittelusta saamalla muun muassa kokonaiskuvaa ja tietoa siitä, mistä eri tekijöistä paikkauksia mahdollisesti syntyy geomembraaneihin.

6.6.3 Paikkaus

Laadunalitusten paikkaamiseen käytettiin kumibitumipohjaisesta geomembraanista irti leikattua ja muotoiltua palaa. Geomembraanien saumaleveyden vaatimuksen (vähimmäisvaatimus 150 - 200 mm) ja paikkalapun pysyvyyden huomioonottaen, paikan minimikoon oli oltava vähintään 300 mm x 300 mm. Paikattavan kohdan tuli olla geomembraanissa mahdollisimman kuiva ja puhdas, jotta bitumi tarttuisi siihen kunnolla kiinni. Paikkalappu tuli asentaa keskiteysti ja oikeinpäin (kvartsihiekkainen puoli ylöspäin) paikkausta vaativan kohdan päälle, minkä jälkeen se tuli hitsata geomembraaniin kiinni jokaisesta reunastaan, vähintään 150 mm:n leveydeltä. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että pienemmät paikat hitsattiin geomembraaniin kiinni koko pohjan pinta-alaltaan. Lopuksi paikkauksien reunat tuli tasoittaa teräslastalla hyvin, jotta niistä tulisi mahdollisimman tiiviitä ja kestäviä (kuva 32).



KUVA 32. Paikattu kohta geomembraanien välisessä saumassa (2011)

Toimenpide, jossa paikkaamiseen ei käytetty erillistä paikkalappua vaan jossa paikkausta vaativa kohta kuumennettiin uudelleen hitsaamalla ja jossa se tasoitettiin teräslastalla, tuli kyseeseen tilanteissa, joissa geomembraanien välinen

sauma oli reunastaan vain osittain auki (kuva 33). Tämä paikkausmenetelmä ei ollut kuitenkaan aina työtekniseltä kannalta katsoen mahdollista toteuttaa. Vaarana oli lisäksi geomembraanien välisien saumojen tukikerrosten vaurioituminen, koska niitä oli jo kertaalleen kuumennettu hitsausvaiheessa.



KUVA 33. Geomembraanien välisen sauman paikkaus ilman erillistä paikkalappua (2011)

Paikkaustoimenpiteiden jälkeen paikatut kohdat tarkistettiin, ja kun paikkaus oli hyväksytysti onnistunut (laatuvaatimukset vastaavat kuin geomembraanien välisillä hitsatuilla saumoilla), merkittiin poikkeama korjatuksi rullakarttaan (liite 5) ja Excel-taulukkoon (kuva 21). Tämän jälkeen aurausviitta poistettiin laadunaliituksen vierestä.

7 YHTEENVETO

Rikastushiekka-altaiden pohjarakenteet ovat tiivistysrakenteita, joiden rakentaminen ja rakenteille asetetut vaatimukset pohjautuvat pitkälti vastaaviin, kaatopaikkojen pohjien tiivistysrakenteisiin. Tiivistysrakenteiden tehtävänä on estää niiden päälle sijoitettavien jätteiden sisältämien haitta-aineiden pääsy maaperään ja kulkeutuminen pohjavesimuodostumiin. Suojausvaikutus perustuu tiivistysrakenteiden monikerroksellisuuden tuomaan alhaiseen vedenläpäisevyyteen.

Tässä työssä käsiteltiin kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvontaa. Kyseisten geomembraanien tehtävänä on toimia Kittilän kaivoksen NP3-rikastushiekka-altaassa (eli lyhyemmin NP3-altaassa) keinotekoisena eristeenä ja suotovesien keräilyrakenteena. Lisäksi geomembraanien tarkoituksena on muodostaa yhdessä mineraalisen tiivistyskerroksen kanssa tiivis ja haitta-aineiden kulkeutumista maaperään tehokkaasti estävä yhdistelmä rakenne. Rakenne ei kuitenkaan toimi sille suunnitellulla, parhaalla mahdollisella tavalla, mikäli sen keinotekoisien eristekerroksen hitsatut saumat vuotavat.

Tämän työn tavoitteena oli esitellä Kittilän kaivoksen NP3-altaaseen asennettujen kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonnassa käytettyjä menetelmiä sekä sen tuloksia. Laadunvalvonnan tuloksena, kumibitumipohjaisien geomembraanien osalta, paikattavia kohtia kertyi noin 24 hehtaarin kokoisella alueella yhteensä 284 kappaletta erilaisista laadunvalvonnasta johtuen (liite 6). Osa paikkausta vaativista kohdista oli verrattain pieniä, mutta myös suurempia laadunvalvonnasta löytyi. Geomembraanien välinen sauma saattoi repeytyä helpohkosti auki jopa 2-3 metrin pituiselta matkalta, kun bitumi ei ollut sulanut ja tarttunut saumassa kiinni kunnolla.

Lisäksi kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonnan tuloksena, kehitettiin tyyppiluokittelu laadunvalvonnalle. Paikkausta vaativia kohtia syntyi monista eri tekijöistä ja poikkeamat luokiteltiin lopulta

- geomembraanien asennusvaiheessa syntyneisiin **asennusvirheisiin**

- geomembraanien kuljetusvaiheessa syntyneisiin **kuljetusvaurioihin**
- geomembraanien valmistusvaiheessa syntyneisiin **valmistusvirheisiin**
- geomembraanien alle jääneiden terävien **kivien** aiheuttamiin vaurioihin.

Laadunalitusten tyyppiluokittelusta hyötyivät niin materiaalintoimittaja kuin geomembraanien asentajatkin. Luokittelu auttoi materiaalintoimittajaa muun muassa saamaan kokonaiskuvaa siitä, mistä eri tekijöistä paikkauksia mahdollisesti syntyy geomembraaneihin. Asentajat vuorostaan saivat kuvaa siitä, mistä eri tekijöistä asennusvirheitä mahdollisesti syntyy geomembraanien asentamisen yhteydessä.

Geomembraanien asentamisen aikaisen laadunvalvonnan merkitys korostui NP3-altaan työmaalla. Asennusalue oli todella laaja ja laadunvalvonnan suorittaminen jälkikäteen olisi ollut käytännössä paljon vaikeampaa ja haastavampaa, jo yksistään altaaseen varastoituneiden, jokaisten sateiden jälkeisten alati kasvavien vesimäärien vuoksi. Asentamisen laatu parani myös selkeästi asennustöiden edetessä. Geomembraanien asentaminen aloitettiin niin sanotusti altaan ”pohjalta”, NP3-altaan ollessa viettokalteva sekä etelä- että länsisuunnassa. Havaittu laadun paraneminen ei johtunut ainoastaan sitä kuivemmista asennusolosuhteista mitä ”ylemmäksi” edettiin, vaan myös hyväksi koettujen asennusmenetelmien ja työtapojen löytyessä.

Kumibitumipohjaisien geomembraanien käyttö rikastushiekka-allasrakenteissa on vielä kohtalaisen uusi asia Suomessa. Osaltaan tästä johtuen kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonnalle ei ole vakiintuneita ja yksiselitteisiä työohjeita. Ympäristölle haitallisten jätteiden loppusijoituspaikkoja rakennettaessa olisi kuitenkin erittäin tärkeää varmistaa rakenteiden tiiveys, toimivuus ja pitkäikäisyys.

LÄHTEET

Agnico-Eagle Mines Limited. 2011. Saatavissa: <http://www.agnico-eagle.com/English/Our-Business/Operating-Mines/Kittila/overview/default.aspx>. Hakupäivä 30.3.2011.

Berke, Michael 1993. Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus, johdatus perusteisiin. Saatavissa: <http://www.sonar.fi/media/pdf/ultrapaper.pdf>. Hakupäivä 17.3.2011.

Bitumipitoiset geomembraanit: Teranap 331 TP ja Teranap 431 TP käsittely- ja asennusohje. 2010. Suunnitteluohje. Espoo: Icopal Oy.

Geomembraanit: Ankkuroinnit ja liitokset. 2010. Suunnitteluohje. Espoo: Icopal Oy.

Geomembraanit: Rakenneosat. 2010. Suunnitteluohje. Espoo: Icopal Oy.

Geomembraanit: Rakennusalustan valmistelu. 2010. Suunnitteluohje. Espoo: Icopal Oy.

Himmi, Matti 2007. Kaivosteollisuuden rikastushiekan ja sivukivien BAT-vertailuasiakirjan sanasto. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=73749>. Hakupäivä 19.1.2011.

Kaivoslaki. 10.6.2011/621.

Kankainen, Jouko – Junnonen, Juha-Matti 2001. Laatuajattelu ja rakennustyömaan laatutoiminnot. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Laki viranomaisten määräyksiä ja ohjeita koskevista toimenpiteistä. 16.6.1989/573.

Leppänen, Minna 1998. Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.ymparistokeskus.fi/download.asp?contentid=12513&lan=fi>. Hakupäivä 12.3.2011.

Leppänen, Minna – Vahanne, Pasi – Ahonen, Jukka 2006. Tiivistysrakenteiden laadunvalvonta. Saatavissa: <http://www.ygoforum.fi/tiivlaat.pdf>. Hakupäivä 26.3.2011.

Lupapäätös nro 47/07/1. Kittilän kaivoksen ympäristölupapäätöksen täsmentäminen pohjarakenneratkaisun osalta ja lupa päätöksen täytäntöönpanoon muutoksenhausta huolimatta. 14.5.2007. Laatija Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto.

Lupapäätös nro 66/09/1. Kittilän kaivoksen rikastushiekka-alueen laajentaminen ja maanalaisten tunneliräjäytysten suorittaminen kaikkina vuorokaudenaikoina sekä toiminnan aloittamislupa. 2.12.2009. Laatija Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto.

Lupapäätös nro 69/02/1. Suurikuusikon kultakaivoksen ja rikastamon ympäristölupa sekä vesilain mukainen lupa. 1.11.2002. Laatija Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto.

NP3-altaan patojen massanvaihdot, tukipenkereet ja suodatinrakenteet, työselitys. 2009. Laatija Geobotnia Oy Oulu. Tilaaja Agnico-Eagle Finland Oy.

Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 1997. Patoturvallisuusohjeet. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=12272&lan=FI>. Hakupäivä 23.3.2011.

Rikastushiekka-altaan NP3 yleissuunnitelma, suunnitelmaselostus. 2009. Laatija Geobotnia Oy Oulu. Tilaaja Agnico-Eagle Finland Oy.

Selvitys NP3-rikastushiekka-altaan rakenteista. 2008. Laatikija Geobotnia Oy Oulu. Tilaaja Agnico-Eagle Finland Oy.

Siikanen, Unto 2009. Rakennusaineoppi. 7., painos. Viro: Kolofon Baltic OU.

Sivonen, Mikko – Frilander Reetta 2001. Patoturvallisuuden toteutuminen Suomen jäte- ja kaivospaikoilla. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=17815&lan=fi>. Hakupäivä 23.3.2011.

Teranap TP. Large width SBS elastomeric bitumen geomembrane. 2010. Tuoteseloste. Siplast Inc. Saatavissa: http://www.icopal.ro/att_view.php?id=156. Hakupäivä 10.2.2011.

VNp 3.12.1993/1072. Jätelaki.

VNp 4.9.1997/861. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista.

VNp 18.11.1999/1049. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta.

VNp 26.6.2009/494. Patoturvallisuuslaki.

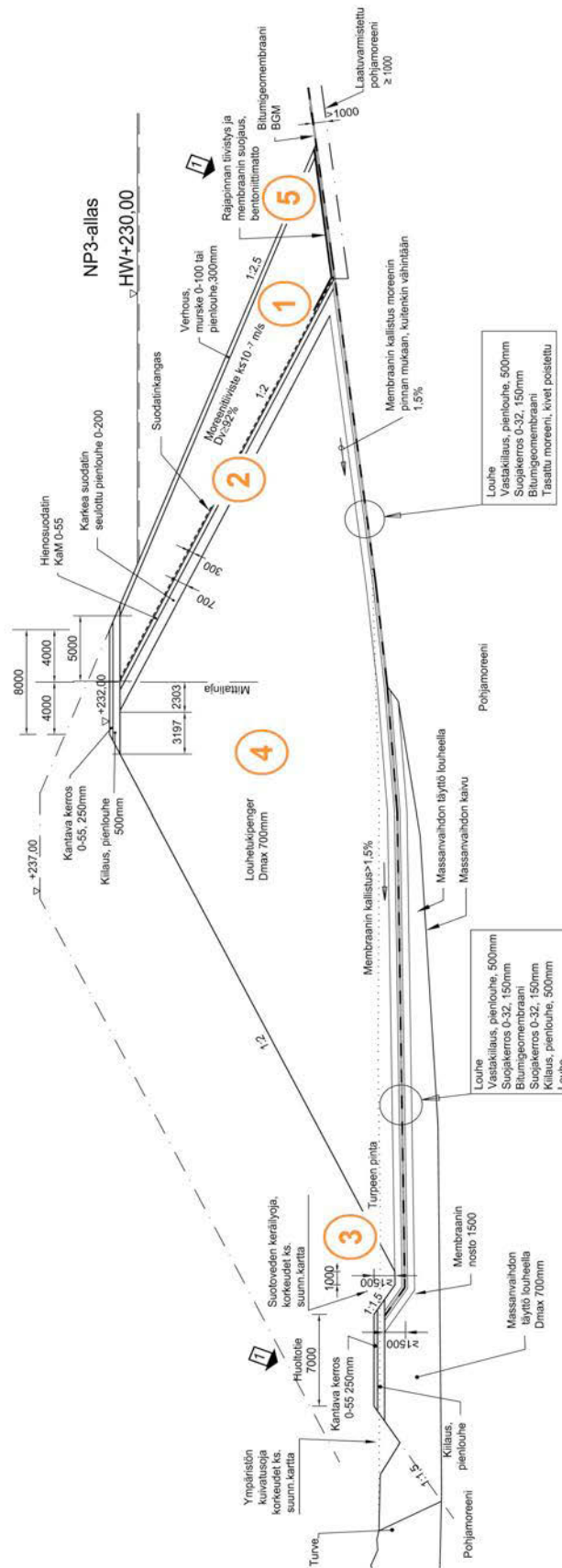
Ympäristönsuojeluasetus. 18.2.2000/169.

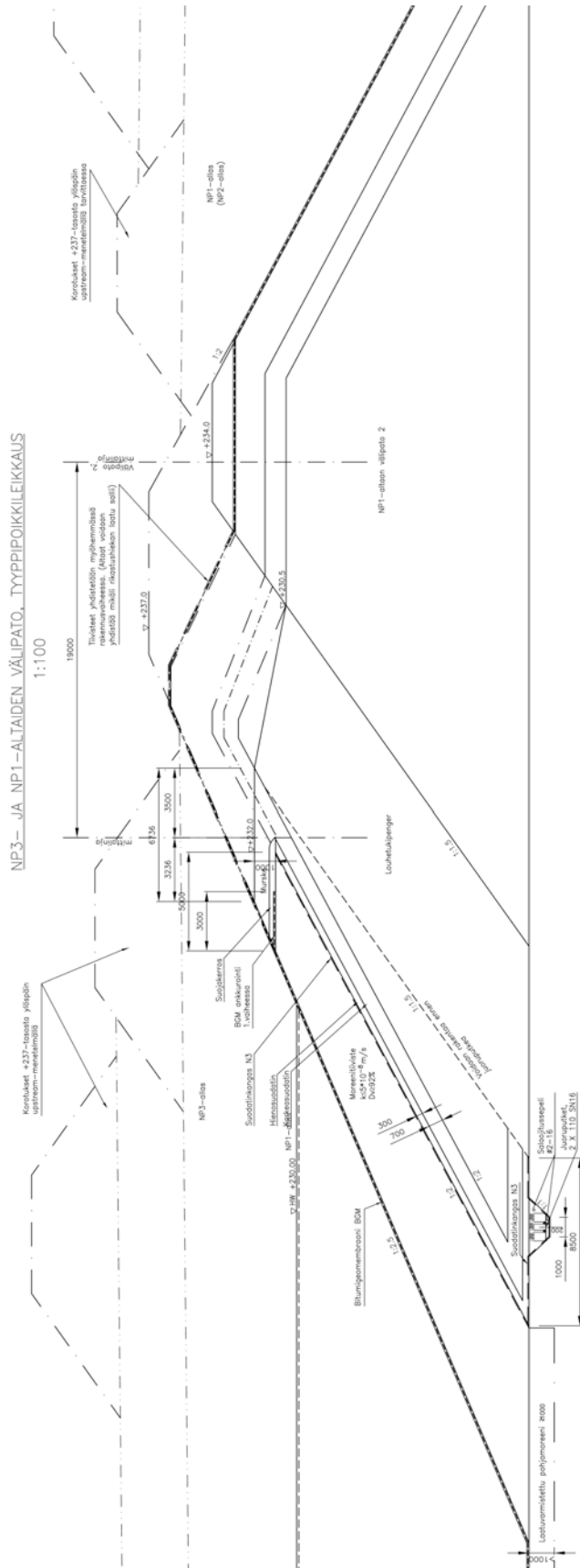
Ympäristönsuojelulaki. 4.2.2000/86.

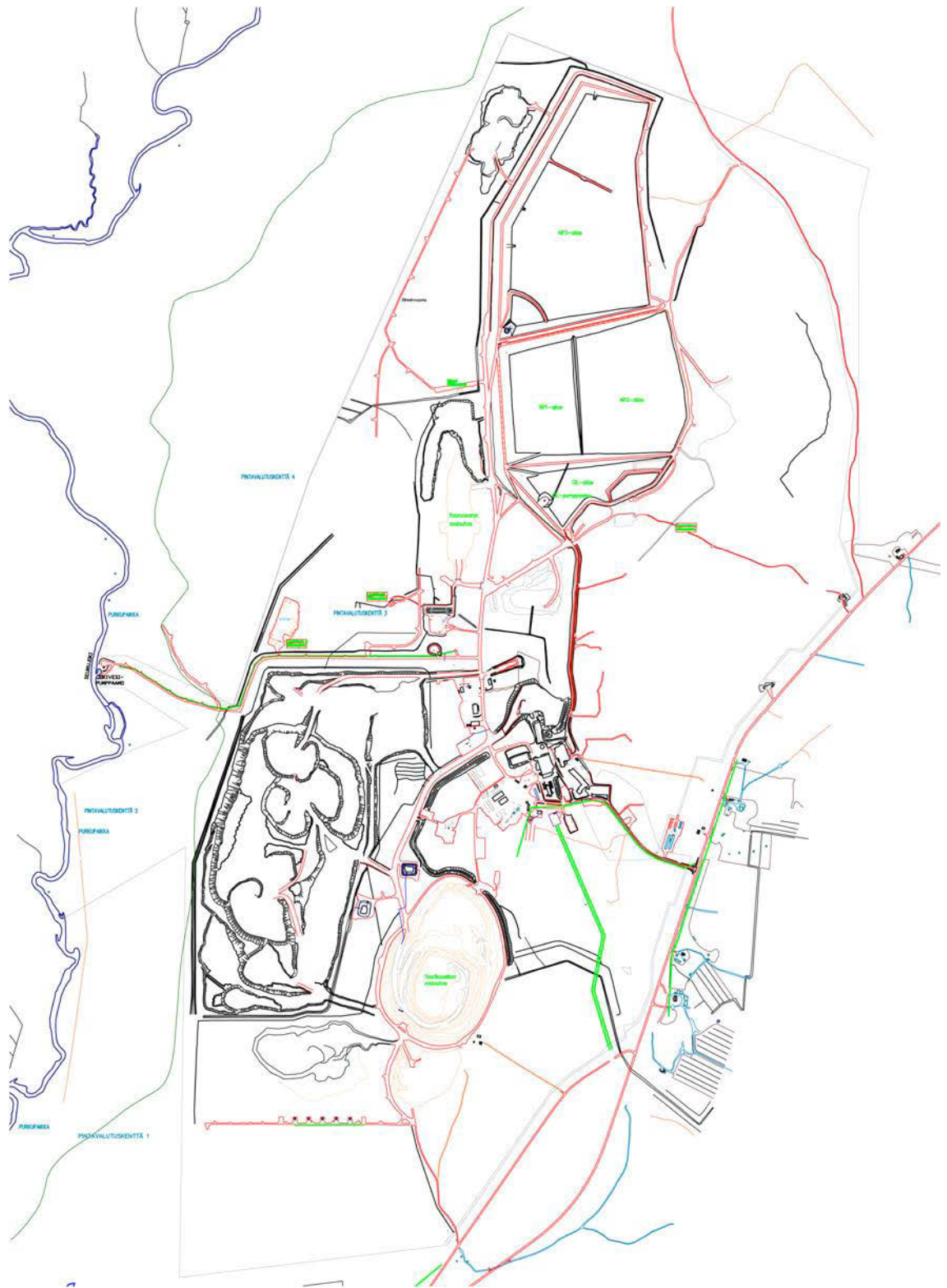
LIITTEET

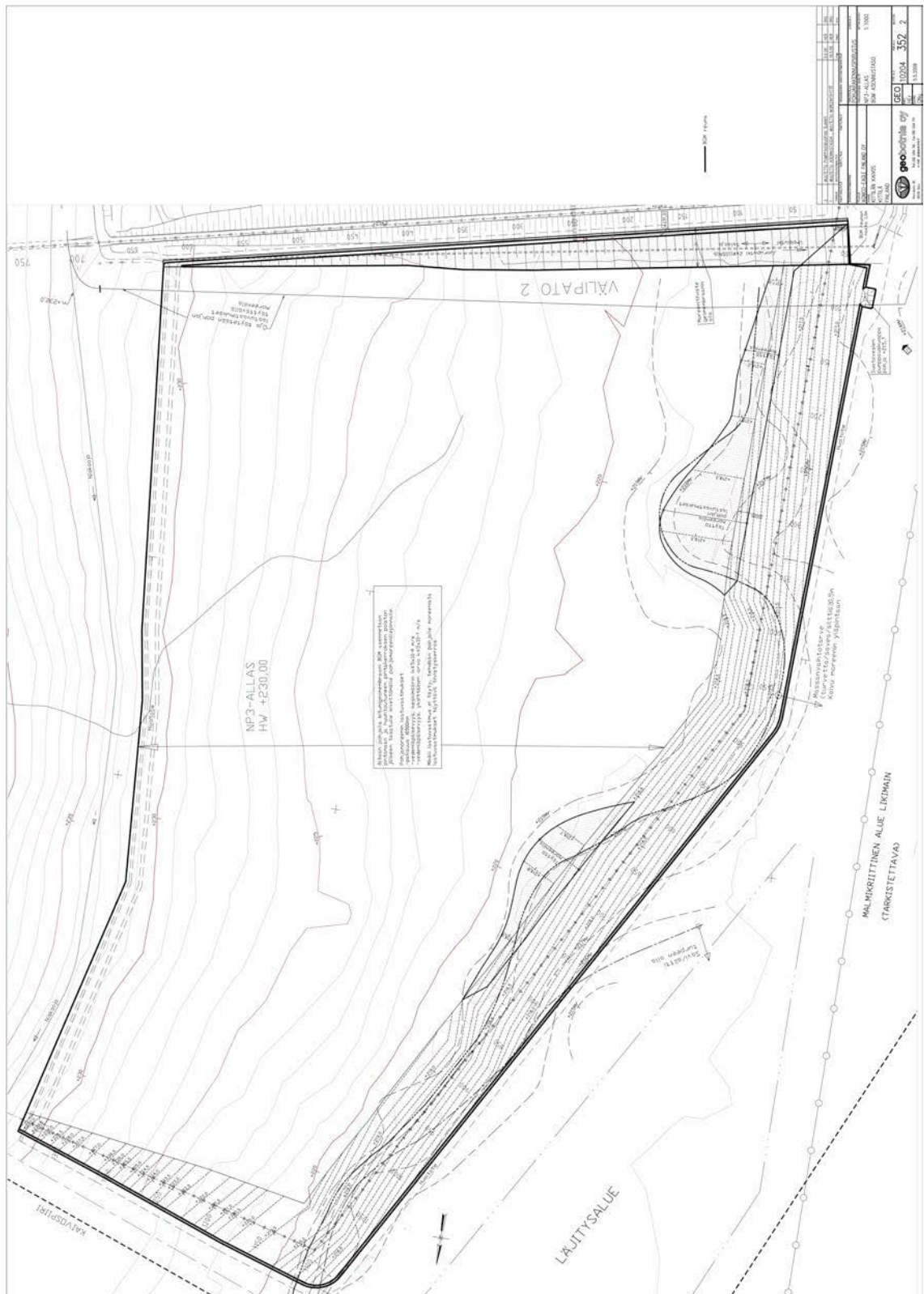
- Liite 1. NP3-rikastushiekka-altaan pääpadon tyypipoikkileikkaus
- Liite 2. NP3-rikastushiekka-altaan välipato 2:n tyypipoikkileikkaus
- Liite 3. Kittilän kaivoksen kaivosalueen yleiskartta
- Liite 4. NP3-rikastushiekka-altaan pohjarakennuspiirustus
- Liite 5. Rullakartta
- Liite 6. Vuonna 2010 asennetut geomembraanit paikattuine kohtineen

NP-ALTAAN LAAJENNUS, SUOTAVA PATOTYYPPI
 TYYPIPOIKKILEIKKAUS 1:200









5.5.2009. Laatiija Geobotnia Oy Oulu. Tilaaja Agnico-Eagle Finland Oy.

Päivämäärä

