



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

ANNE RAVASKA

KAATOPAIKAN TIIVISTYSRAKENTEIDEN LAADUNVARMISTUS-
KOULUTUKSEN TARVE JA ORGANISOINTI

Diplomityö

Tarkastajat: Pauli Kolisoja, Tuula
Tuhkanen ja Minna Leppänen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Rakennetun ympäristön tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 3. maalisi-
kuuta 2010

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

RAVASKA, ANNE: Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen tarve ja organisointi

Diplomityö, 160 sivua, 7 liitesivua

Elokuu 2010

Pääaine: Yhdyskunnan ympäristötekniikka

Tarkastajat: professori Pauli Kolisoja, professori Tuula Tuhkanen ja yliassistentti Minna Leppänen

Avainsanat: laadunvarmistus, laadunvalvonta, tiivistysrakenteet, kaatopaikka, sertifiointi, riippumaton laadunvalvoja

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kaatopaikkojen riippumattomien laadunvalvojen laadunvarmistuskoulutuksen tarvetta. Tarve selvitettiin Webropol-palvelun sähköisillä kyselytutkimuksilla, jotka lähetettiin kaatopaikan pohja- ja pintarakenteiden rakennuttajille, ympäristöviranomaisille ja urakoitsijoille. Kyselytutkimusten tulosten perusteella tarkasteltiin sertifiointikoulutuksen järjestämistä riippumattomille laadunvalvojille. Kirjallisuusosiossa tehtiin katsaus tiivistysmateriaalien laadunvarmistukseen ja olemassa oleviin sertifiointijärjestelmiin.

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistus on työkalu, jolla pyritään takaamaan, että rakenteet toimivat niille suunnitellulla tavalla. Laadunvarmistuksessa yksi keskeinen tekijä on kaatopaikan tiivistysrakenteiden osapuolten pätevyudet. Etenkin riippumaton laadunvalvoja voi vaikuttaa kaatopaikkahankkeen onnistumiseen merkittävästi, sillä hänen tehtävänä on varmistaa, että kaatopaikka rakennetaan suunnitelmien ja ympäristölupaehtojen mukaisesti. Riippumattomien laadunvalvojen pätevyuden ja ammattitaidon todentaminen on kuitenkin osoittautunut haasteelliseksi.

Kyselytutkimusten perusteella selvisi, että laadunvarmistuskoulutusta tarvitaan, mutta ei pelkästään riippumattomille laadunvalvojille vaan kaikille osapuolille. Ympäristökeskusten vastaajien mielestä ympäristölupaehtoihin voidaan asettaa riippumattomille laadunvalvojille sertifiointivaatimus, kun sertifioituja riippumattomia laadunvalvojia on riittävä määrä. Koulutuksen järjestäjällä ei tutkimuksen mukaan ollut väliä, kunhan järjestäjä on asiantunteva ja pätevä taho. Kyselytutkimusten mukaan riippumattomien laadunvalvojen sertifiointiin edellytykset ovat soveltuva työkokemus ja ammatillinen peruskoulutus. Tämän lisäksi sertifiointiin tulisi sisältää täydennyskoulutusta ja hyväksytysti suoritettu loppukoe.

Koulutus tulisi järjestää niin, että kaikki osapuolet voivat osallistua koulutukseen. Koulutuksen sisällön tulisi kattaa sekä kaatopaikan mineraalisten tiivistysrakenteiden että geosynteettisten materiaalien laadunvarmistus. Koulutuspäiviä tarvitaan luultavimmin neljästä kymmeneen. Hakijoiden, joiden päämääränä on sertifiointi, tulee suorittaa koko koulutuspaketti. Muut osallistujat kuten suunnittelijat, rakennuttajat, ympäristöviranomaiset voivat valita tarpeelliset opetusjaksot. Varsinainen sertifiointi myönnetään, kun kaikki vaatimukset ovat täytetty sisältäen soveltuvan työkokemuksen, peruskoulutuksen, täydennyskoulutuksen ja hyväksytysti suoritettua loppukokeen. Sertifiointiin myöntäjätaho voisi olla joko FISE Oy tai ympäristöministeriön alainen sertifiointielin.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Construction Engineering

RAVASKA, ANNE: Demand and organisation of quality assurance education for landfill liner systems

Master of Science Thesis, 160 pages, 7 Appendix pages

August 2010

Major: Municipal Environmental Engineering

Examiners: Professor Pauli Kolisoja, Professor Tuula Tuhkanen and Minna Leppänen

Keywords: Landfill, liner, quality control, quality assurance, certification, inspector, third party

The aim of this study was to determine the demand of the quality assurance education for landfill liner systems focused especially for the quality assurance inspectors. The demand was investigated by the means of electrical questionnaires provided by Webropol-service. These questionnaires were sent to operators or owners of the landfill, contractors and environmental agency officers. The purpose was to find solution for organising of the quality assurance inspector certification. Furthermore, the literature review was made to the quality assurance of different materials used in landfill liner systems.

Landfill liner systems are demanding structures which purpose is to protect surrounding environment and public living nearby. Quality assurance is a tool to secure that the construction of the liner system is built according to the plans and environmental permit. The qualifications of the parties have a major role in quality assurance. Especially, the quality assurance inspector can have a significant influence on the success of the landfill liner project providing that quality assurance inspector has been hired to the project early enough. The challenge has been to choose qualified and professionally skilled quality assurance inspectors to the landfill project.

The results of the questionnaires suggested that there is demand for education in quality assurance of landfill liner system but not only for the quality assurance inspectors but for all of the parties. Environmental agency offices responded also that the certification can be included to the environmental permit when there are enough certified quality assurance inspectors. Organiser of the education was not relevant. Respondents were more concerned about the qualifications and competency of the organizer. The requirements of the certified quality assurance inspectors are that the candidates hold relevant work experience and professional education. In addition, the certification program should include supplementary education and final exam.

The education should be organised in a way that all of the parties could participate. The content of the education should include both quality assurance of mineral liners and geosynthetic products. The number of the teaching days needed probably varies from four to ten. Those who aim to be certified quality assurance inspectors are required to participate all of the supplementary education days, but the others can choose the most appropriate ones for they needs. Actual quality assurance inspector certification is granted when all the criteria is fulfilled including relevant work experience, professional education, supplementary education and passed final exam. Certification body could be FISE Ltd. or certification body subject to The Environment Ministry.

ALKUSANAT

Sanotaan, että alku on aina vaikeaa. Minulle taas loppu tuntui tuskaiselta. Uuden oppiminen rikastuttaa, vaikka aina jää tunne, että olen juuri raapaissut pintaa ja varsinainen kultasuoni odottaa kuoren alla. Tosin siskoni oli sitä mieltä, että hän ei enää ikinä halua kuulla yhtään sanaa ”*geosynteeseistä*”, koska ne ovat niin tylsiä. Olin koko ajan puhunut hänelle geosynteettisistä tuotteista mutta hänen mielestä ne olivat yksi ja sama asia. Toivottavasti tämän työn lukija hahmottaa kuitenkin, mitä geosynteetit ovat.

Ensimmäiseksi minun täytyy kiittää tämän työn rahoittajia, jotka mahdollistivat tämän työn tekemisen. Ygoforum ry, Jätehuoltoyhdistys ry, Infra ry, Viapipe Oy, Kaitos Oy, Sito Rakennuttajat Oy ja Niska & Nyysönen Oyj: kiitän teitä lämpimästi. Erityisesti kiitän työni ohjaajaa Minna Leppästä. Hän jaksoi uutterasti kahlata läpi kirjoituksiani, kommentoida, opastaa ja korjata kieliäsuani. Lisäksi kiitän professori Pauli Kolisojaa ja professori Tuula Tuhkasta viime hetken vinkeistä ja opastuksesta.

Kotiväelle lupaan ja vannon (sormet ristissä), että korjaan epämääräiset paperipinot pois nyt, kun työ on vihdoon valmis. Kiitän koko sydämestäni perhettäni, joka on jaksanut kannustaa vaikeina hetkinä. Nyt matka jatkuu kohti uusia tuulia.

Tampereella 2.8.2010

Anne Ravaska

SISÄLLYS

Tiivistelmä	I
Abstract	II
Alkusanat	III
Termit ja niiden määritelmät	VI
Lyhenteet	VIII
1. Johdanto	1
2. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden suunnitteluun vaikuttavia asioita	3
2.1. Lainsäädännön vaatimuksia	3
2.2. Standardien vaatimuksia	6
2.3. Kuormitusolosuhteet ja elinikä	11
2.3.1. Kaatopaikan pohjarakenteeseen kohdistuvat rasitukset	13
2.3.2. Kaatopaikan pintarakenteeseen kohdistuvat rasitukset	16
2.4. Kuivatuskerroksen vaikutus tiivistysrakenteeseen	17
2.5. Jättemateriaalien hyötykäytön edellytykset	19
3. Kaatopaikan tiivistysrakennemateriaalit ja niiden laadunvarmistus	24
3.1. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden erityispiirteitä	24
3.2. Mineraalinen tiivistyskerros luonnonmaasta	25
3.2.1. Pohjamaa	25
3.2.2. Savi	27
3.2.3. Savirakenteen laadunvarmistus	29
3.2.4. Moreeni	32
3.2.5. Moreenin laadunvarmistus	33
3.3. Bentoniittirakenteet	33
3.3.1. Bentoniittimaa	34
3.3.2. Bentoniitin laadunvarmistus	35
3.3.3. Bentoniittimaan laadunvarmistus	36
3.3.4. Bentoniittimatto (GCL)	39
3.3.5. Bentoniittimaton laadunvarmistus	43
3.3.6. Trisoplast [®]	46
3.3.7. Trisoplastin [®] laadunvarmistus	47
3.4. Keinotekoinen eriste	47
3.4.1. Geomembraanit	48
3.4.2. Geomembraanin laadunvarmistus	51
3.4.3. Geomembraanin suojakerros	61
3.4.4. Tiiviit asfaltit	63
3.4.5. Tiiviin asfalttirakenteen laadunvarmistus	64
4. Kaatopaikkahankkeen laadunvalvonta ja -varmistus	68
4.1. Laadunvalvonta ja -varmistus käsitteinä	68
4.2. Laadunvarmistus kaatopaikan rakennushankkeen vaiheissa	71

4.3.	Hankkeen osapuolet ja näiden tehtävät.....	76
4.3.1.	Rakennuttaja.....	77
4.3.2.	Lupaviranomainen ja viranomaisvalvoja.....	77
4.3.3.	Riippumaton laadunvalvoja.....	78
4.3.4.	Suunnittelija.....	81
4.3.5.	Urakoitsija.....	82
4.4.	Henkilökohtaiset pätevyudet.....	83
4.5.	Laatusuunnitelma.....	84
4.6.	Dokumentointi.....	86
4.7.	Kokoukset ja katselmukset.....	89
4.8.	Sääolosuhteiden huomioon ottaminen.....	92
5.	Koulutus ja sen järjestäminen.....	93
5.1.	Suomessa järjestettyjä henkilösertifiointiohjelmia.....	93
5.1.1.	Ympäristönäytteenottajan pätevyys.....	93
5.1.2.	FISEn pätevyysjärjestelmä.....	97
5.2.	Ulkomailla toteutettuja henkilösertifiointiohjelmia.....	100
5.2.1.	Iso-Britannia (UK).....	100
5.2.2.	USA.....	102
5.2.3.	Saksa.....	105
6.	Kyselytutkimus.....	107
6.1.	Kyselytutkimuksen taustaa.....	107
6.2.	Kyselytutkimuksen toteutus.....	108
6.3.	Kyselyn tulokset.....	109
6.3.1.	Rakennuttajat.....	110
6.3.2.	Urakoitsijat.....	117
6.3.3.	Ympäristökeskukset.....	122
6.3.4.	Yhteiset kysymykset.....	125
6.3.5.	Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvalvonnan ja -varmistuksen kehittäminen.....	145
7.	Tulosten analysointi.....	146
8.	Johtopäätökset.....	150
	Lähteet.....	153
	Liitteet	

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Adsorptio	prosessi, jossa kiinteän tai nestemäisen aineen pintaan kiinnittyy atomeja, molekyyliä tai ioneja liuoksesta tai kaasusta, jonka kanssa se on kosketuksissa
Advektio	veden virtauksen mukana kulkeutuminen
Akkreditointi	menettelytapa, jolla puolueeton ja riippumaton toimivaltainen elin muodollisesti toteaa toisen toimielimen pätevyyden ja sen antamien todistusten uskottavuuden. Hakeminen on vapaaehtoista ja hakija voi itse määrittellä toiminta-alueen esim. johtaminen, henkilökunta, tilat, tiedostojen valvonta jne. Suomessa akkreditoinnin hoitaa Finas (Rissanen 2009)
Asiakirja	informaation ja sitä tallentavan tiedon kokonaisuus (SFS-EN ISO 9000)
Auditointi	katselmus. Järjestelmällinen, riippumaton ja dokumentoitu prosessi, jossa hankittavaa auditointinäyttöä arvioidaan objektiivisesti sen määrittämiseksi, missä määrin sovitut auditointikriteerit on täytetty (SFS-EN ISO 9000)
Auditointikriteerit	kokoelma politiikkoja, menettelyjä tai vaatimuksia (SFS-EN ISO 9000)
Bentoniittimatto	tehdasvalmisteiden hydraulinen eriste, joka koostuu bentoniittisavesta ja siihen sidotusta geosynteettisestä kerroksesta tai kerroksista
Diffuusio	aineiden pitoisuuserojen pyrkimys tasoittua systeemissä molekyylien satunnaisen liikkeen johdosta
Geofilmi	ohut polymeerinen filmi, joka on vettä läpäisemätön ja jonka paksuus on pienempi kuin 0,25 mm
Geomembraani	tiivistyskalvo; vettä läpäisemätön este
Geotekstiili	kudottu tai kutomaton kuiduista valmistettu kangasmainen tuote, joka läpäisee vettä

Henkilösertifiointi	ulkopuolisen tahon suorittama henkilön pätevyyden osoituskeino, jolla esitetään henkilön tietojen ja taitojen riittävyys ko. tehtävään (Rissanen 2009)
Menettely	toiminnon tai prosessin määritelty suoritustapa (SFS-EN ISO 9000)
Laadunhallinta	koordinoidut toimenpiteet organisaation suuntaamiseksi ja ohjaamiseksi laatuun liittyvissä asioissa (SFS-EN ISO 9000)
Laatujärjestelmä	yhteisesti sovittu tapa toimia, esimerkiksi laatukäsikirja, seuranta ja kehittäminen
Laadunvalvonta	toimenpiteet, jotka materiaalin valmistajan tai työn suorittajan tulee suorittaa materiaalin tai oman työn laadun takaamiseksi (Peggs 2004)
Laadunvarmistus	kolmannen osapuolen suorittamia toimenpiteitä, joilla taataan, että vastaanotettava materiaali tai työ vastaa hankkeen tai valmistajan antamia spesifikaatioita (Peggs 2004)
Pätevyyden osoittaminen	prosessi, jonka avulla osoitetaan kyky täyttää määritellyt vaatimukset (SFS-EN ISO 9000)
Pätevyys	osoitetut henkilökohtaiset ominaisuudet ja osoitettu kyky soveltaa tietoja ja taitoja (SFS-EN ISO 9000)
Spesifikaatio	asiakirja, jossa esitetään vaatimukset
Sertifiointi	puolueettoman tahon antama kirjallinen varmennus (Rissanen 2009)
Todentaminen	objektiiviseen näyttöön perustuva varmistuminen siitä, että määritellyt vaatimukset on täytetty (SFS-EN ISO 9000)

LYHENTEET

ABT	tiivis asfalttibetoni
AC	Attestation of Conformity, vaatimustenmukaisuusmenetelmä
AIC	Approved Installation Contractors (USA)
AVI	Aluehallintovirasto
AWS	The American Welding Society
BAM	Federal Institute for Materials and Testing (Saksa)
BGA	The British Geomembrane Association
BY	Suomen Betoniyhdistys ry
CQA	construction quality assurance, rakentamisen laadunvarmistus
CQA-ICP	The Construction Quality Assurance – Inspector Certification Program (USA)
CQC	construction quality control, rakentamisen laadunvalvonta
CSPE	chlorosulfonated polyethylene, klorosulfanoitu polyeteeni
CSWIP	The Certification Scheme for Personnel (UK)
CSWTO	The Certification Scheme for Welder Training Organisations (UK)
CWT	Certified Welding Technician (USA)
DOR	asfaltinpäällysteen tiheyden määrittämiseen käytetty laite
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EPDM	ethylene propylene diene monomer, eteenipropeenikumi
ESCR	environmental stress crack resistance, jännityssäröilykestävyys
ET	evapotranspiraatio
FISE	Finnish Sertifiointi Oy
fPP	flexible polypropylene, joustava polypropeeni

GBR-B	synteettinen bitumigeoeriste (eli bitumikermi)
GBR-C	synteettinen bentoniittigeoeriste (eli bentoniittimatto)
GBR-P	synteettinen muovigeoeriste (eli geomembraani)
GCI	The Geosynthetic Certification Institute (USA)
GCL	geosynthetic clay liner, bentoniittimatto
GDA	Deutsche Gesellschaft für Geotechnik
GRI	The Geosynthetic Research Institute (USA)
GSi	The Geosynthetic Institute (USA)
GF	geofilmi
GM	geomembraani
GT	geotekstiili
HDPE	high density polyethylene, korkeatiheyksinen polyeteeni
IAGI	The International Association of Geosynthetic Installers (USA)
k	vedenläpäisevyys
KBVA	kumibitumivaluASFalti
LDPE	low density polyethylene, matalatiheyksinen polyeteeni
LLDPE	linear low density polyethylene, lineaarinen matalatiheyksinen polyeteeni
OIT	oxidative induction time, hapettumisen käynnistymisaika
PDM	pavement density meter
PP	polypropylene, polypropeeni
PE	polyethylene, polyeteeni
PET	polyethylene terephthalate, polyteenitereflaatti (polyestერი)
QA	quality assurance, laadunvarmistus
QC	quality control, laadunvalvonta

RIA	Rakennusinsinöörit ja –arkkitehdit RIA ry
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry
RKL	Rakennusmestarit ja –insinöörit AMK RKL ry
SULVI	Suomen LVI-liitto SuLVI ry
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TRI	Texas Research Institute
TWI	The Welding Institute (UK)
TWICL	The Welding Institute Certification Ltd. (UK)
VLDPE	very low density polyethylene, erittäin matalatiheyksinen polyeteeni
VNp 861/97	Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 4.9.1997/861
YM	Ympäristöministeriö
XRD	x-ray diffraction, röntgendiffraktio

1. JOHDANTO

Kaatopaikan tiivistysrakenne on yksi vaativimmista ja toiminnallisesti tärkeimmistä rakenteista kaatopaikkarakentamisessa. Kaatopaikan pohjarakenteen tärkein tehtävä on suojata ympäristöä ja etenkin pohjavettä jätetäytöstä suotautuvia haitallisia päästöjä vastaan. Haasteelliseksi rakentamisen tekee se tosiasia, että pohjarakenteita on hyvin vaikea korjata sen jälkeen, kun kaatopaikka on otettu käyttöön. Pinnan tiivistyskerroksen tarkoitus puolestaan on estää pintavesien suotautuminen jätetäyttöön. Lisäksi sillä tehostetaan kaatopaikkakaasun talteenottoa ja vähennetään kaatopaikkakaasujen ympäristöhaittoja. Tiivistysrakenteilta vaaditaan alhaista veden ja kaasujen läpäisevyyttä, kestävyyttä työnaikaisia ja käytön aikaisia mekaanisia rasituksia vastaan, pitkäaikaiskestävyyttä fyysisiä, kemiallisia ja biologisia rasituksia vastaan, yhteensopivuutta muiden rakenteiden kanssa, rakennettavuutta sekä laadunvalvontatoimenpiteiden toteutettavuutta ja luotettavuutta. (Tammirinne et al. 2004a)

Kaatopaikkahankkeen osapuolilta vaaditaan vankkaa osaamista ja ymmärtämystä materiaalivalintojen ja työmenetelmien sopivuudesta kohteeseen. Kokonaislaadunvarmistamiseksi yksittäisten osien tulee täyttää niille asetetut laatuvaatimukset. Kohteen suunnitteluun, rakentamiseen ja lopputuotteen laadunvarmennukseen osallistuvat rakennuttaja, suunnittelija, urakoitsijat ja riippumaton laadunvalvoja (SYKE 2002). Laadunvarmistusta tehdään myös viranomaisen toimesta, vaikka nykyään viranomaisvalvontaa on myös siirretty riippumattoman laadunvalvojan toimenkuvaan resurssien riittämättömyyden takia (Sipilä 2010). Riippumaton laadunvalvoja neuvoa ja ohjaa rakennuttajaa ja sen edustajia, valvoo urakoitsijan toimintaa sekä on yhteydessä viranomaisiin. Riippumattoman laadunvalvojan toimintakenttä on laaja ja vastuu suuri, joten asiantuntemus, koulutus ja kokemus ovat avaintekijöitä laadunvalvojaa valittaessa. Tulee myös muistaa, että riippumaton laadunvalvoja edustaa suuremman yleisön etua valvoessaan, että kaatopaikan rakennustyö on suunnitelmien ja lupaehtojen mukainen sekä täyttää sille asetetut vaatimukset. Riippumattoman laadunvalvojan pitää olla lupaviranomaisen hyväksymä asiantuntijataho, joka ei ole kyseisen kohteen suunnittelija tai toteuttaja ja jonka asiantuntemus on tunnustettu. Asiantuntemuksen osoittaminen on kuitenkin osoittautunut ongelmalliseksi. Kärjistetysti voidaan sanoa, että melkein kuka tahansa on voinut toimia riippumattomana laadunvalvojana. Nämä ovat tietenkin yksittäistapauksia mutta herättävät kuitenkin ajatuksen siitä, että riippumattomilla laadunvalvojilla tulisi olla tietty sertifiointijärjestelmä, jolla todennetaan henkilön pätevyys tehtävään.

Suomessa ei ole olemassa riippumattomien laadunvalvojien sertifiointijärjestelmää, vaan pätevyys on todettu tapauskohtaisesti, vaikka ympäristöluvissa usein edellytetäänkin pätevän henkilön käyttöä. USAssa kaatopaikkarakenteiden laadunvalvojille on organisoitu oma koulutus ja sertifiointijärjestelmä (Construction Quality Assurance Inspector Certification), jonka järjestää The Geosynthetic Institute (GSI). Järjestelmä keskittyy erityisesti geomembraanien ja mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamisen aikaiseen laadunvarmistukseen.

Suomessa vaaditaan jo yleisesti sertifioidujen hitsaajien käyttöä kaatopaikkojen tiivistysrakenteiden geomembraaniasennuksissa. Hitsaajien sertifiointikoulutusta järjestää USAssa The International Association of Geosynthetic Installers (IAGI), Englannissa The Welding Institute (TWI) ja Saksassa TÜV Rheinland Group. Suomessa hitsaajien sertifiointikoulutusta ei ole tähän mennessä järjestetty, mutta monilla muilla aloilla järjestetään pätevyyteen johtavia koulutuksia. Henkilösertifiointiohjelmia on esimerkiksi talo- ja maapuolen valvojille, rakennuttajille sekä toteuttajaosapuolille. Näitä henkilösertifikaatteja myöntävät muun muassa FISE ja VTT. Ympäristönäyteenottajien sertifiointissa on oma sertifiointielin. Luonnollista siis olisi, että myös riippumattomille valvojille olisi oma henkilösertifiointiohjelma. Sertifiointijärjestelmän etuina voisi olla, että kaatopaikan rakennuttajan olisi helpompi valita pätevöitynyt riippumaton laadunvalvoja ja viranomainen voisi luottaa siihen, että hanke etenee asiantuntevissa käsissä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistuksen ja -valvonnan koulutuksen tarvetta Suomessa. Tutkimus toteutetaan sähköisillä kyselytutkimuksilla, jotka lähetetään rakennuttajille, urakoitsijoille ja suunnittelijoille. Lisäksi tarkastellaan mahdollisia vaihtoehtoisia malleja koulutuksen organisoinnille ottaen huomioon olemassa olevat henkilösertifiointiohjelmat. Kirjallisuudessa paneudutaan tarkemmin tiivistysrakenteiden erityisominaisuuksiin ja laadunvarmistukseen. Samalla käsitellään laatuun liittyviä käsitteitä, joiden käyttö kirjallisuudessa on hieman kirjavaa.

2. KAATOPAIKAN TIIVISTYSRAKENTEIDEN SUUNNITTELUUN VAIKUTTAVIA ASIOITA

2.1. Lainsäädännön vaatimuksia

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 4.9.1997/861 (VNp 861/97 ja sen muutokset) säätelee kaatopaikkatoimintaa ja kaatopaikkojen rakentamista. VNp 861/97 esittää rakenteille vähimmäisvaatimukset. Muunlaisen rakennerratkaisun hyväksyminen edellyttää osoitusta siitä, että valittu ratkaisu johtaa enintään samansuuruiseen ympäristön kuormitukseen kuin VNp:n mukainen rakenne. Hyväksyminen todetaan kaatopaikan lupakäsittelyssä. (SYKE 2002)

Kaatopaikan tiivistysrakenteet voidaan jakaa pohjan tiivistysrakenteeseen (pohjarakenne) ja pinnan tiivistysrakenteeseen (pintarakenne).

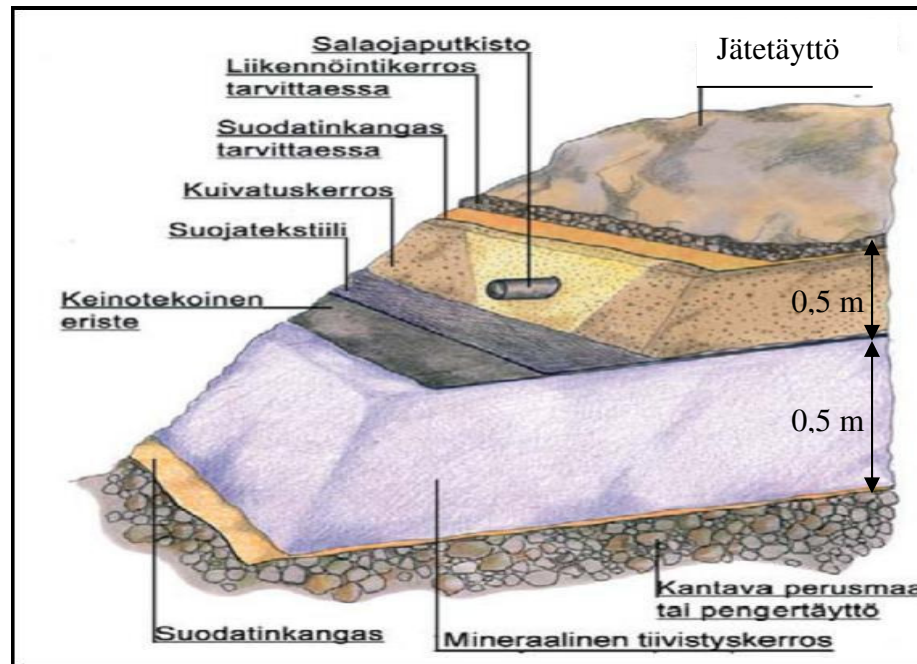
Pohjarakenteen tehtävänä on minimoida haitta-aineiden pääsy ympäristöön ja tehostaa suotoveden keräilyä (SYKE 2002). Pohjarakenteen on toimittava koko suunnitellun käyttöajan eli rakentamisen-, käyttö- ja jälkihoitoajan. Suunnittelussa on huomioitava fyysiset rasitukset, kuten täyttökerroksen ja pintarakenteen paino, kemialliset rasitukset eli suotautuvien haitta-aineiden vaikutukset sekä biologiset rasitukset, jotka syntyvät hajoamisprosessien seurauksena.

Lainsäädännön tarkoituksena on estää haitta-aineiden pääsy ympäristöön kaatopaikan käytön ja jälkihoidon ajan eli noin 50 vuotta. Tämän jälkeen pintarakenne ja luontainen geologinen este rajoittavat päästöjä. Mikäli luontainen geologinen este puuttuu, on pohjan tiivistysrakenteen toimittava suunnitellusti satoja vuosia. (Sipilä 2010)

VNp 861/97:ssä asetetaan kaatopaikan pohjalle seuraavat vaatimukset:

- kaatopaikan maaperä tulee olla kantava
- yhdistetty suojavaikutus:
 - a) ongelmajätteen kaatopaikalla vedenläpäisevyys $k \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s ja kerroksen paksuus ≥ 5 m
 - b) tavanomaisen jätteen kaatopaikalla $k \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s ja paksuus ≥ 1 m
 - c) pysyvän jätteen kaatopaikalla $k \leq 1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s ja paksuus ≥ 1 m.

Kaatopaikan maaperää on parannettava rakennetulla täydentävällä tiivistyskerroksella vastaamaan yllämainittuja arvoja, jos vedenläpäisevyys- tai paksuuskriteerit eivät täyty. Rakennetun tiivistyskerroksen paksuuden on oltava vähintään 0,5 m tavanomaisen ja pysyvän jätteen kaatopaikoilla ja 1 m ongelmajätteen kaatopaikoilla. Maaperän tai rakennetun tiivistyskerroksen päälle on asennettava kaatopaikan tiivistämiseen tarkoitettu keinotekoinen eriste ja tämän päälle kuivatuskerros, jonka paksuus on $\geq 0,5$ m. Esimerkki VNp 861/97:n mukaisesta pohjarakenteesta on esitetty kuvassa 2.1.



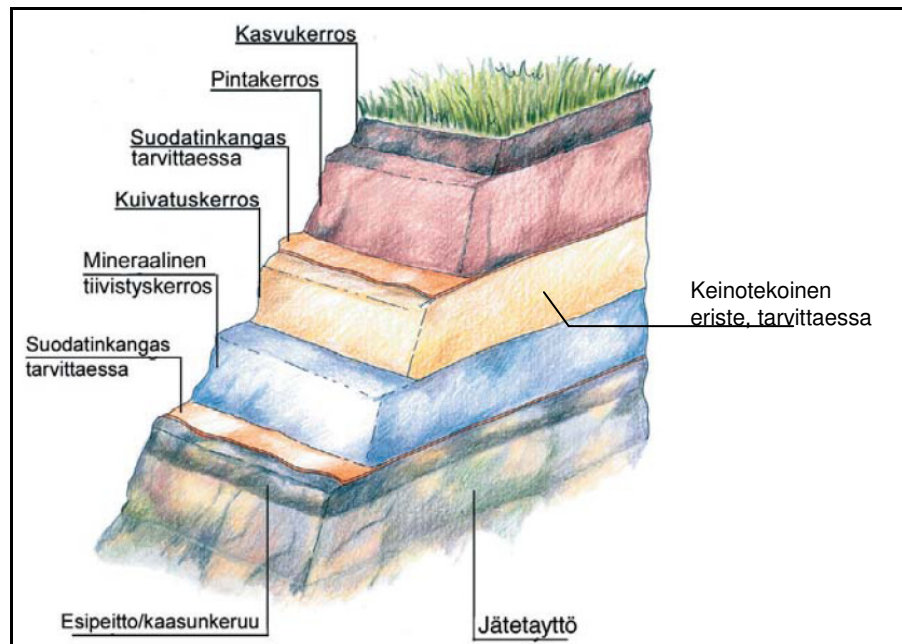
Kuva 2.1 Esimerkki pohjarakenteesta tavanomaisen jätteen kaatopaikoilla. (Ramboll 2007)

Pintarakenteen tehtävänä on estää sade- ja pintavaluntavesien imeytyminen jätemaasaan ja minimoida näin muodostuvien suotovesien määrää. Lisäksi tiiviillä pintarakenteella tehostetaan kaasun talteenottoa ja vähennetään haju-, pöly-, lintu- ja maisemahaittoja. Pintarakenteen tulee täyttää samat toiminnalliset vaatimukset kuin pohjarakenteen lukuun ottamatta kemiallista kestävyyttä suotovesien suhteen. (SYKE 2008)

Lainsäädännössä pintarakenteen osalta ei ole esitetty vedenläpäisevyysvaatimuksia, vaan ainoastaan kerrospaksuudet seuraavien rakenteiden osalta ja kerrosjärjestys (VNp 861/97):

- pintakerros ≥ 1 m
- kuivatuskerros $\geq 0,5$ m
- tiivistyskerros $\geq 0,5$ m
- keinotekoinen eriste (ongelmajätteen kaatopaikoilla vaaditaan, tavanomaisen jätteen kaatopaikalla tapauskohtaisesti)
- kaasunkeräyskerros (tavanomaisen jätteen kaatopaikoilla vaaditaan, ongelmajätteen kaatopaikoilla tapauskohtaisesti).

Rakennejärjestystä voidaan muuttaa tapauskohtaisesti. Esimerkki pintarakenteesta on esitetty kuvassa 2.2.



Kuva 2.2 Esimerkki kaatopaikan pintarakenteesta. (Ramboll 2007)

Sipilä (2010) haastatteli diplomityössään riippumattomia laadunvalvojia ja ympäristöhallinnon edustajia selvittäen tämän hetkisiä ongelmia muun muassa lainsäädännön osalta. Yleisesti koettiin, että lainsäädännön vaatimukset pohjarakenteen osalta ovat asianmukaiset, kun taas pintarakenteista oltiin sitä mieltä, että ne ovat ylimitoitettuja. Ongelmana pidettiin ympäristölupahakemusprosessin eriaikaisuutta kaatopaikan rakentamiseen nähden. Suunnittelijat joutuvat käytännössä suunnittelemaan lupahakemukseen materiaaleilla, joita vielä ei ole tiedossa. Toiseksi ongelmaksi koettiin toiminnallisten numeeristen vaatimusten puuttuminen. Ruotsalaisissa määräyksissä vaaditaan pintarakenteiden osalta, kuinka paljon rakenteiden läpi saa suotautua vettä (ongelmajätteen kaatopaikalla vuodessa korkeintaan 5 l/m^2 ja tavanomaisen jätteen kaatopaikalla vuodessa korkeintaan 50 l/m^2 (Naturvårdsverket 2008)). Toiminnallisten vaatimusten puute vaikeuttaa tiivistysrakennemateriaalien vastaavuuden osoittamista, mikä on ongelma etenkin jätemateriaalien kuten esimerkiksi teollisuuden sivutuotteiden kohdalla. Kolmanneksi ongelmaksi todettiin ympäristölupakeskusten erilaiset tulkinnat ja käytännöt eri alueilla. Toivottavasti lupapäätösten keskittyminen vuoden 2010 alusta aluehallintovirastoihin (AVI) yhtenäistää lupapäätösten kirjoa.

2.2. Standardien vaatimuksia

Standardien tarkoitus on lisätä tuotteiden yhteensopivuutta ja turvallisuutta sekä suojella kuluttajaa ja ympäristöä. Lisäksi standardeilla helpotetaan kotimaista ja kansainvälistä kauppaa. Standardisoinnin ansiosta tuotteet, palvelut ja menetelmät soveltuvat niille tarkoitettuun käyttöön ja olosuhteisiin. Standardisoinnin tärkeimpiä tehtäviä on vähentää merkityksettömiä erilaisuuksia tuotteiden välillä ja varmistaa, että järjestelmät sopivat toisiinsa ja pystyvät toimimaan yhdessä. Standardit ovat suunnittelijalle työkalu, joiden avulla hän pystyy määrittämään materiaaalilta vaadittavat ominaisuudet ja testausmenetelmät. (SFS 2005)

Geosynteettisten tuotteiden vaatimuksia ohjaavat eurooppalaiset standardit. Kaatopaikan rakentamisessa käytettäville bentoniittimatoille ja geomembraaneille esitetään vaatimukset standardissa SFS-EN 13493 ”*Synteettiset georisteet. Toiminnalliset vaatimukset kiinteän jätteen varastojen ja kaatopaikkojen rakentamisessa.*” SFS-EN 13493 standardissa geosynteettiset eristeet ovat jaettu kolmeen luokkaan, jotka ovat:

GBR-C = synteettinen bentoniittigeoeriste (eli bentoniittimatto)

GBR-P = synteettinen muovigeoeriste (eli geomembraani)

GBR-B = synteettinen bitumigeoeriste (eli bitumikermit)

SFS-EN 13493 mukaiset geosynteettisten eristeiden ominaisuudet ja testausmenetelmät on esitetty seuraavassa taulukossa (*taulukko 2.1*). Taulukossa käytetyt merkinnät A, H ja S tarkoittavat seuraavaa:

A= kaikissa sovelluksissa vaadittu testaus (tulee kysymykseen kaikissa käyttöolosuhteissa, mutta ei ole harmonisoitu)

H = harmonisoidun sovellusstandardin edellyttämä testaus

S = tietyissä käyttötapauksissa vaadittu testaus

Taulukko 2.1 SFS-EN 13493: 2005. *Synteettiset georisteet. Toiminnalliset vaatimukset kiinteän jätteen varastojen ja kaatopaikkojen rakentamisessa. Tehtävät, tehtäviin liittyvät ominaisuudet ja käytetyt testimenetelmät*

Nro	Testattava ominaisuus	Synteettinen geoeriste			Testimenetelmät		
		GBR-P	GBR-B	GBR-C	GBR-P	GBR-B	GBR-C
	Fysikaaliset ominaisuudet						
1	Paksuus	A	A	A	EN 1849-2	EN 1849-1	EN ISO 9863-1
2	Massa per pinta-ala-yksikkö	A	A	A	EN 1849-2	EN 1849-1	EN 14196
	Hydrauliset ominaisuudet						
3	Vedenläpäisevyys	H	H	H	prEN 14150:2001	prEN 14150:2001	ASTM D 5887

Nro	Testattava ominaisuus	Synteettinen georiste			Testimenetelmät		
		GPR-P	GPR-B	GPR-C	GPR-P	GPR-B	GPR-C
	Mekaaniset ominaisuudet						
4	Kaasun läpäisevyys	H	H	S	ASTM D1434	ASTM D1434	Uusi menetelmä
5	Paisunta-indeksi	-	-	A	-	-	ASTM D5890
6	Vetolujuus ¹⁾	H	H	H	EN ISO 527-1 ja -3 tai -4	EN 12311-1	EN ISO 10319
7	Venymä ¹⁾	A	A	A	EN ISO 527	EN 12311-1	EN ISO 10319
8	Staattinen puhkaisulujuus	H	H	H	EN ISO 12236	EN ISO 12236	EN ISO 12236
9	Puhkaisulujuus ²⁾	S	S	S	prEN 14151:2001	prEN 14151:2001	prEN 14151:2001
10	Repäisylujuus ³⁾	S	S	-	ISO 34-1	EN12310-1	-
11	Kitka suorassa leikkauksessa ⁴⁾	S	S	S	EN ISO 12957-1:2004	EN ISO 12957-1:2004	EN ISO 12957-1:2004
12	Kitka kaltevalla tasolla	S	S	S	EN ISO 12957-2:2004	EN ISO 12957-1:2004	EN ISO 12957-1:2004
	Lämpö-ominaisuudet						
13	Käyttäytyminen matalassa lämpötilassa (taivutus)	S	S	-	EN-495-5	EN 1109	
14	Lämpölaajeneminen	A	A	-	ASTM D696	-	-
15	Säältäminen ⁵⁾	H	H	S	EN 12224	EN 12224	EN 12224
16	Mikro-organismit	A	A	A	EN 12225	EN 12225	EN 12225
17	Hapettuminen ⁶⁾	H	H	H	EN 14575	EN 14575	EN ISO 13438:2004
18	Jännitysäröily ⁷⁾	H	-	S	ASTM D5397	-	ASTM D5397
19	Liukeneminen (vesiliukoisuus)	A	A	A	EN 14415	EN 14415	EN 14415
20	Kemikaalien kestävyys	A	A	A	EN 14414	EN 14414	EN 14414
21	Kastuminen/kuivuminen	-	-	S	-	-	prCEN/TS 14417:2002
22	Jäätyminen/sulamminen	-	-	S	-	-	prCEN/TS 14418:2002
23	Juurien tunkeutuminen	S	S	S	prCEN/TS 14416:2002	prCEN/TS 14416:2002	prCEN/TS 14416:2002

1) GBR-P-materiaalilla käytä standardin EN ISO 527 osia 1 ja 3, koekappaletyyppejä 5 nopeudella 100 mm/min.

2) Sovelletaan GBR-C materiaalille vain jos se sisältää muovisen tai bitumisen sulkuelementin

- 3) GBR-P materiaalilla käytä menetelmää B, kulmakoe kappaletta ilman lovea nopeudella 50 mm/min
- 4) GBR- materiaalien sidoslujisuuden määrittäminen saattaa edellyttää sisäistä leikkaus- tai reppäisy-lujuuskoetta
- 5) GBR-C: ks. 4.3.7
- 6) GBR-C-eristeiden geotekstiilelementteihin ja lujitelankoihin sovelletaan standardia EN ISO 13438
- 7) GBR-C: Sovellettavissa vain GBR-C:n muoviseen eriste-elementtiin

Standardissa annetaan vaatimuksia synteettisten georisteiden valmistajalle ominaisuuksien esittämisestä, arvojen todentamisesta, alkutestauksesta, tehtaan sisäisestä laadunvalvonnasta ja tarkastuksista. Lisäksi valmistajan tulee selkeästi ja pysyvästi merkitä synteettinen georiste standardissa EN ISO 10320 määritellyillä tiedoilla.

SFS-EN 13493 standardin mukaan geosynteettiset tuotteet tulisi varustaa CE-merkinnällä tavaran vapaan liikkumisen varmistamiseksi Euroopan Unionin alueella. CE-merkinnällä valmistaja vakuuttaa, että tuote täyttää sitä koskevien Euroopan yhteisön uuden menettelyn mukaisten direktiivien asettamat vaatimukset (SFS 2004). Tuotteiden tulisi täyttää AC-luokkien eli vaatimustenmukaisuusmenetelmäluokka 2+, joka tarkoittaa, että ulkopuolinen laitos kontrolloi valmistajan laatu-järjestelmän mutta valmistaja vastaa tuotteiden laadusta ja dokumenttien oikeellisuudesta (kuva 2.3). Tällä hetkellä CE-merkintä ei ole pakollinen kaikille rakennustuotteille. (Tammirinne et al. 2004a)

Vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa käytetyt menetelmät							
KONTROLLIKEINO	VAATIMUSTENMUKAISUUSMENETELMÄT (AC-luokat)						
	1 +	1	2 +	2	3	4	
Tuotteen tyyppitestaus	▲ V tai L	▲ V tai L	●	●	●	●	▲ L
Tehtaalta otettujen näytteiden testaus	●	●	●		●		
Tehtaalta, markkinoilta tai rakennuspaikalta otettujen pistokoenäytteiden testaus	▲ V tai L						
Tehtaan sisäinen laadunvalvonta	●	●	●	●	●	●	●
Tehtaan ja sen sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastus	▲ V tai T	▲ V tai T	▲ V tai T	▲ V tai T	▲ V tai T	▲ V tai T	
Tehtaan sisäisen laadunvalvonnan jatkuva valvonta, arviointi ja hyväksyminen	▲ T	▲ T	▲ T	▲ T			

● = valmistaja ▲ = arviointilaitos (puolueeton laitos, joka suorittaa tuotteiden varmistamis-, tarkastus- tai testaustehtäviä) V = varmentamiselin T = tarkastuselin L = testauslaboratorio

Kuva 2.3 CE-merkinnän vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa käytettävät menetelmät (SFS 2004)

Sovellettavan geotekstiilistandardin valinta riippuu materiaalin käyttötarkoituksesta ja kohteesta. Seuraavassa taulukossa on esitetty, miten oikea geotekstiilistandardi tulisi valita (taulukko 2.2). Tästä taulukosta valitaan ensin käyttötarkoitus pystysuorasta sarakkeesta 1. Tämän jälkeen tarkastetaan, onko kysymykseen tuleva käyttökohde mainittu sarakkeiden 3...6 vaakasuoralla rivillä 1. Mikäli käyttöä ei ole mainittu, käytetään sarakkeessa 2 mainittua standardia. Mikäli käyttökohde on mainittu, tulee käyttää ensimmäisen sopivan rivin ja ensimmäisen sopivan sarakkeen leikkauskohdassa mainittua standardia (vaakasuoralla rivillä 1 sarakkeilla 3...6).

Taulukko 2.2 Oikean geotekstiilistandardin valinta (SFS-EN 13257:2001)

	1	2	3	4	5	6
1	Käyttötarkoitus	Standardi	Kuivatus-järjestelmät	Eroosio-suojaus-järjestelmät	Tunnelit ja maanalaiset tilat	Maanrakennustyöt, perustukset ja tukirakenteet
2	Tiet ja muut liikennöidyt alueet	EN 13252	EN 13253	EN 13253	EN 13256	Jos $H < H_c$: EN 13249 Jos $H > H_c$: EN 13251
3	Rautatiet	EN 13250				Jos $H < H_c$: EN 13249 Jos $H > H_c$: EN 13251
4	Altaat ja padot	EN 13254				EN 13251
5	Kanavat	EN 13255				
6	Kaatopaikat	EN 13257				
7	Jätealtaat	EN 13265				
8	Tunnelit ja maanalaiset tilat	EN 13256			Ei sovellu	
9	Maanrakennustyöt, perustukset ja tukirakenteet	EN 13251	Ei sovellu	Ei sovellu		

Määritelmät: H= rakenteen korkeus, H_c = tiessä, ja muilla liikennöidyillä alueilla: korkeus, jossa liikennekuorma on määräävä; rautateissä: kiskojen pohjan ja rakennuspohjan välinen korkeusero

Kaatopaikkojen osalta geotekstiileiltä vaadittavat ominaisuudet ja testausmenetelmät on esitetty standardissa SFS-EN 13257 ”Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Toiminnalliset vaatimukset kaatopaikkojen rakentamisessa”. Käyttötarkoituksesta riippuen eri geotekstiileiltä vaaditaan eri testauksia (taulukko 2.3). Merkinnot H, A ja S ovat selitetty edellisessä kappaleessa georisteiden yhteydessä.

Taulukko 2.3 Kaatopaikkojen rakentamisessa käytettävien geotekstiilien ja vastaavien tuotteiden vaatimukset, niiden riippuvuus käyttötarkoituksesta sekä käytettävät testimenetelmät (SFS-EN 13257:2001)

Ominaisuus	Testimenetelmä	Toiminto			
		Suodataminen	Erottaminen	Lujittaminen	Suojaus
1. Vetolujuus	EN ISO 10319	H	H	H	H
2. Murtovenymä	EN ISO 10319	A	A	H	H
3. Saumojen ja liitosten vetolujuus	EN ISO 10321	S	S	S	S
4. Staattinen puhkaisu-lujuus (CBR-puristuskoe) ^{2,3}	EN ISO 12236	S	H	H	1)
5. Dynaaminen tunkeutumsvastus	EN 918	H	A	H	H
6. Kitkaominaisuudet	prEN ISO 12957-1:1997 ja prEN ISO 12957-2:1997	S	S	A	S
7. Viruma vetokokeessa	EN ISO 13431	-	-	A	-
8. Vaurioituminen asennettaessa	ENV ISO 10722-1	A	A	A	A
9. Suojaustehokkuus	prEN 13719:1999	-	-	-	H
10. Merkitsevä aukkoko	EN ISO 12956	H	A	A	-
11. Vedenläpäisevyys kohtisuorassa tasoa vastaan	EN ISO 11058	H	A	A	-
(12.) Pitkäaikaiskestävyys	Liite B	H	H	H	H
(12.1.) Säänkestävyys	EN 12224	S	S	S	S
(12.2) Kemikaalien kestävyys	EN ISO 12960 tai ENV ISO 13438 ENV 12447	S	S	S	S
(12.3) Mikrobiologinen kestävyys	EN 12225	S	S	S	S

- 1) kts. suojaustehokkuus
- 2) tätä testiä ei ehkä voida suorittaa erälle tuotetyypeille kuten sidotuille geoverkoille
- 3) jos mekaanisilla ominaisuuksilla (vetolujuus ja staattinen puhkaisulujuus) on tässä taulukossa koodi H, valmistajan tulee esittää tiedot niistä molemmista. Vain toisen ilmoittaminen spesifikaatiossa riittää (joko vetolujuus tai staattinen puhkaisulujuus)

Pohjoismainen NorGeoSpec 2002 spesifikaatio ohjaa tavanomaisten suodatin- ja erottamistarkoituksissa käytettyjen suodatinkankaiden laatuvaatimuksia. NorGeoSpec koostuu kahdesta osasta: tuotteen sertifiointista ja tuotteen soveltuvuudesta käyttöolosuhteisiin. NorGeoSpec pohjautuu standardiin SFS-EN 13249 ”Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Toiminnalliset vaatimukset teiden ja muiden liikennöityjen alueiden rakentamisessa (lukuun ottamatta rautateiltä ja asfaltilla sidottuja kerroksia)”. NorGeoSpec spesifikaatio jaottelee suodatinkangasluokat N1-N5 käyttöolosuhteiden mukaan. Suodatinkangasluokan valinta riippuu pohjamaan kantavuudesta, täyttömateriaalin maksimiraekoosta ja rakentamisolosuhteista. Suodatinkankaan tulee täyttää edellä mainitun vaatimustenmukaisuuden osoittamismenettelyn 2+ vaatimukset.

Säänkestävyyteen ja pitkäaikaiskestävyyteen NorGeoSpec ei ota kantaa, vaikka se on esitetty standardissa EN 13249, joten siitä on oltava erillinen maininta käyttöluokituksen lisäksi (Leppänen 2010). Kaatopaikkarakentamisessa suositellaan käytettäväksi N3-käyttöluokan kangasta erottamiseen (Tammirinne et al. 2004a).

Työmaalla geosynteettisten tuotteiden laadunvalvonnan apuvälineenä voidaan käyttää geotekstiileille valmistettua teknistä raporttia CEN/TR 15019 ”*Geotextiles and geotextile-related products. On-site quality control*”.

2.3. Kuormitusolosuhteet ja elinikä

Kaatopaikoilla jätteet hajoavat aiheuttaen kaasua- ja vesipäästöjä. Kaasupäästöt ovat lähinnä metaania ja hiilidioksidia. Kaatopaikan päästöt ja riskit päästöjen muodostumiseen ovat pitkäaikaisia ja muuttuvat kaatopaikan elinkaaren myötä. Kaatopaikan elinikä voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen (National Research Council 2007):

- rakennusaikaiseen eli lyhytaikaiseen
- käytön aikaiseen (aktiivivaihe) eli keskipitkään
- sulkemisen jälkeiseen eli pitkäaikaiseen.

Kaatopaikan tiivistysrakenteita mitoitettaessa on huomioitava eri käyttövaiheiden aiheuttamat kuormat ja niiden vaikutus rakenteeseen. Kaatopaikan käytön ensimmäisten kuukausien aikana jätetäyttöä ei ole yleensä tarpeeksi, jotta voitaisiin kontrolloida sade- ja sulamisvesien johtamista suotoveden keräilyjärjestelmään. Suotoveden keräilyjärjestelmän virtaamat voivat olla käytön alussa suhteellisen suuria varsinkin kovien sadekuurojen jälkeen. Aktiivivaiheessa jätetäyttö peitetään päivittäin maakerroksella tai muulla vastaavalla päivittäisellä peitemateriaalilla. Sadanta suodattuu jätteen ja peittokerroksen läpi, jotka absorboivat ja vapauttavat osan kosteudesta hitaammin kuin sitä imeytyy. Suotovesien keräysjärjestelmään kertyvä vesimäärä vähenee, kun jätetäyttö vähitellen stabiloituu. Kaatopaikan tai kaatopaikan osan sulkemisvaiheessa pintarakenne rakennetaan paikalleen, jolloin sade- ja valuntavesien pääsy rakenteeseen estetään. (National Research Council 2007)

Tiivistysrakenteisiin kohdistuvat rasitukset voidaan jakaa mekaanisiin, ilmastollisiin, kemiallisiin ja biologisiin rasituksiin. Rasituslajit kohdistuvat tiivistysrakenteisiin ja niiden osiin ainakin jossakin tiivistysrakenteen elinkaaren vaiheessa (Tammirinne et al. 2004a). Alla olevassa taulukossa on esitetty tiivistysrakenteisiin kohdistuvat rasitukset kaatopaikan eliniän aikana (*taulukko 2.4*).

Taulukko 2.4 Kaatopaikan tiivistysrakenteisiin kohdistuvat rasitukset rakentamisen, jätteen täytön ja jälkihoidon (pintarakenteen käyttövaiheen) aikana. Rasitusten merkittävyys kasvaa + merkkien lukumäärän kasvaessa. (Tammirinne et al. 2004a, modifioitu)

RAKENNE	RASITUS	TYÖNAIKAINEN	TÄYTÖN-AIKAINEN	JÄLKIHOITOVAIHE (PINTARAKENTEELLA KÄYTTÖVAIHE)
Pintarakenne	Mekaaninen			
	liikennekuormat	+++		riippuu jälkikäytöstä
	pintakuormat			riippuu jälkikäytöstä
	painuma	++		+++
	erosio	+++		+
	Ilmastollinen			
	kuivuminen	+++		+++
	jäätyminen	+++		+++
	UV-säteily	++		
	Kemiallinen			
	kaasut			++
	Biologinen			
	mikro-organismit			+
	nisäkkäät			+
juuret			+	
Pohjarakenne	Mekaaninen			
	liikennekuormat	+++	+	
	pintakuormat		+++	++
	painuma		+++	++
	erosio	+++	+	
	Ilmastollinen			
	Kuivuminen	+++	+++	++
	jäätyminen	+++	+	
	UV-säteily	++		
	Kemiallinen			
	suotovesi		+++	++
	kemikaalit		+++	+
	kaasut		+	+
	Biologinen			
mikro-organismit		+++		
nisäkkäät		+		

Tarkasteltaessa vielä hieman yksityiskohtaisemmin yksittäisten komponenttien toimintaa voidaan niihin liittyvät riskit jakaa lyhytaikaisiin (rakentaminen ja käyttöönotto) ja pitkäaikaisiin (taulukko 2.5). Lyhytaikaiset riskit ovat lähinnä materiaalin kelpoisuuteen ja asennukseen liittyviä riskejä, kun taas pitkäaikaiset riskit liittyvät materiaalien toimintaan ja varsinaiseen pitkäaikaiskestävyyteen. (National Research Council 2007)

Taulukko 2.5 Kaatopaikan komponenttien (rakenneosien) toimintaan liittyviä riskejä (National Research Council 2007)

Tiivistysrakenteen komponentti	Toiminnan aikajana	
	Lyhytaikainen riski	Keskipitkän- ja pitkän aikavälin riskit
Luonnonmaatiivisteet	Viallinen materiaali, riittämätön tiivistys (tiiviyys ja/tai vesipitoisuus); kuivuminen; luiskastabiliteetti, lajittuminen	Kuivumisesta/paisumisesta johtuva halkeilu, jäätyminen/sulamminen, juurien tunkeutuminen, epätasainen painuminen, kemiallinen yhteensopimattomuus, jätetäytön ja luiskan stabiliteetti
Geomembraanit	Viallinen materiaali, rakentamisen aikaiset virheet, saumojen virheet	Reiät, stabiliteetti, hapettuminen, jännityssäröily, hajoaminen
Bentoniittimatot	Viallinen materiaali, saumojen irtoaminen	Kuivumisesta/paisumisesta johtuva halkeilu, jäätyminen/sulamminen, juurien tunkeutuminen, epätasainen painuminen, kemiallinen yhteensopimattomuus, luiskastabiliteetti, vahvistuksen hajoaminen (neulasidottu vahvistettu GCL), riittämätön hydrataatio (koteloitu GCL)
Rakeiset ja geosynteettiset kuivatuskerrokset	Riittämätön kapasiteetti, lajittuminen	Maan tunkeutumisesta johtuva tunkeutuminen, biologinen toiminta, mineraalinen saostuminen; salaojamatot herkkiä maa-aineksen ja geosynteettien tunkeumalle ja geoverkon ytimen virumalle, salaojamaton saumojen toiminta

Arvioitaessa potentiaalisia pitkäaikaisvaikutuksia täytyy kiinnittää huomiota haitta-aineiden kulkeutumiseen suhteessa kaatopaikan rakenteissa olevien osien eliniikään. Luultavimmin osat rikkoutuvat kaatopaikan rakenteissa eri aikaan. Herkimmät osat ovat suotovesien keräysjärjestelmä ja pohjarakenteen keinotekoinen eriste, koska ne molemmat ovat raskaimmin kuormitettuja sekä kemiallisten että biologisten rasitusten osalta. Lähestymistapaa yksittäisen komponentin kestävydestä tulisikin laajentaa tarkastelemaan, jossa tutkitaan koko systeemin toimintaa kaatopaikan eliniän aikana. Koko systeemin tulisi antaa haluttu suojaustaso kaatopaikan eliniäksi, eikä vain yksittäisen osan. (Rowe 2005)

Kaatopaikkahankkeen suunnittelijan on tiedostettava kaatopaikalla vallitsevat olosuhteet ja rakenteisiin kohdistuvat rasitukset. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan kaatopaikan pohja- ja pintarakenteisiin kohdistuvia rasituksia hieman yksityiskohtaisemmin.

2.3.1. Kaatopaikan pohjarakenteeseen kohdistuvat rasitukset

Kaatopaikan pohjarakenteeseen vaikuttavat lähinnä kemialliset, mekaaniset, ilmastolliset ja biologiset rasitukset.

Ilmastolliset rasitukset vaikuttavat pohjarakenteeseen pääasiassa rakentamisen aikana. Ilmastollisia rasituksia ovat kuivuminen ja kastuminen, jäätyminen ja UV-säteily.

Pohjarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen kastuminen ja kuivuminen voivat olla mahdollisia, mikäli tiivistyskerros on jätetty peittämättä (tai peitetty vain geomembraanilla) viikoiksi tai kuukausiksi rakentamisen jälkeen. Pitkällä aikavälillä yksi mahdollinen syy kuivumiseen voi olla jätetäytön tuottama lämmön nousu. Kuivuminen riippuu lämpötilagradientista, mineraalisen tiivistyskerroksen alapuolisen maan vedenpidätyskyvystä ja pohjavedenpinnan sijainnista (Rowe 2005). Rakentamisen aikaista kuivumista tulisi välttää ja huolehtia rakenteen suojaamisesta mahdollisimman nopeasti rakentamisen jälkeen.

Mineraalisissa tiivistysrakenteissa jäätyminen on yleensä rakenteen toimintaa pitkäaikaisesti vaarantava rasitus, joten rakenteen jäätyminen tulee estää. Rakentamisajankohdan valinnalla voidaan vaikuttaa jäätyminen estämiseen. Tarvittaessa voidaan käyttää routasuojaa esimerkiksi luiskissa, mikäli jätettä ei kerry ensimmäisenä talvena riittävästi suojaamaan rakennetta (Leppänen 2010).

UV-säteilyn haitallinen vaikutus kohdistuu rakentamisen aikana kaikkein eniten geosynteettisiin tuotteisiin (geomembraanit, geotekstiilit ja bentoniittimatot). UV-säteilyn haittavaikutuksia voidaan vähentää geosynteettisten tuotteiden nopealla peittämisellä ja asianmukaisella varastoinnilla työmaalla. Lisäksi voidaan vaatia käytettäviltä tuotteilta riittävää UV-säteilyn kestävyttä. (Tammirinne et al. 2004a)

Pohjarakenteeseen kohdistuvista mekaanisista rasituksista tärkeimpiä ovat epätasaiset painumat ja painumaerot. Pohjan tiivistysrakenteessa painumaerot aiheutuvat ensisijaisesti maapohjan epähomogeenisuudesta. Pintakuormien epätasainen jakaantuminen osaltaan aiheuttaa painumaeroja mutta tähän voidaan vaikuttaa esimerkiksi täyttösuunnitelmalla. Toisaalta pintakuorma ja tiivistysrakenteelle aiheutuva kuormitus voivat myös parantaa tiivistysrakenteen toimivuutta, sillä mineraaliseen tiivistysrakenteeseen syntyvien halkeamien vaikutus pienenee niiden umpeutuessa, kun tiivistysrakenteeseen kohdistuvaa jännitystä lisätään. Rakentamisen aikaisista liikennekuormista voi aiheutua mineraaliselle tiivistysmateriaalille ja geomembraanille rasituksia, jotka ylittävät sallitut venymäarvot. (Tammirinne et al. 2004a)

Kaatopaikan tiivistysrakenteen kemialliset rasitukset riippuvat lähinnä siitä, millaista jätettä kaatopaikalle sijoitetaan ja käytetäänkö rakennekerroksissa mahdollisesti jätemateriaaleja. Pohjarakenteeseen kohdistuu kemiallista rasitusta jätetäytön läpi suotautuneesta kaatopaikkavedestä. Suotovesi saattaa sisältää monia kemiallisia yhdisteitä, jotka voivat heikentää tiivistyskerroksen materiaalien, etenkin saven ja bentoniitin, ominaisuuksia. (Sipilä 2010)

Mineraalisen tiivistysrakenteen ja suotoveden yhteensopivuus tulee tarkastaa, sillä mitä korkeampi konsentraatio tai/ja ionien varaus epäorgaanisessa liuoksessa on, sitä suurempi on kemiallisen yhteensopimattomuuden mahdollisuus.

Tämän lisäksi alhainen pH voi lisätä kemiallisen yhteensopimattomuuden mahdollisuutta. pH:n laskiessa ionikonsentraatio kasvaa. Liuos, jonka pH on noin 2 voi liuottaa mineraalista tiivistyskerrosta aiheuttaen suhteellisen suurien huokosten muodostumisen, jotka taas lisäävät vedenläpäisevyyttä. Korkea pH > 12 voi liuottaa piimaata mutta tästä ei ole julkaistu yhtään esimerkkitapausta tiivistettyjen luonnonmaa-ainesten kohdalla. Myös korkeat pitoisuudet hydrofiilisiä orgaanisia yhdisteitä ja tietyt orgaaniset nesteet voivat aiheuttaa saven kutistumista, jos nesteen dielektrisyysvakio on huomattavasti alempi kuin veden. Kemialliseen yhteensopivuuteen vaikuttavat lisäksi maa-aineksen ominaisuudet ja fysikaaliset olosuhteet. (National Research Council 2007)

Potentiaalinen yhteensopimattomuus yleensä kasvaa, kun luonnonmaa-aineksen aktiiviteetti lisääntyy. Aktiiviteetti on plastisuusindeksi jaettuna savipartikkelien (< 2 µm) prosenttiosuudella. Aktiivisuus kuvastaa sekä maa-aineksen mineralogiaa (mitä korkeampi plastisuusindeksi, sitä korkeampi on aktiivisten savimineraalien määrä, esimerkiksi natriumsmektiittien), että pinta-alan vaikutusta (suuri pinta-ala kuvastaa suurta määrää pieniä savipartikkeleja). Tiivistysrakenteet, jotka sisältävät suuria määriä bentoniittia, voivat olla herkkiä tunkeutuvien nesteiden aiheuttamalle kemialliselle rapautumiselle, mikä johtaa kemialliseen yhteensopimattomuuteen ja lisääntyneeseen vedenjohtavuuteen. (National Research Council 2007)

Kemiallinen kulkeutuminen maa-aineksessa tapahtuu pääasiassa advektiolla ja diffuusiolla. Advektiivisen kulkeutumisen estämistä on jo pitkään pidetty tärkeänä, jotta voidaan minimoida suotoveden kulkeutuminen tiivistysrakenteen läpi. Esimerkiksi yhdistelmä rakenne, joka koostuu mineraalisesta tiivistyskerroksesta ja keinotekoisesta eristeestä muodostaa vettä läpäisemättömän rakenteen, jossa haitta-aineiden kulkeutuminen advektiolla on pyritty estämään mahdollisimman tehokkaasti.

Diffuusio on tärkeä haitta-aineiden kuljetusmekanismi kaatopaikoilla mutta tämän lisäksi diffuusio vaikuttaa biofilmien muodostumiseen kuivatuskerroksessa. Biofilmien muodostuminen vaikuttaa haitallisesti suotovesien keräysjärjestelmän toimivuuteen. (Rowe 2005)

Kolmas kulkeutumisprosessi eli mekaaninen dispersio johtuu veden virtauksesta ja väliaineen ominaisuuksista. Mekaaninen dispersio jätetään yleensä huomioimatta, koska sen vaikutus on hyvin pieni ohuissa ja vedenläpäisykyvyltään alhaisissa luonnonmaatiivisteissä. Advektion ja diffuusion lisäksi kemikaalien kulkeutumiseen maa-aineksessa vaikuttavat lukuisat fysikaalis-kemialliset prosessit (esimerkiksi adsorptio/desorptio, saostuminen/hajaantuminen, happo/emäs ja redox) ja biologiset prosessit. (National Research Council 2007)

Lämpötila vaikuttaa advektiiviseen ja diffuusiokulkeutumiseen sekä myös fysikaalis-kemiallis- ja biologisiin prosesseihin, jotka edesauttavat haitta-aineiden siirtymistä.

Monien kenttäkokeiden tulokset osoittavat, että diffuusio voi olla merkittävä kemikaalien kulkeutumisprosessi alhaisen vedenläpäisevyyden omaavien mineraalisten tiivistyskerrosten läpi. Toisaalta Munro et al. (1997) esittivät, että advektio ja mekaaninen dispersio olivat tärkeämpiä kuin diffuusio niissä tapauksissa, joissa kaatopaikalla ei ole pohjarakennetta ja kaatopaikka sijaitsee halkeilleen savisen moreenimaan päällä. Kulkeutumisprosessien perusteella nousee esille kaksi seikkaa, jotka täytyy huomioida kaatopaikkojen suotovesien ympäristövaikutusten minimoimiseksi: 1) pohjarakenteen läpäisemättömyys ja 2) kaatopaikan sijainti. (National Research Council 2007)

Biologiset rasitukset eivät yleensä heikennä mineraalisen tiivistyskerroksen toimintaa. Kaatopaikan pohjalla on anaerobiset olosuhteet, jolloin mikrobiologinen toiminta ja orgaanisten yhdisteiden hajoaminen on yleensä hitaampaa kuin hapellisissa olosuhteissa. Toisaalta kaatopaikan pohjalla ja yläosissa saattaa olla suotuisat olosuhteet eliöille johdun korkeammasta lämpötilasta ja lisääntyneestä ravinnon saannista. Tämä saattaa johtaa siihen, että maamateriaalissa tai vastaavassa tiivistysrakennemateriaalissa (esimerkiksi uusiomateriaalit) orgaaninen aines hajoaa normaalia nopeammin. Nykyisin käytetään mineraalisen tiivistyskerroksen päällä geomembraania, jolloin biologinen rasitus kohdistuu siihen mineraalisen tiivistyskerroksen sijaan. (Tammirinne et al. 2004a)

2.3.2. Kaatopaikan pintarakenteeseen kohdistuvat rasitukset

Käyttöiän aikana kaatopaikan pintarakenteeseen vaikuttavat pääasiassa mekaaniset, biologiset tai ilmastolliset rasitukset. Mekaanisista rasituksista vaarallisimpia ovat epätasaiset painumat ja painumaerot. Painumat aiheutuvat jätteen tiivistymisestä, hajoamisesta ja paikallisista vajoamisista. Suurin osa painumista tulisi olla tapahtunut ennen varsinaisen pintarakenteen rakentamista. Sekundääripainumat voivat kestää yli 50 vuotta riippuen jätteen orgaanisen aineksen määrästä, käsittelystä ja tiivistämisestä sekä saatavilla olevasta vedestä. Tasaiset painumat eivät häiritse pintarakennetta, kun taas paikalliset epätasaiset painumat tai vajoamat aiheuttavat taipumamuodonmuutoksia ja edelleen venymiä kaikentyypisiin pintatiivistysrakenteisiin. Muodonmuutosten suuruus ja siitä seuraava rasitus tulisi arvioida suunnitteluvaiheessa. Arvioinnin apuna voidaan käyttää kaatopaikan pintarakenteiden painumien historiatietoja ja tutkimustuloksia. Suunnitteluvaiheessa tulisi myös arvioida, kuinka paljon pintarakenteen aiheuttama kosteuden muutos vaikuttaa jätteen hajoamisen vähenemiseen. Suurinta todennäköistä venymää ja jännitystä pintarakenteessa tulisi verrata eri pintarakenteen komponenttien vetojännityksiin, jotka on saatu joko käytännöstä tai laboratoriokokeiden tuloksista. Sallittu venymäalue on noin 0,1 % ...0,4 % mineraalisella tiivistysrakenteella (CCL), 10 % saakka bentoniittimatolla (GCL) ja yli 20 % joustavalla geomembraanilla. Käytäntö on osoittanut, että paikallisten vajoamien säde voi olla 150 m luokkaa mineraaliselle tiivistysrakenteelle, 20 m bentoniittimatolle ja 5 m luokkaa joustavalle membraanille. (Witt 2009)

Kriittisin biologinen rasitus pintarakenteelle on juurien tunkeutuminen. Kuivilla ajanjaksoilla kasvien juurilla on kyky tunkeutua syvemmälle, jopa muutamia metrejä ja jopa läpi tiivistettyjen maakerrosten tai bentoniittimattojen pintageotekstiilien. Kasvien valinta on siis myös eräs tärkeä tekijä. Esimerkiksi Saksassa annetaan suositukset kasvukerrokselle esittäen myös odotetut juurien tunkeutumissyvyyydet eri kasveille. Juurien tunkeutumista voidaan estää asentamalla geomembraani mineraalisen tiivistyskerroksen päälle. Toinen menetelmä juurien tunkeutumista vastaan on paksun evapotranspiraatiokerroksen (ET) rakentaminen tiivistyskerroksen päälle. ET-kerroksen yläosa tarjoaa riittävän veden varastointikyvyn ja karkeampirakeinen ja tiiviimpi alaosa antaa vastustuskykyä juurien ja eläinten tunkeutumista vastaan. (Witt 2009)

Luonnonmaatiivisteiden kykyyn toimia tehtävässään voi vaikuttaa halkeilu, eroosio, juurien tunkeutuminen, eläinten vaikutus, luiskastabiliteetti ja mahdolliset ongelmatilanteet. Usein huomio kiinnittyy kuitenkin pelkästään tiivistysrakenteen kykyyn estää nesteiden virtausta advektiivisesti ja kemikaalien virtausta diffuusion vaikutuksesta mutta luonnonmaatiivisteet voivat myös suojata muita kerroksia tiivistysrakenteessa ja vastustaa kaasujen advektiivista virtausta. Pintarakenteessa kaasujen kontrollointi on alituinen ongelma etenkin yhdyskuntajätteen kaatopaikoilla. (National Research Council 2007)

Eroosio voi olla ongelma etenkin sellaisilla kaatopaikoilla, joiden luiskat ovat jyrkempiä kuin ympäröivät maanpinnanmuodot. Eroosion vaikutusta voidaan pienentää esimerkiksi kasvukerroksen kasvillisuudella ja mekaanisesti kestävä eroosion hallintakerroksen avulla. Mekaanisen eroosionhallintakerroksen pitkäikäisyys riippuu pintarakenteen jyrkkyydestä, eroosivoimien vaikutuksesta (esimerkiksi tuuli, vesi, jäätyminen ja sulaminen) ja kerroksessa käytettävän materiaalin ominaisuuksista. (National Research Council 2007)

Luonnonmaatiivisteet pintarakenteessa ovat herkkiä liukupintasortumalle, jossa sortuma tapahtuu pitkin materiaalin rajapintaa. Maakerroksen ja geomembraanin rajapinta on erityisen herkkä liukusortumalle (National Research Council 2007). Geosynteettisten tuotteiden rajapintojen stabiliteetti on aina tarkastettava.

2.4. Kuivatuskerroksen vaikutus tiivistysrakenteeseen

Kuivatuskerroksen tehtävänä on alentaa tiivistysrakenteeseen kohdistuvaa vesipainetta ja johtaa yläpuolisten kerrosten läpi suotautuva vesi pois rakenteesta. Pohjarakenteessa on lisäksi huomioitava, että kerrokseen on tarvittaessa pystyttävä sijoittamaan keräilyputkisto suotovesien keräämistä varten. (Tammirinne et al. 2004a)

Suunnittelussa on huomioitava erityisesti salaojakerroksen pitkäaikaiskestävyys, koska sen tukkeutuminen voi aiheuttaa tiivistyskerroksen eliniän alenemaa johtuen lämpötilan ja vedenpaineen kohoamisesta. Tämä taas saattaa lisätä suotoveden läpäisyä tiivistyskerroksen läpi. (Rowe 2005)

Pinnan kuivatuskerroksen ja pohjan salaojakerroksen materiaalilta edellytetään seuraavia ominaisuuksia (Tammirinne et al. 2004b):

- pitkäaikainen kemiallinen kestävyys
- pitkäaikainen mekaaninen kuormituskestävyys
- vedenläpäisevyys ja vedenjohtavuusominaisuuksien pysyvyys
- rakeisuus 16...32 mm
- vedenläpäisevyys $k > 10^{-3}$ m/s
- pyöreä raemuoto
- kerrospaksuus vähintään 0,5 m.

Perinteinen kuivatuskerros on mahdollista korvata ohuella salaojamatolla. Salaojamaton käyttö kaatopaikan kuivatusrakenteissa vaatii viranomaisen erillistä lupaa, sillä se ei täytä valtioneuvoston päätöksessä annettua paksuusvaatimusta (Sipilä 2010). Salaojamatolla voidaan johtaa nesteitä (kuivatuskerroksessa) tai kaasuja (kaasunkeräyskerroksessa) yhdestä pisteestä toiseen. Salaojamaton tukkeutumisriskin vuoksi Suomessa ei suosita salaojamaton käyttöä pohjarakenteissa, ainakaan yksinään (Leppänen 2010).

Salaojamatot ovat yleensä geokomposiitteja, jotka koostuvat polymeeriytimeistä ja suodattavista geotekstiileistä. Suurimmassa osassa geokomposiiteista on sama neulasidottu geotekstiili, mutta polymeeriytimiä on monen tyyppisiä kaksi- tai kolmitasoisia geoverkkoja tai geomattoja. Polymeeriytimen rakenne on pääsyy eri tuotteiden toiminnan välillä, joten tämä on syytä huomioida salaojamaton valinnassa. Salaojamaton etuja ja rajoituksia on esitetty *taulukossa 2.6*. (Narejo & Allen 2008)

Taulukko 2.6 Salaojamaton käytön etuja ja haittoja (Sipilä 2010)

ETUJA	RAJOITUKSIA
Kevyt ja ohut rakenne	Hyväksyttävä viranomaisilla => ei täytä VNp 861/97 paksuusvaatimuksia
Asennus helppoa	Huono routasuojaus alapuolisille rakenteille
Kuljetus helppoa	Ei kuormita bentoniittimattoa paisumista vastaan
Tilan säästö => jätettyyttä voidaan kasvattaa	Mahdollinen liukupinta geotekstiilin ja salaojamatton väliin sekä ylä- ja alapuolisten kerrosten välillä
Teollinen tuote => laadunvalvonta tehtaalla	Päällä ei voi liikennöidä koneella
Korvaa kiviaineksia	Saumaus tarkkaa työtä

Salaojamattojen toiminta vastaa läheisesti rei'itetyn salaojaputken toimintaa. Salaojamatton voidaan ajatella koostuvan monista pieniläpimittaisista rei'itetyistä putkista, jotka ovat päällystetty suodatinkankaalla. Suurin osa suunnittelukriteereistä, joita käytetään salaojaputkiston suunnittelussa, pätevät myös salaojamatton suunnitteluun. Näihin kuuluvat muun muassa rakenteellinen lujuus, hydraulinen kapasiteetti ja kestävyys. Toisaalta geokomposiittien osalta täytyy erityisesti tarkastella luiskastabiliteettia, jolla ei salaojaputkiston suunnittelussa ole vastaavaa merkitystä. (Narejo & Allen 2008)

Geosynteettisen kuivatuskerroksen suunnittelun lähtökohtana on laskea kuivatuskerroksen tarvittava vedenjohtokyky tulevan virtaaman mukaan. Tämän jälkeen tätä arvoa verrataan ”sallittuun” vedenjohtokyvyn arvoon, joka saadaan laboratoriotestausten tuloksista. Suunnittelussa käytetään niin sanottua ”100 tunnin vedenjohtokyky”-arvoa, koska yhdysvaltalaisen standardin vaatimuksissa GRI GC8 vaadittu testausaika on 100 tuntia. Vedenjohtokyvyn laboratorioarvo muutetaan vastaamaan kohteen olosuhteita. Sallittu vedenjohtokyky on tyypillisesti noin kaksi kertaa niin suuri kuin vaadittu vedenjohtokyky. (Narejo & Allen 2008)

Toinen tärkeä suunnitteluun liittyvä seikka on sallittu puristusjännitys, sillä geokomposiitti ei saa rikkoutua eikä kokoonpuristua jännityksen alaisena kaatopaikan eliniän aikana. Pintarakenteessa tämä ei ole ongelmallista, sillä pinnan kuivatuskerroksessa tai kaasunkeräyskerroksessa kuormitusjännitys on suhteellisen alhainen. Kuormituksen kesto täytyy tarkastella erityisesti, jos salaojamattoa käytetään pohjarakenteessa. (Narejo & Allen 2008)

Kuivatuskerroksessa voidaan, lupaehtojen salliessa erikseen tai hyväksyttyinä, käyttää teollisuuden sivutuotteita tai uusiomateriaaleja, joiden vedenläpäisevyys täyttää asetetut vaatimukset ja joiden ympäristökelpoisuus on todennettu. Pinnan kuivatuskerroksessa on otettava huomioon, että pinnan vähimmäiskaltevuus luiskissa on vähintään 5 % ottaen huomioon tulevat painumat. (Tammirinne et al. 2004a)

VNp 861/97:ssä annetaan määräyksiä ainoastaan pinta- ja pohjarakenteen kuivatuskerroksen paksuudesta. Paksuuden sijasta olisi luontevampaa mitoittaa rakenne johtokyvyn ja viipymän mukaan. Kerrospaksuus voitaisiin näin ollen mitoittaa käytettävän materiaalin ja mitoitusadannan mukaan niin, että vesipinta ei missään tilanteessa ja missään kohdassa nouse kerroksen yläpintaa korkeammaksi. (Wahlström et al. 2004)

2.5. Jättemateriaalien hyötykäytön edellytykset

Lainsäädännön vaatimusten mukaan kaatopaikkarakenteissa tarvitaan varsin paksuja materiaalikerroksia ja kaatopaikkojen yleensä ollessa laajoja rakenteisiin tarvitaan huomattavia määriä rakennemateriaalimassoja.

Luonnonmateriaalien käyttäminen saattaa aiheuttaa suuria muutoksia maisemaan tai ympäristöön eikä lähialueilla useinkaan ole saatavilla tarvittavia massamääriä. Kestävän kehityksen kannalta tarkasteltuna olisikin järkevää hyödyntää mahdollisimman paljon soveltuvia teollisuuden sivutuotteita, joita muuten käsiteltäisiin ja loppusijoitettaisiin jätemateriaaleina. (Sipilä 2010)

Teollisuuden sivutuotteilla tarkoitetaan materiaaleja, jotka syntyvät teollisuuden prosesseissa tahattomasti valmistettavan tuotteen lisänä. Sivutuote on jäännöstuote ja riippuen sen käyttötarkoituksesta sitä voidaan pitää joko tuotteena tai jätteenä (Ronkainen 2009). Jätelainsäädännön mukaan sivutuotteet ovat pääsääntöisesti jätteitä, joiden sijoittaminen maaperään edellyttää jätelupaa ja hyödyntäminen ympäristölupaa (SYKE 2008).

Kaatopaikan tiivistysrakenteissa käytettävien materiaalien ympäristökelpoisuuden arviointi perustuu kahteen pääperiaatteeeseen. Ensimmäiseksi kaikkien tiivistysrakenteissa käytettävien materiaalikerrosten on täytettävä vähintään tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuusstandardit. Toiseksi sovellettavat kriteerit eivät saa olla ristiriidassa olemassa olevien kriteerien kanssa esimerkiksi maarakentamiskäytön uusiomateriaalien ympäristökelpoisuusstandardien kanssa. Esitetyt rajat asetetaan pysyvän ja tavanomaisen jätteen ominaisuuksille annettujen EU-kriteerien välille. Haitta-aineiden kokonaispitoisuudet eivät saa ylittää ongelmajäteluokituksen raja-arvoja. (Tammirinne et al. 2004a)

Seuraavassa taulukossa on esitetty sivutuotteiden käytön etuja ja niihin liittyviä ongelmia tai käyttöä vaikeuttavia seikkoja (taulukko 2.7).

Taulukko 2.7 Jättemateriaalien hyödyntämisen etuja ja esteitä kaatopaikan rakenteina (Wahlström et al. 2004, Tammirinne et al. 2004a; modifioitu)

ETUJA	ONGELMIA/ESTEITÄ
Säästää luonnonmateriaaleja	Laadunvaihtelut
Vähentää maa-ainesoton ympäristö- ja maisemavaikutuksia	Tuotteistaminen
Edullisuus	Lupakäsittelyn hitaus
Sijoituspaikka toimivana rakenteena	Alueelliset poikkeavuudet lupakäytännöissä
Tukee kestäväää kehitystä	Kaatopaikkakelpoisuus tarkastettava
Jättemateriaalien kaatopaikkasijoituksen kustannukset nousevat=> käyttö rakennemateriaalina on taloudellista sekä jätteentuottajalle että kaatopaikanpitäjälle	Ympäristökelpoisuus tarkastettava Tekninen kelpoisuus tarkastettava
Kaatopaikat jatkuvan valvonnan kohteena (toisin kuin esim. tierakenteet)	Saatavuus ja etenkin kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen
	Kuljetusetäisyyden tulee olla kohtuullinen
	Pitkäaikaiskestävyyden määrittäminen
	Rakennuttaja ottaa riskin (etenkin uusien tuotteiden kohdalla)

Wahlström et al. (2004) ehdottaa tiivistysrakenteissa käytettävien materiaalien ympäristökelpoisuuden arviointiperusteiksi seuraavan *taulukon 2.8* esittämiä kriteerejä. Ehdotettujen kelpoisuuskriteerien taustalla on käytetty EU:n kaatopaikkakelpoisuuskriteerejä. Tämän lisäksi voidaan soveltaa tapauskohtaista riskin arviointia, jossa arvioidaan kaatopaikkarakenteesta tulevia päästöjä eri aikoina ja päästöjen merkitystä eri tilanteissa.

Taulukko 2.8 Pinta- ja pohjarakenteiden rakennekerrosten ympäristökelpoisuuskriteerit (Wahlström et al. 2004)

Rakennekerros	Kriteeri	Peruste
Pintarakennekerros	Ympäristökelpoisuus-kriteerien lähtökohtana tulee käyttää puhtaan maan kelpoisuusvaatimuksia. Riskinarvioinnin perusteella näistä voidaan poiketa	Arvioitava tapauskohtaisesti huomioimalla haitta-aineen ominaisuudet, sijoituspaikan olosuhteet ja alueen käyttö
Pintarakenteen kuivatuskerros	Pysyvän jätteen kelpoisuusvaatimukset Suotautuvien vesien ulkonäkö ja käsittelytarve	Sijoitusympäristö vastaa pysyvän jätteen kaatopaikkaolosuhteita
Pintarakenteen mineraalinen tiivistyskerros ilman keinotekoisista eristettä	Vedenläpäisevyyden ollessa alle 10^{-9} m/s sovelletaan hollantilaisia kiinteytettyjen seosten maarakentamiskäytölle (sijoitusluokka 1B) annettuja kriteerejä Vedenläpäisevyyden ollessa 10^{-9} m/s < k < 10^{-8} m/s, sovelletaan EU:n pysyväälle jätteelle ehdotettuja väljennettyjä liukoisuus-kriteerejä pH-olosuhteiden vaikutus arvioitava, jos metallipitoisuus merkittävä Orgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuuksille on esitetty tausta-arvoja, joita voidaan käyttää vertailuarvoina enimmäispitoisuuksien arvioimiseksi	
Pintarakenteen mineraalinen tiivistyskerros keinotekoisien eristeen kanssa	Tiivistyskalvon alapuolisen materiaalin vedenläpäisevyyden ollessa alle 10^{-8} m/s, sovelletaan hollantilaisia kiinteytettyjen seosten maarakentamiskäytölle (sijoitusluokka 1B) annettuja kriteerejä pH-olosuhteiden vaikutus arvioitava, jos metallipitoisuus merkittävä Orgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuuksille tausta-arvoja, joita voidaan käyttää vertailuarvoina enimmäispitoisuuksien arvioimiseksi.	
Pintarakenteen kaasunkeräyskerros ja esipeittokerros	Käytettävien materiaalien tulisi olla kaatopaikkakelpoisia tavanomaisen jätteen kaatopaikalle.	Sijoitusympäristö vastaa kaatopaikkaolosuhteita

Rakennekerros	Kriteeri	Peruste
Pohjarakenteen mineraalinen tiivistyskerros	Pohjan tiivistysrakenteen ympäristökelpoisuuskriteereiksi ehdotetaan käytettäväksi EU:n antaman pysyvän jätteen kelpoisuusvaatimuksia. Joillekin orgaanisille haitta-aineille (PCB, PAH, mineraaliöljyt) käytetään rajana pilaantuneen maan tavoitearvoja.	Pohjan tiivistysrakenteille asetetut ympäristökriteerit ovat tiukat, koska pohjarakennetta ei voida poistaa tai korjata. Tutkimuksissa huomioitava kaatopaikkaolosuhteet
Pohjarakenteen muut kerrokset (esim. sala-ojakerros)	Käytettävien materiaalien tulisi olla kaatopaikkakelpoisia tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Kaatopaikkaveden vaikutusta myös arvioitava, jos kyseessä sekalaisen epäorgaanisen ja orgaanisen jätteen kaatopaikka	Edellyttää usein tapauskohtaista arviointia kaatopaikkaolosuhteista

Kaatopaikkakelpoisuuden ja ympäristökelpoisuuden lisäksi materiaalin tulee täyttää kaatopaikkarakentamiselle asetetut tekniset vaatimukset. VNp 861/97 mukaan kaatopaikan pohjan tiivistysrakenteen voidaan korvata vaihtoehtoisella rakenteella, jos se vastaa samaa suojaustasoa kuin VNp:n mukainen perusrakenne. Tämä tarkoittaa tavanomaisen jätteen kaatopaikalla keinotekoisista eristettä yhdistettynä 1 m paksuiseen mineraaliseen tiivistyskerrokseen, jonka vedenläpäisevyys on pienempi tai yhtä suuri kuin 10^{-9} m/s. (Wahlström et al. 2004)

Tämän lisäksi vaihtoehtoisella rakenteella tulisi olla riittävän alhainen riskitaso erilaisia potentiaalisia muutoksia ja rasituksia vastaan. Arvioitaessa vaihtoehtoisen rakenteen tehokkuutta voidaan hyödyntää sen vedenläpäisevyyttä, diffuusiovastusta sekä haitta-aineiden pidättymistä ja biohajoamista, mikäli nämä tunnetaan tulevissa käyttöolosuhteissa. Tiivistysrakennemateriaalin ja suotoveden yhteensopivuus ja myös tiivistysrakenteen ja keinotekoisien eristeen välinen kontakti tulee selvittää. Lisäksi teollisuuden sivutuotteiden osalta on tärkeä selvittää liukoisuudet ja orgaanisten haitta-aineiden määrä. (Wahlström et al. 2004)

Vastaavuuden arvioinnissa sopivin parametri vertailulle on haitta-aineiden massavuo tiivistysrakenteen pinta-alayksikköä kohtia aikayksikössä esimerkiksi g/ha/vrk. Laskennassa huomioidaan sekä advektio- että diffuusio- ja kulkeutuminen. Mekaaninen kestävyys ja tiivistysrakenteen kokonaisstabiiliteetti rakentamisen ja jätetäytön aikana ovat yleisiä suunnitteluvaatimuksia kaikille rakenteille ja materiaaleille. Rakennusteknisesti sivutuotteista on selvitettävä *taulukossa 2.9* esitetyt ominaisuudet. (Wahlström et al. 2004)

Taulukko 2.9 Sivutuotteista selvittävät rakennustekniset ominaisuudet (Wahlström et al. 2004)

Ominaisuus	Vaatus	Menetelmä	Rakenne, ominaisuus
Karbonaattimineraalien määrä	< 20 m- %	Happotitraus	Kuivatuskerrokset, pintakerrokset
Muiden liukenevien aineiden määrä	< 5 m- %	Vesiliuotuskoe, pH = 4	Tiivistyskerrokset, kuivatuskerrokset
Biohajoaminen	Tapauskohtainen		Tiivistyskerrokset
Kemiallinen kestävyys	Ei saa kasvattaa k-arvoa suunnitellusta	Läpäisevyyskoe suotovedellä	Pohjan tiivistyskerros
Lujuus	Hävikki ≤ 50 %	Los Angeles – koe, ASTM C131	Kuivatuskerrokset
Tilavuuskutistuma	≤ 5 %	ASTM D427-39 tai vast.	Pinnan tiivistyskerros
Kokoonpuristuvuus	Tapauskohtainen	Ödometrikoe	Tiivistyskerrokset
Leikkauslujuus ja kitkakulma	Tapauskohtainen	Kolmiakσιαalikoe tai rasialeikkauskoe	Pohjan tiivistyskerros ja pintarakenne
Vedenläpäisevyys	Tapauskohtainen	ASTM D5084, ASTM D2434 tai vast.	Tiivistys- ja kuivatuskerrokset
Tiivistyvyys vesipitoisuuden suhteen	Vaadittu k-arvo saavutetaan 90...95 %:n tiiviyksasteella	Proctor-koe, ICT-koe	Tiivistyskerrokset
Kaatopaikkakaasujen läpäisevyys	Tapauskohtainen		Pinnan tiivistyskerros

VTT:n ”Kaatopaikan tiivistysrakenteiden ja -materiaalien sertifiointiperusteet” – projektissa kuvataan menettelytapa kaatopaikkojen tiivistysrakenteiden ja -materiaalien vaihtoehtoiselle tuotteistamiselle. Sertifiointi edesauttaisi jätemateriaalien käyttöä ja niiden soveltuvuuden vertailua. Tämä vaatii sivutuotteiden tuottajilta aktiivisuutta ja halua tuotteistamiseen. Prosessissa syntyvää sivutuotetta on muodostuttava riittävän paljon, että tuotteistamiseen kannattaa ryhtyä. Ympäristölupakäsittelyn on koettu olevan hidasta ja epä johdonmukaista ”jäte”-statuksella olevien sivutuotteiden osalta riippuen myös siitä, mistä alueellisesta ympäristökeskuksesta (nykyään luvat myöntää AVI) lupaa ollaan oltu hakemassa. Sivutuotteiden tuotteistaminen helpottaisi lupakäsittelyä ja antaisi myös suunnitteluun varmuutta tuotteen soveltuvuudesta kohteeseen. Vilen (2007) kuvaa tuotesertifiointin etuja lupaviranomaisen silmin seuraavasti:

- tasapuolinen vaatimustaso
- lupahakemusten nopeampi käsittely
- yksinkertaistaa ja helpottaa luvittajan työtä
- lupien ennakoitavuus paranee
- kaatopaikkarakenteiden taso ja varmuus paranee
- kaatopaikkapäätöksen VNp 861/97 liitteen 1 kohdan 5 poikkeamismahdollisuus yksittäistapauksissa poistaa tuotesertifiointimenettelyn jäykkyyttä.

3. KAATOPAIKAN TIIVISTYSRAKENNEMATERIAALIT JA NIIDEN LAADUNVARMISTUS

3.1. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden erityispiirteitä

Kaatopaikan tiivistysrakenteet ovat monikerrosrakenteita. Ne koostuvat varsinaisesta veden ja kaasujen kulkeutumisesta estävästä rakenneosasta ja sen toimivuuden turvaamiseksi tarvittavista, sitä haitallisilta kuormituksilta suojaavista rakenneosista. Tiivistysrakenteessa on yleensä mineraalinen, haitta-aineita pidättävä ja huonosti vettä läpäisevä kerros. Keinotekoista eristettä tarvitaan hyvän kemiallisen kestäväytensä takia varsinkin kaatopaikan pohjarakenteissa. Suomessa keinotekoisena eristeenä on käytetty geomembraania tai tiivisasfalttia. (SYKE 2002)

Geomembraanin ja mineraalisen tiivistysrakenteen toiminta perustuu niiden kiinteään kontaktiin. Tämä täytyy ottaa huomioon niin suunnittelussa kuin rakentamisessa. Laadunvalvonta ja -varmistus ovat tärkeässä roolissa, jotta saadaan aikaan toimiva rakenne. Mineraalisen tiivistysrakenteen laadunvarmistus esitetään *kappaleissa 3.2 ja 3.3* ja keinotekoisien eristeiden laadunvarmistus *kappaleessa 3.4*. Tiivistysrakenteiden tehtävät ja toimintaan liittyvät seikat ovat esitetty *luvussa 2*.

Tavanomaiseen maa- ja pohjarakentamiseen verrattuna kaatopaikkojen tiivistysrakenteiden geoteknisessä mitoituksessa on monia erityispiirteitä, kuten (SYKE 2002):

- geomembraani ja mineraalinen tiivistyskerros muodostavat rajapintoja, mikä on huomioitava vakavuustarkastelussa
- geomembraanien poikkeava jännitys-muodonmuutuskäyttäytyminen
- poikkeavat kuormitus- ja käyttöolosuhteet
- poikkeavat toiminnalliset vaatimukset
- pohjarakenteiden hyvin vaikea korjattavuus
- laadunvarmistuksen erittäin tärkeä rooli (materiaalien kelpoisuus, työtavat, dokumentointi).

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden suunnittelun kannalta olennaista on tuntee koko rakenteen toiminta ja ymmärtää suunnittelun kannalta kriittisimmät kohdat. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomioita muun muassa jätetäytön ominaisuuksiin, läpivienteihin ja detaljeihin. Lisäksi tulee ymmärtää, että rakenteita ei voi ajatella yksittäisinä kerroksina, vaan kokonaisuutena, jossa kaikilla osilla on oma tehtävä.

Tiivistysrakenteiden yläpuoliset kerrokset vaikuttavat myös tiivistysrakenteen toimintaan; esimerkiksi keinotekoisien eristeiden yläpuolisten rakenteiden materiaali- ja paksuusvaatimuksilla voidaan säädellä keinotekoisien ja mineraalisen tiivistyskerroksen lämpötilasidonnaista käyttäytymistä rakennus- ja käyttövaiheessa (muun muassa mineraalisen tiivistysrakenteen routasuojaus, jätettyöstä siirtyvän lämmön siirtyminen) ja toisaalta kerrosten paino edistää tiivistysrakenteen toimivuuden saavuttamista rakentamisvaiheessa.

Kaatopaikkarakenteilta vaaditaan pitkäaikaista kestävyyttä, joten rakenteiden kuntoa tulee seurata suunnitelmallisesti ja kunnostustarpeita kartoittaa. Suunnittelulla voidaan vaikuttaa ratkaisevasti rakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen muun muassa valitsemalla kaatopaikan olosuhteisiin nähden kestäviä materiaaleja. (Sipilä 2010)

3.2. Mineraalinen tiivistyskerros luonnonmaasta

Yleisimmin mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalina käytetään Suomessa hienoainespitoisia luonnon kivennäismaa-aineksia kuten savea tai moreenia, joiden vedenläpäisevyyttä pienennetään tarpeen mukaan lisäaineilla. Tämä lisäaine on usein paisuvaa savea eli bentoniittia. (SYKE 2002)

Käytettävät materiaalit ja seokset ovat tutkittava ennen lopullista materiaalivalintaa. Alhainen vedenläpäisevyys on tärkeimpiä parametreja tiivistysrakenteille. Mineraalisen tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys voi rakenteessa olla suurempi kuin laboratoriossa määriteltä. Tämän syynä voi olla kuivumisen tai jäätyksen aiheuttama halkeilu, kemiallinen rapautuminen tai tiivistäminen liian alhaisessa vesipitoisuudessa. Myös pohjaan heikko kantavuus voi aiheuttaa halkeilua. (Leppänen 2010)

Ei siis riitä, että ennakkokokeet ja koekenttä ovat tehty asianmukaisesti. Täytyy myös huolehtia, että rakentaminen tapahtuu materiaalin ominaisuuksien edellyttämällä tavalla. Voidaan siis sanoa, että laadunvarmistuksen tulee olla mukana hankkeen suunnittelusta rakentamisen jälkeisiin toimenpiteisiin saakka.

Seuraavissa kappaleissa on esitetty mineraalisessa tiivistysrakenteessa käytettäviä materiaaleja ja niiden laadunvarmistusta ottaen huomioon myös rakentamisen aikaiset olosuhteet.

3.2.1. Pohjamaa

Suomalaisen geoteknisen luokituksen mukaan saveksi kutsutaan hienorakeista kivennäismaalajia, jonka rakeista enemmän kuin 30 paino- % on läpimitaltaan alle 0,002 mm. Hienorakeisuus, huokostila ja savipartikkelin negatiivinen pintavarauus ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat saven vedenläpäisevyyteen. Juuri hienorakeisuudesta johtuen savella on suuri ominaispinta-ala, jolla kationien adsorboitumista voi tapahtua.

Ominaispinta-ala vaihtelee savimineraalista riippuen. Yleisimmät savimineraalit Suomessa ovat illiitti, vermikuliitti ja kloriitti. (SYKE 2002)

Luonnontilaiset savi- ja savimoreenialueet saattavat täyttää kaatopaikka-asetuksessa VNp 861/97 pohjamaalle asetetut läpäisevyys- ja paksuusvaatimukset. Tällöin täydentävää mineraalista tiivistyskerrosta ei tarvita. Pohjamaan tärkeitä ominaisuuksia ovat homogeenisuus ja alhainen vedenläpäisevyys. Luonnon saven vedenläpäisevyys on yleensä $\leq 1 \times 10^{-8} \dots 1 \times 10^{-9}$ m/s. Homogeenisuus on toiminnan kannalta olennainen tekijä, sillä tiivistysrakenteessa ei saa olla hydraulisia epäjatkuvuuskohtia kuten halkeamia, reikiä ja saumoja. (Daniel 1993)

Vedenläpäisevyyden lisäksi pohjamaan kantavuus ja painumat suunnitellulla kuormituksilla tulee olla sallitulla alueella, jotta luonnon maapohja voidaan hyväksyä mineraaliseksi tiivistyskerrokseksi sellaisenaan. Pohjamaan ominaisuudet varmistetaan kairauksilla ja laboratoriokokeilla (SYKE 2002).

Mikäli pohjamaa täyttää vaatimukset eli voi toimia kaatopaikan pohjana ja kalvon asennusalueena, käyttöön valitulta alueelta poistetaan pinnassa oleva humuskerros, jossa on juuristoa, epähomogeenisuutta ja halkeillut kuivakuorikerros. Kaivutyön yhteydessä tarkastetaan vedenläpäisevyys-, vesipitoisuus-, kuivumiskutistuma- ja tiiviysvaatimusten täyttyminen. Pinta muotoillaan suunnitelmien mukaiseksi. (SYKE 2002)

Usein pohjamaa ei kuitenkaan sellaisenaan sovellu pohjarakenteeksi, vaan on rakennettava täydentävä mineraalinen tiivistyskerros. Pohjamaan toimiessa mineraalisen tiivistyskerroksen alusrakenteena on taulukossa esitetyt ominaisuudet tarkastettava ja korjattava vastaamaan niille asetettuja arvoja (taulukko 3.1). Alusrakenne voidaan myös rakentaa kerroksittain tiivistämällä suunnitelmien mukaisesta materiaalista ja suunniteltuihin tasoihin ja kaltevuuksiin.

Taulukko 3.1 Kaatopaikan pohjan alusrakenteen työnaikainen laadunvalvonta (Leppänen 2006a)

Ominaisuus	Mitattava parametri	Menetelmä	Vaatus	Alaraja	Yläaraja	Korjaus-toimenpide
Sijainti ja kaltevuus	Korkeus, kaltevuus	Takymetri, tarkkuus-GPS	Suunnitelmien mukainen	0 mm	+50 mm	Uudelleenmuotoilu
Pinnan tasaisuus		Oikolauta	Ei kohoumia	-50 mm	+50 mm	Uudelleenmuotoilu
Kantavuus	Kantavuus	Levykuormituskoe	Esim. savelle $E_2 \geq 4 \text{ MN/m}^2$, $E_2/E_1 \leq 2,2$			Uudelleen tiivistys
Suodatinkerroksen tarve	Rakeisuus	Seulonta SFS-EN 933-1				Suodatinkangas

3.2.2. Savi

Savea on käytetty yleisesti tiivistysrakenteissa varsinkin niillä alueilla, joilla sitä on ollut saatavilla. Ongelmana yleensä onkin löytää sopivaa savea, jonka kuljetusmatka on riittävän lyhyt, ottopaikan riittoisuus on hyvä ja jonka rakeisuus ja vesipitoisuus ovat optimaalisia. Lisäksi saven geotekniset ominaisuudet tekevät siitä haastavan rakennusmateriaalin. Työstettävyyden kannalta saven vesipitoisuus on tärkeä tekijä. Vaatimustenmukaisen tiiviyden saavuttaminen edellyttää yleensä, että saven vesipitoisuus on lähellä kieritysrajaa ja optimivesipitoisuutta eli 15...25 %. Tiivistettävän saven vesipitoisuuden tulee olla kieritysrajan ja juoksurajan välillä. (Sipilä 2010)

Luonnonsavi muodostaa normaalissa rakentamiskosteudessa paakkuja, jotka on saatava rikottua hyvin. Muuten muodostuu rakenne, jossa on hyvin tiiviitä alueita halkeamien tai löyhien alueiden ympäröimänä. Tällaisen rakenteen vedenläpäisevyys on huomattavasti suurempi kuin vastaavasta materiaalista tehdyn homogeenisen laboratorionkoe-kappaleen vedenläpäisevyys. Paakkuuntumista vähennetään tiivistyskaluston valinnalla ja rakentamalla luonnonmaatiivisteet paksuiksi ja monessa kerroksessa tiivistäen. (IDEM 2000)

Saven kyky sietää muodonmuutoksia pienenee tiivistysenergian ja kuivatilavuuspainon kasvaessa. Savi käyttäytyy plastisesti korkeissa vesipitoisuuksissa, mutta optimivesipitoisuuden alapuolella käyttäytyminen muuttuu hauraaksi. Käytännössä savi tiivistetään rakenteeseen yleensä vallitsevassa vesipitoisuudessa eli optimivesipitoisuutta kosteampana, mikä on alhaisen vedenläpäisevyyden saavuttamisen kannalta edullista. Toisaalta korkea vesipitoisuus lisää saven potentiaalista kutistumista, jos se konsolidoituu kuorituksen takia tai kuivuu ilmaston tai jätteestä vapautuvan lämmön vuoksi. (SYKE 2008)

Jäätyminen aiheuttaa tehokkaan huokoisuuden kasvua, paikallista kuivumista ja halkeilua. Sulamisvaiheessa saven kantavuus voi alentua ja luiskissa liukusortumien riski voi kasvaa. Jäätyminen lisäksi sisäinen eroosio voi aiheuttaa ongelmia. Sisäisessä eroosiossa veden virtaus keskittyy maan halkeamiin tai makrohuokosiin, jolloin se kuljettaa mukanaan maasta irtoavaa hienoainesta. Tästä syntyy itseään kiihdyttävä prosessi, jossa hienoaines huuhtoutuu pois maasta ja karkeaa vettä hyvin johdettava maa-aines jää jäljelle. Sisäistä eroosioriskiä voidaan ehkäistä minimoimalla makrohuokosten jääminen tiivisteeseen rakennusvaiheessa, estämällä kuivuminen ja halkeilu tai estämällä pinnan liettyminen membraanien tai suodattimien avulla. Ilmiö on tyypillinen myös maabentonitirakenteille. (SYKE 2008)

Taulukossa 3.2 on esitetty saven käytön etuja ja rajoituksia mineraalisena tiivistyskerroksena.

Taulukko 3.2 Saven käytön etuja ja rajoituksia mineraalisena tiivistyskerroksena. (Environment Agency, UK 2009a, modifioitu)

EDUT	RAJOITUKSET
Kemiallisesti kestävä	Materiaalin vesi- ja savipitoisuuden vaihtelu vaikuttaa laatuun
Absorboi kationeja ja anioneja suotovedestä	Kuivumis- ja kutistumisherkkyys
Yleisesti käytetty	Sääolosuhteet vaikuttavat rakentamiseen
Suhteellisen yksinkertainen rakenne	Konsolidoituu kuormitettuna
Luonnollinen ja paikallinen materiaali	Haastava rakentamisen kannalta
Edullinen, jos kuljetusmatka lyhyt	Esiintymän riittäisyys ja tasalaatuisuus
	Kuljetusmatka

Rakennettaessa täydentävää mineraalista tiivistyskerrosta savesta tulee kiinnittää huomiota seuraaviin tekijöihin (Environmental Agency, UK 2009a):

- Ensisijaisiin ominaisuuksiin, jotka ovat
 - o alhainen vedenläpäisevyys; $k \leq 6,7 \times 10^{-10}$ m/s kun kerrospaksuus $h=0.5$ m
 - o keskinkertainen tai korkea leikkauslujuus.
- Toissijaisiin ominaisuuksiin, jotka ovat
 - o plastisuus
 - o työstettävyys
 - o alhainen kutistuminen
 - o riittävä kemiallinen kestävyys
 - o riittävä haitta-aineiden kulkeutumisen hidastaminen/pidättäminen
 - o matala dispergoitumisaste.

3.2.3. Savirakenteen laadunvarmistus

Savesta tehdyn tiivistysrakenteen laadunvarmistus keskittyy kolmeen kriittiseen kohtaan (Daniel & Koerner 2007):

- 1) Varmistetaan, että materiaali soveltuu tiivistysrakenteeseen.
- 2) Varmistetaan, että tiivistysrakenne on rakennettu ja tiivistetty oikein.
- 3) Varmistetaan, että rakenne on suojattu oikein mahdollisilta vaurioilta.

Materiaalin soveltuvuuden testaus savenotto paikalla on näistä tärkein, sillä saveen on yleensä hankala lisätä lisäaineita, jotka parantaisivat sen ominaisuuksia. Lähtökohtaisesti maanotto paikalla tulisi suorittaa riittävän laajat tutkimukset, jotta varmistetaan materiaalin soveltuvuudesta ja esiintymän tasalaatuisuudesta. Testaustiheys määritellään hankekohtaisesti ottaen huomioon esiintymän geologinen luonne ja laajuus siten, että ennakoidaan riittävän luotettavasti ominaisuuksien luonnollinen hajonta (Leppänen 2010). Huonosta materiaalista ei saa kunnollista rakennetta, vaikka laadunvarmistus olisi muuten hyvin hoidettu. Huomiota tulee myös kiinnittää käytettävän massan varastointiin ja kuljetukseen (SYKE 2008).

Suotoveden vaikutusten arviointia varten voi olla välttämätöntä suorittaa soveltuvuuskokeiden lisäksi savimineralogisia ja geokemiallisia testejä. Kokeet voidaan suorittaa joko tuoreilla näytteillä tai suotovesivaikutukselle altistetuilla näytteillä. (SYKE 2002)

Mineraalisen tiivistysrakenteen laadunvarmistusprosessin kulku kokonaisuudessaan on kuvattu *liitteessä 1*. Savimateriaalille tehtävät laadunvarmistustestaukset jakaantuvat seuraaviin vaiheisiin (Leppänen 2010):

- 1) ennakkokokeet
- 2) laadunvarmistus maanotto paikalla
- 3) koekenttä
- 4) laadunvalvonta ja -varmistus rakennuspaikalla ja rakennettaessa

Ohjeelliset tiivistysrakenteessa käytettävän savimateriaalin tutkittavat ominaisuudet ja ennakkokokeiden tiheydet on kuvattu *taulukossa 3.3*.

Taulukko 3.3 Savimateriaalin vaadittuja ominaisuuksia ja ennakkokokeiden testaustiheydet (SYKE 2002, Leppänen 2010)

Parametri	Esimerkkivaatimus	Menetelmä esimerkiksi	Testaustiheys
Savipitoisuus (< 0,002 mm)	≥ 14 %, joista savimeneraaleja vähintään 10 prosenttiyksikköä plastisuusominaisuuksien saavuttamiseksi	Areometri tai sedigraph ja tarvittaessa pesuseulonta SFS-EN 993-1/-2	Vähintään 5 määrittystä. Esiintymän vaihtelu selvitettävä
Vesipitoisuus		Uunikuivaus SFS-EN 1097-5	Vähintään 5 määrittystä. Esiintymän vaihtelu selvitettävä
Kieritysraja		Kierityskoe	Vähintään 3 määrittystä
Plastisuusindeksi	>10 %	CEN ISO/TS 17892-12	Vähintään 3 määrittystä
Juoksuraja	< 90 %	Koputuskoee tai kartiokoe CEN ISO/TS 17892-12	Vähintään 3 määrittystä
Sullontaominaisuudet; optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino tai kuivatilavuuspaino vesipitoisuuden funktiona (min. 5 eri vesipitoisuutta)		Standardi Proctor SFS-EN 13286-2	1 käyrä
Vedenläpäisevyys	≤ 6,7*10 ⁻¹⁰ m/s	Pehmeäseinämäinen selli ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11	2 rinnakkaista esim. 90 % tiiveydessä
Orgaanisen aineksen määrä	< 2 %	Hehikutushäviö SFS 1744-1	Tarvittaessa esim. jos otetaan pinnasta ja/tai sisältää kasvinosia
Karbonaattimineraalien määrä	< 15 %	DIN 18129, ASTM D 4373, ISO 10693:1995	Tarvittaessa
Muiden liukenevien aineiden yhteismäärä	< 5 %	ASTM D 4525	Tarvittaessa
Kutistumiskäyttämisen	Tilavuuskutistuma < 5 %	ASTM D427-39	Jos vesipitoisuus suurempi kieritysraja
Kiintotiheys		Pyknometrinen menetelmä SFS-EN 1097-6	Tarvittaessa
Kokoonpuristuminen		Ödometrikoe	Jos lisäkuormitus suuri
Leikkauslujuus		Kartiokoe CEN ISO/TS 17892-6, kolmiaksiaalikoee SFS-EN 13286-7	Erityisesti luiskissa

Materiaalin laadunvaihtelut ovat tärkeä selvittää jo maanotto paikalla. Maanotto paikalla osoitetaan materiaalin tasalaatuisuus, rakeisuus ja savipitoisuus ja hylätään epäkelppo materiaali. Maanotto paikalla suoritettavat laadunvarmistusmittaukset ovat esitetty *taulukossa 3.4*.

Taulukko 3.4 Maanottoaikan testaukset savelle (Leppänen 2010)

Parametri	Esimerkkivaatimus	Menetelmä esimerkiksi	Testaustiheys
Rakeisuus ja savipitoisuus (< 0,002 mm)	Hyväksyttävällä alueella	Areometri tai sedigraph ja pesuseulonta tarvittaessa SFS-EN 993-1/-2	1/250m ³ Esiintymän vaihtelu selvitettävä
Vesipitoisuus	Hyväksyttävällä alueella	Troxler, joka 10. mittaus-piste varmistetaan uunikuivauksella SFS-EN 1097-5	1/250m ³ Esiintymän vaihtelu selvitettävä
Luonnontilainen kuivatilavuuspaino	Hyväksyttävällä alueella	Troxler	1/250m ³ Esiintymän vaihtelu selvitettävä
Humuspitoisuus	< 2 %	Visuaalinen tarkastus	

Koekentällä varmistetaan, että materiaali vastaa ennakkokokeita ja materiaalilla saavutetaan rakennuspaikan olosuhteissa ja käytettävällä kalustolla ja työtavalla vaadittu kuivatilavuuspaino vedenläpäisemättömyystason saavuttamiseksi sekä tasainen pinta kei-notekoisen eristeen asennusalustaksi. Koekentässä määritetään materiaalille soveltuva kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus, tiivistyskalusto ja vaadittava ylityskertojen määrä, jolla päästään haluttuun tiivistysasteeseen. Lisäksi rakenteesta voidaan tehdä kantavuusmittauksia tai ottaa häiriintymättömiä näytteitä esimerkiksi kartiokoetta, kolmiakksiaalikoetta tai odometrikoetta varten. Koekentällä tehtävät laadunvarmistusmittaukset ovat esitetty *taulukossa 3.5*. Mikäli asetettuja vaatimuksia ei saavuteta, on tehtävä suunnitelma tilanteen korjaamiseksi ja varmistettava rakenteen toimivuus ennen varsinaisten rakennustöiden aloittamista. (SYKE 2002)

Taulukko 3.5 Koekentän testaukset savelle (Leppänen 2010)

Parametri	Esimerkkivaatimus	Menetelmä esimerkiksi	Testaustiheys
Rakeisuus ja savipitoisuus (< 0,002 mm)	Hyväksyttävällä alueella	Areometri tai sedigraph	Vähintään 3 kpl
Vesipitoisuus	Hyväksyttävällä alueella	Troxler, vähintään joka 3. mittauspiste varmistetaan uunikuivauksella SFS-EN 1097-5	Vähintään 3 mittausta
Pinnan sijainti	Suunnittelija määrittelee	Takymetri, tarkkuus GPS	Erityisesti, jos koerakenteen osa varsinaista rakennetta 10 m x 10 m
Pinnan tasaisuus	Ei kiviä eikä kuoppia	Oikolauta, visuaalinen tarkastus	
Kuivatilavuuspaino		Troxler, volymetri	Vähintään 3 mittausta jokaisesta kerroksesta ko. ylityskerroilla ja varmistus volymetrillä
Vedenläpäisevyys	$\leq 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	Pehmeäseinämäinen selli ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11	Vähintään 2 rinnakkaista koekappaletta saavutetussa kuivatilavuuspainossa

Tiivistyskerroksen rakentamisen aikana savesta tehdään laadunvarmistusmittauksia seuraavan taulukon mukaisesti (*taulukko 3.6*). Rakennetun kerroksen laadunvalvontamittauksiin kuuluu tiiviysasteen, sijainnin, kerrospaksuuden ja pinnan tasaisuuden määrittäminen. Mikäli materiaali varastoidaan, eikä tule suoraan maanotopaikalta, on laatu tarkastettava ennen rakentamista. Tällöin tutkitaan, että rakeisuus, savipitoisuus ja vesipitoisuus ovat hyväksyttävällä alueella. Tarvittaessa uusitaan ennakkokokeet, erityisesti vedenläpäisevyys ja sullontaominaisuudet, jos materiaali on muuttunut huomattavasti. (Leppänen 2010)

Taulukko 3.6 Rakentamisen aikainen laadunvalvonta savelle (Environmental Agency, UK 2009a, Leppänen 2010; modifioitu)

Mitattava parametri/ määritettävä ominaisuus	Esimerkkivaatimus	Menetelmä	Testaustiheys
Rakeisuus, erityisesti savipitoisuus (jos materiaali on varastoitu)	Hyväksyttävällä alueella	Areometri/ sedigraph ja tarvittaessa pesuseulonta SFS-EN 933-1	1/250m ³
Vesipitoisuus	Hyväksyttävällä alueella	Uunikuivaus, troxler	1/500m ²
Vedenläpäisevyys	$\leq 6,7 \cdot 10^{-10}$ m/s	Joustavaseinämainen selli ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11	1/3000 m ³
Ylityskerrat jyrällä ja osakerrosten paksuus	Suunnittelija määrittelee koekentän perusteella	Työtapseuranta	Jatkuva
Suurin paakkukoko	< 32 mm /suunnittelija määrittelee	Visuaalinen tarkastus	1/250m ³ Jatkuva
Alempien kerrosten karhennus	Minimi 30 mm	Visuaalinen tarkistus	Jatkuva
Kokonaiskerroksen paksuus	≥ 500 mm + konsolidaatiovara	Takymetri, mittatikku	10 x 10 ruutuun
Pinnan tasaisuus	Suunnittelija määrittelee (± 20 mm)	Oikolauta	1 mittaus /500m ³ /kerros
Tiiviysaste	Min. x kN/m ³ tai n % maksimikuivatilavuuspainosta	Troxler, volymetri	1/500m ² Jokaisesta kerroksesta

3.2.4. Moreeni

Kuten jo mainittiin kappaleessa 2.2.1, myös hienoainespiteiset moreenit saattavat soveltua sellaisenaan kaatopaikan pohjarakenteeseen, harvoin kuitenkin luonnontilaisena vaan murskattuna, seulottuna tai lisäaineella parannettuna. Moreeni voi luonnontilaisena muodostaa niin kutsutun geologisen esteen. (Leppänen 2010)

Suomalaiset moreenit ovat kemiallisesti stabiileja, koska moreenien hienoaines sisältää suurimmaksi osaksi hienoksi jauhuneita kivilajien mineraaleja ja vain vähän varsinaisia savimineraaleja. Moreenien hienoaines- (< 0,063 mm) ja savipitoisuus (< 0,002 mm) vaihtelevat alueellisesti ja paikallisesti huomattavasti muodostumisprosessista riippuen. (Hämäläinen et al. 2005)

Parhaita moreenialueita kaatopaikkarakentamisen kannalta ovat alueet, joissa on runsaasti hienoainesta sisältävää pohjamoreenia. Hienoainespitoisen moreenin vedenläpäisevyys on yleensä $1 \times 10^{-7} \dots 1 \times 10^{-8}$ m/s, joka täyttää sellaisenaan vain VNp:n mukaan pysyvän jätteen kaatopaikan vedenläpäisevyysvaatimukset. (SYKE 2002)

3.2.5. Moreenin laadunvarmistus

Moreenille tehtävät ennakkokokeet ovat pääsääntöisesti samat kuin edellisessä luvussa esitetylle savelle, ottaen kuitenkin huomioon moreenin karkeampi rakeisuus ja suurempi maksimiraekoko. Moreenia harvemmin käytetään sellaisenaan, jolloin maanotopaikan testaukset voidaan jättää huomioimatta ja keskittyä varsinaisen jalostetun tuotteen laadunvarmistukseen ja lisäaineen valitsemiseen (Leppänen 2010).

Moreeni soveltuu hyvin maabentoniitin runkoaineeksi. Moreeni sisältää hienoainesta, jolloin tarvittava bentoniittimäärä on pienempi kuin hiekalle tai murskeelle. Luontainen hienoaines parantaa myös pitkäaikaiskestävyyttä, koska läpäisemättömyys ei ole yksinomaan bentoniitin varassa (Leppänen 2010).

Moreenin soveltuvuus runkoaineeksi on osoitettava laboratorikokeilla ja valittu seos testattava koekentässä. Moreenin käyttö bentoniittimaan runkoaineena voi edellyttää seulontaa tai murskausta. Moreenirunkoaineen laadunvarmistus käsittää tyypillisesti rakeisuuden, vesipitoisuuden, sullontaominaisuuksien eli optimivesipitoisuuden ja maksimikuivatilavuuspainon sekä tarvittaessa humuspitoisuuden määrittämisen. Rakeisuuden ja vesipitoisuuden vaihtelun alueen laajuuden määrittämiseksi tarvittava testaustiheys riippuu esiintymän geologisesta luonteesta, syntyhistoriasta ja esikäsittelyvaiheista. Runkoaineelle tehtävät testaukset ovat esitetty bentoniittimaan laadunvarmistuksen yhteydessä *kappaleessa 3.3.2.*

3.3. Bentoniittirakenteet

Bentoniitti on terminä teollinen eikä mineraloginen, joten sen mineraloginen koostumus voi vaihdella huomattavasti. Tämän takia bentoniitin laatu täytyy määrittellä hyvin ennen sen hankkimista. Bentoniitti on sekoitus monia mineraaleja, joista pääasiallisin mineraali on smektiittisavi. Juuri smektiitti (pääasiassa montmorilloniitti) antaa bentoniitille sen paisumisominaisuudet ja alhaisen vedenläpäisevyyden. Bentoniitti pystyy absorboimaan itseensä suuria määriä vettä ja laajenemaan tilavuudeltaan jopa kymmenkertaiseksi. (Guyonnet et al. 2009)

Bentoniitit voidaan jakaa natriumbentoniittiin ja kalsiumbentoniittiin. Natriumbentoniitillä on suurin paisumiskyky mutta sen yksikköhinta on korkea Euroopassa. Kalsiumbentoniitin paisumiskyky ei ole yhtä hyvä. Luonnon kalsiumbentoniittia voidaan käsitellä natriumsuoloilla, jotta saadaan tuotettua natriumaktivoitua bentoniittia (Environmental Agency UK, 2009b). Aktivoitua bentoniittia ei yleensä suositella käytettäväksi kaatopaikan tiivistysrakenteissa, koska se rapautuu nopeasti takaisin kalsiumbentoniitiksi. Käytännössä aktivoitua bentoniittia käytetään kuitenkin usein bentoniittimaaseoksessa mutta ei enää bentoniittimatoissa (Leppänen 2010).

Kaatopaikan tiivistysrakenteissa bentoniittia sisältäviä materiaaleja ovat bentoniittimatot ja bentoniittimaasta rakennetut tiivistyskerrokset. Bentoniittimatot ovat tehdasvalmisteisia tuotteita, joissa bentoniittisavi on sidottu geotekstiileihin tai geomembraaniin. Bentoniittimatot ja niiden laadunvarmistus ovat esitetty tarkemmin *kappaleissa 3.3.4 ja 3.3.5*. Tällä hetkellä Suomessa vähemmän käytetty bentoniittipohjainen tuote on patentoitu Trisoplast[®], jonka ominaisuuksia on esitetty *kappaleessa 3.3.6*.

3.3.1. Bentoniittimaa

Bentoniittimaaalla tarkoitetaan maa-ainesta, jossa luonnonmaahan sekoitetaan bentoniittia vedenläpäisevyyden pienentämiseksi. Bentoniittimaa sietää yleensä hyvin jäätymistä sekä sulamista ja säilyy osittain hydratoituneena jäätyneenäkin. Veden sulaessa bentoniittimaa hydratoituu uudelleen. Bentoniittimaa kestää paremmin kuivumista verrattuna luonnonmaatiivisteihin, sillä sen kuivuessa huokoisuus kasvaa bentoniitin kutistuessa mutta ei halkeile johtuen kantavasta runkoaineesta. Bentoniittimaan pitkäaikaiskestävyys riippuu bentoniitin ioninvaihdosta ja sisäisestä eroosiosta. Bentoniitin alhainen vedenläpäisevyys perustuu pienien montmorillonitiipartikkelien kykyyn sitoa sähköisillä voimilla ympärilleen suuri määrä vettä. Mikäli kationin vaihdon ansiosta natriumionit vaihtuvat kalsiumiksi tai magnesiumiksi, paisuminen on enää vain kolmasosa alkuperäisestä paisumisesta. Bentoniitin jäykkä runkorakenne ei kykene kompensoimaan bentoniitin paisumisen vähentymistä kutistumalla. Tällöin materiaalin vedenläpäisevyys kasvaa. (SYKE 2008)

Runkoaineena käytettävästä materiaalista riippuen bentoniittimaa voidaan saavuttaa kantavuudeltaan hyvä ja kokoonpuristumaton rakenne. Toisaalta täytyy muistaa, että bentoniittimaa on savea jäykempää ja herkempää epätasaisille painumille. (Leppänen 2010)

Bentoniittimaan etuja ja rajoituksia on esitetty *taulukossa 3.7*.

Taulukko 3.7 Bentoniittimaan etuja ja rajoituksia (SYKE 2008, modifioitu)

ETUJA	RAJOITUKSIA
Alhainen vedenläpäisevyysarvo oikein suhteutettuna	Pitkäaikaiskestävyys: jos natriumionit vaihtuvat kalsiumiksi tai magnesiumiksi, paisuminen vähenee => vedenläpäisevyys ja materiaalin huokoisuus kasvaa
Hyvä haitta-aineiden pidätyskapasiteetti	Natriumbentoniitti kallista verrattuna luonnonmaahan, tuontitavaraa
Sietää hyvin jäätymistä ja sulamista	Sisäinen eroosio alkaa, jos rakenteeseen muodostuu vettä johtavia huokosia tai halkeamia
Ei muodostu jäälinsejä	Vaatii sekoituslaitteiston
Kestää paremmin kuivumista kuin luonnonmaatiivistet	Karkea runkoaine voi vaurioittaa geomembraania

Bentoniittimaan laadunvarmistus jakaantuu bentoniitin ja runkoaineen laadunvarmistukseen sekä itse bentoniittimaaseoksen laadunvarmistukseen. Seuraavissa kappaleissa esitetään bentoniitin ja bentoniittimaan laadunvarmistus.

3.3.2. Bentoniitin laadunvarmistus

Bentoniitin laadunvarmistuksen keskeinen tehtävä on varmistaa, että bentoniitti vastaa hankkeelle asetettuja spesifikaatioita (tyyppi, laatu, pulveri/rakeinen). Hankekohtaisesti tarvittava bentoniittilaatu voi vaihdella huomattavasti. (Daniel & Koerner 2007)

Bentoniitin laaduntestaukseen voidaan käyttää konsistenssirajoja, sillä mitä korkeampi-laatuista bentoniitti on, sitä korkeampi on sen juoksuraja ja plastisuusindeksi. Bentoniitin valmistusteollisuus ei kuitenkaan käytä tätä testausta kovin usein. Kaksi tunnetumpaa testaustapaa bentoniitin laadulle ovat paisumisindeksi (ASTM D5890) ja nestehukkatestausta (fluid loss, ASTM D5891). Paisumisindeksi määrittää bentoniitin paisumiskykyä, kun se upotetaan veteen dekantterilasissa. Kalsiumbentoniitti paisuu tyypillisesti vähemmän kuin 6 ml. Huonolaatuisen natriumbentoniitin vapaa paisuminen on yleensä 8...15 ml luokkaa. Korkeatasoisen natriumbentoniitin vapaa paisumiskyky vaihtelee 15...18 ml ja voi olla suurempi kuin 25 ml. Nestehukkatestauksessa tarkastellaan, kuinka paljon vettä poistuu bentoniittivesiseoksesta paineen alla suodatinpaperin läpi. Laadukkaat bentoniitit muodostavat veteen sekoitettuna paksun, sitkeän lietteen ja nestehukka on pieni. Huonolaatuiset bentoniitit eivät muodosta geelimäistä rakennetta niin hyvin ja menettävätkin enemmän vettä nestehukkatestauksessa. (Daniel & Koerner 2007)

Laadunvarmistuksessa tulisi erityisesti tarkastaa, että bentoniitti on jauhettu rakentamisspesifikaatioissa esitettyyn tasoon. Jauhamisaste on yleensä jätetty huomioimatta. Hienoksi jauhettu, puuterimainen bentoniitti käyttäytyy eri tavalla maa-ainekseen sekoitettuna kuin karkeampirakeinen granulaarinen bentoniitti.

Seulonta tulisi suorittaa työmaalla ra'alle bentoniitille, jotta varmistutaan, että sen rakeisuus täyttää hankkeelle annetut spesifikaatiot. *Taulukossa 3.8* on esitetty bentoniitin raaka-aineen laadunvarmistukseen liittyvät testaukset. (Daniel & Koerner 2007)

Taulukko 3.8 *Bentoniitille tehtävät laadunvarmistusmittaukset (Environment Agency, UK 2009b; Leppänen 2010; modifioitu)*

Parametri	Testausmenetelmä	Esimerkkivaatimus	Testaustiheys
Bentoniittityyppi	Lähde ilmoitettava	Aitoa luonnon natriumbentoniittia	
Montmorilloniittipitoisuus	XRD	> 75 %	Jokainen erä (5000 t tai kerran, jos projektissa käytetään vähemmän)
	Metyleenisinikoe	300 mg/g	
Vesipitoisuus (maksimi)	ASTM D4643	Toimitettaessa: 9...14 % Sekoituksessa < 15 %	1/250 t
Kuivan bentoniitin rakeisuus	BS1377 (1990) Part 2 method 9	95 % läpäisee 0,125 mm seulan	1/250 t
Paisumisindeksi	ASTM D5890	≥ 25 ml/2 g	1/50 t
Nestehukka (fluid loss)	ASTM D5891	≤ 18 ml (30 min)	1/ 250 t
Lisäaineet	Määrä ja laatu ilmoitettava	Ei lisäaineita	

3.3.3. Bentoniittimaan laadunvarmistus

Vedenläpäisevyysvaatimuksen täyttämiseksi tarvittava bentoniittimäärä riippuu runkoaineen rakeisuudesta ja tiivistysolosuhteista. Bentoniittimaan runkoaineeksi soveltuvan maa-aineen rakeisuudesta ei ole olemassa yksiselitteisiä vaatimuksia. Liian karkearakeinen maa-aines voi aiheuttaa bentoniitin huuhtoutumista suotautuvan veden mukana. Toisaalta taas liian hienorakeiseen maa-ainekseen bentoniitin sekoittaminen on hankalaa. (SYKE 2008)

Murske tai karkea hiekka vaativat suuremman määrän bentoniittia kuin moreeni, jotta huokostila täyttyy. Ne ovat siten herkempiä bentoniitin rapautumiselle kuin hienoainesta sisältävät runkoaineet (Leppänen 2010). Hienoaineen osuudella on näin ollen tärkeä merkitys, sillä mitä enemmän hienoainesta on maa-aineksessa, sitä vähemmän bentoniittia tarvitaan. Yleisesti silttinen ja hieno hiekka ja moreeni soveltuvat hyvin bentoniittimaan runkoaineeksi. Bentoniittimäärän ja seoksen tasalaatuisuuden varmistamiseksi suositellut testaukset ovat esitetty *taulukossa 3.9*.

Taulukko 3.9 Bentoniittimäärän ja seoksen tasalaatuisuuden varmistamiseksi suositellut ennakkotestaukset ja testaustiheydet (Leppänen 2006b)

Mitattava ominaisuus	Testausmenetelmä	Esimerkkivaatimus	Tiheys
Runkoaineen tasalaatuisuus			
Rakeisuus ja sen vaihtelu	Pesuseulonta SFS-EN 933-1 + areometri /sedigraph		1/250 m ³ , esiintymän vaihtelu selvitettävä
Vesipitoisuus ja sen vaihtelu	Uunikuivaus SFS-EN 1097-5		1/250 m ³ , esiintymän vaihtelu selvitettävä
Maksimiraekoko	Seulonta	< 32 mm	1/500 m ³
Sullontaominaisuudet	Standardi tai parannettu proctor		
Seoksen tasalaatuisuus			
Rakeisuus ja sen vaihtelu	Pesuseulonta SFS-EN 933-1 + areometri/sedigraph	Materiaalikohtainen	
Vesipitoisuus ja sen vaihtelu	Uunikuivaus SFS-EN 1097-5	Materiaalikohtainen	
Tiivistyvyysominaisuudet ja vesipitoisuuden vaikutus kuivairtoihyteen	Proctor-sullonta tai ICT, vähintään 3 vesipitoisuutta	Määritetään tavoitetilavuuspaino ja sullontavesipitoisuus	
Bentoniittimäärä	Metyleenisini koe ASTM C837, VDG P 69	Riippuu runkoaineesta	
	Punnitusmäärät		Jatkuva seuranta
Vedenläpäisevyys	ASTM D5084 (pehmeäseinäinen selli)	≤ 6,7*10 ⁻¹⁰ m/s	Min. 2 rinnakkaista koetta*

*Tarvittaessa tutkitaan vesipitoisuuden ja/tai kuivatilavuuspainon vaihtelun vaikutus seoksen vedenläpäisevyyteen. Lisäksi voidaan vaatia, että suotoveden vaikutus on tutkittava.

Työmenetelmien soveltuvuus bentoniittimaan valmistamiseen (massan sekoittaminen) ja rakentamiseen on osoitettava koekentän avulla. Koekentällä voidaan myös vertailla sekoitussuhteiden vaikutusta. Erityisen tärkeää on selvittää seossuhteiden maksimiraekoon, tiivistysvesipitoisuuden ja työmenetelmien vaikutus pinnan tasaisuuteen (Leppänen, 2010). Savirakenteen tapaan myös bentoniittimaasta määritetään koekentällä materiaalille soveltuva kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus, tiivistyskalusto ja vaadittava ylityskertojen määrä, joilla päästään haluttuun tiivistysasteeseen. Savirakenteen koekentällä tehtäviä mittauksia voidaan käyttää myös bentoniittimaan laadunvarmistukseen (taulukko 3.5). Näiden mittausten lisäksi voidaan tutkia koerakenteesta seoksen bentoniittipitoisuus.

Maan ja bentoniitin sekoitus onnistuu parhaiten asemasekoituksena. Paikallissekoitusta on myös käytetty mutta sillä ei ole päästy yhtä hyviin ja tasalaatuisiin tuloksiin. Yleensä bentoniitin osuus on 1...15 tilavuusprosenttia, moreeniseoksella tämä on tyypillisesti 3...5 prosenttia.

Bentoniittimaa tiivistetään samalla tavalla kuin luonnonmaatiivisteet. Koko rakenteen toiminnan kannalta oleellista on, että bentoniitti on sekoitettu maa-ainekseen mahdollisimman homogeenisesti ja tiivistystyössä saavutetaan riittävä tiivisyaste. Sekoitusparametrit, kuten sekoitusnopeus ja -aika, määritetään koekentän tuloksista, mikäli seosta ei ole tehty etukäteen. Koekentän tulokset dokumentoidaan ja liitetään laadunvarmistusraporttiin. Sekoitettua massaa ei saa varastoida liian pitkään, koska se voi lajittua tai päästä kastumaan. (Sipilä 2010)

Sekoittamispaikalla bentoniittimäärää kontrolloidaan mittaamalla sekä maa-aineksen että bentoniitin suhteellista painoa sekoittamishetkellä. Sekoittamisen jälkeen on monia tekniikoita, joilla pystytään arvioimaan bentoniitin määrää maa-aineksessa. Yleisin tekniikka bentoniittipitoisuuden määrittämiseen on metyleenisinitestaus (ASTM C837, Suomessa käytetään usein hollantilaista menetelmää VDG P 69). Metyleenisinikoe on titraustyyppinen koe, jossa metyleenisiniä titrataan hitaasti näytteeseen. Bentoniitti tai muu negatiivisesti varautunut savimineraali absorboi voimakkaasti metyleenisiniä. Kokeessa määritetään se metyleenisinimäärä, jolla näytteen saturaatiopiste saavutetaan. Mitä enemmän bentoniittia on maa-aineksessa, sitä enemmän metyleenisiniä tarvitaan saturaatiopisteen saavuttamiseksi. Kalibraatiokäyrä muodostetaan metyleenisinimäärän, joka tarvitaan näytteen kyllästämiseen, ja maan bentoniittipitoisuuden välille. (Daniel & Koerner 2007)

Röntgendiffraktiomenetelmällä (XRD) voidaan määrittää tarkasti bentoniittipitoisuus maa-aineksesta. Myös sähkönjohtavuustestausta voidaan käyttää bentoniittimäärän arvioimiseen. Kokeessa viisikymmentä grammaa maabentoniittiseosta sekoitetaan litraan vettä, jonka jälkeen mitataan seoksen sähkönjohtavuus. Kalibraatiokäyrä muodostetaan maabentoniittiseoksista, joiden bentoniittipitoisuudet tunnetaan. (Daniel & Koerner 2007)

Bentoniittimaaseoksesta määritetään vedenläpäisevyys, jotta voidaan varmistua, että bentoniittia on riittävästi tarvittavan alhaisen vedenläpäisevyyden saavuttamiseksi. Bentoniittia tulisi lisätä hieman enemmän kuin minimibentoniittimäärä. Tällä varmistutaan, että sekoituksessa joka paikassa olisi ainakin vähimmäismäärä bentoniittia. Hyvä muistisääntö bentoniittimaalaaadun testaukselle on: mitä enemmän kontrollointia sekoituksen aikana, sitä vähemmän tarvitaan testausta bentoniittimäärän varmistamiseen. (Daniel & Koerner 2007)

Taulukossa 3.10 on esitetty Iso-Britannian ympäristökeskuksen (Environment Agency) antamia ohjeita bentoniittimaan rakennusaikaisille laadunvarmistusmittauksille (Environment Agency, UK 2009b).

Taulukko 3.10 Bentoniittimaan rakentamisen aikaiset laadunvarmistusmittaukset (Environment Agency, UK 2009b; modifioitu)

Parametri	Menetelmä	Testaustiheys
Seoksen vesipitoisuus	Uunikuivaus	1/100 m ³
Lisätty vesi	Riippuu sekoitusmenetelmästä	Dokumentoidaan kaikki merkinnät l/m ³ ja l
Runkoaine	Riippuu sekoitusmenetelmästä	Dokumentoidaan kaikki merkinnät kg
Bentoniittimäärä	Riippuu sekoitusmenetelmästä	Dokumentoidaan kaikki merkinnät kg ja % runkoaineesta
Bentoniittipitoisuus (seos)	Metyleenisinikoe ASTM C837, VDG P 69	
Sekoituksen laatu	CUR suositus 33*	3 kpl / hanke tai kun tehdään muutoksia tehdään sekoitukseen tai rakentamiseen
Vedenläpäisevyys	ASTM D 5084	1/ 3000 m ²
Kerroksen paksuus	Takymetri, mittatikku	1/250m ² /kerros
Pinnan tasaisuus	Oikolauta	1/500m ² /kerros
Kuivatilavuuspaino	Troxler	1/500m ² /kerros
Visuaalinen homogeenisuus rakennettaessa		1/250m ³ tai kun tehdään muutoksia sekoitukseen tai rakentamiseen

* sekoitetusta bentoniittimaasta otetaan pienellä kauhalla satunnaisesti 12 näytettä muovipusseihin. Bentoniitin määrä määritetään metyleenisinitestauksella. Määritetään bentoniittipitoisuuksien keskiarvo ja keskihajonta 0,1 % tarkkuudella.

Bentoniittimaan ja yleensäkin mineraalisen tiivistyskerroksen laadunvarmistuksessa huomioon otettavia seikkoja on esitetty liitteessä 1.

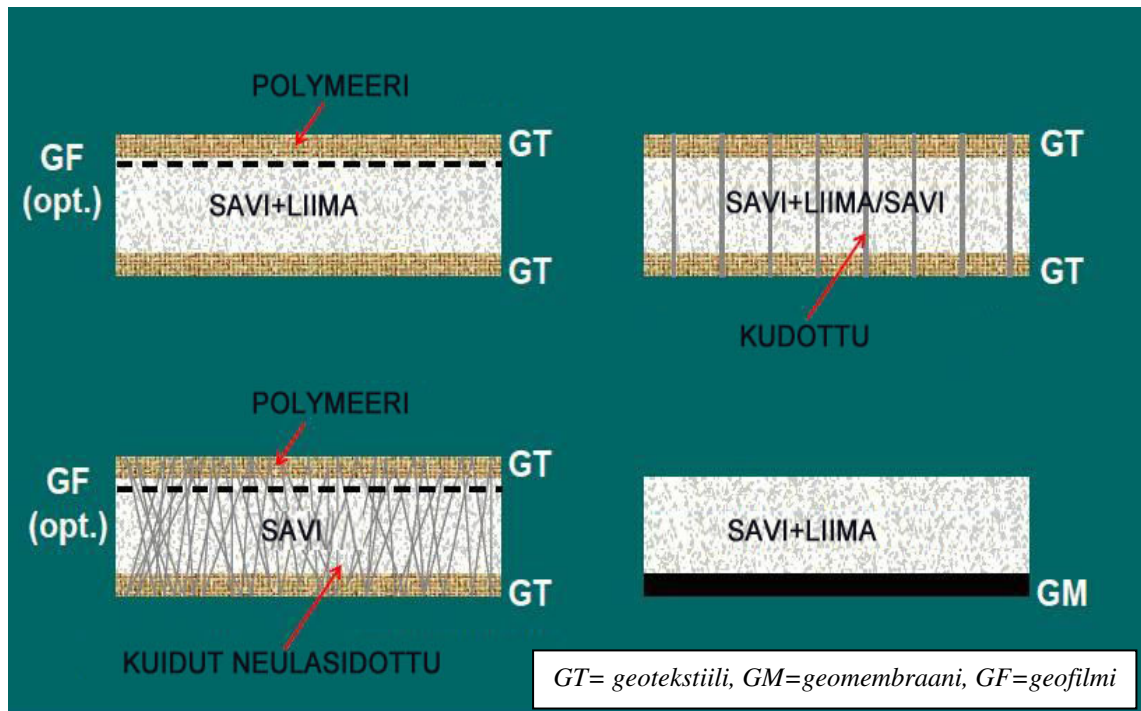
3.3.4. Bentoniittimatto (GCL)

Bentoniittieriste eli bentoniittimatto (GCL= geosynthetic clay liner) on tehdasvalmisteiden hydraulinen eriste, joka koostuu bentoniittisavesta ja siihen sidotusta geosynteettisestä kerroksesta tai kerroksista. (ASTM D4439). Matot voidaan jakaa periaatteessa kolmeen luokkaan (GRI-GCL3 2005) (kuva 3.1):

Geotekstiilipohjainen GCL: kahden geotekstiilin välissä on bentoniittisavea. Matto voi olla neulasidottu tai kudottu. Usein toisella puolella on kudottu ja toisella puolella neulasidottu geotekstiili (Sipilä 2010).

Polymeerillä päällystetty geotekstiili GCL: Muuten samanlainen kuin edellinen mutta toinen geotekstiileistä on päällystetty polymeerillä niin, että vedenläpäisevyys ja virtaus pienenee.

Geomembraanilla (GM) tai geofilmillä (GF) parannettu GCL: geomembraani tai geofilmi on lisätty joko bentoniittisaven yläpuolelle tai alapuolelle. Tuote voi olla neulasidottu tai bentoniittisavi on kiinnitetty liima-aineella suoraan geomembraaniin.



Kuva 3.1 Bentoniittimattojen poikkileikkauksia (GRI-GCL3)

Bentoniittimaton ominaisuudet riippuvat matossa käytettävän bentoniitin määrästä ja laadusta, geotekstiilien laadusta ja sidontatekniikasta. Neulasidonnan tarkoitus on estää bentoniitin karkaaminen geotekstiilien välistä ja parantaa maton leikkauslujuutta mahdollistaen sen käytön luiskissa. Bentoniittimaton alhainen vedenläpäisevyys perustuu bentoniitin paisumiseen kastuessa. Jotta paisuminen ei johda ainoastaan tilavuuden kasvuun, vaan myös huokostilan täyttymiseen, on sillä oltava tilavuuden muutosta vastustava kuormitus tai este. Neulasidonta estää tuotteen paisumista löyhäksi, mutta bentoniittimatto on lisäksi aina peitettävä vähintään 300 mm paksuisella maakerroksella ennen sen kastumista (Sipilä 2010).

Kaatopaikkarakenteissa käytettävissä bentoniittimatoissa vaaditaan bentoniittimääräksi yleensä $\geq 4000 \text{ g/m}^2$ natriumbentoniittia. Egloffsteinin (2001) havaitsi, että kalsiumbentoniittia tarvittaisiin vastaavan rakenteen saavuttamiseksi vähintään 8000 g/m^2 . Paksun ja painavan maton asennus on kuitenkin hitaampaa ja kalliimpaa. Kalsiumbentoniitin itsekorjautuvuuskyky ei ole niin hyvä kuin natriumbentoniitillä, mikä täytyy ottaa huomioon niin asentamisessa kuin maton päälle asennettavassa suojakerroksessa, koska kalsiumbentoniitistä valmistettu matto ei kestä asennusta ja kuivumista niin hyvin kuin natriumbentoniitistä valmistettu.

Natriumbentoniittimaton käytössä suurimpia etuja ovat asennuksen helppous, nopeus ja itsekorjautuvuus. Mattoon tulevat pienet reiät korjaantuvat itsestään bentoniitin paisumisen ansiosta, koska kyllästyessään vedellä se muodostaa geotekstiilien väliin paineel- lista geeliä, jonka vedenläpäisevyys on noin 5×10^{-11} m/s. Bentoniittimatto on kaasutiivis, kun sen vesipitoisuus on yli 70 tilavuus- %. Bentoniittimaton etuja ja rajoituksia on esitetty taulukossa 3.11. (SYKE 2008)

Taulukko 3.11 Bentoniittimaton etuja ja rajoituksia (SYKE 2008)

ETUJA	RAJOITUKSIA
Ohut rakenne, joten säästää tilaa	Ohut rakenne. VNp 861/97:n paksuusvaatimus ei täyty. Täytyy hyväksyttää ympäristölupaviranomaisella
Teollinen tuote, joten laadunvaihtelu yleensä pientä	Ei suositella aktivoitua natriumbentoniittia tai kalsiumbentoniittia, sillä pitkäaikaiskestävyys on huonompi kuin natriumbentoniitin
Alhainen vedenläpäisevyys	Puhkaisuallttius. Suojakerros oltava, jos yläpuolisen tai alapuolisen rakenteen ominaisuudet voivat vaurioittaa mattoa
Kaasutiivis, kun vesipitoisuus > 70 tilavuus - %	Stabiliteetti luiskissa. Liukupinta voi syntyä bentoniittimaton ja maakerrosten välille.
Itsekorjautuvuus/ itsepaikkautuvuus	Ionin vaihto => liukoisen kalsiumin kulkeutuessa bentoniittiin on seurauksena paisumiskapasiteetin alentuminen ja vedenläpäisevyyden kasvu
Hyvä muodonmuutoskyky. Maton alempi kuitukangas kestää yli 10-15 % venymän ennen repeämistä	Suojattava sateelta ja UV-säteilyltä. Asennus tulee suorittaa kuivalla säällä ja varastointi sateelta ja kosteudelta suojassa
Asennus helppoa ja nopeaa	Asennusalustan oltava tasainen

Pintarakenteessa bentoniittimaton toimintaan vaikuttavat lisäksi kastumis- ja kuivumis- syklit sekä epätasaisesti painuvan jätetäytön deformaatiot. Saksalaisten kokemusten mukaan arvioitaessa bentoniittimaton toimivuutta pintarakenteessa tulee ottaa huomioon seuraavat asiat (Zanzinger 2008):

- mekaaninen lujuus
- asennettavuus
- valmistuksen ja rakentamisen aikainen laadunvarmistus
- läpäisevyysominaisuudet ottaen huomioon lämpötilat, mekaaniset kuormat, multiakksiaaliset muodonmuutokset, limitykset, läpiviennit ja liityntärakenteet, mikro-organismit, juurien tunkeutuminen, vanheneminen, kosteuden muutokset ja ionin vaihto.

Natriumbentoniitti muuttuu muutamassa vuodessa kalsiumbentoniitiksi kationin vaihdon johdosta. Egloffstein (2001) tutki ionin vaihdon vaikutusta bentoniittimatoille käyttäen testissään 0,1...0,3 mol/l CaCl_2 - liuosta, jolloin natriumbentoniittia sisältävän matton vedenjohtavuus ionin vaihdon vaikutuksesta kasvoi yhden kertaluokan. Kokeessa bentoniittimatto oli esipaisutettu kuivissa olosuhteissa ionivaihdetulla vedellä.

Bentoniittimaton pitkäaikaiskestävyys riippuu sen kuivumisen kestävydestä ja synteettisten komponenttien kestävydestä muuttuvaa leikkauslujuutta vastaan. Termisellä hapettumisella on huomattava vaikutus geotekstiilien polyolefiinien ikääntymiseen. Geotekstiilien elinikä riippuu siitä, missä ajassa antioksidantit ovat kulutettu loppuun. Pääasiassa kuitenkin geotekstiilien elinikä riippuu hapettumisajasta ja mekaanisten ominaisuuksien hajoamisen puoliintumisajasta. Bentoniittimattojen pitkäaikaiseen leikkauslujuuteen vaikuttaa synteettisten komponenttien viruminen. Bentoniitin leikkauslujuus kasvaa ioninvaihdosta johtuen. Ionin vaihto ja äärimmäinen kuivuminen voivat vaikuttaa rakenteeseen niin, ettei itsekorjautumista enää tapahdu. Ionin vaihto on väistämätöntä, mutta äärimmäiseltä kuivumiselta rakennetta tulee suojella. Useat tutkimukset osoittavat, että keskieuropalaisessa ilmasto-olosuhteissa bentoniittimaton päällä tulee olla vähintään 1 m paksuinen pintarakenne, jotta kuivumiselta vältyttäisiin. Samalla voidaan vähentää myös juurien tunkeutumisen riskiä. (Zanzinger 2008)

Bentoniittimattoa käyttämällä on mahdollista tehdä VNp 861/97:n vaatimuksia ohuempi rakenne, joka toiminnallisesti täyttää samat vaatimukset kuin vastaava puolen metrin paksuinen luonnonmaatiivistyskerros. Bentoniittimatto ei täytä VNp:n mukaista mineraaliselle tiivistyskerrokselle asetettua paksuusvaatimusta, joten se on hyväksyttävä viranomaisella. Suunnittelussa tulee erityisesti huomioida liukupintojen tarkastelu rajapinnoissa.

Bagchi (2004) vertaili bentoniittimattojen ja mineraalisen tiivistysrakenteen eroja. Näistä on esitetty yhteenveto seuraavassa taulukossa (*taulukko 3.12*).

Taulukko 3.12 Bentoniittimaton ja mineraalisen tiivistysrakenteen vertailu (Bagchi 2004)

Bentoniittimatto (GCL)	Mineraalinen tiivistysrakente (CCL)
Helppo asentaa	Vaikea rakentaa virheettömästi
Kevyitä työkoneita voidaan käyttää asennukseen	Raskaita työkoneita tarvitaan rakentamiseen
Työkalusto ei ole kriittinen rakentamiselle	Työkaluston valinta on kriittinen tiivistämiselle
Laadunvalvonta tehty jo tehtaalla; asennuksen aikana tarvitaan vähemmän testausta	Osa laadunvalvonnasta tehdään ottopaikalla; rakentamisen aikana tarvitaan paljon testausta
Rakentamisaika on lyhyt	Rakentamisaika on pitkä
Rakentaminen keskeytyy sateen ajaksi	Rakentaminen keskeytyy sateen ajaksi
Asennus alhaisissa lämpötiloissa on sallittu -5 C asti	Rakentaminen alle nolla asteen ei ole luvallista
Kuivumisen ja jäätymissulamissykliin vaikutus on pieni	Kuivumisen ja jäätyksen ja sulamisen vaikutus on suuri
Suhteellisen korkeat veto- ja leikkauslujuusominaisuudet	Alhaiset veto- ja leikkauslujuusominaisuudet
Voidaan asentaa suhteellisen helposti jyrkkiin luiskiin (jopa 2:1 (H/V))	Ei voida rakentaa helposti jyrkkiin luiskiin, maksimikaltevuus 1:4
Sopeutuu epätasaisiin painumiin	Epätasaiset painumat vaikuttavat heikentävästi toimintaan
Ei vaadi paljon tilaa, ohut	Vaatii suhteellisen paljon tilaa
Suotovesi voi heikentää ominaisuuksia	Suotovesi ei juuri vaikuta. Kemiallisesti kestävä
Kokonaishinta alhainen useimmissa tapauksissa, asennus ei tarvitse erityisammattilaisia	Kokonaiskustannus riippuu kuljetusmatkasta ja rakenteen paksuudesta

3.3.5. Bentoniittimaton laadunvarmistus

Bentoniittimaton laadunvarmistuksessa on keskeistä, että kohteeseen on valittu sopiva tuote ja tämän lisäksi tuote on kuljetettava, varastoitava ja asennettava oikein. Markkinoilla on hyvin monenlaisia mattoja eri käyttötarkoituksiin ja läheskään kaikki niistä eivät täytä kaatopaikkarakentamiseen asetettuja vaatimuksia.

Materiaalin soveltuvuus voidaan varmistaa seuraavasti (Richardson et al. 2002):

- Valmistajalta pyydetään tuotteesta sertifiointitodistus, jossa toimittaja toteaa tuotteen sopivuuden annettuihin spesifikaatioihin.
- Valmistajan laadunvalvontamittausten tulokset (MQC) tarkistetaan hankkeeseen toimitettavien rullien osalta.
- Riippumaton osapuoli tekee materiaalitoimittajan tuotteista otetuille näytteille tai materiaaleille laadunvarmistustestaukset, joilla selvitetään materiaalin soveltuvuus hankkeen spesifikaatioihin.

USAssa bentoniittimattojen testausmenetelmät, vaaditut ominaisuudet ja testausmenetelmät ovat esitetty Geosynthetic Research Institutin spesifikaatiossa GRI-GCL3. Euroopassa bentoniittimatoilta vaadittavia ominaisuuksia määrittää standardi EN 13493, joka on esitelty *luvussa 2*.

Tammirinne et al. (2004) ehdottaa bentoniittimaton tuotehyväksyntävaatimuksiksi *taulukon 3.13* mukaisia arvoja. Taulukon arvot ovat tarkoitettu ensisijaisesti kaatopaikan pintarakenteessa käytettävälle tuotteelle.

Taulukko 3.13 *Bentoniittimaton tuotehyväksymisvaatimukset pintarakenteen tiivistysrakenteeseen (ehdotus). (Tammirinne et al. 2004)*

Ominaisuus	Testausmenetelmä	Esimerkkivaatimus
Kankaiden laatu		Ylempi neulasidottu Alempi neulasidottu, suositellaan komposiittia
Kankaiden materiaali		PP, PE, PET
Kankaiden neliöpaino	ISO 9864:2005	Ylempi $\geq 200 \text{ g/m}^2$ Alempi neulasidottu $\geq 200 \text{ g/m}^2$ Alempi kudottu $\geq 200 \text{ g/m}^2$
Valmistustapa		Läpineulattu
Vetolujuus	EN ISO 10319:2008	$\geq 15 \text{ kN/m}$
Murtovenymä	EN ISO 10319:2008	25...50 %
Repimislujuus	EN ISO 10319:2008	$\geq 60 \text{ N/10 cm}$
Puhkaisulujuus	EN ISO 12236	$\geq 2,5 \text{ kN}$
Bentoniittityyppi	Jauhe	Natriumbentoniittia, ei sallita Na-aktivoitua bentoniittia
Bentoniitin määrä	ASTM D5993-99 (2009)	$\geq 4,0 \text{ kg/m}^2$, w = 0 %, minimi
Bentoniitti- (montmorilloniitti) pitoisuus	Röntgenanalyysi XRD	$\geq 85 \%$
	Metyleenisinikoe VDG P 69	$\geq 300 \text{ mg/g}$
Toimitusvesipitoisuus	Uunikuivaus	$\leq 12 \%$
Orgaanisen aineksen määrä	Termoanalyysi	Ei sallita bentoniitissa
Bentoniitin paisumisindeksi	ASTM D5890-06	$\geq 25 \text{ ml/2 g}$, homogeeninen saka, väri tasainen koko korkeudella
Bentoniitin veden adsorptio	DIN 18132 (24h)	$\geq 600 \%$
Nestehukka (fluid loss)	ASTM D5891-02 (2009)	$\leq 18 \text{ ml}$
Läpäisevä vesimäärä	ASTM D5887-09	$\leq 5 \times 10^{-9} \text{ (m}^3/\text{m}^2)/\text{s}$
Rullan leveys, pituus		Ilmoitettava
Paksuus	ISO 9863-2:1996	Ilmoitettava
Bentoniittimaton ja geomembraanin kontakti ja kitkakulma	ASTM D 5321-08 (soveltaen)	Osoitettava (rasialeikkauskoe tai Tilt-table)
Saumaus	Saumausmenetelmä ja saumauksen laadunvalvontamenetelmä sekä hyväksymiskriteerit on esitettävä	

PP= polypropeeni, PE=polyeteeni, PET= polyeteenitereflalaatti

Rakentamisen aikainen laadunvalvonta ja – varmistus

Työmaalla geosyntteettisten tuotteiden laadunvalvonnan apuvälineenä voidaan käyttää geotekstiileille laadittua teknistä raporttia CEN/TR 15019 ”Geotextiles and geotextile-related products. On-site quality control”.

Bentoniittimattojen laaduntarkkailu jakaantuu materiaalin oikeellisuuden varmistamiseen ja rakentamisen seurantaan. Bentoniittimaton toiminnan kannalta on tärkeää, että matto pysyy kuivana, kunnes sen päällä on riittävä kuormitus. Bentoniittimattoja ei saa asentaa sateella ja matot on säilytettävä työmaalla kuivassa ja suojatussa paikassa. Asennuksen laadun varmistamiseksi tehdään seuraavan taulukon mukaiset toimenpiteet (taulukko 3.14). (Richardson et al. 2002).

Taulukko 3.14 Bentoniittimaton asennuksen seuranta (Richardson et al. 2002, modifioitu).

TOIMINTO	SELITE
Materiaalin käsittely ja varastointi	Tarkastetaan toimitettujen rullien tuotetietojen vastaavuus työselityksen vaatimusten kanssa Käsitellään valmistajan ohjeiden mukaisesti Varmistetaan, että käytössä oikeat työvälineet ja – koneet Varastoidaan tasaisella alustalla sateelta ja kosteudelta suojassa (irti maan pinnasta)
Bentoniitin vesipitoisuus	Tarkastetaan toimitusvesipitoisuus Tarkastetaan asennusvesipitoisuus
Pohjamaan valmistelu	Varmistetaan alustan tasaisuus Asennusalustan visuaalinen tarkastus, ei teräviä kohoumia
Asennus	Tehdään tiilikattoperiaatteella gradientin suuntaan, levityssuunnitelman mukaan
Limityssaumat	Limitetään reunat vähintään 300 mm Pituussuuntaiset jatkokset min. 500 mm Lisätään bentoniittia rajapintaan, jollei kyllästetty reuna Limityssaumoihin ei saa jäädä roskia
Maton kunto	Ei saa olla kastunut (esihydrataatio) Bentoniitti ei saa olla irronnut matosta Tarkastetaan visuaalisesti
Korjaukset ja paikkaukset	Tehdään huolella
Rypyt ja laskokset	Minimoidaan rypyt ja laskokset
Luiskien ankkurointi	Tehdään luiskat ja ankkuroinnit huolella
Suojaus	Suojellaan mattoa riittävästi ja peitetään huolella levityksen jälkeen esim. HDPE-kalvolla
Liikennöinti	Geosyntetien päällä kulkevilla työkoneilla tulee olla lupa

Usein tiivistysrakenteen vahingot tapahtuvat, kun bentoniittimattoa peitetään suojaavalla maakerroksella. Näissä tilanteissa olisi hyvä, että riippumaton laadunvalvoja on mukana vahvistamassa, että levitys tehdään spesifikaatioiden mukaisesti. (Richardson et al. 2002)

Mikäli kyseessä on kalvopäällysteinen matto, on sen saumaus tehtävä huolella geomembraanien saumausohjeen mukaan. GCL-geomembraaniasennuksissa voidaan asentaa sähköinen vuodontarkkailujärjestelmä. Sähköinen vuodontarkkailujärjestelmä on kuvattu geomembraanien yhteydessä *luvussa 3.4.1.*

3.3.6. Trisoplast®

Trisoplast® on patentoitu tuote, joka koostuu hiekasta (89,1 % kuivapainosta), polymeeristä (0,2 % kuivapainosta) ja bentoniitistä (10,7 % kuivatilavuuspainosta). Synteettisen lisäaineen ominaisuuksia ovat korkea molekyylipaino, hydrofiilisuus ja geelimäinen polymeeri. Näin ollen polymeeri myös hidastaa voimakkaasti kaikkia vedenkulkeutumisprosesseja. Polymeerillä parannettu hiekkabentoniittiseos antaa paremman kestävyuden muodonmuutoksia, juurten tunkeutumista ja kuivumista vastaan kuin luonnonmaasta rakennetut tiivistyskerrokset. (Müller & Simon 2004)

Trisoplastin vedenläpäisevyys on noin yhden kertaluokan pienempi kuin luonnonmaasta rakennetun tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys. Tämän takia myös paksuus voisi olla yhden kertaluokan ohuempi kuin luonnonmineraalitiiviste saman hydraulisen toimivuuden saavuttamiseksi. Saksalainen asiantuntijaryhmä on tutkimusten jälkeen hyväksynyt 100 mm paksuisen Trisoplast®-kerroksen korvaamaan tavanomaisen luonnonmaasta rakennetun tiivistyskerroksen kaatopaikan pintarakenteessa. Trisoplastissa käytetty polymeeri on biologisesti ja normaalissa olosuhteissa kemiallisesti kestävä. (Müller & Simon 2004)

Trisoplastin valmistaja esittelee tuotteen eduiksi muun muassa seuraavaa (Trisoplast 2010):

- erittäin alhainen vedenläpäisevyys
- geelimäinen rakenne estää huuhtoutumisen
- kestää muodonmuutoksia
- kemiallinen ja fysikaalinen pysyvyys
- itsekorjautuvuus ja matala kaasujen läpäisevyys
- ohut rakenne, pienempi materiaalin tarve
- kestävyys kuivumis-/kastumis- ja jäätymissyklejä vastaan
- jätetäytön volyyymia voidaan kasvattaa johtuen ohuesta kerroksen paksuudesta.

Suomessa Trisoplastin käyttöä kaatopaikan pohjarakenteen kerrosrakenteissa ei enää hyväksytä. Tämä johtuu siitä, että vaatimuksien mukaan koko tiivistyskerroksen tulee olla vedenläpäisevyydeltään $k \leq 10^{-9}$ m/s eikä Trisoplastista ole taloudellisesti järkevää rakentaa puolen metrin kerrosta. Ennen tätä vaatimusta Trisoplastia on käytetty muun muassa moreenikerroksen päällä, ja moreenin vedenläpäisevyys on ollut noin $k \sim 10^{-7}$ m/s. (Sipilä 2010)

Trisoplastin yksi potentiaalinen käyttökohde voisikin olla pintarakenteet mutta ainakin tällä hetkellä sen käyttöä haittaa korkea hinta, asennettavuus ja saatavuus Suomessa verrattuna esimerkiksi bentoniittimattoon.

3.3.7. Trisoplastin® laadunvarmistus

Trisoplastin valmistus ja asennus ovat tarkkaan määriteltyjä. Trisoplast® valmistetaan tarkan reseptin mukaan, jossa runkoaineelle on tarkat laatuvaatimukset. Laadunvalvonta ja -varmistus suoritetaan myös tietyn protokollan mukaan.

Onnistuneen homogeenisen ja ohuen Trisoplast kerroksen asennus vaatii hyvin määriteltyjä asennusmenettelytapoja ja tiukkaa laadunvarmistusta (Müller & Simon 2004). Varsinaista laadunvarmistusprotokollaa ei ole tässä yhteydessä esitetty vaan ohjeistus löytyy Trisoplastin kotisivuilta www.trisoplast.nl.

3.4. Keinotekoinen eriste

Mineraalisesta tiivistyskerroksesta ja keinotekoisesta eristeestä muodostuva yhdistelmä-rakenne estää haitta-aineiden tunkeutumista rakenteeseen tehokkaammin kuin yksittäinen rakennekerros. Tämän takia keinotekoista eristettä käytetään yleisesti mineraalisen tiivistysrakennetta täydentävänä rakenteena. Mikäli keinotekoisessa eristeessä on reikä, estää mineraalinen tiivistysrakenne haitta-aineen kulkeutumisen. Keinotekoisia eristeitä ovat muun muassa geomembraanit ja tiivis asfaltti. Geomembraanit on esitetty *luvussa 3.4.1* ja tiiviit asfaltit *luvussa 3.4.2*. (SYKE 2002)

Keinotekoisien eristeen materiaalivalinnoissa, suunnittelussa ja rakentamisessa tulee ottaa huomioon seuraavat seikat (SYKE 2002):

- painumansietokyky (jännitys – muodonmuutoskäyttäytyminen)
- läpivientien ja liitosten detaljisuunnittelu
- luiskan stabiliteetti ja kalvon ankkurointi
- pitkäaikainen kemiallinen kestävyys
- asennettavuus ja saumattavuus.

Tämän lisäksi keinotekoisien eristeen ja mineraalisen tiivistysrakenteiden rajapinnassa on otettava huomioon (SYKE 2002):

- suotovesien vaakasuoran leviämisen estäminen (kiinteän kontakti)
- materiaalien erilainen muodonmuutos- ja lämpötilakäyttäytyminen
- mineraalisen tiivistyskerroksen yläpinnan karkeudesta ja epätasaisuudesta johtuvat kalvoon aiheutuvat jännitykset.

Keinotekoisien eristeen yläpuolella tulee olla suojarakenne, joka vastaanottaa ja jakaa yläpuolisista kerroksista aiheutuvia mekaanisia ja termisiä kuormituksia siten, ettei niistä aiheudu pysyviä muodonmuutoksia keinotekoiseen eristeeseen.

Pintarakenteessa keinotekoisien eristeen tärkeitä toiminnallisia ominaisuuksia ja vaatimuksia ovat (SYKE 2002):

- alapuolisten rakenteiden ja jätetätön epätasaisen painumisen sietokyky
- olosuhteisiin nähden riittävä kemiallinen kestävyys
- UV-säteilyn ja roudankestävyys, jos rakennetta ei heti peitetä
- juurien tunkeutumisen estäminen, jos eriste asennetaan mineraalisen tiivistyskerroksen päälle
- keinotekoisien eristeen ja maakerrosten välisen liukupinnan tarkastaminen.

3.4.1. Geomembraanit

Geomembraanit ovat ohuita muovi- tai kumikalvoja, joiden pääasiallinen tarkoitus on estää nesteen tai kaasun kulkeutuminen kalvon läpi. Geomembraaneja valmistetaan monista eri polymeereistä ja ne voidaan tehdä eri menetelmillä, ominaisuuksilla, painoilla ja suoritusarvoilla. Geosynteettisten tuotteiden raaka-aineita on monia, joista yleisesti käytettyjä ovat muun muassa polyeteeni (PE) ja polypropeeni (PP). Polyeteenit voidaan jakaa tiheyden perusteella korkeatiheyksiseen polyeteeniin (HDPE, tiheys 0,940...0,960 g/cm³), matalatiheyksiseen polyeteeniin (LDPE, tiheys 0,920...0,930 g/cm³) ja hyvin matalatiheyksiseen polyeteeniin (VLDPE, tiheys 0,880...0,915 g/cm³). Juuri tiheydellä on tärkeä merkitys polyeteenien ominaisuuksiin. Korkeatiheyksinen polyeteeni on jäykkä mutta kemiallisesti kestävä, kun taas matalatiheyksinen polyeteeni on joustavampaa mutta se ei myöskään kestä yhtä hyvin kemikaaleja kuin korkeatiheyksinen. (Schiers 2009)

Eräs yleisesti käytetty polyeteeni on myös klorosulfanoitu polyeteeni (CSPE), joka kestää hyvin matalia lämpötiloja ja tiettyjä kemikaaleja. Esimerkkinä muista geomembraanilaaduista voidaan mainita polyvinyylidikloridi (PVC) ja eteenipropeenikumi (EPDM).

Riippuen valittavasta polymeeristä siihen lisätään lisäaineita, hiilimustaa ja stabiloimisaineita geomembraanin suojaamiseksi. Seuraavassa taulukossa (taulukko 3.15) esitetään eri geomembraanien likimääräisiä koostumuksia.

Taulukko 3.15 Yleisiä geomembraani tyyppejä ja niiden likimääräisiä koostumuksia prosentteina (Schiers 2009)

Geomembraani	Raaka-aine (%)	Pehmennin (%)	Filleri (%)	Hiilimusta tai pigmentti (%)	Lisäaineet (%)
HDPE	95...98	0	0	2...3	0,25...1,0
VLDPE	94...96	0	0	2...3	1...4
PVC	45...60	25...35	0...10	2...5	2...5
CSPE	40...60	0	30...45	5...40	5...15

Kaatopaikkarakentamisessa geomembraanin valintaan vaikuttavat mekaaninen, kemiallinen ja jännityssäröilykestävyys; asennettavuus ja hitsausominaisuudet; luiskissa kitkaominaisuudet sekä UV-säteilyn ja pakkasen kestävyys (SYKE 2002). Eri geomembraanilaaduilla on tiettyjä ominaispiirteitä, jotka on huomioitava kalvoa valittaessa. Alla olevassa taulukossa esitetään yleisesti käytettyjen geomembraanien etuja ja rajoituksia (taulukko 3.16).

Taulukko 3.16 Yleisesti käytettyjen geomembraanien etuja ja haittoja (Scheirs 2009)

GEOMEMBRAANI	ETUJA	RAJOITUKSIA
HDPE	Ylivoimainen kemiallinen kestävyys Hyvä hitsaussauman kestävyys Hyvät ominaisuudet matalissa lämpötiloissa Suhteellisen halpa	Altiis jännityssäröilylle Lämpölaajeneminen suurta Huono puhkaisukestävyys Huonot moniakksiaaliset rasitusominaisuudet Jäykkä, vaikea asentaa
LLDPE	Parempi joustavuus kuin HDPE:llä Helpompi levittää kuin HDPE Hyvä rasituksen kestävyys ja moniakksiaaliset rasitusominaisuudet	Keskinkertainen UV-kestävyys verrattuna HDPE:en Keskinkertainen kemiallinen kestävyys verrattuna HDPE:en
fPP	Voidaan taitella jo tehtaalla, jolloin vähemmän saumojia Erinomaiset moniakksiaaliset venymäominaisuudet Hyvä joustavuus Laaja saumaustilapöytä-alue	Rajoitettu kestävyys hiilivedyille ja kloorivedelle
PVC	Hyvä työstettävyys ja asennus ominaisuudet Helppo saumata Voidaan taitella/laskostaa, joten vähemmän työmaalla tehtäviä saumojia	Huono kestävyys UV:lle ja otsonille, ellei erityisesti valmistettu Huono kestävyys vanhenemiselle Huono suorituskyky korkeissa ja matalissa lämpötiloissa
CSPE	Erinomainen UV- ja otsonin kestävyys Hyvä suorituskyky matalissa lämpötiloissa Hyvä kestävyys kemikaaleille, hapoille ja öljyille	Ei voi lämpöhitsata kovenemisen jälkeen
EPDM	Hyvä UV- ja otsonin kestävyys Hyvät kestävyysominaisuudet Toimii hyvin matalissa lämpötiloissa Helppo levittää	Alhainen kestävyys öljyille, hiilivedyille ja liuottimille Huono sauman laatu
Butyylikumi	Hyvä UV-, otsonin ja vanhenemisen kestävyys	Suhteellisen alhaiset mekaaniset ominaisuudet Alhainen repimislujuus Alhainen kestävyys hiilivedyille Vaikea saumata
Nitriilikumi	Hyvä öljyn ja polttoaineen kestävyys (ei biodieselin)	Huono otsonin kestävyys Huono repimislujuus

fPP = joustava polypropeeni

Teollisesti valmistettuja geomembraaneja voidaan valmistaa suulakepuristuksella, muottiinpuhallusmenetelmällä tai kalanteroimalla. Suulakepuristusmenetelmässä sula polymeeri venytetään vahvistamattomaksi kalvoksi. Kalanterointi tarkoittaa, että kuumennettu polymeeriyhdiste ohjataan rullaston läpi. Geomembraanit voidaan vahvistaa joko kudotulla kankaalla tai kuiduilla tässä prosessissa (Rathmayer & Juvankoski 1992).

USAssa yleisimmin käytetty menetelmä HDPE-kalvon valmistukseen on muottiinpuhallusmenetelmä (blown film), kun taas Euroopassa käytetään yleisemmin kalanterointia. Näiden kahden menetelmän ero on siinä, että kalanteroimalla voidaan hallita paremmin kalvon paksuutta, jolloin sen hitsausominaisuudet ovat paremmat. (Sost 2010)

Geomembraanin ja mineraalisen tiivistysrakenteen yhdistelmän on todistettu olevan hyvä ratkaisu tiivistysrakenteisiin, jolloin toiminta perustuu kerrosten kiinteään kontaktiin. HDPE on käytetyin geomembraani pohjarakenteissa, johtuen sen ylivoimaisesta kemiallisesta kestävydestä. HDPE-geomembraania valittaessa on erityisesti kiinnitettävä huomiota kalvon pitkäaikaiskestävyyteen. HDPE-kalvon jäykkyydestä ja korkeasta kristalloitumisasteesta johtuen se on herkempi jännityssäröilylle kuin joustavammat kalvot. Testausspesifikaatiot jännityssäröilykestävyydelle (ESCR) on esitetty *Geosynthetic Research Instituten* (GRI) ohjeessa GM-10 “*The Stress Crack Resistance of HDPE Geomembrane Sheet*”. Toinen tärkeä parametri, joka arvioi HDPE-geomembraanin elinikää, on *oxidative induction time* (OIT) eli hapettumisen käynnistymisaika. Suurin syy polyeteenin hajoamiseen on hapettuminen eli polymeerin reaktio hapen kanssa, joka johtaa polymeeriketjun rikkoutumiseen. Tämän seurauksena molekyylipaino pienenee ja mekaaninen kestävyys vähenee. Hapettumisen muita vaikutuksia ovat pinnan halkeilu, värimuutokset ja haurastuminen. Jännityssäröily ja OIT ovat ensiarvoisen tärkeitä parametreja valittaessa kalvoa pohjarakenteeseen. (Scheirs 2009)

Lämpötilalla on huomattava vaikutus geomembraanin elinikään, koska antioksidantit hajoavat nopeammin korkeammassa lämpötiloissa. Rowe (2005) mainitsi, että korkeita lämpötiloja (jopa 40...60 °C) voidaan odottaa kaatopaikkojen pohjalla, jossa suotovesi kerääntyy tiivistyskerroksen päälle. Viimeaikaisten tietojen mukaan lämpötilan kaatopaikkojen pohjalla voidaan odottaa olevan 30...40 astetta normaaleissa käyttöolosuhteissa ja tehokkaalla suotovesienkeräysjärjestelmällä. Suotovesien kierrätys johtaa siihen, että tiivistysrakenteiden lämpötila nousee nopeammin normaaleissa käyttöolosuhteissa ja lämpötilan voidaan olettaa nousevan yli 40...45 asteen. Rowe (2005) arvioi tutkimuksessaan myös HDPE-membraanin elinikää lämpötilan funktiona, mikä on esitetty alla olevassa taulukossa (*taulukko 3.17*).

Taulukko 3.17 HDPE-geomembraanin arvioitu elinikä eri lämpötiloissa (Rowe 2005)

Lämpötila (C°)	Elinikä (vuosia)
20	565...900
30	205...315
35	130...190
40	80...120
50	35...50
60	15...20

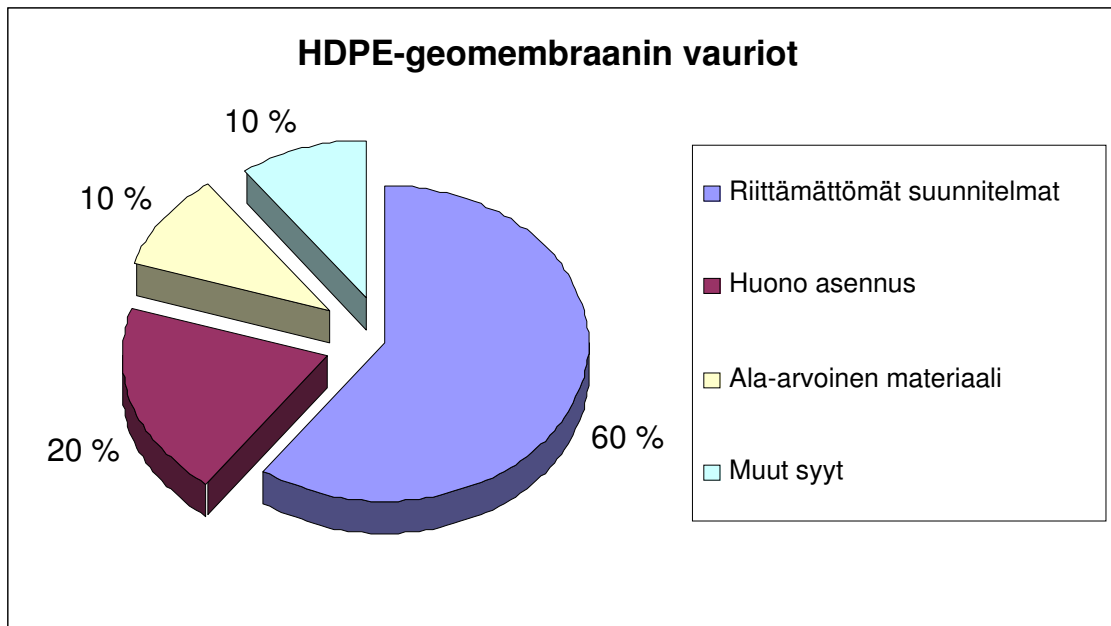
HDPE-geomembraanin pitkäaikaiskestävyys riippuu (Rowe 2005):

- oikeasta materiaalivalinnasta (täyttää GRI GM13 tai EN 13493 vaatimukset tai on BAM-hyväksytty katso sivu 55)
- geomembraanin riittävästä suojauksesta vaurioita ja jännityksiä vastaan
- kosketuksissa olevan nesteen kemiasta (esimerkiksi kontakti suotoveden kanssa vähentää elinikää enemmän kuin kontakti veden kanssa)
- lämpötilasta.

Pintarakenteessa muut kalvotyypit kuin HDPE voivat soveltua paremmin. Orgaanista ainesta sisältävän jätteen epätasaiset painumat aiheuttavat rakenteeseen muodonmuutoksia, jolloin tiivistyskerrokselta vaaditaan myös joustavuutta deformaatioita vastaan. HDPE-kalvoa on käytetty myös pintarakenteissa, vaikka sen venymäominaisuudet ovat huonot. Parempana materiaalina pintarakenteisiin voidaan kuitenkin pitää joustavia kalvoja, kuten LLDPE tai fPP (joustava polypropeeni). Painuvan jätteen muodonmuutoksiin mukautumisen lisäksi edellä mainituilla kalvoilla on paremmat kitkaominaisuudet, varsinkin kuvioituna, mikä on eduksi luiskissa. Kemiallinen kuormitus pinnassa on vähäisempää eikä suotovesikuormitusta ole, jolloin muiden kalvotyyppien käyttö on perusteltua.

3.4.2. Geomembraanin laadunvarmistus

Geomembraanien mahdollisten vauriokohtien tunnistamisessa ja vaurioiden minimoimisessa laadunvalvonta ja -varmistus ovat tärkeässä asemassa. Kaatopaikkojen tiivistysrakenneissa yleisesti käytetyn HDPE-geomembraanien vaurioiden syyt voidaan karkeasti luokitella alla olevan kuvan mukaisesti (*kuvaa 3.2*). Riittämättömillä suunnitelmissa voidaan tarkoittaa esimerkiksi sitä, että kalvon spesifiointi suunnitelmissa ei ole riittävän tarkka tai asennussuunnitelmat ovat huonosti laadittuja.



Kuva 3.2 Karkeasti tilastollisesti luokiteltuna HDPE-kalvoissa esiintyvien vaurioiden syitä. (Scheirs 2009)

Rakentamisvaiheessa HDPE-geomembraanin suurimpia vaurioiden syitä ovat olleet (Scheirs 2009):

- mekaaninen vaurio rakentamisen aikana, esimerkiksi kiven tai puskuaktorin tekemä reikä
- huono saumaus
- altistuminen rakentamisen aikaisille jännityksille
- käyttötilajännitykset (service stresses) johtaen hitsausauman vaurioon (epätasainen painuminen)
- jännityssäröily jännityksen huippupisteissä.

Potentiaalisia vaurioita geomembraanille voi sen eliniän aikana syntyä seuraavissa vaiheissa (Scheirs 2009):

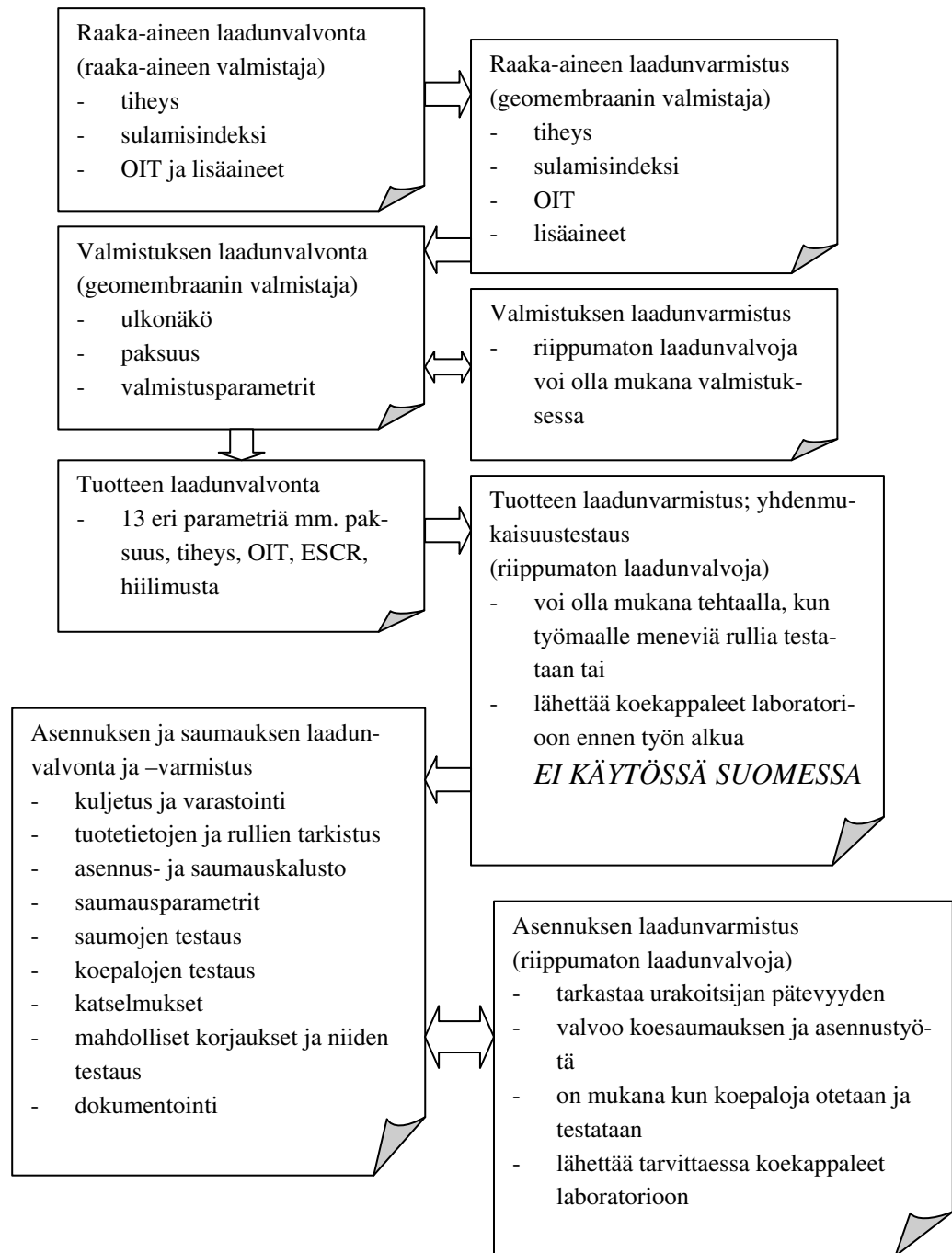
- varastoinnissa ja käsittelyssä geomembraanin valmistuspaikalla
- kuljettaessa tehtaalta työmaalle
- työmaalla purkamisen yhteydessä
- työmaalla varastoinnissa
- levittämisen aikana
- siirrettäessä lopulliseen hitsauspaikkaan
- hitsauksen aikana
- asennuksen aikana tuulen puuskan johdosta
- liikennöitäessä geomembraanin päällä
- valmiin geomembraanin päälle asennettavan suojamateriaalin, kuivatuskerroksen rakentamisen tai maalla peittämisen aikana.

Geomembraanin laadunvalvonta ja -varmistus jakaantuvat periaatteessa seuraavasti (Peggs 2004):

- 1) Raaka-aineen valmistaja tekee laadunvalvontatestaukset valmistamalleen raaka-aineelle.
- 2) Geomembraanin valmistaja tekee laadunvarmistustestaukset tulevalle raaka-aineelle ja hiilimustalle.
- 3) Geomembraanin valmistaja tekee laadunvalvontatestaukset tuotteelle.
- 4) Tiivistyskalvon asentaja tekee laadunvalvontamittaukset asennuksen aikana.
- 5) Riippumaton laadunvalvoja tai muu riippumaton osapuoli tekee laadunvarmistustestauksen.

Geomembraanivalmistajan pätevyys on osa laadunvarmistusta. Rakennuttaja hyväksyy geomembraanivalmistajan ja tarpeen mukaan hän voi vaatia todisteita valmistajan pätevydestä, kuten selvitystä yrityksen taustatiedoista ja valmistuspotentiaalista (tehtaan koko, laadunvalvontakäsikirja, lista materiaalien ominaisuuksista sekä raaka-aineen että geomembraanin mukaan lukien testaustulokset). Lisäksi voidaan myös vaatia, että geomembraanivalmistajalla on tietty määrä toimituksia. (Peggs 2005)

Kuvassa 3.3 on havainnollistettu geomembraanin laadunvalvontaa ja –varmistusprosessia. Vasemmalla puolella on esitetty lähinnä laadunvalvontaan ja oikealla puolella laadunvarmistukseen liittyviä toimintoja.



OIT = oxidative induction time, ESCR= environmental stress crack resistance

Kuva 3.3 Geomembraanin laadunvalvonta ja -varmistusprosessin vaiheet (Leppänen et al. 2006, modifioitu)

Raaka-aineen ja geomembraanin valmistuksen laadunvalvonta ja -varmistus

Geomembraanien laadunvalvonta lähtee raaka-aineen laadunvalvonnasta, jossa raaka-aineen valmistaja tekee laadunvalvontamittaukset ja toimittaa geomembraanin valmistajalle todistukset siitä, että raaka-aine täyttää sille asetetut vaatimukset.

Esimerkiksi HDPE-kalvon raaka-aineen tulee täyttää seuraavat vaatimukset (Peggs 2005):

- ei kierrätysraaka-ainetta
- kiintotiheys $> 0,930 \text{ g/cm}^3$ (ilman hiilimustaa)
- sulamisindeksi $0,05 \dots 1,0 \text{ g/10 min}$
- jännityssäröilykestävyys > 200 tuntia

Ennen geomembraanin valmistusta geomembraanin valmistaja tekee tulevalle raaka-aineelle omat testauksensa varmistaakseen raaka-aineen laadun. Geomembraanin valmistajan suorittaa laajat laadunvalvontatestauksen valmiille tuotteelle. Euroopassa valmistajan laadunvalvontamittauksia ohjaa standardi EN 13493, joka on esitetty *luvussa 2*. USAssa valmistuksen laadunvalvontaa ohjaavat ASTM-standardit ja GRI:n spesifikaatiot, jotka ovat muovilaatukohtaisia. Esimerkiksi HDPE-kalvon toiminnallisia arvoja määrittelee spesifikaatio GRI-GM13.

Saksalaisilla on geomembraaneille omat tiukemmat hyväksymiskriteerit, jotka määrittelee Federal Institute for Materials and Testing (BAM). BAM-hyväksyntä on osoitus siitä, että kalvo täyttää sille asetetut vaatimukset niin raaka-aineen kuin valmistuksen laadun osalta. Valmistaja ei voi poiketa testausraporteissa annetuista vaatimuksista. Raaka-aineeseen lisätään BAM:in määrittelemä jäljitinaine (tracer additive), jotta valmis kalvo voidaan tunnistaa. Valmistajan on kerrottava BAM:lle geomembraanin tarkka koostumus (valmistusresepti), joka on luottamuksellista tietoa. (BAM 1999)

Tammirinne et al. (2004) esittää seuraavan taulukon mukaisia arvoja HDPE-geomembraanin tuotehyväksyntävaatimuksiksi (*taulukko 3.18*). Taulukon taustalla on saksalaisten BAM-kriteerit, jotka eroavat GRI-GM13 vaatimuksista esimerkiksi HDPE-kalvon paksuuden osalta. BAM-hyväksytyt kalvon nimellispaksuuden tulee olla vähintään 2,5 mm ja yksittäinen paksuusarvo saa poiketa keskiarvosta ainoastaan $\pm 0,15 \text{ mm}$. (Tammirinne et al. 2004)

Taulukko 3.18 Ehdotus geomembraanin tuotehyväksyntävaatimuksiksi (Tammirinne et al. 2004)

Ominaisuus	Testimenetelmä	Vaatus
Kalvomateriaali		HDPE (pohjarakenne)
Mikro-organismit	EN ISO 846	Ei huomattavaa muutosta keskiarvoissa dw < 5 %, d(venymä) ja d(lujuus) < 10 %
Juuret	CEN/TS 14416	Ei läpätunkeutumista
Vetomyötölujuus	EN ISO 527-3	≥ 15 N/mm ²
Myötövenymä	EN ISO 527-3	≥ 10 %
Murtolujuus	EN ISO 527-3	≥ 25 N/mm ²
Murtovenymä	EN ISO 527-3	≥ 400 %
Repimislujuus	DIN 53515	≥ 250 N
Puhkaisulujuus	EN ISO 12236	≥ 6000 N
Käyttäytyminen kaksiaalisessa vetokokeessa	DIN 53861-1	≥ 15 %
Jännityssäröilykestävyys	ASTM D5397-07	≥ 200 h
Hiilimustan määrä	EN ISO 11358	1,8...2,6 %
Hiilimustan dispersio	ASTM D5596-03 (2009)	1,2
Sulamisindeksi	DIN ISO 1133	Muutos raaka-aineen ja tuotteen sulamisindeksissä ≤ 15 %
Oxidative induction time (OIT)	EN 728	210 °C > 20 min
UV-kestävyys	EN 12224	Tulokset raportoitava
Rullan leveys		Ilmoitettava
Rullan pituus		Ilmoitettava
Paksuus	DIN 16726, DIN 53370	≥ 2 mm
Saumaus	Saumausmenetelmä ja saumauksen laadunvalvontamenetelmä sekä hyväksymiskriteerit esitettävä	

Rakentamisen aikainen laadunvarmistus

Ennen geomembraanin asennusta valmistaja toimittaa tiedot raaka-aineen ja tuotteen laadusta tilaajalle ja riippumattomalle laadunvalvojalle. Geomembraanista ja sen raaka-aineesta tulee olla ainakin seuraavat tiedot:

- raaka-aineen toimittajan nimi, erän identifikaatiotiedot, raaka-aineen tuotantopäivämäärä
- kopiot raaka-aineen valmistajan laadunvalvontatodistuksista
- raportit testauksista, jotka on tehty hankkeeseen tilattujen rullien osalta
- todistus siitä, että kierrätettyä polymeeriä ei ole lisätty raaka-aineeseen.

Rakennuttajalla ja riippumattomalla laadunvalvojalla tulee olla mahdollisuus tutustua laadunvalvonta-asiakirjoihin, joissa kuvataan kaikki laatuun liittyvät toiminnot valmistuksen osalta. Valmistajan tulee lisäksi esittää laboratorion mittalaitteiden kalibraatiotodistukset.

Ennen kuormausta geomembraanivalmistaja toimittaa tilaajalle ja riippumattomalle laadunvalvojalle laadunvalvontasertifikaatit, jotka käsittävät kyseisten rullien testauksen. (Peggs 2005)

USAssa käytetään niin kutsuttua yhdenmukaisuustestausta (*conformance testing*), jossa riippumaton laadunvalvoja on mukana jo tehtaalla tarkastamassa työmaalle tulevien geomembraanien laatua. Riippumaton laadunvalvoja voi olla myös mukana seuraamassa geomembraanien lastausta, tutkimassa laboratorion yhdenmukaisuustestien tuloksia sekä raportoimassa puutteista tilaajalle. Geomembraanin valmistajan tulee vaihtaa rulla, joka ei täytä sille asetettuja vaatimuksia. Yhdenmukaisuustestaus ei ole Suomessa käytössä.

Työmaalla geosynteettisten tuotteiden laadunvalvonnan apuvälineenä voidaan käyttää geotekstiileille laadittua teknistä raporttia CEN/TR 15019. Tässä työssä on kuitenkin käytetty hyväksi Ian Peggs:n artikkelia ”*HDPE Geomembrane CQA Plan*”, koska se käsittelee spesifisesti juuri geomembraanin laadunvarmistusta.

Rakennuttaja voi vaatia geomembraaniasentajilta, että heillä on tietty määrä referenssejä ja käytetään sertifioituja kalvohitsaajia. Yleensä riippumaton laadunvalvoja tarkastaa kalvoasentajien sertifioinnin ja arvioi kokemuksen. (Leppänen 2010). Lisäksi voi olla tarpeellista tarkastella asentajayrityksen taustatiedot, tiedot asennuskalustosta, hitsausnäyte eli koesauma ja sertifioidut testaustulokset. Geomembraaniasentajayrityksellä tulee olla asennustyölle laadunvalvontasuunnitelma. (Peggs 2005)

Geomembraanirullien kuljetus on yleensä valmistajan vastuulla, kun taas käsittely työmaalla on urakoitsijan vastuulla. Urakoitsija ja riippumaton laadunvalvoja tutkii silmämääräisesti geomembraanit virheiden ja vahinkojen varalta, kun ne saapuvat työmaalle.

Riippumaton laadunvalvoja varmistaa, että

- koneet, jolla rullia käsitellään työmaalla, ovat asiallisia eivätkä aiheuta vaaraa tai vahinkoa geomembraaneille, erityisesti geomembraanien reunoille
- asentajat käsittelevät geomembraaneja oikein.

Urakoitsija on yleensä vastuussa geomembraanien varastoinnista. Työmaasuunnitelmasa esitetään varastointipaikka tai -paikat. Geomembraaneihin kohdistuvien siirtojen määrä minimoidaan. Rullat varastoidaan tasaiselle ja kuivalle alustalle, missä etenkin rullien reunat on suojattu vahingoilta. Rullat, etenkin kuvioidut, täytyy suojata likaantumiselta. Rullia ei saa läjittää enempää kuin kolme päällekkäin. Huomioita tulee kiinnittää myös siihen, että rullien tuotetietoetiketit on kasalla helposti nähtävissä ja tarkastettavissa. Riippumaton laadunvalvojan varmistaa, että varastointi täyttää sille asetetut vaatimukset. (Peggs 2005)

Urakoitsijan tulee huolehtia, että geomembraanin alapuolinen rakenne on oikein tehty hankkeen spesifikaatioiden mukaisesti. Asennusalustassa ei saa olla kiviä, epätasaisuuksia tai liettyneitä alueita.

Geomembraani asennetaan asennussuunnitelmien mukaisesti. Asennussuunnitelma sisältää seuraavaa (SYKE 2002):

- asentajien nimet ja pätevyudet
- levityssuunnitelman
- saumauskaluston, saumausmenetelmät ja saumatyytit
- geomembraanin kuljetus, käsittely ja varastointi työmaalla
- geomembraanin laatusuunnitelman/toimenpiteet
- vaurioiden ja reikien korjaussuunnitelmat.

Geomembraanin leveys ja levityssuunnat tulisi valita siten, että hitsattavien saumojen määrä minimoidaan. Levityssuunta on pääsääntöisesti poikittain peitettävään alueeseen nähden ja kalvon levitys aloitetaan alapäästä. Luiskaan ei saa tehdä luiskaan nähden poikittaisia saumoja. Levitetyn kalvon päälle asetetaan tilapäisesti hiekkasäkkejä, renkaita tai muita painoja, jos tuuliolosuhteet niin vaativat. (Peggs 2005)

Saumauksessa tulee huomioida seuraavaa (Peggs 2005):

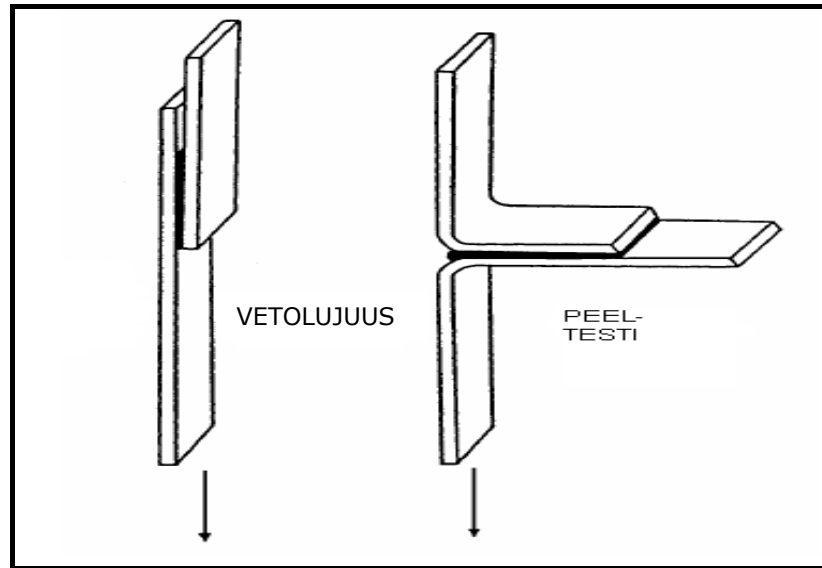
- hitsattavien saumojen määrä minimoidaan huomioiden nurkat
- matalilla alueilla vältetään saumoja mahdollisuuksien mukaan
- geomembraanikaistat limitetään riittävästi, jotta hitsisauman laatu on hyvä ja testaus voidaan tehdä onnistuneesti
- sääolosuhteet ja ympäristön asettamat rajoitukset.

Kalvo tulee suojata mahdollisimman pian. Liikennöintiä kalvon päällä tulee välttää.

Saumojen testaus jakaantuu kolmeen osaan:

- koesauma
- ainetta rikkomaton testaus
- ainetta rikkova testaus.

Koesauman tarkoituksena on varmistaa, että saumausolosuhteet kuten lämpötila, nopeus ja hitsauslaitteen paine ovat oikeat. Jokaisen saumausperiodin alussa tulee tehdä testisauma. Tärkeää on, että olosuhteet, hitsauslaitteet ja hitsaaja pysyvät samoina. Koesauma tulisi tehdä joka neljäs tunti. Tämän lisäksi olosuhteiden, hitsauskaluston tai hitsaajan vaihtuessa on aina tehtävä uusi testisauma. Koesaumojen koepaloista testataan repimislujuus (peel strength) ja vetolujuus (kuva 3.4). Kirjanpitoa pidetään hitsauskaluston lukumäärästä, hitsaajan henkilötiedoista, nopeudesta, hitsauslaitteen asetuksista, ajasta, eristeen lämpötilasta ja testaustuloksista. (Peggs 2005)



Kuva 3.4 Hitsaussaumalle tehtävät vetolujuus- ja peel-testi. (GRI-GM13 2009)

Kaikkien saumojen tiiviys testataan. Ainetta rikkomattoman testauksen tarkoitus on arvioida suurempien geomembraanisaumausalueiden eheyttä ilman, että saumasta leikataan palasia. Testaus tehdään yleensä vakuumikoe- (vacuumbox, kuva 3.5), painekoe- tai kipinätestausmenetelmällä saumaustavasta riippuen. Testauksen aikana löydetyt viat merkitään ja numeroidaan heti havaitsemisen jälkeen. Kaikki viat korjataan, testataan uudelleen ja merkitään korjatuiksi. Ainetta rikkovan testauksen tarkoitus on varmistaa hitsaussauman kestävyys, koska ainetta rikkoman testaus arvioi vain sauman eheyttä. Koepalat otetaan aina sauman päästä tai laadunvarmistajan ilmoittaman testaustiheyden mukaan. (Peggs 2005)



Kuva 3.5 Geomembraanin ainetta rikkoman testaus, vakuumikoe. (Phaneuf 2005)

Edellä mainittujen menetelmien lisäksi voidaan tiivistyskalvojen eheyttä tarkastella myös sähköisillä vuodontarkkailumenetelmillä. Järjestelmän avulla voidaan paikantaa mahdolliset vuotokohdat ja osoittaa rakenteen luotettavuus. Näin saadaan dokumentoitua tiivistyskalvon laatu asennuksen jälkeen tai käytön aikana. Suurin osa sähköisistä vuodonhavaitsemisjärjestelmistä mittaa kahden sensorin välistä potentiaaliero. Mobiilissa järjestelmässä kalvon tiiveyttä mitataan yläpuolisen maakerroksen päältä rakennustyön jälkeen. Maakerroksen paksuus, jonka päältä mitataan, voi olla enintään puoli metriä. Menetelmä on kertaluonteinen eli rakentamisen jälkeen havainnoidaan kalvoon syntyneet vauriot, paikataan ne ja mitataan uudelleen. Pysyvä järjestelmä asennetaan taas kalvon ylä- ja alapuolelle, jolloin se on toiminnassa yhtä kauan kuin rakenne. Kaapelit ja sensorit asennetaan tiivistyskalvon alapuolelle, josta kaapelit yhdistetään tiedonkeruukeskukseen. (Perttinen 2009)

Pysyvässä järjestelmässä tietoa tiiviydestä saadaan kolmella vaihtoehdoisella tavalla (Perttinen 2009):

- 1) off line-tietona eli tieto käydään keräämässä ja mittaamassa määräväliajoin
- 2) on line-tietona eli tieto saadaan reaaliaikaisesti näyttöpäätteeltä tai
- 3) ”vahtikoira” menetelmällä, jossa vuodosta ilmoitetaan äänimerkillä tai lukemalla.

Laadunvarmistuksen raportointi

Asennuksista toimitetaan päivittäin laadunvalvontatiedot tilaajalle ja valvojille. Työn lopussa laaditaan laadunvarmistusraportti, joka toimitetaan rakennuttajalle ja riippumattomalle laadunvalvojalle mahdollisimman pian työn valmistuttua. Laadunvarmistusloppuraportissa tulee ilmoittaa vähintään seuraavat tiedot (Peggs 2005):

- selostus hankkeesta
- tiivistyskerroksen ja muiden rakenteiden kuvaukset
- viittaus laatusuunnitelmaan ja muihin käytettyihin dokumentteihin
- geomembraanin ja muiden geosynteettien spesifikaatiot
- yhteenveto työmaan laadunvarmistustoimenpiteistä ja määristä (näytteet, virheelliset näytteet, tulokset)
- valokuvat työn etenemisestä
- valmistajan ja asentajan kelpoisuus
- geomembraanin raaka-aineen laadunvalvontatulokset
- geomembraanin laadunvalvontatulokset
- pohjamaan hyväksymistodistus
- kaikki testaustulokset
- työmaakokouksen pöytäkirjat koskien geomembraaniasennusta
- toteumapiirustukset.

Toteumapiirustuksista tulee selvittää:

- geomembraanisaumojen sijainnit ja saumojen tyypit
- geomembraanikaistojen ja asennettujen rullien numerot sekä geomembraanityyppi
- mahdollisten paikkojen sijainnit ja paikkaustapa
- luiskien harjat ja alareunat sekä ankkurointien sijainnit
- ainetta rikkovan testauksen näytteidenottoa paikkojen sijainnit ja näytenumerot
- rakentamisen yksityiskohdat, jotka eroavat suunnitelluista yksityiskohdista.

3.4.3. Geomembraanin suojakerros

Geomembraanin päälle tuleva suojakerros voidaan tehdä mineraaliaineksesta, neulasidotusta geotekstiilistä, molemmista yhdessä tai muusta materiaalista, joka pystyy ottamaan vastaan kalvoon kohdistuvat kuormitukset ja suojaamaan sitä pistemäisiltä kuormilta. Mineraalisen suojakerroksen täytyy olla vähintään 100 mm paksuinen (sopi va rakeisuus 0...2 mm). Geomembraanin päällä ei saa liikkua ennen kuin sen päällä on vähintään 300 mm paksuinen kerros. (SYKE 2002)

Suojageotekstiili ottaa vastaan suojattavaan rakenteeseen kohdistuvia rasituksia joko kokonaan tai osittain. Suojaaminen voi olla rakennusaikaista tai koko rakenteen eliniän aikaista. Suojageotekstiiliä käytetään yleensä suojaamaan geomembraania teräväsärmäisiä kiviä tai hankausta vastaan. Tämän lisäksi geotekstiilillä voidaan suojata geomembraania liian suurilta jännityksiltä. (Rathmayer & Juvankoski 1992)

Suojarakenteen valinnassa on otettava huomioon seuraavia seikkoja:

- kemiallinen kestävyys kaatopaikkavesien suhteen (pohjarakenne)
- riittävä kitka keinotekoisien eristeiden ja suojarakenteen rajapinnassa (erityisesti luiskat, pinta- ja pohjarakenne)
- kaatopaikan täyttökorkeus ja pohjalle muodostuvat pystysuora paine (pohjarakenne)
- suojakerroksen paksuus (geomembraaniin kohdistuvan hydrostaattisen paineen minimoimiseksi suojakerros tulisi rakentaa niin ohueksi kuin se on mahdollista riittävän suojavaikutuksen takaamiseksi)
- asennuksen asettamat vaatimukset esimerkiksi liikennöitävyys (pinta- ja pohjarakenne).

Suojageotekstiilin valintaperusteet ovat erilaiset Euroopassa ja USAssa. USAssa valinta perustuu ajatukseen, että suojageotekstiili estää geomembraanissa myötörajan ylittävät venymät. Euroopassa tavoitteena on rajoittaa geomembraanissa esiintyviä paikallisia venymiä alle 0,25 % tason.

Lähestymistapojen erilaisuus johtaa siihen, että USAssa käytetään Eurooppaan verrattuna ohuita suojageotekstiilejä (250...600 g/m², kuivatuskerroksen raakoosta riippuen). Eurooppalaisen ajatuksen perusteella valittujen suojageotekstiilien paksuudet ovat jopa yli 2000 g/m² ja Saksassa jopa yli 3000 g/m², vaikka saksalaiset ohjeet sallivat vain pyöristyneiden rakeiden käytön kuivatuskerroksessa. (Tammirinne et al. 2004a)

Ohut neulasidottu geotekstiili ei nosta hydraulista painetta tiivistysrakennetta vastaan. Huomiota tulee kuitenkin kiinnittää geotekstiilin mitoituskriteereihin, sillä tienrakentamisessa yleisesti käytetty käyttöluokitus ei sovellu käytettäväksi synteettisten kalvojen suojauksessa. Käyttöluokituksen sijasta tulisi mitoituskriteereinä käyttää puhkaisulujuutta sekä paksuus- ja painovaatimuksia. (SYKE 2002)

Geotekstiileiltä vaadittavat ominaisuudet ja testausmenetelmät on esitetty standardissa SFS-EN 13257 ”Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Toiminnalliset vaatimukset kaatopaikkojen rakentamisessa.” Tammirinne et al. (2004a) ehdottavat geomembraanin suojageotekstiilin tuotehyväksyntävaatimuksiksi taulukon 3.19 mukaisia menetelmiä.

Taulukko 3.19 Geomembraanin suojageotekstiilin tuotehyväksyntävaatimuksia (ehdotus) (Tammirinne et al. 2004a)

Ominaisuus	Testimenetelmä	Vaatus
Neliöpaino	ISO 9864:2005	1200 g/m ² , neulasidottu
Rullan koko		Leveys ja pituus ilmoitettava
Materiaali/tuote	Materiaali ei saa reagoida haitallisesti kalvomateriaalin kanssa (yh-teensopivuus varmistettava/ esitettävä), neulasidottu, suojaustarkoi-tuksiin valmistettu, neulavapaa	
Saumaus	Saumausmenetelmä ja saumauksen laadunvalvontamenetelmä sekä hyväksymiskriteerit esitettävä	

Edellisen lisäksi Tammirinne et al. (2004a) huomauttavat, että geotekstiilille voidaan asettaa yksityiskohtaisemmat hyväksymisvaatimukset, jotta geomembraanin vaurioi-tusmisriski työn aikana ja senkin jälkeen olisi mahdollisimman pieni ja tiivistysraken-teen toimintakyky säilyisi mahdollisimman pitkään. Esimerkkinä annetaan itävaltalaiset vaatimukset suojageotekstiilille (ÖNORM S 2076-2) (taulukko 3.20). Taulukkoon on lisätty UV-kestävyys ja kemiallinen kestävyys. UV-säteilyn kestävyys on kiinnitet-tävä erityistä huomiota, sillä markkinoilla on tuotteita, jotka tulee peittää saman päivän aikana asennuksesta. Suojageotekstiilin UV-kestävyys tulee olla vähintään asennusaika, mutta jos se jää peittämättä esim. luiskassa tulee UV-kestävyysajan olla pidempi. Sa-moin kemiallinen kestävyys on arvioitava erikseen esim. tuhkan kaatopaikoilla, joilla pH olosuhteet poikkeavat tavanomaisesta.

Taulukko 3.20 Geomembraanin suojageotekstiilin yksityiskohtaisempia tuotehyväksyntävaatimuksia (ehdotus) (Tammirinne et al. 2004a, modifioitu)

Ominaisuus	Testimenetelmä	Vaatus
Neliöpaino	ISO 9864:2005	$\geq 1200 \text{ g/m}^2$ minimiarvo (x-s)
Paksuus (2 kPa kuormalla)	ISO 9863-2:1996	$\geq 6 \text{ mm}$
Puhkaisulujuus (CBR puncture resistance)	EN ISO 12236	$\geq 8 \text{ kN (x-s)}$
Pyramidikoe (pyramid puncture test)	Kuvattu normissa	$\geq 1000 \text{ N}$ minimiarvo (x-s)
Vetolujuus (molemmat suunnat)	EN ISO 10319: 2008	$\geq 40 \text{ kN/m}$
Venymä (molemmat suunnat)	EN ISO 10319: 2008	$\geq 30 \%$
Kemiallinen kestävyys	EN ISO 10319:2008	Muutos vetolujuudessa ja venymässä $\leq 30 \%$
Turmeltuminen	EN ISO 10319: 2008	Muutos vetolujuudessa ja venymässä $\leq 20 \%$
Biologinen kestävyys	EN ISO 10319: 2008	Muutos vetolujuudessa ja venymässä $\leq 10 \%$
UV-kestävyys		Vähintään asennusaika. Mikäli jää näkyviin esim. luiskassa niin pidempi aika.
Kemiallinen kestävyys		arvioitava erikseen, jos esim. pH poikkeava

Suojakerroksessa voidaan käyttää myös bentoniitti- tai hiekkamattoja sekä teknisiltä ominaisuuksiltaan ja kaatopaikkakelpoisuudeltaan soveltuvia teollisuuden sivutuotteita.

3.4.4. Tiiviit asfaltit

Asfaltti on sekoitusasemalla tehty rakennusmateriaali, joka koostuu tietyn rakeisesta murskatusta kiviaineksesta, filleristä ja bitumista. Asfalttisen tiivistysrakenteen vesitiiviys on riippuvainen asfalttimassan tyypistä, koostumuksesta sekä levittämisen aikana tehdystä tiivistystyöstä (Sarkkila et al. 2006).

Tiivistä asfalttia voidaan käyttää keinotekoisena eristeenä, jolloin sen paksuus otetaan huomioon laskettaessa mineraalisen tiivistyskerroksen kokonaispaksuutta. Kaatopaikan tiivistysrakenteissa käytettävän asfaltin valmistuksessa on tärkeää seurata tarkkoja ohjeita. Huolimatta perinpohjaisesta tiivistämisestä levityksen yhteydessä yleensä jää jonkin verran ilmahuokosia bitumin sekaan. Toisaalta nämä huokokset eivät ole kosketuksissa keskenään, jolloin asfalttia voidaan pitää lähes läpäisemättömänä materiaalina advektiiviselle vedenvirtaukselle.

Mineraaliseen tiivistyskerrokseen verrattuna asfaltti kestää jonkin verran paremmin epätasaisia painumia ja oikeanlainen asfalttilaatu eristää hyvin suotoveden advektiivista virtausta.

Tiiviillä asfaltilla voidaan rakentaa kuumassa ja kuivassa ilmastossa, kun taas mineraalisen tiivistyskerroksen levittäminen ja tiivistäminen on näissä olosuhteissa haasteellista johtuen nopeasta kuivumisesta. Tiiviin asfaltin käyttöä kaatopaikan keinotekoisena eristeenä rajoittaa sen kalleus. Lisäksi se ei ole kestävä kaikille haitta-aineille kuten orgaanisille liuottimille eikä sillä ole kykyä sitoa itseensä haitta-aineita. Tiiviin asfaltin edut ja rajoitukset ovat koottu alla olevaan taulukkoon (*taulukko 3.21*). (Burkhardt & Egloffstein 2010)

Taulukko 3.21 Tiiviin asfaltin etuja ja rajoituksia (Burkhardt & Egloffstein 2010)

ETUJA	RAJOITUKSIA
Tunnettu rakennusmateriaali. Raaka-aineet, bitumi ja mineraalinen kiviaines ovat saatavilla lähes kaikkialla maailmassa ja samoin laitteisto asfaltin prosessointiin, levittämiseen ja tiivistämiseen	Kallis
Kestävä	Rajoitettu pakkasenkestävyys => vetoalkeamat vaurioittavat rakennetta
Materiaali on joustavaa => kestää jonkin verran paremmin epätasaisia painumia	Ei ole sorptiokykyä sitoa haitta-aineita itseensä
Oikeanlainen asfalttilaatu on erittäin hyvä eriste suotoveden advektiiviselle virtaukselle ja vastaa eristyskyvyltään geomembraania	Ei ole kestävä kaikille haitta-aineille. Tämän takia asfaltista tiivistyskerrosta ei tulisi rakentaa ongelmajätteiden kaatopaikoille, joissa arvellaan olevan orgaanisia liuottimia, öljyä, dieselöljyä, bentseeniä tai muita samankaltaisia orgaanisia nesteitä
Voidaan rakentaa kuumassa ja kuivassa ilmastossa.	
Ei tarvitse suojakerrosta, liikennöitävissä	Muuttaa ominaisuuksiaan jossain määrin ikäntyessään
	Vaatii kantavan alusrakenteen, jotta asfaltin tiivistäminen onnistuu

Yhdyskuntajätteen kaatopaikoilla jätteen hajoamisesta aiheutuvat epätasaiset painuvat estävät asfaltin käytön pintarakenteessa. Asfaltin käyttö pintarakenteessa tulee kyttyeseen lähinnä tuhkaa tai mineraalista jätettä sisältävillä kaatopaikoilla tai vanhoilla kaatopaikoilla, joissa painumat ovat suurimmaksi osaksi jo tapahtuneet. (Sipilä 2010)

3.4.5. Tiiviin asfalttirakenteen laadunvarmistus

Keinotekoisena eristeenä asfalttia käytettäessä yhdistelmä rakenteen tulee täyttää seuraavat vaatimukset (Sarkkila et al. 2006):

- kokonaispaksuus vähintään 500 mm
- asfaltin oltava vettä läpäisemätöntä
- asfaltti levitettävä vähintään kahtena kerroksena, siten etteivät saumat osu päällekkäin
- asfalttityyppi tiivis asfalttibetoni, ABT, tai kumibitumivaluasfaltti, KBVA
- alempi asfalttikerros vähintään 60 mm, ylempi 50 mm
- asfalttikerroksen tyhjättilavaatimus työmaalle $\leq 3 \%$, suhteutuksessa $\leq 2,5 \%$

Asfaltin hyvän tiivistymisen edellytyksenä on kantava pohjamaa ($E_2 \geq 75 \text{ MN/m}^2$). Huonosti kantavan mineraalisen tiivistyskerroksen päälle ($E_2 = 45 \dots 75 \text{ MN/m}^2$) voidaan rakentaa ylimääräinen kantava asfalttikerros, jonka paksuudeksi suositellaan 60 mm ja tyhjätilavuudeksi $< 5 \%$. Asfalttia ei tulisi käyttää pohjarakenteilla, joiden kantavuus on alle 45 MN/m^2 . (Sarkkila et al. 2006)

Asfalttirakenteen laadunvarmistus jakaantuu:

- raaka-aineiden valmistuksen laadunvarmistukseen (murske, bitumi, filleri)
- asfaltin valmistuksen laadunvarmistukseen
- työnaikaiseen laadunvarmistukseen
- valmiin rakenteen laadunvarmistukseen.

Asfaltin valmistuksen laadunvarmistus

Asfalttimassan suhteutus on tärkeä vaihe oikeiden toiminnallisten ominaisuuksien saavuttamiseksi. Kokemusperäisen suhteutuksen avulla (tiivien asfalttimassojen rakeisuksien ohjealueet, suositeltavat sideainelaadut ja sideainepitoisuudet) voidaan yleensä tehdä vesitiiviitä päällysteitä. Toisaalta täytyy muistaa, että asfalttimassan laatu riippuu käytössä olevasta kiviaineksen laadusta ja rakeisuudesta. Tämän takia etenkin suuremmissa ja vaativammissa kohteissa on asfalttimassan koostumus selvitettävä laboratorio-suhteutuksen tai niin sanotun toiminnallisen suhteutuksen avulla. Toiminnallinen suhteutus tarkoittaa, että laboratoriosuhteutuksessa määritetään asfalttimassan toiminnalliset ominaisuudet kuten vesitiiviys, lujuus tai muut kriittiset ominaisuudet. Laboratoriosuhteutuksessa eristeasfaltin (ABT) tyhjätilan on oltava alle $2,5 \%$, jotta asfalttimassa olisi käytännössä tarpeeksi tiivistyvää. (Sarkkila et al. 2006)

Asfalttimassan suhteutuksen yhteydessä määritetään alla olevan taulukon mukaiset laadunvarmistustoimenpiteet (*taulukko 3.22*). Urakoitsija valvoo asfalttimassan valmistuksen yhteydessä, että työreseptiä noudatetaan. Suurissa tai vaativissa kohteissa rakennetaan koerakenne, jonka avulla varmistetaan, että asetetut tiiviys ja toiminnalliset tavoitteet saavutetaan. (Sarkkila et al. 2006)

Taulukko 3.22 Suositukset tiiviasfaltin valmistuksen laadunvarmistustoimenpiteiksi (Sarkkila et al. 2006)

Laadunvarmistustoimenpiteet	Menetelmä
Massan koostumus -sideainepitoisuus -rakeisuus	Laboratoriomääritykset SFS-EN-12697-1 SFS-EN-12697-2
Massan koostumus -sideainepitoisuus -rakeisuus	Asfalttiaseman dokumentointi -toteutunut tai poikkeama ohjeesta -toteutunut tai poikkeama ohjeesta
Massan lämpötila	Mittaus asfalttiasemalla (jatkuva)
Toimitettu massamäärä	Asfalttiaseman vaaka

Työnsuorituksen laadunvarmistus

Työnsuorituksen laadunvarmistus on pääasiassa urakoitsijan vastuulla. Urakoitsijan on huolehdittava, että saavutetaan vaadittu päällysteen tiheys, tiiviysaste, tyhjätila ja vesitiiviys.

Tiiveydentarkkailu tapahtuu seuraavasti (Sarkkila et al. 2006):

- Asfalttimassan maksimitiheys määritetään standardin SFS-EN 12697-5 mukaan. Se tarvitaan päällysteen tiheyden määrittämiseen ja radiometristen laitteiden kalibrointiin
- Päällysteestä porataan näytteitä, joiden tiheydet, tilavuussuhteet ja tyhjätilat määritetään (SFS-EN 12697-6 +A1:en). Vesitiiviyttä arvioitaessa määritetään myös vedenläpäisevyys (PANK 4212).
- Päällysteen tiheys määritetään ainetta rikkomattomalla laitteella esimerkiksi DOR-menetelmällä (PANK 4113)/troxler-laitteella/ PDM-menetelmällä tai vastaavalla (PANK 4122).

Suurissa tai vaativissa töissä on aiheellista ottaa poranäyte esimerkiksi koerakenteesta eristysrakenteesta tiheyden ja tyhjätilan määrittämiseksi. Suositeltavaa on, ettei eristerakennetta puhkaista muuten turhaan näytteenoton takia. Levityksen yhteydessä urakoitsija seuraa massan lämpötilaa ja tarkkailee, että rakenteen paksuus on riittävä. Lämpötila on oleellinen parametri, sillä jäähtynyttä massaa ei saada tiivistettyä riittävän tiiviiksi. (Sarkkila et al. 2006)

Ainetta rikkomattomissa menetelmissä on syytä huolehtia, että mittalaitteet ovat kalibroituja. Radiometrisessä menetelmässä kalibrointi tehdään asfalttimassan maksimitiheyteen verrattuna (SFS-EN 12697-5) ja dielektrisyteen perustuvassa menetelmissä (PDM-menetelmä ja päällystetutka) määritettyyn päällysteen tiheyteen nähden. (Sarkkila et al. 2006)

Valmiin asfalttirakenteen laadunvarmistus

Valmiin asfalttirakenteen tulee täyttää työselityksessä esitetyt vaatimukset eristerakenteelle. Valmiin päällysteen laadunvarmistusmenetelmät ovat esitetty alla olevassa taulukossa (*taulukko 3.23*). Käytännössä monia toiminnallisia ominaisuuksia on vaikea mitata rikkomatta eristerakennetta. Tärkein toiminnallisista ominaisuuksista on vedenläpäisevyys tai vesitiiviys ja se mitataan epäsuorasti päällysteen tiheyden ja tyhjätilan kautta.

Taulukko 3.23 Valmiin asfalttirakenteen laadunvarmistusmittaukset (Sarkkila et al. 2006)

ASFALTTIERISTERAKENTEEN OMINAISUUS	MENETELMÄ	YKSIKKÖ
Korko/ sijainti	Vaaitus*	
Kaltevuus	PANK 5209*	%
Tasaisuus	Oikolauta (PANK 5102)*	mm/x m
Paksuus	Mittatikku*	mm
m ² -paino (massamäärä)	Kulutus työnaikainen*	kg/m ²
TILAVUUSSUHTEET		
Massan maksimitiheys	SFS-EN 12697-5	kg/m ³
Päällysteen tiheys	PANK 4113*, SFS-EN 12697-6	kg/m ³
Tyhjätila	PANK 4122*, SFS-EN 12697-8	%
TOIMINNALLISET OMINAISUUDET		
Vedenläpäisevyys	ASTM D5084, PANK 4212	m/s
Marshall-lujuus	SFS-EN 12697-34	kN
Jaksollinen viruma	SFS-EN 12697-25	%
Halkaisuvetolujuus	SFS-EN 12697-23	kPa
Kulutuskestävyys	SFS-EN 12697-16	cm ³
Pakkasenkestävyys kPa	PANK 4302	
Valuminen/lämmönkestävyys		
Liuottimen läpäisevyys		
Valuasfaltin painuma	SFS-EN 12697-21	mm
Kitka	PANK 5201*	

*Ainetta rikkomatton menetelmä

4. KAATOPAIKKAHANKKEEN LAADUNVALVONTA JA -VARMISTUS

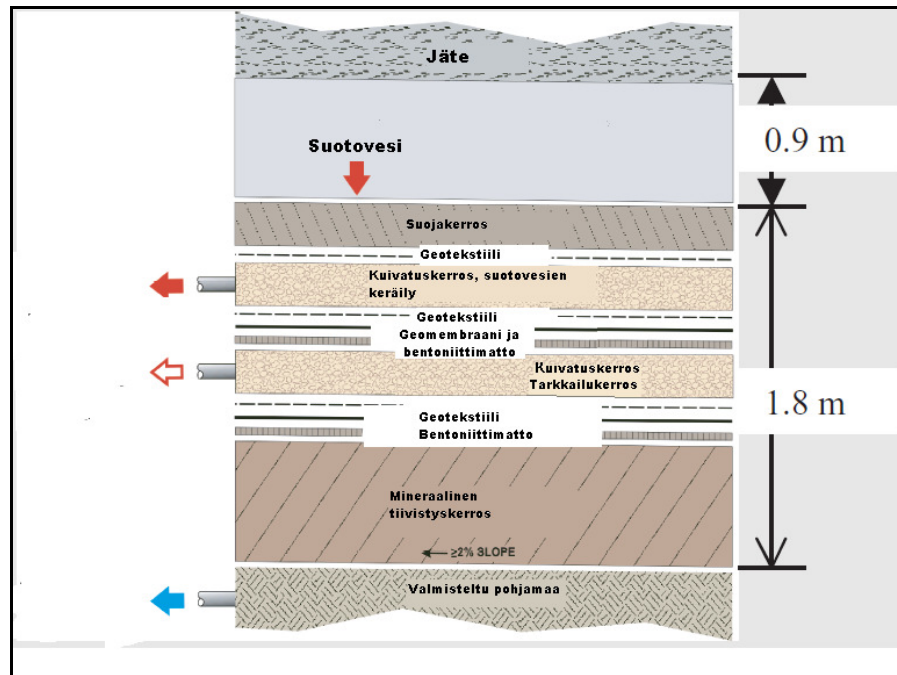
4.1. Laadunvalvonta ja -varmistus käsitteinä

Daniel ja Koerner (2007) toteavat, että kunnolla tehty kaatopaikan laadunvalvonta ja -varmistus ei ole helppoa eikä halpaa. Motivaatio kattavaan laadunvalvontaan ja -varmistukseen löytyy lopputuloksesta eli kaatopaikka toimii paremmin ja välttyään kaltilta korjauskustannuksilta. Hyvän laadunvarmistuksen odotetaan tuovan lisäarvoa rakentamiseen ja poistavan lähes kaikki sellaiset rakentamisen aikaiset virheet, jotka johtuvat siitä, että urakoitsija ei seuraa suunnitelmia tai työselityksen spesifikaatioita. Tosi-Asia kuitenkin on, että hyväkään laadunvarmistus ei pysty eliminoimaan kaikkia rakennusvirheitä, mutta yleisesti ollaan sitä mieltä, että se pystyy havaitsemaan suurimman osan virheistä.

Bonabarte et al. (2002) tutkivat vuotovesiä kaatopaikan eri elinkaaren aikana. Tutkituilla kaatopaikoilla oli käytössä USAssa yleinen niin kutsuttu kaksoisrakenne (*kuva 4.1*), jossa tavanomaisten rakennekerrosten lisäksi on toinen tiivistyskalvo ja tarkkailukerros kalvon vaurioiden havaitsemiseksi. Tulosten perusteella voitiin havaita, että geomembraania käytettäessä yksinään vuotovesimäärät pohjarakenteen läpi olivat suurimmat. Geomembraanilla päällystetyn mineraalisen tiivistyskerroksen (GM/CCL) vuotovesimäärä oli lähes yhtä suuri kuin mineraalisen tiivistyskerroksen konsolidatiovesimäärä. Näin ollen GM/CCL:n todellista vuotovesimäärää oli vaikea arvioida. Geomembraani bentoniittimaton päällä (GM/GCL) oli tutkituista rakenteista vuotovesimäärän perusteella paras ja antoi vain hyvin pieniä vuotovesimääriä. Sama tutkimus korosti myös monia kriittisiä asioita, jotka täytyy sisällyttää laadunvarmistus suunnitelmiin ja dokumentteihin. Ne ovat seuraavia:

- maa-aineksen ja geosynteettisen materiaalin vastaavuus hankkeen vaatimuksiin
- mineraalisen tiivistysmateriaalin kerrosten oikea esikäsittely ja levitys
- mineraalisen tiivistyskerroksen kuivatilavuuspaino ja vesipitoisuus
- mineraalisen tiivistyskerroksen suojaus kuivumiselta ja jäätymiseltä
- geomembraanien levitys välttämällä liiallisia laineita ja suojakerroksen levittäminen geomembraanin päälle niin, että minimoidaan laineiden litistymisen vajeiksi (mahdollistetaan kiinteä kontakti kalvon ja mineraalisen kerroksen välille)
- bentoniittimaton ennenaikaisen hydratoitumisen estäminen

- geomembraanisauvojen testaaminen mukaan lukien ainetta rikkomaton ja ainetta rikkova testaus
- geomembraaniin ei saa tulla reikiä suojakerroksen materiaalista tai työkoneista.



Kuva 4.1 USAssa yleisesti käytössä oleva kaksoisrakenne. (National Research Council 2007)

McQuade ja Needham (1999) tarkastelivat laadunvarmistuksen merkitystä geomembraaniasennuksissa. He vertasivat geomembraaniasennusten reikiä tiheyksiä kaikkien tarkasteltujen kaatopaikkatyömaiden ja niiden työmaiden kesken, joilla oli erityisen tiukka laadunvarmistus. Tutkimuksessa todettiin, että yleisesti kaatopaikan geomembraaniasennuksissa reikiä hehtaarilla oli keskimäärin 4,5 mutta kaatopaikkatyömailla, joilla oli tiukka laadunvarmistus, reikiä hehtaarilla oli keskimäärin enää 0,8. Mikäli tätä ajatellaan vuotomäärinä geomembraanin läpi, niin 4,5 reikää hehtaarilla tarkoittaa 96 m^3 päivässä hehtaaria kohti, kun taas 0,8 reikää hehtaarilla tarkoittaa 18 m^3 päivässä hehtaaria kohti. (Jones 2010)

Laadunvarmistuksen ja -valvonnan tarkoitus on varmistaa, että rakenteessa olevat materiaalit täyttävät niille asetetut vaatimukset ja rakenne on rakennettu niin, että se toimii sille tarkoitettulla tavalla. Tiivistysrakenteiden osalta tämä tarkoittaa sitä, että rakenne estää haitallisten aineiden pääsyn ympäristöön ja pohjaveteen. Yleisesti laadunvalvonta ja -varmistus voidaan määrittellä seuraavasti:

Laadunvalvonta (quality control, QC) voidaan ajatella toimenpiteiksi, jotka materiaalin valmistajan tai työn suorittajan tulee tehdä materiaalin tai oman työn laadun takaamiseksi (Peggs 2004)

Laadunvarmistus (quality assurance, QA) taas tarkoittaa kolmannen osapuolen suorittamia toimenpiteitä, joilla taataan, että vastaanotettava materiaali tai työ vastaa hankkeen tai valmistajan antamia spesifikaatioita (Peggs 2004).

Laadunvarmistuksen avulla pyritään takaamaan, että hankkeen lopputulos täyttää sille asetetut vaatimukset ja voimassa olevat määräykset. Laadunvarmistus kattaa koko hankkeen mukaan lukien suunnittelun lähtötietojen määrittelyn, suunnitelmien ja työselitysten laatimisen ja toteutuksen. (SYKE 2002)

Laadunvalvonnan ja -varmistuksen eroista tärkeintä on muistaa, että urakoitsija tai työtä tekevä osapuoli ei voi suorittaa laadunvarmistustestauksia omalle työlleen vaan tekee laadunvalvontatestauksia.

Daniel ja Koerner (2007) jakavat laadunvalvonnan ja -varmistuksen seuraaviin osiin:

Valmistuksen laadunvalvonta (Manufacturing quality control, MQC) on suunnitelmallinen tarkastusmenetelmä, jota käytetään teollisesti valmistettujen tuotteiden valmistuksen seurantaan ja valvontaan. MQC tehdään yleensä valmistajan toimesta geosynteettisille materiaaleille ja on tarpeen, jotta valmistettu tuote täyttää sille spesifioidut minimi (tai maksimi) arvot. MQC viittaa valmistajan toimenpiteisiin, joilla se pystyy osoittamaan, että materiaalit ja työntekijät täyttävät sertifiointidokumenttien ja sopimukseen määritetyt vaatimukset

Valmistuksen laadunvarmistus (Manufacturing quality assurance, MQA) on suunnitelmallinen sarja toimintoja, joka antaa varmistusta sille, että tuotteet on valmistettu sertifiointidokumenttien ja sopimusten mukaan. MQA sisältää valmistajan tilojen tarkastamisen, verifikaatiot, seurannat sekä raaka-aineen ja geosynteettisten tuotteiden arvioinnin. MQA viittaa toimenpiteisiin, joilla MQA-organisaatio määrittää, onko valmistaja täyttänyt hankkeelle asetetut tuotesertifiointi- ja sopimusspesifikaatiot.

Rakentamisen laadunvalvonta (construction quality control, CQC) on suunnitelmallinen tarkastusmenetelmä, jolla seurataan ja valvotaan rakennushankkeen laatua. CQC:n tekee normaalisti geosynteettisten materiaalien asentaja tai luonnon maa-aineksien kohdalla maarakennusurakoitsija, ja on välttämätön rakennetun tai asennetun rakenteen laadun takaamiseksi. CQC viittaa niihin toimenpiteisiin, joilla asentaja tai urakoitsija osoittaa täyttävänsä hankkeen suunnitelmissa ja spesifikaatioissa esitetyt vaatimukset niin materiaalien kuin työntekijöiden osalta.

Rakentamisen laadunvarmistus (construction quality assurance, CQA) on suunnitelmallinen sarja toimintoja, joilla rakennuttaja ja ympäristölupaviranomainen saavat varmistusta siitä, että rakenne on rakennettu suunnitelmaspesifikaatioiden mukaisesti.

CQA sisältää tarkastuksia, verifikaatioita, seuranta (katselmuksia) sekä materiaalin ja henkilökunnan arvioinnit, joilla määritetään ja dokumentoidaan rakennetun rakenteen laatu. CQA viittaa toimenpiteisiin, joilla CQA-organisaatio arvioi, että asentaja ja urakoitsija täyttävät hankkeen suunnitelmissa ja spesifikaatioissa esitetyt vaatimukset.

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden geosynteettisten materiaalien osalta voidaan määritellä rakentamisen laadunvalvonta- ja varmistustoimenpiteet seuraavasti; geosynteettisten materiaalien asentaja tekee rakentamisen laadunvalvontaa (CQC) ja erillinen organisaatio tekee työn laadunvarmistusta (CQA). Maamateriaalien kohdalla tämä ero ei enää ole niin selvä, sillä CQC ja CQA toimenpiteet ovat hyvin lähellä toisiaan. Esimerkiksi maarakennustöissä maan vesipitoisuuden voi määrittää CQA-organisaatio ja ilmoittaa arvon urakoitsijalle. Urakoitsija taas käyttää tätä tietoa omassa laadunvalvonnassaan.

Urakoitsija voi joutua tekemään laajoja kokeita osana laadunvalvontaa ja tämän lisäksi laadunvarmistusorganisaatio tekee rinnakkaistestauksia määrittääkseen laadunvalvontatestausten oikeellisuuden. Urakoitsijan tekee oman työnsä suorituksesta laadunvalvontasuunnitelman, mutta toisaalta työhön liittyy myös laadunvarmistusta tulevien materiaalien oikeellisuuden ja esimerkiksi alustan tasaisuuden tarkistamista. Tällöin urakoitsija tekee periaatteessa laadunvalvonta- ja laadunvarmistussuunnitelman. Tämä muodostaa käsittehirviön, joka Suomen kielessä aiheuttaa harmaita hiuksia. Tämän takia tässä opinäytetyössä käytetään sanaa laatusuunnitelma, kun puhutaan laadunvalvonta- ja laadunvarmistussuunnitelmasta.

4.2. Laadunvarmistus kaatopaikan rakennushankkeen vaiheissa

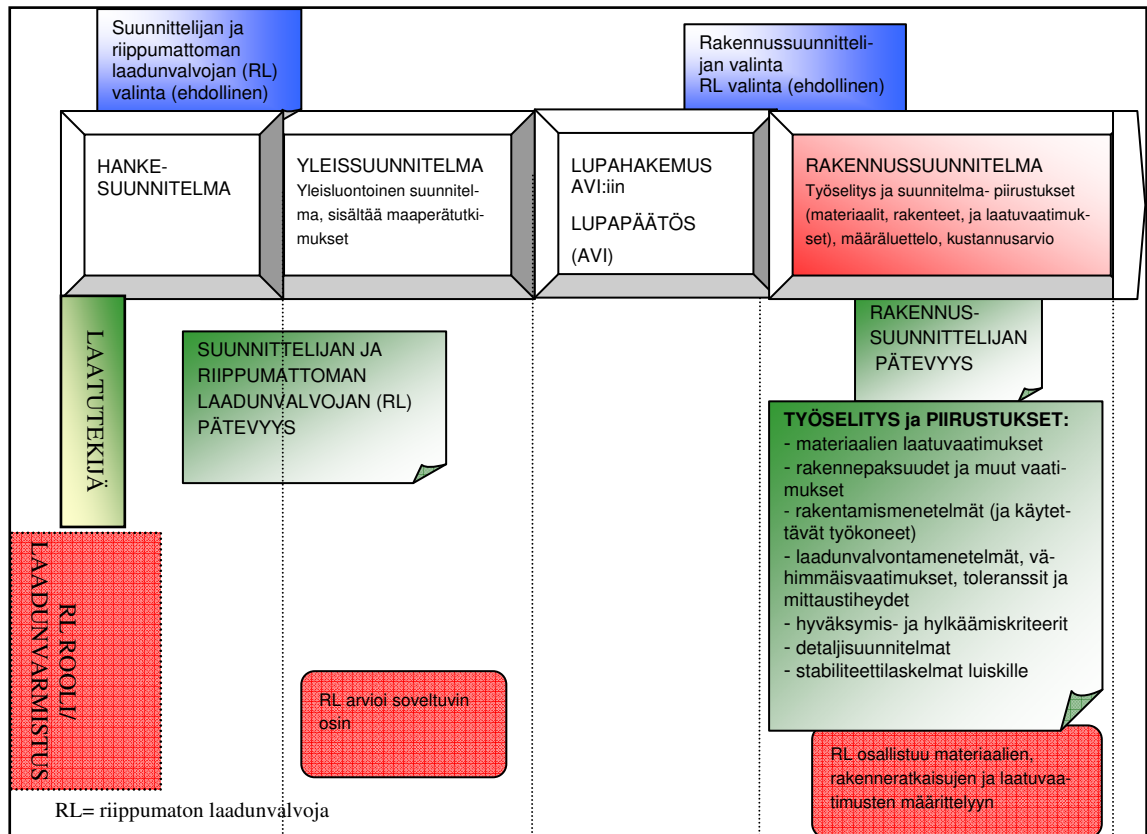
Laadunvalvonta ja -varmistus tulisi olla mukana koko kaatopaikkahankkeen ajan - hankesuunnitelmasta rakentamisen jälkeisiin toimenpiteisiin. Tässä kappaleessa kuvataan kaatopaikan rakennushankkeen vaiheita, laatutekijöitä ja riippumattoman laadunvalvojan roolia laadunvarmistajana. Kaatopaikan rakennushanke esitetään ”junana”, joka lähtee asemalta oikein varustautuneena ja ohjeistettuna, jotta oikealle pääteasemalle päästään aikataulun mukaisesti. Rakennushankejunaan otetaan kyytiin asiantuntijoita, joiden tehtävä on varmistaa kaatopaikkahankkeen onnistuminen. Varsinaisesti eri osapuolten vastuut ovat kerrottu *kappaleessa 5.4*.

Kaatopaikan rakennushanke lähtee käyntiin hankepäätöksen jälkeen, josta matka jatkuu yleissuunnittelu- ja ympäristölupavaiheen kautta varsinaiseen rakennussuunnitelmavaiheeseen (*kuva 4.2*). Pätevä suunnittelija ja riippumaton laadunvalvoja voidaan tai paremminkin olisi suositeltavaa valita hankkeeseen mukaan jo hankepäätöksen jälkeen.

Yleissuunnitelmavaiheessa laaditaan tiivistysrakenteiden suunnitelmat käyttäen usein niin sanottua perusratkaisua, joka on kaatopaikkapäätöksen VNp 861/97 mukainen. Tässä vaiheessa suunnitelmat eivät vielä ole kovin yksityiskohtaisia. Suunnitelmissa esitetään periaatteellinen rakennepoikkileikkaus, jossa on esitetty kerrosten paksuudet ja niiltä vaaditut ominaisuudet. Yleissuunnitelmaa käytetään hyväksi ympäristölupaa haettaessa. Riippumaton laadunvalvoja voi olla arvioimassa suunnitelmia lupanhakuprosessin näkökulmasta. Näin ollen kaikki luvan hakemisessa tarvittavat seikat on otettu huomioon riittävällä tarkkuudella, jolloin myös lupaviranomaisen tehtävä helpottuu ja lupahakemuksen käsittelyaika lyhenee. Mikäli aiotaan käyttää vaihtoehtoisia materiaaleja tai rakenteita, on se syytä ottaa huomioon jo ympäristölupahakemuksessa, jotta vältytään uudelta käsittelykierrokselta. (Leppänen et al. 2006)

Ympäristölupahakemuksen käsittelee aluehallintovirasto (AVI), jossa lupaviranomainen arvioi hankekohtaisesti luvanmyöntämisen edellytykset ja lupanhakijan valvontaosaimisen tason ja antaa näiden perusteella lupamääräykset. Ympäristölupa voidaan myöntää toistaiseksi tai poikkeustapauksissa määräaikaiseksi. (Sipilä 2010)

Rakennussuunnitteluvaihe on hyvin tärkeä vaihe, koska siinä määritellään rakentamisen laatukriteerit ja niiden todentaminen. Rakennussuunnitelmavaiheessa asetetut vaatimukset kuvaavat lopputulosta, joten tässä vaiheessa sekä suunnittelija että riippumaton laadunvalvoja ovat tärkeässä asemassa. Riippumaton laadunvalvoja voi olla avustamassa materiaalien, rakenneratkaisujen ja laatukriteerien määrittelyssä. Suunnittelija laatii ympäristölupaehtojen perusteella hankkeelle työselityksen ja tarvittavat piirustukset. Suunnittelijan on osoitettava laskelmin, että toteutettaviksi esitetyt rakenteet täyttävät ympäristöluvan vaatimukset ja soveltuvat kohteeseen. Hankkeen toteuttamista helpottaisi huomattavasti, jos rakennuttajalla olisi jo materiaalit tiedossa, jolloin suunnittelija voisi suunnitella rakenteet käytettävillä materiaaleilla yksityiskohtaisesti detaljeja ja läpivientejä myöten. Samalla myös ennakkokokeet saataisiin paremmin huomioitua hankkeen aikataulutuksessa. Käytännössä materiaalit varmistuvat monesti vasta urakkatarjousvaiheen jälkeen, koska urakoitsijalle annetaan mahdollisuus esittää omia ympäristöluvan mukaisia materiaalivaihtoehtoja. (Leppänen et al. 2006)



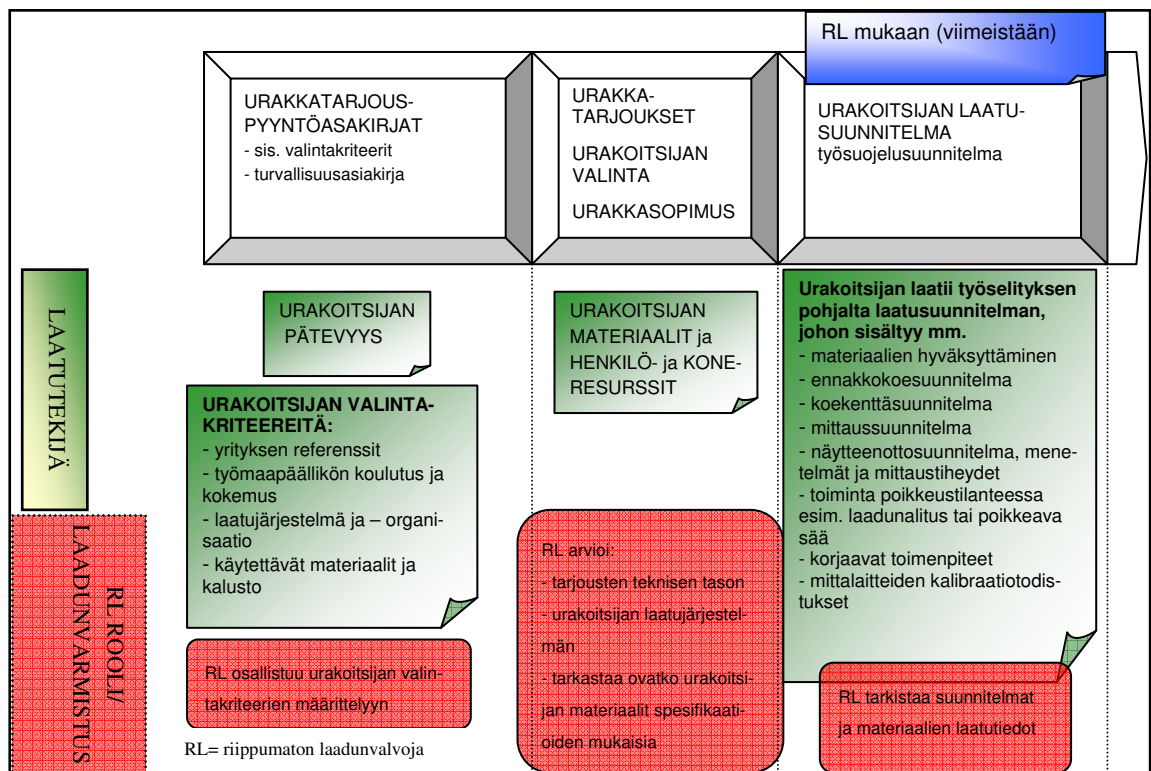
Kuva 4.2 Kaatopaikan rakennushankejuna osa 1: Hankevaiheesta rakennussuunnittelu-vaiheeseen (Leppänen et al. 2006, modifioitu)

Rakennussuunnitteluvaiheen jälkeen rakennushankejuna jatkaa matkaa urakoitsijan valintaan (kuva 4.3). Tässä vaiheessa laaditaan urakkatarjouspyyntöasiakirjat, joiden perusteella urakoitsijat antavat urakkatarjouksensa. Riippumaton laadunvalvoja voi olla mukana urakkatarjouspyyntöasiakirjojen valmistelussa. Urakoitsijan valintakriteereitä voivat olla urakoitsijan referenssit, työmaapäällikön kokemus, laatujärjestelmä ja tarvittava kalusto. Esimerkiksi työmaapäällikön kokemuksella voi olla huomattava vaikutus hankkeen onnistumiselle.

Urakoitsijan valintavaiheessa riippumattoman laadunvalvojan tehtäviin voi kuulua tarjousten teknisen tason ja urakoitsijoiden laatujärjestelmän arviointi. Tarjousten on täytettävä minimivaatimukset kaikkien laatutekijöiden osalta, jotka on määritetty tarjouspyyntöasiakirjoissa. Urakkasopimusvaiheessa riippumaton laadunvalvoja voi olla määrittämässä ja arvioimassa sopimukseen sisällytettäviä rakennustyön hyväksymisperiaatteita ja urakoitsijan esittämiä materiaaleja. (Leppänen et al. 2006)

Urakoitsija laatii ennen työn aloittamista työselityksen perusteella laatusuunnitelman, johon on sisällytetty kaikki ne toimenpiteet, joilla urakoitsija varmistaa, että rakenteet täyttävät niille asetetut vaatimukset.

Urakoitsija esittää laatusuunnitelmassaan materiaalien hyväksyttämismenettelyt, ennakkokoe- ja koekenttäsuunnitelman mittaustiheyksineen ja mittaussuunnitelman. Laatusuunnitelmassa on myös selostettu, miten toimitaan poikkeustilanteissa kuten laadunaliuksissa tai sääolosuhteiden muuttuessa. Poikkeustilanteiden yhteydessä esitetään korjaavat toimenpiteet. Urakoitsija laatii myös hankkeen työsuojelusuunnitelman. Riippumaton laadunvalvoja on valittava kaatopaikan rakennushankkeeseen viimeistään tässä vaiheessa, jolloin hän tarkastaa urakoitsijan laatusuunnitelman. Molempien, sekä riippumattoman laadunvalvojan että rakennuttajan, on hyväksyttävä laatusuunnitelma ennen kuin rakennustyöt voidaan aloittaa. Lisäksi laatusuunnitelma toimitetaan myös ympäristöhallinnon valvojalle (ELY-keskus) hyväksyttäväksi. (Leppänen et al. 2006)



Kuva 4.3 Kaatopaikan rakennushankejuna osa 2: Urakkatarjouspyyntöasiakirjoista urakoitsijan laatusuunnitelmaan (Leppänen et al. 2006, modifioitu)

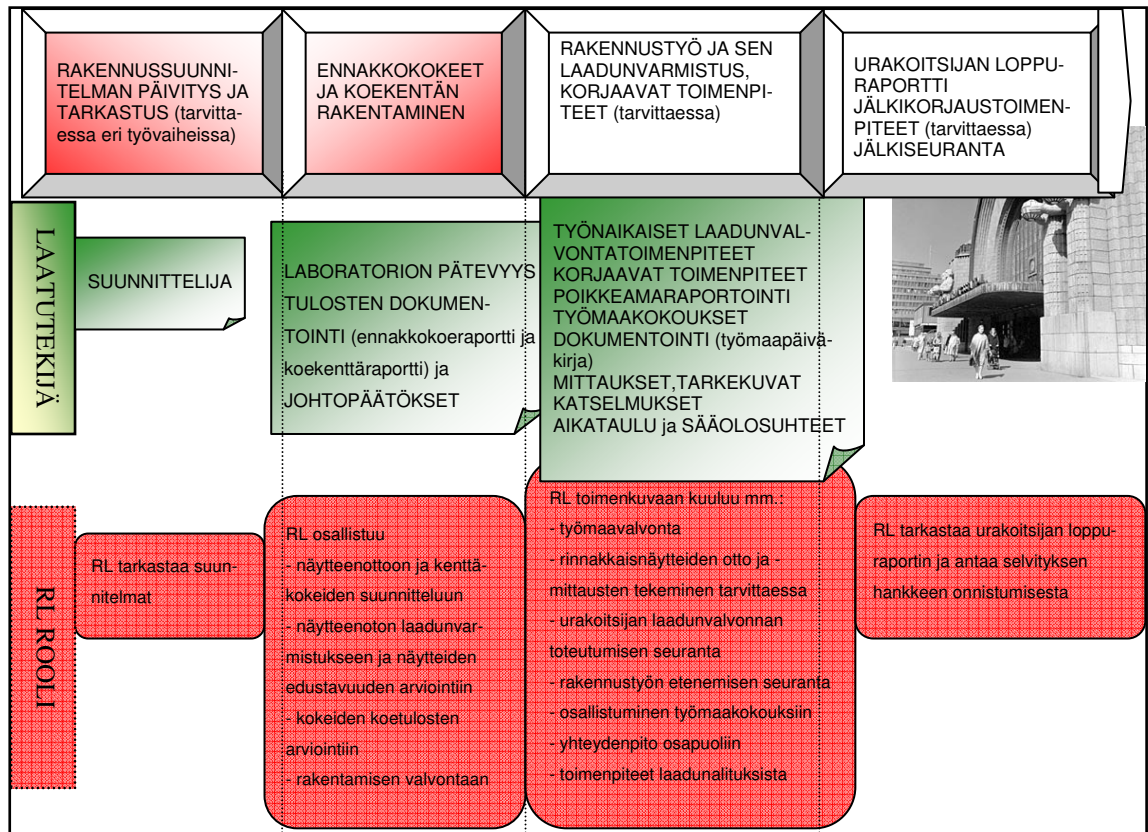
Urakoitsijan valinnan jälkeen materiaalit ja toteutustavat saattavat muuttua, jolloin rakennussuunnitelma tulee tarkastaa ja päivittää yhteistyössä suunnittelijan kanssa (kuva 4.4). Suunnittelija ei ole vastuussa, jos suunnitelmista poiketaan ilman suunnittelijan hyväksyntää. Riippumaton laadunvalvoja tarkastaa päivitetyn suunnitelman, mahdolliset suunnitelmamuutokset, detaljisuunnitelman sekä urakoitsijan laatiman työmaan työsuojelu- ja laatusuunnitelman. Muuttuneet rakenteet ja materiaalit on hyväksyttävä myös viranomaisvalvojalla. (Leppänen et al. 2006)

Riippumaton laadunvalvoja osallistuu myös materiaalien ennakkokokeiden ja koekentän suunnitteluun. Valvontatoimenpiteinä käytetään näytteenoton laadunvarmistusmenetelmiä, näytteiden edustavuuden arviointia sekä kokeiden ja koetulosten seuranta. Koekenttävaihe on hyvin tärkeä vaihe, koska siinä vaiheessa materiaalin ja työmenetelmien soveltuvuuden lisäksi kalibroidaan myös käytettävät laadunvalvontamenetelmät. Koekentällä voidaan käyttää rinnakkain useita eri menetelmiä, kuten pitkäaikaisia mittauksia tai ainetta rikkovia menetelmiä, joiden käyttö ei ole suositeltavaa rakentamisen aikana. (Leppänen et al. 2006)

Rakentamisvaiheessa urakoitsijan tulee osoittaa työn suunnitelmien mukaisuus rakennuttajalle, viranomaiselle ja riippumattomalle laadunvalvojalle. Urakoitsija on vastuussa aikataulutuksesta ja laadunvalvontatoimenpiteiden suorittamisesta. Urakoitsijalla on myös vastuu informoida rakennuttajaa ja riippumatonta laadunvalvojaa aikatauluun ja rakentamiseen liittyvistä tapahtumista. (Daniel & Koerner 2007)

Urakoitsijan loppuraportissa kuvataan työn toteutus, tehdyt laadunvalvontatoimenpiteet mittauksineen ja mahdolliset korjaavat toimenpiteet. Loppuraporttiin liitetään materiaalitiedot, valmistuksen laadunvalvontakokeiden tulokset, ennakkokoeraportti, koekenttäraportti, poikkeamaraportit, kalvon asennuspiirustus ja muut toteumapiirustukset. (Leppänen et al. 2006)

Riippumattoman laadunvalvojan rakennustyönäikainen laadunvarmistus käsittää laatuun vaikuttavien asioiden seurannan kuten materiaalien varastointi, siisteys, työntekijöiden ammattitaito ja työsuojelutoimenpiteet sekä materiaalien käyttöön ja vaatimusten täyttymiseen liittyvät kokeet. Lisäksi riippumaton laadunvalvoja suorittaa materiaaliominaisuuksien ja asennuksen ja rakennustyön valvontaa. Riippumaton laadunvalvoja tarkastaa urakoitsijan loppuraportin ja antaa selvityksen hankkeen onnistumisesta rakennuttajalle ja ympäristöviranomaiselle. (Leppänen et al. 2006)



RL= riippumaton laadunvalvoja

Kuva 4.4 Kaatopaikan rakennushankkeena osa 3: Rakennussuunnitelman päivityksestä loppuraporttiin (Leppänen et al. 2006, modifioitu)

Kaatopaikan rakennushankkeen laadunvarmistuksen tärkeitä osa-alueita ovat henkilöiden pätevyudet, vastuiden jako, laatusuunnitelman sisältö, dokumentointi ja kokoukset. Näiden merkityksestä on kerrottu seuraavien kappaleiden yhteydessä.

4.3. Hankkeen osapuolet ja näiden tehtävät

Koko rakennushankkeen onnistumisen kannalta on tärkeä tietää osapuolten vastuut ja velvollisuudet. Kaatopaikkahankkeen pääosapuolet ovat rakennuttaja, suunnittelija, urakoitsija, riippumaton laadunvalvoja ja ympäristölupaviranomainen. Näiden osapuolten vastuita ja velvollisuuksia tarkastellaan yksityiskohtaisemmin seuraavissa kappaleissa. Tämän lisäksi hankkeessa voi olla mukana muita osapuolia, kuten alihankkijoita, testauslaboratorioita ja ulkopuolisia laadunvarmistajia.

Rakennushankkeissa tulisi käyttää rakennusurakan yleisiä sopimusehtoja (YSE) ja urakkasopimus olisi hyvä tehdä käyttäen valmiita urakkasopimuslomakkeita. Yleisistä sopimusehdoista poikkeavaa rakennusurakkasopimusta tehtäessä on syytä käyttää asiantuntevaa lakimiestä.

4.3.1. Rakennuttaja

Rakennuttaja on ”luonnollinen tai juridinen henkilö, jonka lukuun rakennustyö tehdään ja joka viime kädessä vastaanottaa työn” (YSE 98). Rakennuttaja on kaatopaikan ja sitä koskevan ympäristöluvan haltija. Rakennuttaja vastaa ympäristölupaviranomaisille koko hankkeen luvanmukaisuudesta (SYKE 2008). Rakennuttaja valitsee urakoitsijan ja palkkaa riippumattoman laadunvalvojan.

Rakennuttaja toimittaa ympäristöviranomaiselle laadunvarmistusloppuraportin, jossa vakuutetaan viranomaisille, että rakenne on rakennettu viranomaisen hyväksymien suunnitelma-asiakirjojen ja spesifikaatioiden mukaan (Daniel & Koerner 2007). Kaikki viralliset yhteydet ympäristöviranomaisiin hoitaa luvanhaltija eli rakennuttaja. Rakennuttaja voi siirtää vastuun rakennushankkeesta kokonaan tai osittain valitsemaalleen osapuolelle esimerkiksi rakennuttajakonsultille. Kaatopaikan rakennushanke voidaan toteuttaa myös kokonaisvastuu-urakkana, jolloin urakoitsijan vastuulla on rakenteiden suunnittelu. Vastuiden siirrot ja osapuolten tehtävät tulee aina kirjata sopimukseen. (Leppänen et al. 2006)

Rakennuttajalla on syytä olla työmaalla kokenut paikallisvalvoja, joka seuraa työmaan etenemistä päivittäin. Riippumaton laadunvalvoja ohjeistaa paikallisvalvojan työtä. Työnjako riippumattoman laadunvalvojan ja paikallisvalvojan välillä määrittelee riippumattoman laadunvalvonnan sisältöä. Paikallisvalvoja hoitaa usein työmaapöytäkirjojen tarkastamisen ja arvioi niiden tulokset. Mikäli työmaalla on pätevä paikallisvalvoja, helpottaa tämä riippumattoman laadunvalvojan työtaakkaa, jolloin riippumattoman laadunvalvojan satunnaiskäyntejä ei välttämättä tarvita. (Leppänen et al. 2006)

Rakennuttajan tulee huolehtia, että näytteiden analysointiin käytettävä testauslaboratoriot ovat akkreditoituja tai käyttävät muuten luotettavaksi osoitettuja laatujärjestelmiä. Yleiset laatuvaatimukset testaus- ja kalibrointilaboratorioille on annettu standardissa SFS EN ISO/IEC 17025 sekä ohjeesta ”*ISO Guide 25; general requirements for the technical competences of testing laboratories.*” (SYKE 2008).

4.3.2. Lupaviranomainen ja viranomaisvalvoja

Lupaviranomainen (2010 lähtien aluehallintovirasto AVI) myöntää hankkeelle ympäristöluvan yleensä yleissuunnitelman mukaan. Lupaviranomainen myös varmistaa luvanmyöntämisedellytyksen ja antaa tarvittavat lupaehdot pilaantumisen estämiseksi. Yleensä lupaehdoissa vaaditaan riippumattoman laadunvalvojan käyttöä rakentamisvaiheessa. Lisäksi lupaviranomainen voi delegoida yksityiskohtaisen suunnitelmien hyväksymisen valvontaviranomaiselle, joka hyväksyy toteutuneen työn lupaviranomaisen toimesta. Muuten lupaviranomainen on taho, joka hyväksyy kaatopaikan rakentamisen lopputuloksen käyttöön ottamisen tai käytöstä poistamisen. (SYKE 2008)

Viranomaisvalvoja (vuodesta 2010 lähtien elinkeino-, liikenne- ja ympäristövirasto ELY) hyväksyy suunnitelmat ja niihin tehtävät muutokset. Viranomaisvalvojan tärkein tehtävä on varmistaa työsuoritusten luvan- ja lainmukaisuus. Valvoja voi tehdä työmaakäyntejä ja osallistua työmaakokouksiin. Lisäksi hän tarkastaa laadunvalvontaraportin ja hyväksyy toteutuneen työn lupaviranomaisen puolesta (SYKE 2008).

4.3.3. Riippumaton laadunvalvoja

Riippumaton laadunvalvoja on sopimussuhteessa rakennuttajaan. Rakentamisvaiheessa riippumattoman laadunvalvojan tehtävänä on varmistaa urakoitsijan laadunvarmistuksen asianmukaisuus. Rakennuttaja voi palkata riippumattoman laadunvalvojan jo suunnitteluvaiheessa tarkastamaan suunnitelmia ja määrittämään laatuksiteerejä. Riippumaton laadunvalvoja ei saa olla sidoksissa kohteen suunnittelijaan tai urakoitsijaan. (Hämäläinen 2006)

Pätevä riippumaton laadunvalvoja voi olla mukana ohjeistamassa kaatopaikkahanketta jopa jo yleissuunnitelmavaiheessa, jos rakennuttaja niin haluaa. Riippumaton laadunvalvoja on otettava viimeistään hankkeeseen mukaan urakoitsijan valinnan jälkeen. Suositus on kuitenkin, että riippumaton laadunvalvoja valitaan kaatopaikkahankkeeseen viimeistään ennen urakkatarjouspyyntöjä, jotta urakoitsijoille lähtevät suunnitelmasiikirjat ehditään tarkastaa eikä niihin jää puutteita tai virheitä, joiden korjaaminen urakkatarjousvaiheen jälkeen ja erityisesti urakkasopimuksen allekirjoittamisen jälkeen voi olla hankalaa. Riippumattoman laadunvalvojan tehtäväkenttää on esitetty *kuvassa 4.5*. (Leppänen 2010)



Kuva 4.5 Riippumattoman laadunvalvojan tehtävät ja toimintakenttä

Riippumaton laadunvalvoja tarkastaa suunnitelmat ja urakoitsijan ennen työn aloitusta laatiman työvaihekohtaisen laatusuunnitelman, johon sisältyy mittaussuunnitelma, työsuojelusuunnitelma, kalvojen levityssuunnitelma, työmaasuunnitelma ja aikataulu sekä tuotetiedot ja niiden valmistuksen laadunvalvontatulokset. (Leppänen et al. 2006)

Riippumaton laadunvalvoja voi tarkkailla urakoitsijan laadunvalvontaa seuraavilla tavoilla (Leppänen et al. 2006):

- satunnaiskäynneillä työmaalle
- kohdennetuilla käynneillä työmaalle ja katselmuksilla
- koetulosten ja laboratoriotutkimusten seurannalla
- rinnakkaisnäytteillä urakoitsijan laadunvalvontakokeiden tulosten varmistamiseksi.

Satunnaiskäyntejä työmaalle ei ole tarpeen ilmoittaa etukäteen urakoitsijan edustajalle. Käyntien yhteydessä tehdään havaintoja työvaiheista, työmaan toiminnasta ja työselityksen noudattamisesta. Riippumaton laadunvalvojan satunnaiskäynnit voidaan sitoa joko aikaan tai työn etenemisnopeuteen. Käyntejä tarvitaan useammin, jos työmaalla esiintyy ongelmia. Toisaalta jos työmaalla on pätevä paikallisvalvoja, ei satunnaiskäyntejä välttämättä tarvita. (Leppänen et al. 2006)

Kohdennetut käynnit ajoitetaan kriittisiin työvaiheisiin ja urakoitsijan suorittamiin laadunvalvontatoimenpiteisiin. Riippumattoman laadunvalvojan tulisi erityisesti olla paikalla valvomassa tiivistystyötä ja kalvojen hitsausta. Eri työvaiheiden aloituskatselmuksset, koekenttä ja koesauman tekeminen ovat tilanteita, joissa riippumattoman laadunvalvojan on oltava paikalla.

Laadunvalvontakokeiden tulosten seuranta tapahtuu säännöllisesti esimerkiksi työmaakäyntien yhteydessä. Tulokset esitetään niin työmaapöytäkirjassa kuin laadunvalvontapöytäkirjassa ja toimitetaan mieluiten sähköisesti heti niiden valmistuttua tilaajalle ja valvojille. Riippumattoman laadunvalvojan tulee kiinnittää erityistä huomiota urakoitsijan laatusuunnitelmaan ja sen toteutumiseen. Urakoitsijan laadunvalvontakokeiden oikeellisuuden tarkastamiseksi riippumaton laadunvalvoja voi teettää urakoitsijan koeohjelmaa vastaavan laboratoriokoesarjan erikseen määriteltävin väliajoin.

Riippumaton laadunvalvoja ei saa osallistua työnjohtoon, vaan kaikki huomautukset esitetään rakennuttajan kautta. Riippumaton laadunvalvoja huomauttaa kaikista havaitsemistaan virheistä riippumatta siitä, mikä osapuoli on virheen tehnyt ja missä hankkeen vaiheessa. (SYKE 2008)

Riippumaton laadunvalvoja voi esittää mielipiteitään työmaakokouksissa, joissa ne kirjataan kokouspöytäkirjaan tai laatia erillisiä laadunvalvontamuistioita. Urakan lopussa riippumaton laadunvalvoja tarkastaa urakoitsijan loppuraportin ja laatii yhteenvedona esityksen rakenteen käyttöönotosta tilaajalle ja ympäristöviranomaiselle.

4.3.4. Suunnittelija

Suunnittelijalla on vastuu rakenteiden teknisestä toimivuudesta ja rakenteiden tulee täyttää viranomaisvaatimukset. Suunnittelija laatii työselityksen, jossa esitetään rakennusosien vaatimukset, materiaalien spesifikaatiot ja työtavat. (SYKE 2008)

Suunnittelijalla on lopputuloksen kannalta tärkein tehtävä, koska hän määrittelee tavoitteena olevan laatutason. Suunnitelma-asiakirjoissa on esitettävä kaikki keskeiset materiaali vaatimukset määritysmenetelmien ja, jos mahdollista, on viitattava standardiin. Erityisesti on huomioitava, että geosynteettisten tuotteiden laadunvalvonnassa on käytössä rinnakkaisia menetelmiä, joita ei voi koejärjestelyistä johtuen verrata toisiinsa (amerikkalaiset ASTM-standardit ja eurooppalaiset ISO-standardit).

Pitkäaikaiskestävyyden ja materiaalien yhteensopivuuden huomioon ottaminen on suunnittelijalle haaste, sillä lopulliset materiaalivalinnat eivät välttämättä ole vielä varmistuneet rakennussuunnitelmavaiheessa. Suunnittelijan täytyy ottaa huomioon (Leppänen et al. 2006):

- paikalliset olosuhteet, erityisesti pohjamaan laatu ja pohjavedenpinnan sijainti
- sijoitettavan jätteen laatu
- muodostuvan suotoveden määrä ja laatu
- täyttöpenkereen korkeus ja muut rakenteeseen kohdistuvat kuormitukset
- luiskakaltevuudet ja niiden pituudet
- saatavilla olevat materiaalit
- alueelle sijoitettavat muut rakenteet, erityisesti läpiviennit.

Suunnitelmissa määritellään käytettävät materiaalit, mittavaatimukset ja muut laatuvaatimukset sekä laadunvalvonnassa käytettävät menetelmät, kriteerit ja mittaustiheydet. Materiaalien vaihtuessa on suunnittelijan tarkastettava, että seuraavat asiat ovat kunnossa (Leppänen et al. 2006):

- Esitetty rakenne vastaa laatutasoltaan ja suojausvaikutukseltaan urakkatarjouspyyntöasiakirjoissa esitettyä rakennetta ja täyttää asetetut vaatimukset.
- Esitetyt materiaalit soveltuvat kohteeseen ottaen huomioon pohjamaan olosuhteet tai sijoitettavan jätteen suotoveden kemiallinen koostumus.
- Esitetyt materiaalit eivät lisää kustannuksia rakennuttajalle tai vaikuta haitallisesti rakentamisen aikatauluun, kuten edellyttämällä lisätutkimuksia tai olemalla sääherkempiä.
- Eri kerrosten materiaalit ovat keskenään yhteensopivia ja rajapintojen vaatimukset ovat tarkastettu.
- Urakoitsijan asettamat vaatimukset materiaaleille ovat asianmukaisia ja soveltuvat kyseessä olevalle materiaalille.
- Esitetyt laadunvalvonta ja -varmistusmenetelmät soveltuvat materiaaleille.
- Esitetyt työmenetelmät soveltuvat materiaaleille.

Lopullisen materiaalivalinnan ja työtavan hyväksymisen jälkeen suunnitelmat päivitetään tarvittaessa vastaamaan käytettävää materiaalia ja työtapaa. Tarvittavat mitoituslaskelmat ja detaljisuunnittelu muun muassa läpivientien ja ankkurointien osalta on tehtävä huolellisesti. Detaljisuunnittelu tulisi olla mahdollisimman loppuun mietittyä. Tärkeitä suunnittelukohtia ovat luiskat ja niiden ankkuroinnit, läpiviennit, liitosrakenteet ja reunat sekä kaikki putki- ja kaivorakenteet. Tavoite olisi, että työmaalla ei tarvitsisi enää miettiä aikaa vieviä ja laatuun vaikuttavia yksityiskohtia ja niiden ratkaisua. (Leppänen et al. 2006)

Työn alussa pidetään suunnitelmakatselmus, jossa varmistetaan, että suunnitelmat ovat riittävät työn toteuttamisen kannalta. Rakentamisen aikana suunnittelija tekee tarvittavat tarkennukset ja muutokset suunnitelmiin sekä laatii täydentäviä suunnitelmia. Suunnittelijan olisi hyvä osallistua työmaakokouksiin, joissa päätetään suunnitelma- tai materiaalimuutoksista (Leppänen et al. 2006). Suunnittelija voi myös osallistua työmaan laadunvarmistukseen rakennuttajan valtuuttamana.

4.3.5. Urakoitsija

(Pää)urakoitsija on ”rakennuttajaan sopimussuhteessa oleva urakoitsija, joka kaupallisessa asiakirjoissa on nimetty pääurakoitsijaksi ja jolle sopimuksenmukaisissa laajuudessa kuuluvat työmaan johtovelvollisuudet” (YSE 98). Urakoitsijalla on siis kokonaisvaltainen vastuu kaatopaikan rakentamisesta ja rakentamisen aikaisesta laadunvalvonnasta (CQC). Urakoitsijan tulee noudattaa sopimusasiakirjoissa edellytettyä laadunvarmistusta ja hänen on viimeistään ennen työn aloitusta vaadittaessa kirjallisesti osoitettava, kuinka hän varmistaa suorituksensa laadun (YSE 98). Tämä tarkoittaa käytännössä, että urakoitsija hyväksyttää laatusuunnitelmansa rakennuttajalla ja riippumattomalla laadunvalvojalla. Urakoitsija vastaa myös aliurakoitsijoiden työstä. Rakennuttajalla on oikeus saada tieto urakoitsijan tärkeimpien aliurakoitsijoiden ja rakennustavaroiden valmistajien laadunvarmistuksesta ennen näiden hyväksymistä (YSE 98).

Aliurakoitsija on ”urakoitsijan tilauksesta työtä suorittava toinen urakoitsija” (YSE 98). Aliurakoitsija on sopimussuhteessa pääurakoitsijaan. Hänen tulee osoittaa työnsä suunnitelmien mukaisuus aivan kuten pääurakoitsijankin.

Sivu-urakoitsija on rakennuttajan hankkima osatyön toteuttaja, joka on sopimussuhteessa rakennuttajaan. Yleensä sivu-urakoitsija alistetaan pääurakoitsijalle. (SYKE 2008)

Tyypillisesti kalvoasennus hoidetaan aliurakkana mutta, jotta kalvotoimittaja saisi edustajansa mukaan kokouksiin ja äänensä kuuluviin, olisi parempi toteuttaa kalvoasennus alistettuna sivu-urakkana, koska kalvoasennus on koko rakenteen onnistumisen kannalta kriittisin vaihe. (Leppänen 2010)

Urakoitsijan laadunvalvontatoimenpiteiden sisältö ja vähimmäisvaatimukset määritellään työselityksessä. Urakoitsija tekee näiden lisäksi myös omia laatujärjestelmäänsä kuuluvia laadunvarmistustoimenpiteitä.

Urakoitsija tekee työmaalle oman laatusuunnitelmansa ja työn suoritukseen liittyviä suunnitelmia (esimerkiksi kalvojen levityssuunnitelma), jotka ovat hyväksyttävä rakennuttajalla ja riippumattomalla laadunvalvojalla sekä ympäristölupaviranomaisella ennen työn aloittamista. Samalla tavalla urakoitsijan on hyväksyttävä kaikki rakenteissa käytettävät materiaalit. (Leppänen et al. 2006)

Materiaalien hyväksynnässä ja työnaikaisessa laadunvalvonnassa urakoitsija voi käyttää omaa laboratoriota, jos sillä on toimiva laatujärjestelmä. Rakennuttaja voi kuitenkin edellyttää urakkasopimuksessa ulkopuolisen laboratorion käyttöä joko kaikissa tai rinnakkaisissa määrityksissä.

4.4. Henkilökohtaiset pätevydet

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden rakennushankkeessa avainhenkilöillä tulisi olla riittävä pätevyys. Daniel & Koerner (2007) suosittelevat hankkeeseen osallistuvien henkilöiden pätevyyksistä seuraavaa:

- Suunnittelijalla tulisi olla kokemusta samankaltaisista kaatopaikan suunnittelu-hankkeista. USAssa edellytetään myös rekisteröitymistä.
- MQA/CQA-sertifioidun laadunvalvojan tulee olla riippumaton urakoitsijasta ja rakennuttajasta. USAssa edellytetään myös rekisteröitymistä.
- Urakoitsijan palkkaamalla CQC-henkilöstöllä suositellaan olevan laadunvalvontasertifiointi. Esimerkiksi jos urakoitsijalla on erillinen laadunvarmistusorganisaatio, tulisi heillä olla sertifiointi.
- Testauslaboratorion henkilökunnalla tulisi olla kokemusta samankaltaisten maainesten ja geosynteettisten tuotteiden testauksesta, joita käytetään kaatopaikkarakenteissa. Geosynteettisten tuotteiden osalta laboratorion tulisi olla akkreditoitu.
- Tiivistyskalvon valmistajalla tulisi olla kokemusta kalvon valmistamisesta vähintään miljoona neliometriä samankaltaista geosynteettistä materiaalia. Laatujärjestelmä SFS-EN ISO 9000 tulisi olla rekisteröitynä.
- Geosynteettiasentajan edustajalla tulisi olla kokemusta vähintään miljoona neliötä onnistuneesti asennettua geosynteettimateriaalia. Hitsaajalla pätevyys SFS-EN 13067 mukaan.

Rekisteröinnit ja sertifiointit ovat tärkeä osa laadunvarmistusta, koska sekä suunnittelu-prosessissa, rakentamisessa ja rakentamisen valvonnassa tarvitaan asiantuntevat henkilöt. Samalla ne helpottavat rakennuttajan toimintaa niin, että asiantuntevien henkilöiden valitseminen helpottuu.

Suomessa ei ole henkilösertifiointiohjelmiä riippumattomille laadunvalvojille, joten seuraavassa taulukossa (taulukko 4.1) on esitetty valintakriteerejä, joihin tulee kiinnittää huomiota laadunvalvojaa valittaessa. Urakoitsijoilta vaaditaan yleensä kokemusta kaatopaikkahankkeista, mutta usein hinta on ratkaiseva valintatekijä. Riippumattoman laadunvalvojan valinnassa tulisi laatukriteerejä painottaa enemmän kuin pelkkää hintaa (Leppänen et al. 2006).

Taulukko 4.1 Riippumattoman laadunvalvojan valintakriteerejä (Leppänen et al. 2006)

OMINAISUUS	SISÄLTÖ
Koulutus	Maarakentamiseen liittyvä peruskoulutus, asiantuntemuksen laaja-alaisuus, laatu-järjestelmien tuntemus
Kokemus	Käytännössä osoitettu kokemus maarakentamiseen liittyvistä työtehtävistä, mieluiten koko toimintaketjun osalta kuten suunnittelu, laboratoriotyöskentely, kenttäkokeet, työmaakokemus sekä urakkasopimusten, kokonaisvastuu-urakoinnin ja yleisten sopimusehtojen tuntemus (soveltuvin osin)
Referenssit	Aikaisempaa kokemusta urakoitsijan ja rakennuttajan kanssa toimimisesta laadunvalvojana tai kokeneemman laadunvalvojan ohjauksen alaisena työskentelemisestä
Taustaorganisaatio	Mahdollisuus saada taustatukea muilta asiantuntijoilta, käytettävillä laboratorioilla laatujärjestelmä, referenssein osoitettu kokemus ko. kokeiden suorittamisesta
Riippumattomuus	Ei riippuvuussuhdetta urakoitsijoihin, materiaalitoimittajiin tai kohteen suunnittelijoihin

Sipilän (2010) tekemissä haastatteluissa kävi ilmi, että myös valvojen asiantuntemusta kritisoitiin. Valvojat eivät välttämättä tunne materiaaleja ja tarvittavia laadunvarmistuskokeita. Tämä johtaa myös siihen, että myöskään tuloksia ei osata tulkita. Viranomaisvalvontaa on myös sysätty resurssipulan takia riippumattoman laadunvalvojan harteille, jolloin pätevyyskysymys on entistä tärkeämpi.

4.5. Laatusuunnitelma

Laadunvarmistus alkaa suunnittelijan laatimasta työselityksestä, johon on sisällytetty hankkeen laatuvaatimukset. Urakoitsija tekee työselityksen perusteella hankkeen laatusuunnitelman. Lopullinen laadunvarmistusdokumentti sisältää molemmat sekä tuotteiden valmistuksen laadunvarmistuksen että rakentamisaikaisen laadunvarmistuksen (MQA/CQA). Kirjallinen laatusuunnitelma tulee olla tehtynä ja hyväksyttyinä aina ennen työmaan aloittamista. Laatusuunnitelman tulee sisältää kaikki toiminnot, joilla varmistetaan materiaalien, tuotteiden ja rakennustyön laatu. Tämän lisäksi tulee muistaa, että laatusuunnitelma on räätälöivä hanketta vastaavaksi ja sisällytettävä hankkeen suunnitelmiin ja spesifikaatioihin. Eroavaisuudet laatusuunnitelman ja hankkeen vaatimuskriteerien välillä tulee selvittää ennen rakennustyövaihetta. (Daniel & Koerner, 2007)

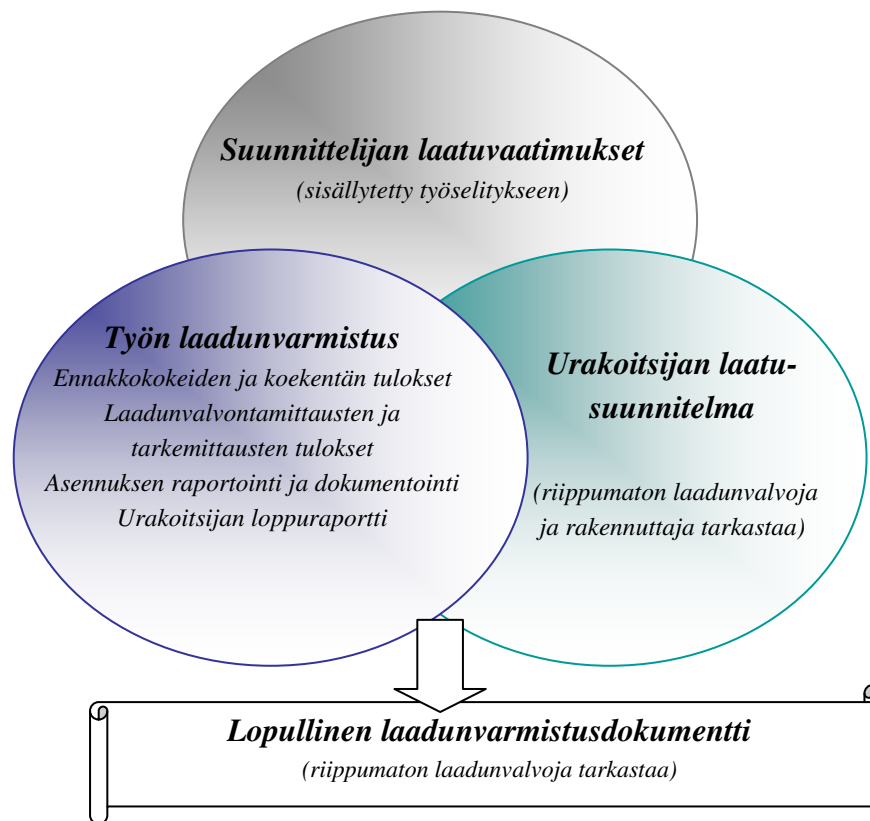
Työselitys sisältää vaaditut laatuksiteerit ja niiden todentamismenettelyt. Urakoitsija laatii työselityksen avulla laatusuunnitelman, joka sisältää seuraavaa:

- materiaalien hyväksyttämismenettelyn (ennakkokokeet/koekenttä)
- materiaalien tuotetiedot
- työmaasuunnitelman
- mittaussuunnitelman
- työvaihekohtaisen kuvauksen työn suorituksesta ja laadun osoittamisesta
- työvaihekohtaisen laadunvalvontasuunnitelman ja -menetelmät sekä mittaustihetydet ja numeeriset vaatimukset (min, max, toleranssi tms.)
- työjärjestyksen ja aikataulun
- asennussuunnitelma kalvojen osalta
- raportointi- ja dokumentointimenettelyt
- toimenpiteet alitusten ja poikkeamien kohdalla
- tarkastukset ja katselmukset.

Työmaasuunnitelmassa esitetään materiaalit ja niiden varastointi työmaalla sekä työmaajärjestelyiden toteutus. Urakoitsija laatii mittaussuunnitelman, jossa otetaan huomioon laadunvalvonnan vaatimukset kuten paksuuden mittaus ja rakenteiden sijainnit. Asennussuunnitelma laaditaan erityisrakenteista esimerkiksi geomembraaneista tai bentoniittimatoista.

Urakoitsija esittää ennakkokokeiden tuloksista kaikki valitusta materiaalista saadut tulokset rakennuttajalle, riippumattomalle laadunvalvojalle ja ympäristöviranomaiselle (ELY). Urakoitsijan tulee myös toimittaa kaikki työnaikaiset laadunvalvontamittausten tulokset riippumattomalle laadunvalvojalle ilman erillistä pyyntöä. Laadunvalvonnantulokset esitetään myös työmaapöytäkirjoissa tai laadunvalvonta-asiakirjoissa. Ennakkokokeiden ja koekentän tuloksista tehdään erillinen raportti. Kaikki laadunvalvontatiedot kootaan yhteen loppuraporttiin.

Kaatopaikan rakentamisen jälkeen riippumaton laadunvalvoja tarkastaa urakoitsijan loppuraportin ja antaa lausunnon työn laadun toteutumisesta. Seuraavassa kuvassa on esitetty, miten hankkeen lopullinen laadunvarmistusdokumentti muodostuu (*kuva 4.6*).



Kuva 4.6 Laatuvaatimuksista lopulliseen laadunvarmistusdokumenttiin

4.6. Dokumentointi

Laadunvarmistusprosessin yksi tärkeimpiä tehtäviä on tuottaa tietoa niille, jotka eivät pääse mukaan tarkkailemaan rakentamista kokonaisuudessaan. Tuotetun laadunvarmistustiedon avulla myös ne henkilöt, jotka eivät ole mukana päivittäisessä rakentamisessa, pystyvät määrittämään tai tekemään päätelmiä rakentamisen laadusta, edellyttäen tietenkin, että MQA/CQA-toimenpiteet ovat dokumentoitu kunnolla. (Daniel & Koerner 2007)

Näytteenotto ja mittauspisteet

Kaikki näytteet tulisi identifioida laatusuunnitelmassa esitetyllä tavalla. Jokainen otettu näyte ja mittauspiste tulee kirjata, jotta tiedetään mistä mittaukset ovat tehty tai näyte on otettu ja mihin se on menossa. Jos näyte siirretään toiselle henkilölle tai laboratoriolle, tulee kirjata ylös myös siirtoketju, jotta voidaan seurata ja jäljittää sen vaiheet myöhemmin. Tällä menettelyllä voidaan jäljittää syytä epätavallisille testaustuloksille tai testausongelmille ja ehkäistä näytteiden häviäminen vahingossa. Maanäytteet hävitetään yleensä testauksen jälkeen. Geosynteettisten materiaalien ainetta rikkovan testauksen näytteet otetaan yleensä kolmena kappaleena, jolloin yhden testaa urakoitsijan laadunvalvontahenkilökunta, yhden laadunvarmistushenkilökunta (testauslaboratorio) ja kolmas varastoidaan laadunvarmistussuunnitelman mukaisesti. (Daniel & Koerner 2007)

Päivittäiset tarkastusraportit

Rutiininomainen päivittäinen raportointi ja dokumentointi pitäisi aina toteuttaa työmaalla. Paikallisvalvojan tulisi tehdä päivittäinen tarkastusraportti, joka liitetään lopuksi osaksi laadunvarmistusloppuraporttiin. Päivittäisen raportoinnin tulisi sisältää tiedot tehdystä työstä, testaukset ja tehdyt havainnot ja kuvaus tehdyn työn laadusta. (Daniel & Koerner 2007)

Päivittäinen yhteenvetoraportti eli työmaapäiväkirja

Tämä raportin tarkoitus on tuottaa tietoa aikajärjestyksessä tunnistuen ja kirjaten ylös kaikki tapahtumat; kuka on tehnyt ja mitä. Päivittäisen yhteenvedon tulisi vähintään sisältää seuraavaa:

- päiväys, hankkeen nimi, sijainti, rakenteilla oleva kaatopaikkaosa, tärkeimpiin toimintoihin osallistuvat henkilöt ja muu relevantti tunnistamiseen liittyvä tieto
- kuvaus sääoloista mukaan lukien lämpötila, pilvisuus ja sade
- yhteenveto mahdollisista pidetyistä kokouksista, katselmuksista, tarkastuksista ja suositelluista toimenpiteistä
- spesifiset työyksiköt, tuodut materiaalit ja niiden sijainnit rakennusalueella
- työvaiheessa käytetyt työkoneet ja henkilöstö mukaan lukien alihankkijat
- tarkastettujen työalueiden tai -yksikköjen tunnistus
- suoritettut testaukset ja käytetyt testausmenetelmät
- uniikki tunnistusnumerointi geomembraanikalvoille ristiviittauksia ja dokumentoinnin hallintaa varten
- kuvaus työmaalle saapuneesta materiaalista mukaan lukien toimittajan laadunvalvontatieto (alkuperä ja määrä)
- annos- ja sekoitusnumerointi esimerkiksi maabentoniitin osalta
- poikkeavat materiaalit tai kasatut tai varastoidut materiaalit
- testauslaitteiden kalibrointitodistukset
- päätökset, jotka on tehty töiden hyväksymisen osalta, tai korjaavat toimenpiteet alitusten tai laatu epäilysten takia
- paikallisvalvojan allekirjoitus
- valokuvat työn edistymisestä
- in-situ testaukset (paikat ja tyyppi).

Mitä tarkemmin työmaapäiväkirjaan merkitään tapahtumat työn aikana, sitä helpompi on laatia yhteenvedot työmaakokouksiin ja loppuraporttiin.

Tarkastus ja testausraportti

Kaikki havainnot, kenttä- ja laboratoriotestausten tulokset, tulee kirjata sopivalle lomakkeelle. Havainnot voivat olla muistiinpanoja, taulukoita, piirroksia, kuvia tai näiden yhdistelmiä. Mahdollisuuksien mukaan olisi hyvä olla tarkastuslista tärkeistä toimenpiteistä, etteivät ne jää huomaamatta.

Tarkastuslomakkeessa tulisi olla vähintään seuraavat tiedot (Daniel & Koerner 2007):

- tarkastustoiminnan päivämäärä ja kuvaus tai otsikko
- tarkastustoimenpiteen sijainti ja käytetty menettely
- geomembraanikalvoilla tulee olla erityinen numerointi tunnistamista ja dokumenttien hallintaa varten
- havaintojen kirjaus tai testaustulokset
- tarkastustoimenpiteen tulokset (hyväksytyt/hylätyt) ja vertailu hankkeessa annettuihin spesifikaatioihin
- tarkastuksessa mukana oleva henkilöstö.

Poikkeamaraportointi (ongelmien tunnistaminen ja korjausraportointi)

Poikkeama voidaan määrittää sellaiseksi materiaaliksi tai suoritukseksi, joka ei täytä hankkeelle asetettujen suunnitelmien, spesifikaatioiden tai laadunvarmistusdokumenttien vaatimuksia tai myös ilmeinen puute materiaalissa tai suorituksessa, vaikka olisi muuten hankkeelle annettujen vaatimusten mukainen. Poikkeamaraportti on aina laadittava, kun poiketaan suunnitelmasta tai joudutaan korjaamaan rakenteita. (Daniel & Koerner 2007)

Poikkeamien tunnistaminen ja korjausraportoinnin tulisi sisältää vähintään seuraavaa (Daniel & Koerner 2007):

- ongelman sijainti
- kuvaus ongelmasta
- geomembraanikalvon identifiointi (numerointi ja ristiviittaukset)
- mahdollinen syy
- miten ja milloin ongelma on havaittu
- jos tarpeellista niin arvio siitä, kuinka kauan ongelma on ollut
- havaitut erimielisyydet tarkastajan ja urakoitsijan välillä, siitä onko ongelmaa vai ei tai ongelman syystä
- ehdotetut korjaavat toimenpiteet
- korjaavien toimenpiteiden dokumentointi ja korjausraportointi
- uusitut laadunvalvontakokeet
- ehdotus, miten välttää samankaltaiset ongelmat (jos tarpeellista)
- riippumattoman laadunvalvojan ja paikallisvalvojan kuittaus.

Toteutumapiirustukset

Suunnitelmat harvoin toteutuvat sellaisenaan, joten on tarpeen tehdä tarkemmittausten perusteella toteumapiirustuksia, jotka osoittavat rakenteiden toteutuneet sijainnit ja paksuudet.

Piirustuksista tulisi aina olla esitetty seuraavat tiedot (Leppänen 2010):

- päiväys
- mittakaava
- tekijän nimi
- paikan nimi, kohteen nimi tai tunnistetiedot
- paikannustiedot

Lisäksi piirustuksiin tulisi sisällyttää mittaustiedot, jotka näyttävät kerrospaksuudet, pinta- ja pohjakaltevuudet kunkin kerroksen osalta, pinta-alan ja laadunvalvontapisteidien sijainnit. Geosynteettisten tuotteiden osalta piirustuksissa esitetään geomembraanikaistojen sijainnit ja saumojen tunnistamisen sekä kaikkien paikkauksien, korjauksien ja ainetta rikkovien näytteiden sijainnit. Poikkileikkauksissa esitetään detaljirakenteet kuten läpiviennit ja luiskat. (Daniel & Koerner 2007)

Loppuraportti ja hankkeen hyväksyminen

Laadunvarmistuksen loppuraportti on tarkoitettu rakennuttajalle, riippumattomalle laadunvalvojalle ja viranomaiskäsittelyä varten. Siinä esitetään tiivistetyssä muodossa käytetyt materiaalit, työntoteutus ja laadunvarmistuksen toteutumisen pääpiirteet sekä olennaisimmat tulokset johtopäätöksineen siitä, miten hankkeen tavoiteltu laatutaso on saavutettu. Riippumaton laadunvalvoja esittää myös oman arvionsa, miten hyvin lopullinen rakenne vastaa suunnitelmien ja ympäristölupaehtojen vaatimuksia (Leppänen et al. 2006). Laadunvarmistuksen loppuraportti toimitetaan ympäristölupaviranomaiselle, joka arvioi voidaanko kaatopaikalle antaa käyttöön- tai käytöstä poistamislupa.

4.7. Kokoukset ja katselmukset

Viestintä on tärkeä osa laatujohtamista. Rakentamisen laatu on helppoa saavuttaa, kun kaikki osapuolet ymmärtävät selkeästi vastuut ja toimivaltansa. Kokoukset ovat aputyökalu siihen, että organisaatioiden vastuut ja toimialueet ovat oikein ymmärretty. Rakentamisen aikana työmaakokoukset voivat auttaa ongelmien ratkaisussa tai selvittää väärinymmärryksiä. (Daniel & Koerner 2007)

Esitarjouskokous

Ennen varsinaisten kaatopaikan urakkatarjouspyyntöjen lähettämistä voidaan pitää niin kutsuttu esitarjouskokous, jossa selvitetään urakoitsijoille hankkeen yksityiskohtia ja laadunvarmistuksen tasoa. Tarjoavat yritykset saavat selkeämmän kuvan hankkeesta ja voivat myös havaita ongelmakohtia rakennuttajan suunnittelussa, jolloin he voivat korjata nämä virheet jo alkuvaiheessa prosessia. (Daniel & Koerner 2007)

Urakkaneuvottelu

Yleisiin sopimusehtoihin on sisällytetty erityinen määräys urakkaneuvottelusta (YSE 63 §), jolla tarkoitetaan neuvottelua ennen varsinaisen sopimuksen allekirjoittamista. Neuvottelussa tarkistetaan, että tarjouksen tekijä on ymmärtänyt oikein tarjousasiakirjat. Samassa yhteydessä voidaan käydä läpi rakennustyön toteuttamiseen liittyviä keskeisiä kysymyksiä. Neuvottelusta laaditaan pöytäkirja, jonka tilaaja ja urakoitsija allekirjoittavat.

Aloituskokous

Aloituskokouksessa on tärkeää käydä yhdessä osapuolien kanssa läpi hankkeen suunnitelmat, spesifikaatiot ja kriittiset kohdat, jotka vaikuttavat lopputulokseen laatuun. Samalla luodaan keskusteluyhteys muihin osapuoliin, aloitetaan tehtävien suunnittelu ja arvioidaan ongelmakohtia, jotka voivat aiheuttaa viivästyksiä. Kokouksessa tulisi olla mukana rakennuttajan edustaja, suunnittelija, työmaapäällikkö, urakoitsijan edustaja, suurimmat aliurakoitsijoiden edustajat, riippumaton laadunvalvoja ja muut laadunvalvontaa hoitavat henkilöt. (Daniel & Koerner 2007)

Kokous käsittää muun muassa seuraavia asioita:

- henkilöiden tutustuminen ja esittäytyminen
- keskustelu suunnitelmista ja spesifikaatioista
- laadunvarmistussuunnitelma jaetaan ja sen sisällöstä keskustellaan
- riippumaton laadunvalvoja kuvaa odotukset ja käy läpi kriittisimmät kohdat
- keskustellaan miten rakentamisen aikaiset ongelmat voidaan ratkaista ja korjata
- käydään läpi kaikkien vastuut ja toimivallat
- käydään läpi ehdotetut muutokset laadunvarmistussuunnitelmaan
- keskustellaan rakentamisen aikaisista muuttujista ja niiden vaikutuksesta aikataulutukseen kuten sade, tuuli ja lämpötila.

Työmaan aloituskokous

Aloituskokoukseen verrattuna erona on se, että nyt kokouksessa on mukana ne henkilöt, jotka ovat työmaalla tekemässä töitä. Tämä kokous pidetään yleensä yhtä aikaa rakentamisen aloittamisen kanssa. Tarkoitus on vielä kerrata laadunvarmistussuunnitelman yksityiskohtia ja varmistaa, että jokainen on ymmärtänyt vastuunsa ja toimivaltansa. Samalla selvitetään menettelyt, miten rakentamisen aikaisia ongelmia voidaan selvittää ja luodaan pohja laatujohtamisyhteistyölle. Mukana kokouksessa on rakennuttajan edustaja, työmaapäällikkö, urakoitsijan ja aliurakoitsijan edustaja, paikallisvalvoja, riippumaton laadunvalvoja ja viranomaisvalvoja. (Daniel & Koerner 2007)

Työmaakokoukset

Työmaakokoukset on hyvä pitää säännöllisesti esimerkiksi viikoittain ja ne voivat auttaa ongelmien selvittelyssä, yhteydenpidossa, toimenpiteiden tunnistamisessa ja parantamaan yleistä laatujohtamista.

Kriittisten työvaiheiden kohdalla työmaapalaverien määrää voidaan lisätä kahteen tai jopa useampaan viikossa. Henkilöt, jotka osallistuvat kokouksiin ovat niitä, joita asia koskee. Paikallisvalvojan tai rakennuttajan edustajan tulisi kuitenkin aina osallistua kokouksiin. (Daniel & Koerner 2007)

Katselmukset

Ennen rakennustyön aloitusta voidaan pitää suunnitelmakatselmus, jossa varmistetaan, että suunnitelmat ovat riittävät hankkeen toteuttamiseksi. Lisäksi rakennustyön edistyessä on pidettävä katselmuksia. Tiivistysrakenteiden osalta katselmuksissa tarkastetaan alusrakenne, mineraalinen tiivistysrakenne, keinotekoisien eriste ja sen yläpuolinen suojarakennus sekä lopuksi tehdään tiivistysrakenteen lopputarkastus. Katselmuksissa havaitut puutteet on korjattava ennen lopullista hyväksyntää. (SYKE 2002)

Tarkastuksista pidetään pöytäkirjaa ja niissä ovat mukana urakkarakenteesta riippuen (SYKE 2002):

- rakennuttajan edustaja
- pääurakoitsijan edustaja
- mineraalisen tiivistysrakennusurakoitsijan edustaja
- keinotekoisien eristeiden toimittajan/urakoitsijan edustaja
- maarakennusurakoitsijan edustaja
- riippumaton laadunvalvoja.

Alusrakenteen tarkastuksessa rakennuttaja luovuttaa rakennuspohjan ja sen mittaustulokset tiivistysrakennusurakoitsijalle. Katselmuksessa todetaan, että pohja täyttää kantavuus- ja tiiviysvaatimukset sekä korkeustaso- ja pinnantasaisuusvaatimukset. (SYKE 2002)

Mineraalisen tiivistysrakenteen tarkastuksessa todetaan urakoitsijan päivittäiset työsuoritukset ja tarkastetaan, että mineraalikerroksen rakentaminen on tehty suunnitelmien mukaan. Todetaan mineraalisen tiivistysrakenteen soveltuvuus geomembraanin asennusalueeksi. (SYKE 2002)

Geomembraanin ja sen yläpuolisen suojarakenteen katselmuksessa tarkastetaan urakoitsijan päivittäiset hyväksytyt työsuoritukset ja tutkitaan, että geomembraani suojarakenteeseen täyttää suunnitelmissa esitetyt vaatimukset ottaen huomioon tarvittavat laadunvarmennustyöt. (SYKE 2002)

Tiivistysrakenteen lopputarkastuksessa todetaan, että tiivistysrakennuskerrokset ovat rakennettu suunnitelmien mukaisesti. Lopputarkastuksessa varmistetaan, että tarvittavat laadunvarmistustoimenpiteet ovat tehty ennakkosuunnitelmien mukaisesti ja vastaavat viranomaisvaatimuksia. (SYKE 2002)

4.8. Sääolosuhteiden huomioon ottaminen

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden rakentamisessa sääoloilla on kriittinen rooli. Geosyn-teettiset materiaalit ja mineraaliset tiivistyskerrokset ovat asennukselle erittäin sääherkkiä. Urakoitsija tai asentaja on vastuussa siitä, että hän toimii urakkasopimuksen ja spesifikaatioiden mukaan. Näissä tulisi olla mainittu sääolosuhteet, joissa töitä ei saa jatkaa. Töiden ajoittumista myöhäiseen syksyyn pitäisi välttää.

Sateiseen säähän voi varautua selvittämällä ennakkokoe- ja koekenttävaiheessa vesipi-toisuuden kasvun vaikutus rakentamiseen. Työjärjestyksellä ja työmaan suunnittelulla voidaan vaikuttaa sään vaikutusten laajuuteen merkittävästi. Rakenteet tulee suojata huolellisesti ja suojausmateriaali on varattava ennakkoon. Edullisempaa on rakentaa hyvällä säällä kuin korjata sään vaurioittamaa tai sään takia huonolaatuista rakennetta. (Leppänen 2010)

5. KOULUTUS JA SEN JÄRJESTÄMINEN

5.1. Suomessa järjestettyjä henkilösertifiointiohjelmia

Suomessa henkilösertifiointeja myöntää muun muassa FISE Oy ja VTT. Ympäristönäytteenottajien sertifiointista vastaa ympäristöministeriön alainen sertifiointielin. VTT järjestää lähinnä rakennusten kosteustekniikkaan liittyvää henkilösertifiointia märkätilojen rakentamisen valvojille ja märkätilojen eristäjille. Opinnäytetyön kannalta ympäristönäytteenottajien ja FISEn järjestämä henkilösertifiointi ovat kiinnostavimpia, joten ne käydään hieman yksityiskohtaisemmin läpi seuraavissa kappaleissa.

5.1.1. Ympäristönäytteenottajan pätevyys

Suomen ympäristökeskus (SYKE) organisoii ympäristönäytteenottajille koulutusta, joka johtaa henkilöiden sertifiointiin. Sertifiointin tarkoituksena on varmistaa ympäristönäytteiden luotettavuus, jotta ympäristön tilan kehityksestä saadaan julkaistua luotettavaa tietoa. SYKE on myöntänyt viiden vuoden aikana kaikkiaan 350 henkilösertifikaattia. Suurin osa henkilösertifikaateista on myönnetty vesinäytteenottoon, mutta myös kiinteiden ympäristönäytteiden sertifiointit ovat lisääntyneet. Sertifiointijärjestelmä ympäristönäytteenottoon on perustettu vuonna 1999. Sertifiointia hoitaa SYKEssä oma yksikkö, jossa on näytteenottoalueiden asiantuntijoita. Sertifiointitoiminnan sidosryhmiä tässä yksikössä edustaa niin kutsuttu sertifiointilautakunta, jossa on jäseniä ministeriöistä, ympäristöntutkimuslaitoksista, yliopistoista ja teollisuudesta. (SYKE 2009)

Taustana sertifiointijärjestelmälle on ympäristönsuojelulaki, jonka mukaan ympäristötiedon keräämisessä tehtävät mittaukset, testaukset, selvitykset ja tutkimukset tulee tehdä pätevästi, luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin. Tällä hetkellä näytteitä ympäristöstä ottavat Suomen ympäristöhallinto, muut valtion laitokset, tutkimuslaitokset, alan yksityiset yritykset ja konsultit. (SYKE 2009)

Sertifiointijärjestelmään liittyvät standardit, toimijat ja säännöt

Sertifiointitoiminta perustuu standardiin SFS-EN ISO/IEC 17024/2003 (Yleiset vaatimukset henkilösertifiointia varten perustetuille elimille). Järjestelmä on Finaksen hyväksymä ja sen toiminta on kuvattu toimintakäsikirjassa. SYKE on asettanut ympäristönäytteenottajien sertifiointia varten sertifiointielimen, joka myöntää pätevyystodistukset ja ylläpitää ja kehittää toimintaa. Se myös päättää kurssien ohjelmasta.

Sertifiointielimen toimintaa ohjaa ja valvoo sertifiointilautakunta, joka on ympäristöministeriön (YM) asettama ja koostuu keskeisien intressitahojen edustajista. Sertifiointilautakunnassa on edustajia muun muassa YM:stä, sosiaali- ja terveysministeriöstä, SYKEstä, alueellisista ympäristökeskuksista (nykyisin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksista eli ELY:stä), VTT:stä, luonnonsuojelujärjestöistä sekä näytteenottajien työnantajista. (SYKE 2009)

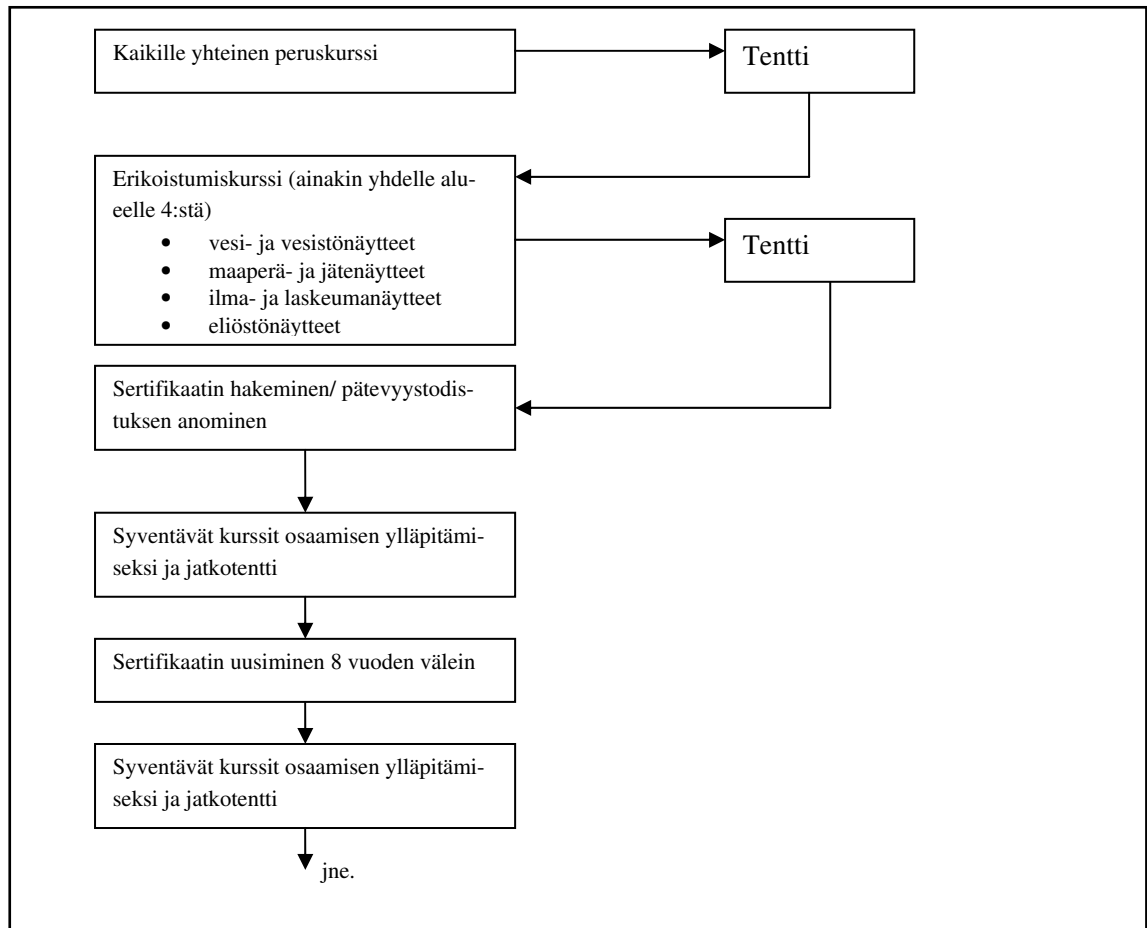
Sertifiointielin hyväksyy kouluttajat vapaamuotoisten hakemusten perusteella enintään kolmeksi vuodeksi kerrallaan. Sertifiointielin edellyttää kurssinjärjestäjältä tiettyjä kriteerejä kuten asiantuntevuutta ja kokemusta koulutuksen järjestämisestä. Tällä hetkellä sertifiointilautakunnan myöntämät koulutusoikeudet ovat saaneet seuraavat yhteisöt tai yritykset (SYKE 2009):

- AEL
- Suomen Vesiensuojeluyhdistysten liitto, Länsi-Uudenmaan vesi- ja ympäristö/Västra-Nylands vatten och miljö
- Turun ammattikorkeakoulu

Pätevyystodistuksen/ sertifioinnin myöntämisen perusteet

Sertifikaatin saaminen edellyttää hakijalta sekä taito- että tietovaatimuksia. Taitovaatimuksen edellytyksenä on, että henkilö on päätoimisesti tai säännöllisesti hoitanut ympäristönäytteenotto- tai ympäristömittaus- ja havainnointitehtäviä vähintään kahden vuoden ajan viimeisen viiden vuoden aikana. Tästä ajasta hakijan edellytetään toimineen vähintään vuoden sillä erikoistumisalalla, jolla hakija haluaa pätevyytensä varmistaa. Hakija voi myös hakea sertifikaattia kahdella tai useammalla erikoisalalla, mutta edellytyksenä on, että hän on toiminut vähintään vuoden kullakin näistä erikoistumisaloista. Työnantajan varmentaa lausunnollaan, että henkilö toimii pätevyyttä haettavalla alalla. (SYKE 2009)

Tietovaatimukset käsittävät hyväksytysti suoritettuna peruskurssin ja valitun erikoiskurssin. Kummassakin kurssissa on erillinen kirjallinen kuulustelu, joka hakijan täytyy hyväksytysti suorittaa. Jos hakija haluaa pätevyiden kahdelta tai useammalta erikoistumisalalta, hänen tulee suorittaa näiden erilliset kurssit ja kirjalliset kuulustelut. Sertifiointijärjestelmän rakenne on esitetty seuraavassa kuvassa (*kuva 5.1*). (SYKE 2009)



Kuva 5.1 Sertifiointikoulutuksen rakenne (AEL, modifioitu)

Pätevyystodistusta tai sen uusimista haetaan sertifiointielimeltä kirjallisella hakemuksella. Hakemukseen liitetään kaikki selvitykset tieto- ja taitovaatimusten täyttymisestä. Sertifiointielin järjestää kokouksia ennalta määritellyn ohjelman mukaan. Hakemusasiakirjat tulee olla SYKEssä kymmenen päivää ennen kokousta. *Liitteessä 2* esitetään prosessikaaviona, miten sertifiointiprosessi kokonaisuudessaan etenee. (SYKE 2009)

Näytteenottajalle asetetut velvoitteet ja sertifikaatin voimassaoloaika

Pätevyystodistus on voimassa vuoden 2010 loppuun viisi vuotta kerrallaan ja 1.1.2011 lähtien kahdeksan vuotta. Todistuksen voimassaoloaikana sertifikaatin haltija kirjaa pätevyystodistuksen alaan kuuluvat palautteet toimistaan ja saattaa ne esimiehensä tietoon. Sertifiointielin voi pyytää tarvittaessa näitä palautteita sertifikaatin haltijalta, jonka on viipymättä toimitettava tiedot. Myös muut sertifiointitoiminnan edellyttämät ja sertifiointielimen pyytämät selvitykset tulee toimittaa. Selvityspyyntöihin vastaaminen on edellytys sille, että pätevyystodistuksen voimassaoloa voidaan jatkaa. (SYKE 2009)

Sertifioitujen näytteenottajien toiminnan valvontaa varten sertifikaatin haltija palauttaa esimiehen allekirjoituksella varustetun selvityslomakkeen. Sertifiointielimen päällikön määräämä jäsen tarkastaa selvityksen ja asia käsitellään sertifiointielimen kokouksessa.

Sertifioidun näytteenottajan toimintaa voidaan valvoa myös kentällä. Valvonta on osa auditoivaa toimintaa, jossa voidaan arvioida tehtyjen valvontatoimien tehokkuus ja toimivuus sekä mahdollisten puutteiden ja kehittämistarpeiden käsittely. (SYKE 2009)

Henkilön ja työnantajan on lopetettava sertifikaatin käyttö välittömästi, jos sertifiointielin tulkitsee näiden rikkoneen sääntöjä. Ristiriitatilanteissa sertifikaatin käytöstä päättää sertifiointilautakunta. (SYKE 2009)

Ylläpitokoulutus

Sertifikaatin voimassaoloaikana haltijan tulee hankkia ylläpitokoulutusta yhteensä vähintään 30 tunnin ajan (noin yksi päivä vuodessa). Ylläpitokoulutukseen tulee kuulua opetusta sekä yleisesti näytteenottoon liittyvistä asioista että pätevyystodistukseen merkityn erikoispätevyyden alalta. Selvitys hankitusta ylläpitokoulutuksesta tehdään sertifiointielimelle 2,5 vuoden kuluttua sertifikaatin myöntämisestä. Ylläpitokoulutusta järjestävät muun muassa AEL ja Suomen vesiensuojeluyhdistysten liitto. Sertifiointielin arvioi koulutuksen laadun ja riittävyyden hakijan tekemän selvityksen pohjalta. (SYKE 2009)

Pätevyystodistuksen uusiminen

Pätevyystodistuksen uusiminen tehdään sertifiointielimelle sertifikaatin voimassa ollessa vähintään kuukautta ennen kuin todistus vanhentuu. Uusiminen edellyttää, että haltija on (SYKE 2009):

- toiminut vähintään puolet pätevyystodistuksen voimassaoloajasta päätoimisesti tai muuten säännöllisesti ympäristönäytteenotto- tai ympäristömittaus- ja –havainnointitehtävissä
- osallistunut mainittuna voimassaoloaikana sertifiointielimen hyväksymään ylläpitokoulutukseen ja antanut siitä selvityksen sekä
- täyttänyt muut näytteenottajien sertifiointisäännöissä mainitut velvoitteet
- 1.1.2011 alkaen: suorittanut ylläpitokoulutuksen yhteydessä järjestettävän jatkotentin tai erikoistumiskurssin tentin monivalintaosion. Jatkotentti tulee suorittaa pätevyystodistuksen kahden viimeisen voimassaolovuoden aikana. Siirtymäkautena 31.12.2010 asti pätevyystodistuksen voi hakea vanhojen sääntöjen mukaisesti joko viideksi vuodeksi tai uusien sääntöjen mukaisesti kahdeksaksi vuodeksi (jatkotentin kanssa).

Sertifikaatin haltija poistetaan sertifioidujen näytteenottajien rekisteristä kelpoisuusajan jälkeen, jos hakemusta ei ole jätetty. Myöhemmin pätevyystodistusta haettaessa hakemusta käsitellään uutena hakemuksena, jos hakija ei ole esittänyt myöhästymiselle erityisiä syitä. (SYKE 2009)

Koulutuksen tyytyväisyyskysely 2008

SYKE:n vuonna 2008 tekemässä asiakaskyselyssä selvitettiin henkilösertifioitujen näyttötehtävien mielipiteitä koulutuksesta. Kyselystä selvisi, että suurin osa oli päättänyt hankkia sertifiointin työnantajan kehotuksesta. Kurssijärjestelijöistä, luennoitsijoiden pätevydestä, tietojen hyödyntämisestä näyttötehtävissä, tentin sisällöstä ja tasosta oli antanut 70...80 % hyvän tai erinomaisen arvion. Kritiikkiä annettiin hinnasta ja kurssipaikan sijainnista. (SYKE 2009)

Ylläpitokoulutuspäiviä on tarkoitus järjestää yksi päivä kerran vuodessa ja tätä pidettiin hyvänä tai erinomaisena. Ylläpitokoulutuksen tulisi käsitellä näyttötehtävää koskevia asioita kuten näyttötehtävien tekniikkaa, -laitteita, näyttötehtävien edustavuutta, laatua ja työturvallisuutta. (SYKE 2009)

Sertifiointin merkityksestä 90 % vastaajista oli sitä mieltä, että sertifiointi osoittaa ”hyvin tai erinomaisesti” ulkopuolisille pätevyysnäyttötehtävien suorittajana. Kokonaisuudessaan 70 % piti sertifiointia hyödyllisenä ja he suosittelivat sertifiointia muillekin. Toisaalta koettiin myös, ettei sertifiointi ole juurikaan lisännyt työtehtäviä eikä ole ollut taloudellisesti kannattavaa. (SYKE 2009)

5.1.2. FISE:n pätevyysjärjestelmä

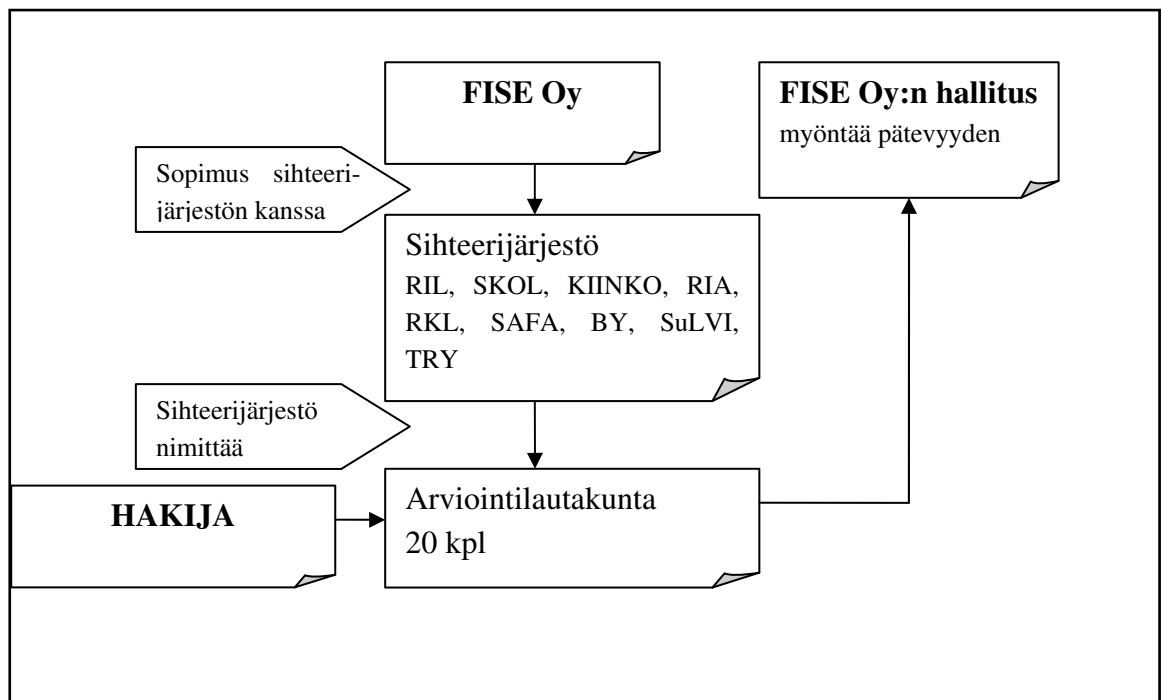
FISE Oy (Finnish Certification) myöntää rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpatenteja lakiin ja täydentäviin rakentamismääräyksiin perustuen suunnittelijoille, valvojille ja työnjohtajille. Järjestelmään on otettu mukaan myös vapaaehtoisia rakennus- ja kiinteistöalan asiantuntijapatenteja. (FISE 2009)

Vuoden 2000 alussa voimaan tullut Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää, että rakennuslupaviranomaiset varmistavat suunnittelijoiden ja työnjohtajien pätevyysnäyttötehtävien vaatimuksen mukaan. FISE Oy perustettiin vuonna 2002 työryhmän toimintasuositusten saattamiseksi. Suomen rakennusinsinöörien liitto (RIL) on ollut pääasiainen vastuutaho kansallisen pätevyysnäyttötehtävien järjestelmän luomisessa ja FISE Oy:n perustamisessa. (FISE 2009)

FISE Oy:n perustajaosakkaat olivat Rakennusinsinöörit ja –arkkitehdit RIA ry, Rakennusmestarit ja –insinöörit AMK RKL ry, Rakennustarkastusyhdistys ry, Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO, Suomen Betoniyhdistys ry, Suomen geoteknillinen yhdistys ry, Suomen LVI-liitto SuLVI ry, Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry, Teräsrakennusyhdistys ry ja Wood Focus Oy. (FISE 2009)

Pätevyysnäyttötehtävien järjestelmä muodostuu arviointilautakunnista ja niitä hoitavista sihteerijärjestöistä sekä pätevyysnäyttötehtävien myöntävästä FISE Oy:stä (kuva 5.2).

Sihteerijärjestöjä on yhdeksän kappaletta muun muassa Rakennusinsinöörit ja –arkkitehdit RIA ry (RIA), Rakennusmestarit ja –insinöörit AMK RKL ry (RKL), Suomen Betoniyhdistys ry (BY), Suomen LVI-liitto SuLVI ry (SULVI) ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry (RIL). FISE Oy tekee sopimuksen sihteerijärjestön kanssa tiettyyn rakentamisen osa-alueeseen liittyvän arviointilautakunnan tehtävien hoidosta. Sihteerijärjestö tekee omissa nimissään sopimuksen arviointilautakunnan kokoonpanosta muiden tästä pätevyydestä kiinnostuneiden tahojen kanssa. Sopimusosapuolet saavat nimittää yleensä yhden edustajan ja sopimuksessa esitetään miten lautakuntien jäsenet nimitetään. Arviointilautakuntia sihteerijärjestöjen alaisuudessa on tällä hetkellä 20 kappaletta. Pätevyksien arvioinnin tekee sihteerijärjestön lautakunta ja lopullisen hyväksynnän pätevyydelle antaa FISEn hallitus. Pätevyys on voimassa seitsemän vuotta kerrallaan, mutta voidaan perua erityisen painaviin syihin vedoten. Painava syy voi olla esimerkiksi toimiminen FISEn eettisiä sääntöjä vastaan. Ennen pätevyyden perumista käytetään niin sanottu kolmiportaista sanktiojärjestelmää. Kolmas sanktio johtaa pätevyyden perumiseen. Arviointilautakunta kokoontuu vähintään kaksi kertaa vuodessa. Kutsu lautakunnan jäsenille tulee lähettää viimeistään viikkoa ennen kokousta ja lautakunta on päätösvaltainen, kun puheenjohtaja/varapuheenjohtaja sekä vähintään puolet muista jäsenistä on läsnä. Asiat ratkaistaan yksinkertaisella ääntenemmistöllä, jolloin äänten mennessä tasan puheenjohtajan mielipide ratkaisee asian. Tyytymättömät hakijat voivat hakea oikaisulautakunnalta muutosta FISEn päätöksiin. (FISE 2009)



Kuva 5.2 FISEn henkilösertifiointijärjestelmän rakenne

Todetussa pätevydessä otetaan huomioon henkilön perus- ja täydennyskoulutus sekä työkokemus niin, että ne täyttävät pätevyydelle asetetut tavoitteet. Pätevyyden arvioimisesta, toteamisesta ja rekisteröimisestä peritään maksu, jonka suuruus vahvistetaan vuosittain. Pätevyysnimikkeitä FISEn järjestelmässä on 93 kappaletta ja sertifioituja henkilöitä vuoden 2009 lopulla lähes 4500 kappaletta. Seuraavana on esitetty esimerkkinä maa- ja pohjarakennustyön valvojan pätevyysvaatimukset. (FISE 2009)

Maa- ja pohjarakennustyön valvojen pätevyysvaatimukset

Maa- ja pohjarakennustyön vaativuuden mukaan valvojen koulutus jaetaan kolmeen vaativuusluokkaan seuraavasti (FISE 2009):

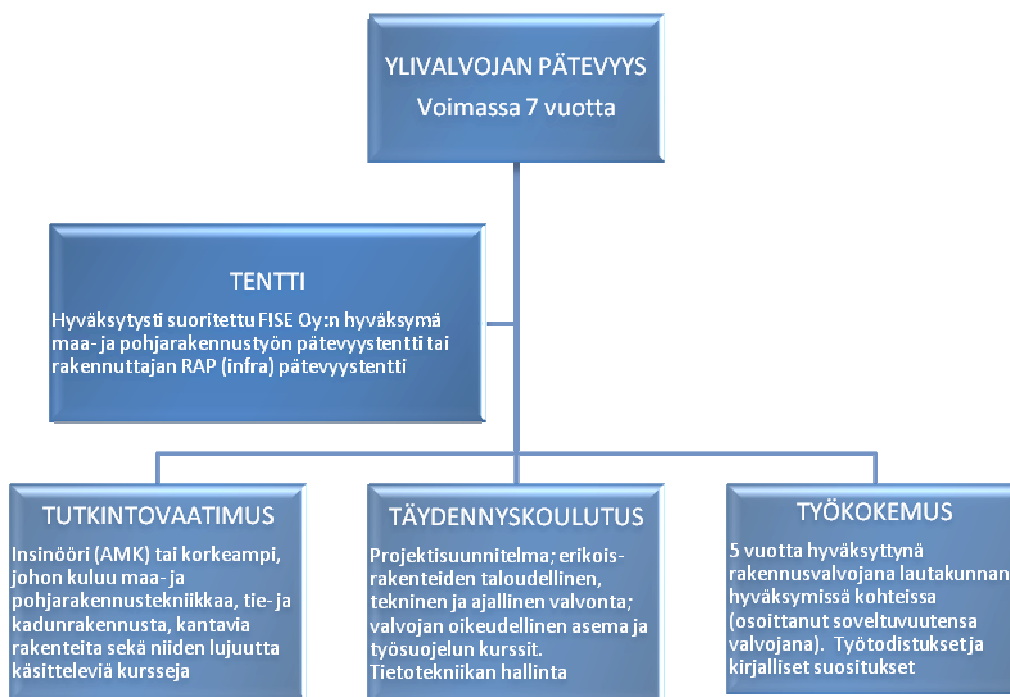
- 1) maa- ja pohjarakennustyön ylivalvoja (aa erittäin vaativa rakennushanke)
- 2) maa- ja pohjarakennustyön rakennusvalvoja (a tavanomainen rakennushanke)
- 3) maa- ja pohjarakennustyön paikallisvalvoja (pienehkö rakennushanke)

Erittäin vaativa rakennushanke määritellään FISEn mukaan seuraavasti: Hankkeet, joiden rakentamisesta tai käytöstä tapahtuvasta virheestä voi seurata suuronnettomuuden vaara. Hankkeet, joiden rakennesuunnittelutehtävän vaativuus kuuluu rakentamismääräyskokoelman osan A2 pohjarakenteita koskevassa ohjetaulukossa vaativuusluokkaan AA tai rakenneluokkaan 1.(FISE 2009)

Tavanomainen rakennushanke kuuluu rakennusmääräyskokoelman osan A2:n pohjarakenteita koskevassa ohjetaulukossa vaativuusluokkaan A tai rakenneluokkaan 2. Hanke voi sisältää rakenneluokan 1 (vaativuusluokan AA) rakenteita. Ulkopuolisen apua käytetään, jos oma pätevyys ei riitä. (FISE 2009)

Pienehkö rakennushanke kuuluu rakennusmääräyskokoelman osan A2 pohjarakenteita koskevassa ohjetaulukossa vaativuusluokkaan B tai rakenneluokkaan 3. Hankkeessa voi olla rakenneluokan 1 tai 2 rakenteita. Ulkopuolisen apua käytetään, jos oma pätevyys ei riitä. (FISE 2009)

Jokaisessa luokassa on omat perus- ja täydennyskoulutus sekä työkokemusvaatimukset. Esimerkkinä on esitetty maa- ja pohjarakennustyön ylivalvojan pätevyteen vaadittavat ominaisuudet (*kuva 5.3*). Kaikissa pätevyysohjelmissa on vaatimuksena hyväksytysti suoritettu FISE Oy:n hyväksymä pätevyystentti. Pätevyyden toteamista varten koulutus ja/tai pätevyystentti ovat voimassa kolmen (3) vuoden ajan. Varsinainen sertifiointi on voimassa seitsemän (7) vuotta. Sertifioidut henkilöt julkaistaan FISEn verkkosivuilla ja FISEn käsikirjassa vuosittain. Sertifikaatti tulee uusiksi ennen sen umpeutumista. (FISE 2009)



Kuva 5.3 Maa- ja pohjarakennustyön ylivalvojan pätevyysvaatimukset (erittäin vaativa rakennushanke) (FISE 2009)

5.2. Ulkomailta toteutettuja henkilösertifiointiohjelmia

Suomessa kalvourakoitsijat käyttävät jo yleisesti sertifioituja hitsaajia, mutta hitsaajien henkilösertifiointiohjelmia järjestävät varsinaisesti ulkomaiset yhteisöt ja yritykset. Suomessa ei tällä hetkellä ole hitsaajien henkilösertifiointiohjelmia. Esimerkkinä hitsaajien sertifiointiohjelmista ovat esitelty *The Welding Instituten* (TWI) järjestämä koulutus sekä USAssa *American Welding Societyn* (AWS) järjestämä hitsaajien henkilösertifiointikoulutus. Saksassa hitsaajien sertifiointikoulutusta järjestää *TÜV Rheinlandin*, mutta sen sisältöä ei tässä yhteydessä käydä tarkemmin läpi, vaan Saksan osalta keskitytään riippumattomille laadunvalvojille annettuihin pätevyysvaatimuksiin. Varsinaista riippumattomien laadunvalvojen henkilösertifiointikoulutusta on tällä hetkellä USAssa ja sitä organisoii *The Geosynthetic Institute* (GSI).

5.2.1. Iso-Britannia (UK)

Hitsaajien henkilösertifiointi

Kaatopaikan kalvoasentajien sertifiointijärjestelmän syntyyn vaikutti UK:ssa huomattavasti se seikka, että geomembraaniteollisuus huomasi suuria eroja hitsaajien tasossa kaatopaikkatyömailla. Joidenkin yritysten henkilöstön koulutusohjelmat olivat hyvin järjestettyjä yrityksen toimesta, mutta osalla koulutus ja ohjaus olivat hyvin vähäistä. Teollisuuden toimijat perustivat yhdistyksen *British Geomembrane Association* (BGA) ja aloittivat yhteistyön *The Welding Instituten* (TWI) kanssa.

Geomembraanihitsaus sisällytettiin TWI:n CSWIP-muovihitsaajien sertifiointiohjelmaan (*Certification Scheme for Personnel*) ja kattava kurssikäsi kirja saatiin valmiiksi vuonna 2000 BGA:n ja TWI:n yhteistyönä. (TWI)

Alussa vastaanotto oli laimeaa ja vain muutamia hitsaajia osallistui tutkintoon parina ensimmäisenä vuotena. Suurin syy laimeaan osanottoon oli se, ettei koulutettuja hitsaajia ollut vaadittu sopimuksissa. Tämän jälkeen TWI ja BGA aloittivat keskustelut ympäristöviraston (Environmental Agency) kanssa. Vuoteen 2002 mennessä ympäristövirasto saatiin vakuutetuksi siitä, että kaikilla kaatopaikkatyömailla tarvitaan ainakin yksi työryhmän jäsen, jolla on CSWIP-sertifiointi. (TWI)

CSWIP-sertifiointin edellytyksenä oli tarvittava työkokemus, jolloin UK:n geomembraaniteollisuuden ongelmaksi nousi pätevien hitsaajien puute. Tämän takia TWI loi vuonna 2003 uuden ”tulokastason” sertifiointiohjelman niille geomembraanihitsaajille, joilla ei ollut työkokemusta. Tulokastason tutkinto mittaa hitsaajan käytännön kykyjä ja onnistuneille kandidaateille myönnetään tulokastason CSWIP-sertifikaatti. Kahden vuoden teollisen työkokemuksen jälkeen he ovat oikeutettuja osallistumaan varsinaiseen tutkintoon standardin EN 13067 mukaan. (TWI)

UK:n ympäristövirasto on antanut lisävaatimuksen vuonna 2004, että kaatopaikkatyömaalle vaaditaan kaksi työryhmän jäsentä, joilla on EN 13067 mukainen hyväksyntä, ja kaikilla muilla työryhmän jäsenillä tulee olla tulokastason CSWIP-hyväksyntä (lukuun ottamatta yhtä harjoittelijaa). (TWI)

TWI:n sertifiointijärjestelmän rakenne

TWI on eriyttänyt sertifiointin *The Welding Institute Certification Ltd:*lle (TWICL), joka perustaa ja laittaa täytäntöön sertifiointiohjelmaa sekä hyväksyy koulutusohjelmia. Se omistaa ja operoi kansainvälisestikin tunnettua henkilösertifiointituotemerkkiä CSWIP (*The Certification Scheme for Personnel*). CSWIP-sertifiointi on työnantajien ja kansainvälisten standardointielinten hyväksymä tunnustus siitä, että työntekijä on pätevä kyseiseen tehtävään. (TWI)

Hitsaajien koulutuslaitosten tulee ensin hankkia sertifiointi TWICL:n koulutusohjelmassa nimeltä ”*Certification Scheme for Welder Training Organisations*” (CSWTO). Hitsaajien koulutuslaitosten sertifiointi on voimassa viisi (5) vuotta edellyttäen, että vuosittainen seuranta on hyväksytty. Koulutusjärjestön tulee hakea uudelleenarviointia noin kolme kuukautta ennen kuin sertifikaatti umpeutuu. Hyväksytyt arvioinnin jälkeen sertifiointia jatketaan taas viisi vuotta. (TWI)

Hitsaajien CSWIP-sertifiointi noudattaa standardia EN 13067. Sertifikaatin saamisen edellytykset on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 5.4). Tarkemmat vaatimukset muovihitsaajien CSWIP-sertifioinnista on annettu asiakirjassa ”Document No. CSWIP-PW-6-96 Requirements for the Certification of Plastics Welders” (CSWIP-certification 2007)



Kuva 5.4 Hitsaajien CSWIP-sertifioinnin edellytykset (TWI)

Lopullinen sertifikaatti myönnetään, kun seuraavat kriteerit täyttyvät (TWI):

- Hitsaaja sitoutuu ylläpitämään taitojaan myönnetyn sertifikaatin alueelta. Yli puolen vuoden mittaista katkosta hitsaustyössä ei sallita.
- Hitsaajan työ noudattaa pääsääntöisesti niitä teknisiä ehtoja, joiden perusteella sertifikaatti on myönnetty.
- Ei ole mitään syytä epäillä hitsaajan taitoja ja tietoa.

Myönnetty sertifikaatti on voimassa vuoden. Sertifikaatin jatkamista tulee anoa TWI Certification Ltd:ltä ennen sertifikaatin voimassaolopäivän umpeutumista.

Sertifikaatin voimassaolo jatkuu, kun edellä mainitut kriteerit täyttyvät ja hitsaaja todistaa hitsauksensa laadun kolme kuukautta ennen sertifikaatin umpeutumista. Akkreditoitu laboratorio testaa hitsaajan näytekappaleen. (TWI)

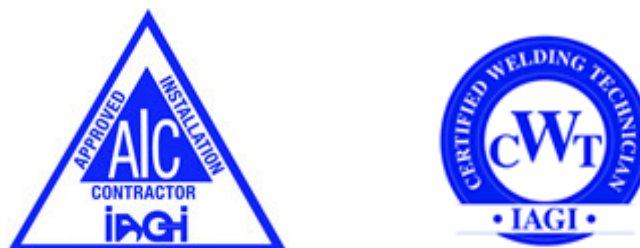
5.2.2. USA

Hitsaajien sertifiointi

American Welding Society (AWS) myöntää henkilösertifiointeja hitsaajille USAssa. Ohjelma on samankaltainen kuin Iso-Britanniassa TWI:n koulutus. AWS:llä on TWI:n tapaan sertifiointiohjelma koulutusjärjestöille. Hitsaajat, jotka haluavat sertifioinnin, suorittavat testin akkreditoitussa testipaikassa. Sertifikaatin ylläpitämiseksi, hitsaajan tulee toimittaa joka kuudes kuukausi allekirjoitettu todistus siitä, että on ylläpitänyt taitojaan.

The International Association of Geosynthetic Installers (IAGI) järjestää pätevyyskoulutusta sekä muovihitsaajille että geomembraaniurakoitsijoille. Sertifioidut hitsaajat saavat pätevyytensä CWT (*Certified Welding Technician*) merkin käyttöönsä (kuva 5.5).

Tämän lisäksi IAGI järjestää pätevyitysmiskoulutusta urakoitsijoille, jonka tuloksena urakoitsija saa hyväksynnän *Approved Installation Contractors (AIC)* (kuva 5.5). (IAGI 2009)



Kuva 5.5 Pätevyitymisestä saatavat hyväksyntämerkit. Vasemmalla geomembraaniasennuksiin hyväksytyyn urakoitsijan tunnus ja oikealla sertifioidun hitsaajan pätevyitymistunnus. (IAGI 2009)

Kaatopaikan laadunvalvojen sertifiointi

USAssa kaatopaikkarakentamisen laadunvalvojille on jo olemassa oma henkilösertifiointijärjestelmä. *The Geosynthetic Institute* (GSI) järjestää koulutusta sekä mineraalisista tiivistysrakenteista että geosynteettisistä materiaaleista ja niiden laadunvarmistuksesta. Rakentamisen laadunvalvojen sertifiointiohjelmaa (*The Construction Quality Assurance Inspector Certification Program CQA-ICP*) hallinnoi *Geosynthetic Certification Institute* (GCI), joka on GSI:n alajaosto. CQA-ICP keskittyy geosynteettisten materiaalien tai/ja mineraalisen tiivistysrakenteen laadunvarmistukseen kaatopaikoilla ja vastaavilla sovellusalueilla. Hakija voi osallistua joko toiseen koulutusohjelmaan tai molempiin. (GSI 2010)

GCI asettaa vaatimuksia laadunvalvojan sertifikaatin hakijalle seuraavasti (GSI 2010):

- Suositus ammattilaiselta, joka tuntee ja voi todistaa, että hakijalla on ainakin kuusi kuukautta hyväksyttävää työkokemusta geosynteettisten materiaalien/ bentoniittimattojen laadunvarmistustehtävistä.
- Hakijan täytyy toimittaa täytetty hakemus ja hyväksyttää se GCI:llä osallistuakseen geosynteettisten materiaalien tai mineraalisten tiivistysrakenteiden kokeeseen.
- Hakijan tai hakijan yrityksen on maksettava kertamaksu, joka kattaa viisi vuotta (5) kokeen suorittamisesta.
- Hakijan on läpäistävä GCI:n tai GCI:n hyväksymän organisaation järjestämä kirjallinen koe hyväksytysti (70 %).

GSI:n lisäksi koulutusta järjestää esimerkiksi Texas Research Institute (TRI). Koulutus on jakaantunut kahteen päivän mittaiseen lyhytkurssiin:

- 1) Geosynteettisten tuotteiden asennuksen laadunvarmistus
- 2) Mineraalisten tiivistyskerrosten ja bentoniittimattojen laadunvarmistus

Geosynteettisten materiaalien (*taulukko 5.1*) ja mineraalisten tiivistysrakenteiden (*taulukko 5.2*) vuoden 2009 laadunvarmistuskoulutuksen sisältö on esitetty seuraavissa taulukoissa.

Taulukko 5.1 Geosynteettisten materiaalien laadunvarmistuskurssin sisältö (TRI)

OTSIKKO	SISÄLTÖ
Laadunvarmistuksen periaatteet ja ajattelutapa	Vastuut, roolijaot, ammatilliset näkökohdat, työmaa käytännöt, konfliktien ratkaisu
Geosynteettisten materiaalien perusteita ja niiden valmistus	Polymeeristä tuotteeksi, materiaalien ominaisuuksia, materiaalien valmistus
HDPE-, LLDPE-, fPP-geomembraanit ja niiden saumaus	Tyypit ja spesifikaatiot, kuormaus/vastaanotto, purkaminen, varastointi ja asennus
Hitsauksen demonstrointi ja saumojen testaus	Hitsaussaummat, kuorinta- ja vetokokeet, venymämittaukset, vauriotavat, kenttä- vastaan laboratoriotestaus
PVC-geomembraanit ja saumat	Tyypit, spesifikaatiot, kuormaus/vastaanotto, purkaminen, varastointi, asennus
Geotekstiilit, geoverkot (geonets)/geokomposiitit, geoverkot (geogrids), putket, eroosion torjunta	Tyypit, spesifikaatiot, kuormaus/vastaanotto, purkaminen, varastointi ja asennus
Suojaus ja peitto maa-aineksella	
Laadunvarmistuksen paperityöt ja kirjaaminen	Dokumentaation tärkeys, yhteydenpidon kirjaus, esimerkkejä pöytäkirjanpidosta ja dokumentaatiosta, tarkastuslistat

Taulukko 5.2 Mineraalisen tiivistyskerroksen ja bentoniittimattojen laadunvarmistuskurssin sisältö (TRI)

OTSIKKO	SISÄLTÖ
Pohjaeristys ja pintaeristys	Yksinkertainen/kaksoisrakenne / yhdistelmä rakenne, vuodot maaperään, yhdistetty toiminta geomembraanin kanssa, kuivatuskerros
Mineraaliset tiivistyskerrokset	Materiaalit, hydrauliseen johtavuuteen vaikuttavat asiat, vesipitoisuus - tiheys -riippuvuus, paksuus, kuormituksen vaikutus, tiivistyskerrosten liittyminen toisiinsa
Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen pohja- ja pintaeristykseen	Laitteet, maan esikäsitteily, vesipitoisuuden kontrollointi, seulonta, paakkujen kontrollointi, tiiviys
Mineraalisen tiivistyskerroksen pohja- ja pintaeristyksen laadunvarmistus	Laadunvarmistuksen periaatteet, laadunvarmistussuunnitelma, testit, havainnot, vesipitoisuuden testaus kentällä, tiheyden testaus kentällä, hydraulisen johtavuuden testaus, testausstiheys, testauspisteiden sijainti, korjaavat toimenpiteet, lopullinen hyväksyntä
Bentoniittimatot	Kaupallisesti valmistetut bentoniittimatot, geosynteettiset materiaalit, bentoniittimattojen valmistus, valmistuksen laadunvalvonta, spesifikaatiot
Bentoniitti	Arvot ja testaukset bentoniitin laadulle, suositellut spesifikaatiot bentoniitille, kontaminaatiota kestävä bentoniitti
Bentoniittimattojen asennus	Kuljetus, käsittely, varastointi, alusmaan valmistelu

5.2.3. Saksa

Saksassa kaatopaikan hitsaajilta vaaditaan sertifiointia samaan tapaan kuin Iso-Britanniassa ja USAssa. Hitsaajan pätevyyskoulutusta järjestää Saksassa *TÜV Rheinland*. Varsinaista sertifiointijärjestelmää ei tässä yhteydessä esitetä, vaan keskitytään saksalaiseen käytäntöön tiivistysrakenteiden laadunvarmistuksen osalta.

Saksassa ulkopuolinen laadunvarmistus on jaettu kolmeen osaan, jolle kullekin on omat ohjeet ja suositukset. Nämä kolme osaa ovat:

- mineraalisten komponenttien laadunvarmistus
- muovikomponenttien laadunvarmistus ja
- sijaintimittauksen laadunvarmistus.

Mineraalisten tiivistyskerroksen laadunvarmistus on esitetty saksalaisessa GDA:n (*Deutsche Gesellschaft für Geotechnik*) suosituksissa E5-10: Kolmannen osapuolen valvontaorganisaation tehtävät ja pätevyysvaatimukset tiivistysrakenteiden mineraalisille osille (*”Aufgaben und Qualifikation einer fremdprüfende Stelle für mineralische Komponenten in Abdichtungssystemen”*). (Bräcker 2006)

Muovikomponenttien, kuten geomembraanien, osalta ohjeet riippumattoman laadunvarmistajien pätevyyksistä esittää BAM (*Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung*) asiakirjassaan *”Richtlinie für Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle beim Einbau von Kunststoffkomponenten und –bauteilen in Deponieabdichtungssystemen”*. Tämä asiakirja käsittelee riippumattoman laadunvalvontaorganisaation vaatimuksia ja tehtäviä kaatopaikan tiivistysrakenteiden muovikomponenttien ja -valmisosien rakentamisesta. Riippumattoman laadunvalvojaorganisaation (fremdprüfende Stelle) tulee olla ammattilainen, jolla on kokemusta muovimateriaaleista, laatujohtamisesta ja kaatopaikkojen geoteknisestä rakentamisesta. Riippumattomien laadunvalvojien on ymmärrettävä testaustulokset, pystyttävä perustelemaan ne sekä ymmärtämään virheiden vaikutukset tiivistysrakenteen toiminnan kannalta. (BAM 2009)

Riippumattomalta laadunvalvojan pätevyys ja jatkokoulutus varmistetaan koulutuksesta saatujen dokumenttien avulla. Koulutukseen kuuluu peruskoulutusjakso, työkokemusjakso kokeneen riippumattoman laadunvalvojan johdolla ja jatkuva täydennyskoulutus, jotta pysytään mukana tekniikan kehittämisessä. (BAM 2009)

Riippumattoman laadunvalvontaorganisaation teknisellä johtajalla on kokonaisvastuu, että valvonta- ja testaustoiminta tapahtuu normien ja säännösten mukaan. Hänen täytyy olla vakituisessa työsuhteessa. (BAM 2009)

Riippumattomalla laadunvalvontatoimistolla täytyy olla riittävästi henkilökuntaa, jolla on kelpoisuus toimia ”vastuuvollisena riippumattomana laadunvalvojana” ja paikallisvalvojana, jotta saksalaisen kaatopaikkamääräyksen mukainen (liitteen E kappaleen 3.2.2 TA Abfall) kolmannen osapuolen valvonta voidaan taata. (BAM 2009)

Vastuuvollinen valvoja on projektinjohtaja, jonka pätevyysvaatimuksia ovat: insinööripohjainen koulutus AMK tai sitä korkeampi tutkinto, jonka jälkeen hänellä tulee olla vähintään kolme vuotta työkokemusta kaatopaikan tiivistysrakenteiden muovikomponenttien ja -osien rakentamisen laadunvalvonnasta. Vastuuvollisella valvojalla tulee olla määräysvalta paikallisvalvojan nähdessä. Vastuuvollinen valvoja voi toimia paikallisvalvojana. (BAM 2009)

Paikallisvalvojan pätevyysvaatimuksia ovat: koulutukseltaan hänen tulee olla vähintään tekniikko tai materiaalitekniikan ammattikoulututkinto ja vähintään vuoden työkokemus kaatopaikkatyömaalla valvojana. Hänen tulee myös käydä muovihitsaajan pätevyyskoulutuksen perus- ja valmistavat oppijaksot. (BAM 2009)

Riippumattoman valvojan tehtäviin kuuluu muun muassa lupahakemuksien, urakkatarjousten ja rakennussuunnitelmien teknisen ja ammatillisen tason tarkastaminen. Lisäksi riippumaton laadunvalvoja voi myötävaikuttaa laatusuunnitelman vaatimukseen veden ja kosteuden pitävän kalvon osalta sekä niihin liittyvien suojakerroksien osalta. Riippumaton laadunvalvoja valvoo laatusuunnitelman toteutumista rakentamisen aikana. Hän myös dokumentoi tulokset ja laadunvarmistustoimenpiteiden suoritukset sekä tekee arviointiselostuksen hankkeen onnistumisesta. (BAM 2009)

Kokemusten vaihto ja jatkokoulutautuminen ovat tärkeä osa tiivistysrakenteiden laadunvarmistusta. BAM suosittelee kokemusten vaihtoa ja jatkokoulutusta laadunvalvojien kesken. (BAM 2009)

Mineraalisten tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskäytäntöä ei tässä yhteydessä ole tarkasteltu. Saksalaisen käytännön mukaan periaatteessa jokaiselle osalle on oma valvojansa, jolloin riippumattoman laadunvalvojan tietotaito voi olla enemmän keskittynyt. Lisäksi laadunvarmistusta tekevät organisaatiot, joilla on useita eri alueille erikoistuneita valvojia. Tämä mahdollistaa tiedonvälityksen yrityksen sisällä valvojalta toiselle.

6. KYSELYTUTKIMUS

6.1. Kyselytutkimuksen taustaa

Tiivistysrakenteiden koulutuksen tarvetta ja toteuttamista kartoitettiin kyselytutkimuksella, joka lähetettiin rakennuttajille, urakoitsijoille ja ympäristökeskuksen edustajille.

Kyselytutkimus jakaantuu moniin vaiheisiin ja näistä haastavin on määrittellä kyselytutkimuksen kysymykset. Kysymykset tulisi olla muotoiltu niin, että ne ovat helposti ymmärrettäviä ja tulkittavia. Tavoitteena tietenkin on, että tutkimusongelmaan saadaan selkeä ja yksiselitteinen vastaus. Kyselytutkimuksen voidaan ajatella jakautuvan seuraaviin työvaiheisiin (Huhtala 2009):

1. tutkimusongelman muotoilu
2. tilastollinen tutkimuksen suunnittelu: mistä otos poimitaan ja kuinka suuri otos tarvitaan
3. lomakkeen laatiminen
4. lomakkeen testaus
5. lomakkeiden postitus/lähtettäminen
6. aineiston tarkistus, tallennus ja muokkaus
7. kuvailevat analyysit ja alustavat tulokset
8. syventävät analyysit
9. tutkimusraportin tai tieteellisen artikkelin laatiminen ja julkaisu

Lomakkeen laadinnassa on mahdollisuus käyttää avoimia kysymyksiä ja/tai suljettuja kysymyksiä. Avoimessa kysymyksessä vastaaja vastaa omin sanoin, kun taas suljetussa kysymyksessä vastausvaihtoehto on ennalta annettu (Huhtala 2009). Avoimien ja suljettujen kysymysten ominaisuuksia voidaan luonnehtia seuraavasti:

Avoimen kysymyksen ominaisuuksia (Huhtala 2009):

- ✓ helppo laatia
- ✓ voi saada hyviä ideoita, joita ei etukäteen voitu arvata
- ✗ työläs käsitellä
- ✗ vastaustilaa osattava varata riittävästi

Suljetun kysymyksen ominaisuuksia (Huhtala 2009):

- ✓ vastaaminen nopeaa
- ✓ käsittely helppoa
- ✗ vastausvaihtoehtojen lukumäärä ei saa olla kovin suuri
- ✗ kaikille vastaajille tulisi löytyä vaihtoehto
- ✗ vaihtoehtojen tulee olla mielekkäitä
- ✗ luokittelun epäonnistuminen on vaikea korjata

Vastausprosentti on eräs tutkimuksen luotettavuuden ilmaisin. Se kertoo, kuinka moni otokseen valituista vastasi tehtyyn kyselylomakkeeseen. Vastausprosentin jäädessä alhaiseksi tutkimuksen edustavuus voi olla kyseenalainen. Tyypillisesti vastausprosentit ovat nykyään alle 50 %. (Vehkalahti 2008)

Kyselytutkimuksen tuloksia voidaan tarkastella kuvaajien lisäksi keskiarvon, keskihajonnan ja moodin avulla. Keskihajonta kuvaa havaintoarvojen poikkeamaa keskiarvosta (Tilastokeskus). Moodi on yleisin arvo otosjoukon keskuudessa.

6.2. Kyselytutkimuksen toteutus

Tutkimuksen tarkoituksena oli saada vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Miten osapuolet ovat järjestäneet kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvalvonnan?
- Mitä ongelmia laadunvalvonnassa on tällä hetkellä?
- Mikä rooli on riippumattomalla laadunvalvojalla kaatopaikan rakentamisessa?
- Mitkä ovat riippumattoman laadunvalvojan tärkeimpiä ominaisuuksia?
- Tarvitaanko kaatopaikan tiivistysrakenteiden koulutusta?
- Jos koulutusta tarvitaan, kenelle koulutus tulisi ensisijaisesti suunnata?
- Mitkä olisivat mahdollisen riippumattoman laadunvalvojan sertifiointiin vaatimukset (työkokemus, koulutus, tentti)?

Käytettävä otos poimittiin kaatopaikan rakennuttaja-, rakentaja- ja ympäristöviranomaistahoista. Varsinaiset riippumattomat laadunvalvojat eivät kuulu tämän tutkimuksen piiriin, koska heidän toimintaansa on tarkasteltu tuoreeltaan Lauri Sipilän 2010 valmistuneessa opinnäytetyössä.

Kyselytutkimukset tehtiin sähköisellä kyselylomakkeella Webropol-palvelun avulla. Kyselyjä laadittiin kolme erilaista kullekin toimijataholle: rakennuttajille, urakoitsijoille ja ympäristölupaviranomaisille. Yhteisiä kysymyksiä pyrittiin sisällyttämään kyselyihin mahdollisimman paljon, jotta tuloksia olisi myös helpompi vertailla. Kysely jakaantui kolmeen osioon, jossa ensimmäisessä tarkasteltiin toimijan omaa toimintaa, toisessa yhteistyötä ja ongelmia toisten toimijoiden kanssa ja kolmannessa kartoitettiin koulutuksen tarvetta (taulukko 6.1).

Taulukossa 6.1 on esitetty, miten kyselyt on jaoteltu ja kuinka monelle kysely on lähetetty (otos). Näistä osio kolmen kysymykset, jotka käsittelevät koulutuksen tarvetta, olivat kaikille samanlaiset. Kyselyt jäseneltiin niin, että suljetut kysymykset ovat alussa ja avoimet kysymykset ovat lopussa. Tällä pyrittiin parantamaan vastausprosenttia ja helpottamaan tulosten käsittelyä.

Taulukko 6.1 *Kyselytutkimusten otokset ja kyselyn osioiden jaottelu*

Kohderyhmä	Otos	Osio 1	Osio 2	Osio 3
Ympäristökeskukset	33	Oma toiminta	-	Koulutuksen tarve
Urakoitsijat	47	Oma toiminta	Valvojaorganisaation ja urakoitsijan yhteistyö	Koulutuksen tarve
Rakennuttajat	115	Oma toiminta	Urakoitsijan toiminta	Koulutuksen tarve

Kyselytutkimuksen kohderyhmistä rakennuttajia edustavat jätehuoltoyritykset ja teollisuuden jätekaatopaikkojen luvanhaltijat. Yhteyshenkilöitä selvitettiin verkkohaun lisäksi myös kyselemällä alan toimijoilta. Ongelmallisinta oli selvittää teollisuuskaatopaikkojen yhteyshenkilöitä, koska tietoa teollisuusjätteen kaatopaikoista oli todella vähän. Kaatopaikan urakointiin erikoistuneita maarakennusyrityksiä selvitettiin niin ikään verkkohaulla ja Rakentamisen laatu ry:n sivustolta (<http://www.rala.fi/>). Ympäristökeskuksen ja ympäristöministeriön yhteyshenkilöt poimittiin ympäristökeskuksen sivuilta valitsemalla kyselyyn sellaiset henkilöt, jotka olivat erikoistuneet kaatopaikkoihin.

Kyselyt testattiin ennen otosjoukolle lähettämistä lähettämällä ne opinnäytetyön valvojille sekä ohjausryhmälle. Kommentoinnin jälkeen kyselyt lähetettiin otosjoukolle sähköpostiviestissä, jossa oli linkki kyselyyn. Kukin vastaaja pystyi vastaamaan kyselyyn vain kerran, ja linkki oli henkilökohtainen, joten sitä ei voinut lähettää eteenpäin jonkun muun täytettäväksi. Otosjoukolla oli mahdollisuus ilmoittaa henkilöistä, jolle kysely kannattaisi lähettää. Ilmoitetut henkilöt lisättiin tämän jälkeen otokseen. Toisaalta otosjoukon henkilöt saattoivat myös ilmoittaa, etteivät tunne kyselyn aihepiiriä, jolloin heidät poistettiin kyselystä. Yleisin tapaus tällaisesta oli, että kysely lähetettiin toimitusjohtajalle, joka ilmoitti alaisen nimen, joka vastaa kaatopaikan hoidosta. Näin ollen toimitusjohtaja poistettiin otoksesta ja alainen lisättiin otokseen. Vastausaikaa annettiin kaksi viikkoa. Noin viikon jälkeen lähetettiin muistutus niille, jotka eivät vielä olleet vastanneet.

6.3. Kyselyn tulokset

Rakennuttajien kysely lähetettiin 115 henkilölle, jotka edustivat lähinnä jätehuoltoyrityksiä (51 %) ja teollisuuden kaatopaikkojen rakennuttajia (39 %). Rakennuttajien kyselyn kokonaisvastausprosentti oli 47 %.

Lisäksi rakennuttajien kyselyssä oli mukana myös noin kymmenkunta rakennuttamiseen erikoistunutta asiantuntijaa (10 %). Jätehuoltoyritysten vastausprosentti oli korkea (61 %), mutta teollisuuden vastausprosentti jäi alhaiseksi (27 %), mikä laski kokonaisvastausprosenttia rakennuttajien osalta.

Urakoitsijoiden kysely lähetettiin yhteensä 47 henkilölle ja kyselyyn vastasi 21. Vastausprosentiksi urakoitsijoiden kohdalla saatiin näin ollen 45 %.

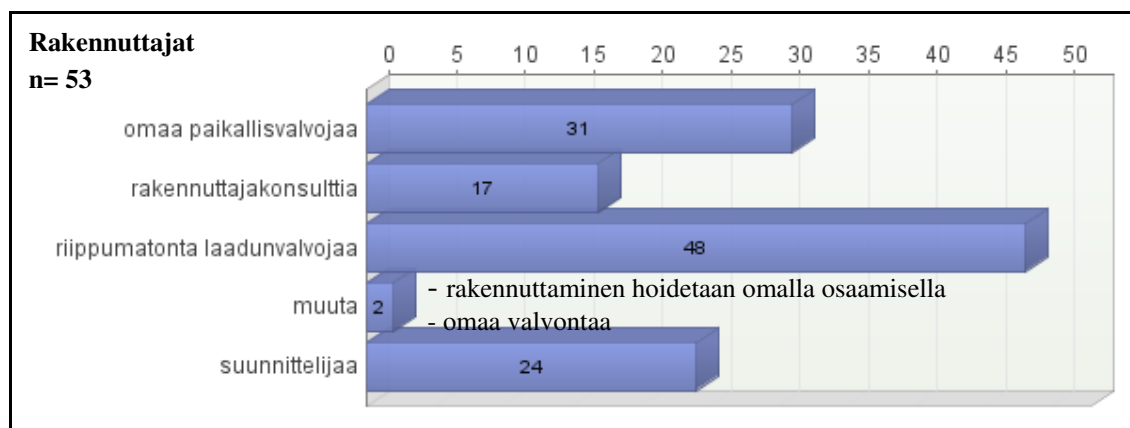
Ympäristökeskuksiin ja ympäristöministeriöön lähetettiin kysely yhteensä 33 henkilölle, joista vastasi 18. Vastausprosentiksi saatiin 55 %.

Seuraavissa kappaleissa on tarkasteltu kyselyiden vastauksia. Keskiarvoa, keskihajontaa ja moodia ei ole esitetty kaikkien vastausten kohdalla, koska ne eivät tuoneet lisäarvoa tulosten käsittelyyn. Tämä johtui varsinkin urakoitsijoiden ja ympäristökeskusten otosjoukon pienyydestä.

6.3.1. Rakennuttajat

Rakennuttajien oma toiminta

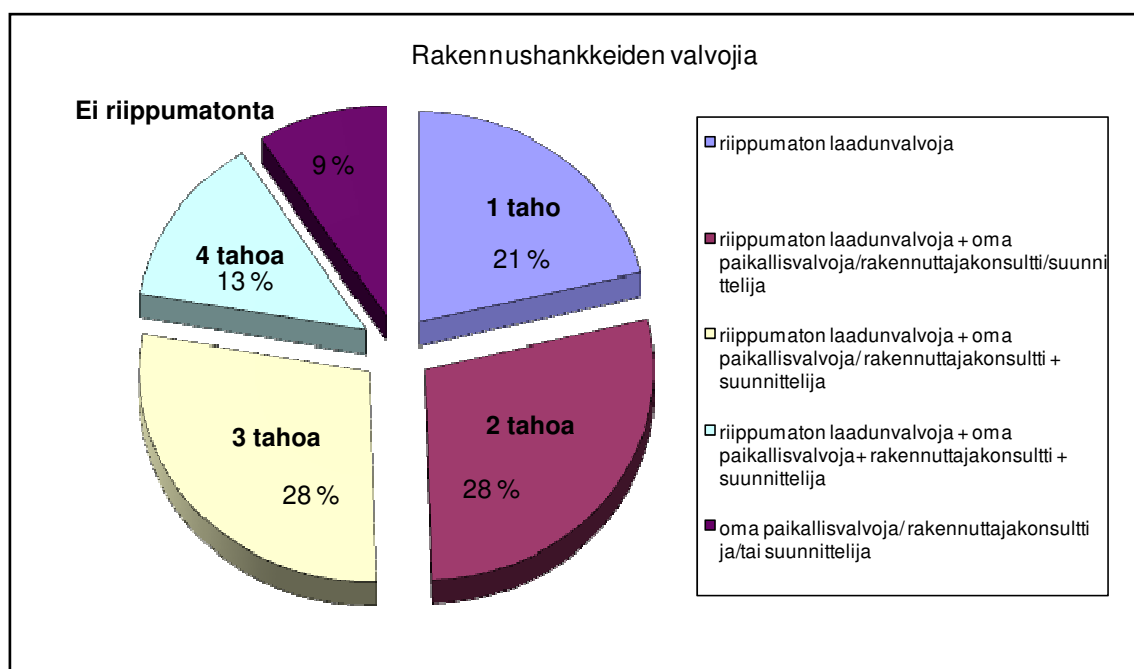
Rakennuttajilta kartoitettiin, millaisia valvoja he olivat käyttäneet kaatopaikan rakentamisen valvonnassa. Tuloksista käy ilmi, että yleisimmin valvonnassa on ollut mukana riippumaton laadunvalvoja (kuva 6.1). Noin puolet rakennuttajista oli lisäksi käyttänyt omaa paikallisvalvojaa tai suunnittelijaa kaatopaikan rakentamisen valvontaan.



Kuva 6.1 Kaatopaikan rakennushankkeissa käytettyjä valvoja, rakennuttajat.

Vastaajilla oli mahdollisuus valita useammasta vaihtoehdosta. Tuloksia tutkittaessa nähdään, että yleisesti valvonta koostui monesta osapuolesta (kuva 6.2). Noin 13 % vastaajista oli käyttänyt hankkeissaan kaikkia neljää vaihtoehtoa eli omaa paikallisvalvojaa, rakennuttajakonsulttia, riippumatonta laadunvalvojaa ja suunnittelijaa. Ne vastaajat, jotka eivät olleet käyttäneet riippumatonta laadunvalvojaa (9 %), olivat hyödyntäneet valvonnassa omaa paikallisvalvojaa tai rakennuttajakonsulttia ja/tai suunnittelijaa. Pelkästään riippumatonta laadunvalvojaa oli käyttänyt noin 21 % vastaajista.

Riippumaton laadunvalvoja vaaditaan yleensä uusien kaatopaikkojen ympäristölupaehdoissa, joten tämä varmasti on yksi syy, miksi riippumatonta laadunvalvojaa on käytetty yleisesti.



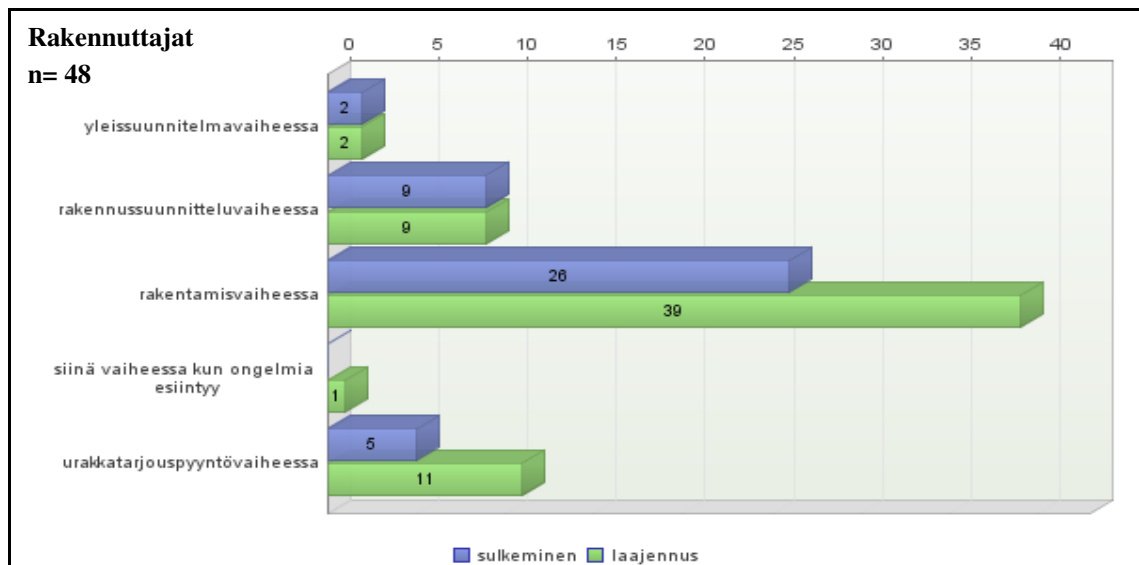
Kuva 6.2 Kaatopaikan rakennushankkeissa käytettyjä valvoja vastaaakohtaisesti, rakennuttajat.

Kaatopaikan rakennushanke voi olla joko uusi jätetäyttöalue, laajennus (pohjarakenne) tai sulkeminen (pintarakenne). Tavoitetila kaatopaikkahankkeissa on, että riippumaton laadunvalvoja otettaisiin hankkeeseen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jopa jo hankesuunnitteluvaiheessa, mutta kuitenkin viimeistään ennen urakkatarjouspyyntövaihetta. Rakennuttajilta selvitettiin, missä vaiheessa kaatopaikan laajennus- tai sulkemishanketta riippumaton laadunvalvoja otetaan yleensä mukaan.

Yleisimmin riippumaton laadunvalvoja oli otettu mukaan laajennushankkeissa rakentamisvaiheessa (39 kpl) (kuva 6.3). Laajennushankkeissa oli tämän lisäksi käytetty riippumatonta laadunvalvojaa rakennussuunnitteluvaiheessa ja urakkatarjousvaiheessa. Vain kaksi vastaajaa otti riippumattoman laadunvalvojan mukaan jo yleissuunnitteluvaiheessa, mutta toisaalta näytti siltä, että heillä on takanaan useampia hankkeita, koska he olivat käyttäneet riippumatonta laadunvalvojaa myös muissa hankkeen vaiheissa eli rakennussuunnitteluvaiheessa, rakentamisvaiheessa sekä toinen myös urakkatarjouspyyntövaiheessa. Yksi vastaajista vastasi käyttävänsä riippumattoman laadunvalvojan palveluja rakentamisvaiheessa tai silloin, kun ongelmia esiintyy.

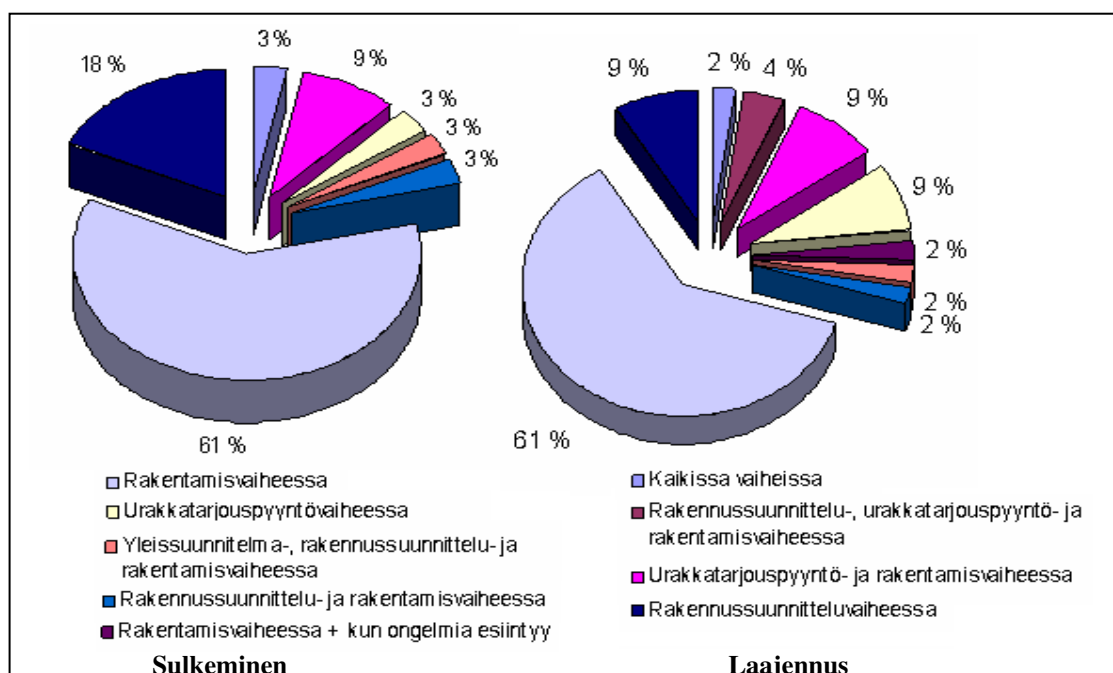
Kaatopaikan sulkemishankkeita koskevaan kysymykseen riippumattoman laadunvalvojan mukaan ottamisesta vastasi 33 vastaajaa (kuva 6.3), joista suurin osa otti riippumattoman laadunvalvojan mukaan hankkeeseen rakentamisvaiheessa.

Riippumatonta laadunvalvojaa oli käytetty sulkemishankkeissa myös rakennussuunnitteluvaiheessa ja urakkatarjouspyyntövaiheessa. Vain kaksi vastaajaa käytti riippumatonta laadunvalvojaa jo yleissuunnitteluvaiheessa.



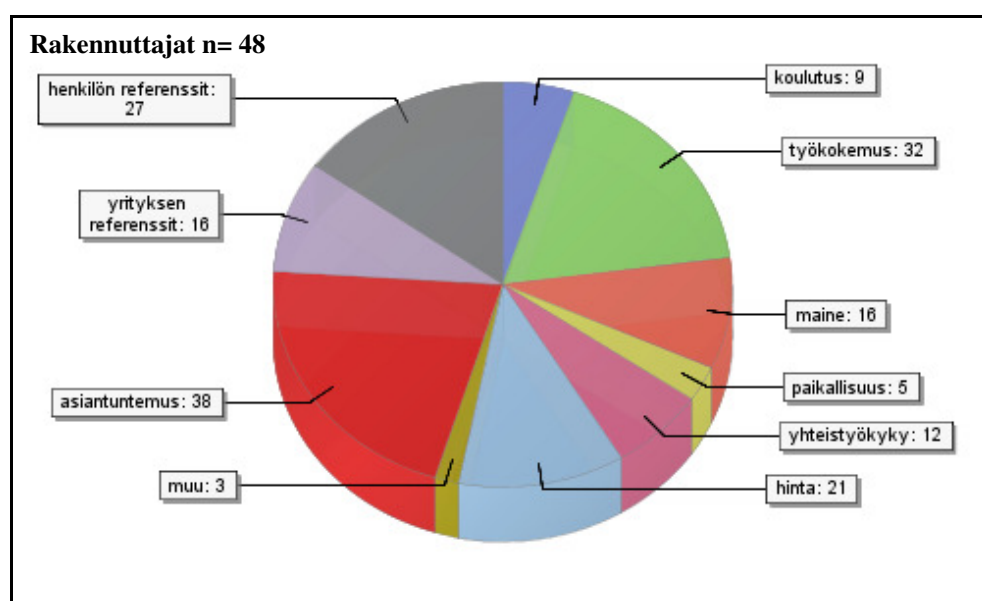
Kuva 6.3 Kaatopaikkahankkeen vaiheita, joissa riippumaton laadunvalvoja otettu mukaan, rakennuttajat.

Vastaajilla saattoi olla takanaan useita hankkeita kaatopaikan sulkemisesta ja laajennuksesta. Seuraava kuva (kuva 6.4) selventää, miten vastaajien vastaukset ovat jakaantuneet. Suurin osa oli ottanut riippumattoman laadunvalvojan rakentamisvaiheessa (61 %) niin sulkemis- kuin laajennushankkeessakin.



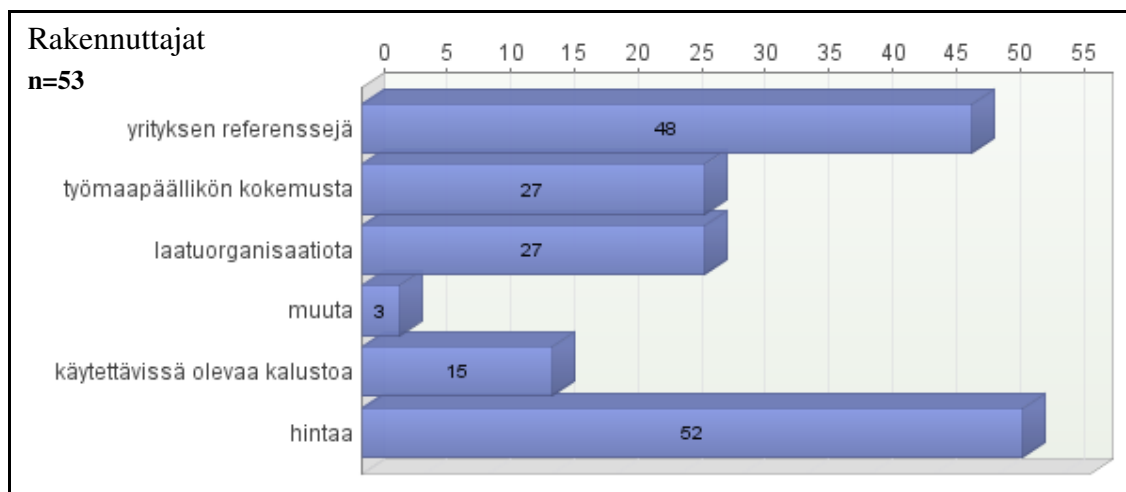
Kuva 6.4 Vaiheet, joissa riippumaton laadunvalvoja on otettu mukaan kaatopaikan rakentamishankkeeseen vastaajakohtaisesti, rakennuttajat.

Riippumattoman laadunvalvojan valinnassa ei ollut yhtä yksittäistä ominaisuutta valintaperusteena. Yleisimmin vaadittiin monia ominaisuuksia. Asiantuntemus ja työkokemus olivat yleisimpiä kriteerejä. Ainoastaan yksi vastanneista listasi valintaperusteeksi pelkästään hinnan. Henkilökohtaiset referenssit olivat useammin perusteena kuin hinta, joka esiintyi 20 vastaajan valintaperustelistalla. Yrityksen referenssejä ja riippumattoman laadunvalvojan mainetta pidettiin myös jokseenkin tärkeänä. Yllättävää kyllä, koulutusta ei pidetty kovinkaan tärkeänä riippumattoman laadunvalvojan valintaperusteena, sillä vain yhdeksän vastaajaa oli poiminut sen listalleen. Rakennuttajien määrittämiä muita tärkeitä ominaisuuksia olivat tasapuolisuus, ammattilaisuus, puolueettomuus. Seuraavassa kuvassa (kuva 6.5) on esitetty minkälaisia valintaperusteita kyselyn perusteella rakennuttajat käyttävät valitessaan riippumatonta laadunvalvojaa.



Kuva 6.5 Riippumattoman laadunvalvojan valintaperusteet, rakennuttajat.

Urakoitsijan valinnassa puolestaan hinta esiintyi yhtenä valintakriteerinä lähes kaikilla vastanneista (kuva 6.6). Toinen tärkeä valintaperuste oli yrityksen referenssit (48 kpl). Muutama vastaaja oli maininnut muuksi urakoitsijan valintaan vaikuttaviksi seikoiksi aikataulun ja neuvottelukyvyn. Eräs vastaajista painotti erityisesti työmaapäällikön kokemusta projektin onnistumisen kannalta.



Kuva 6.6 Urakoitsijan valintaan vaikuttavia seikkoja, rakennuttajat.

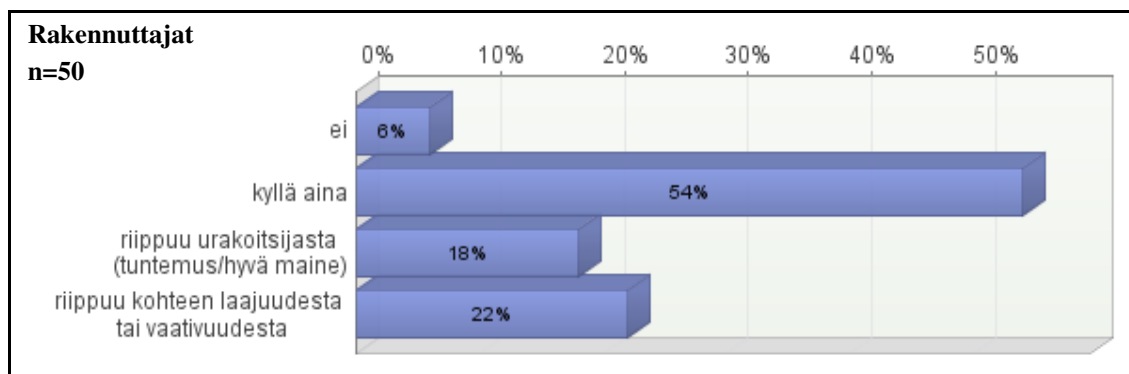
Kuva 6.6 vääristää hieman tuloksia siitä syystä, että vastaaja on voinut valita useamman vaihtoehdon. Kuvan mukaan näyttäisi siltä, että urakoitsijan valinta painottuu hintaan, mutta tarkasteltaessa tuloksia lähemmin voidaan huomata, että hinnan lisäksi valinta koostuu myös muista kriteereistä (taulukko 6.2). Vain yhden vastaajan mielestä urakoitsija valitaan pelkästään hinnan perusteella. Hinnan lisäksi on painotettu yrityksen referenssejä, laatuorganisaatiota ja työmaapäällikön kokemusta.

Taulukko 6.2 Urakoitsijan valintaperusteiden painotus, rakennuttajat.

Urakoitsijoiden valinnassa painotetaan	Vastanneita (kpl)
Hintaa	1
Laatuorganisaatiota, käytettävissä olevaa kalustoa, hintaa	1
Työmaapäällikön kokemusta, käytettävissä olevaa kalustoa, hintaa	2
Työmaapäällikön kokemusta, laatuorganisaatiota, hintaa	1
Yrityksen referenssejä, hintaa	8
Yrityksen referenssejä, hintaa, muuta	1
Yrityksen referenssejä, käytettävissä olevaa kalustoa, hintaa	4
Yrityksen referenssejä, laatuorganisaatiota, hintaa	10
Yrityksen referenssejä, laatuorganisaatiota, käytettävissä olevaa kalustoa, hintaa	1
Yrityksen referenssejä, työmaapäällikön kokemusta, hintaa	9
Yrityksen referenssejä, työmaapäällikön kokemusta, laatuorganisaatiota, hintaa	7
Yrityksen referenssejä, työmaapäällikön kokemusta, laatuorganisaatiota, hintaa, muuta	1
Yrityksen referenssejä, työmaapäällikön kokemusta, laatuorganisaatiota, käytettävissä olevaa kalustoa, hintaa	6

Yli puolet rakennuttajista (54 %) vaati kyselyn vastausten perusteella, että työmaalla kalvoasennuksissa tulee urakoitsijalla aina olla sertifioitu kalvoasentaja (kuva 6.7). Riippuen urakoitsijasta tai kohteen laajuudesta tai vaativuudesta noin 40 % edellytti sertifioidun kalvoasentajan käyttöä.

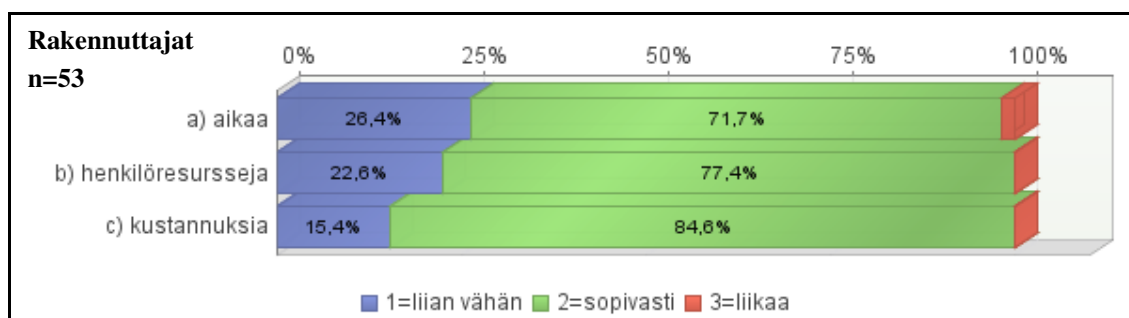
Vain 6 % vastanneista ilmoitti, ettei vaadi sertifioitua kalvoasentajaa. Näyttäisi siltä, että rakennuttajat ovat hyvin valveutuneita kalvoasentajien henkilösertifiointin merkityksestä ja osaavat vaatia sitä tarvittaessa.



Kuva 6.7 Sertifioidun kalvoasentajan käytön vaatimus työmailla, rakennuttajat.

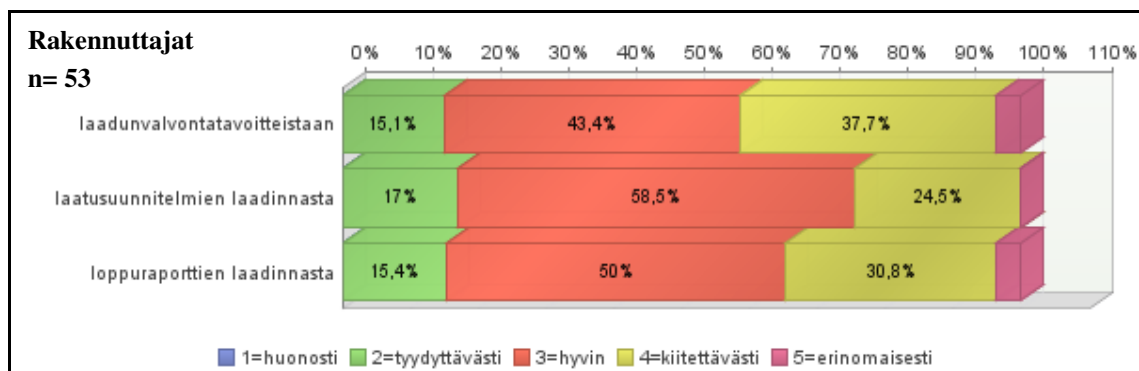
Rakennuttajien ja urakoitsijoiden yhteistyö

Suurin osa rakennuttajista oli sitä mieltä, että urakoitsija on osannut varata riittävästi aikaa (72 %), henkilöresursseja (77 %) ja kustannuksia (85 %) laadunvalvontatoimenpiteiden suorittamiseen (kuva 6.8). Vain yksi vastaaja oli sitä mieltä, että urakoitsijat olivat varanneet liikaa aikaa laadunvalvontatoimenpiteiden suorittamiseen.



Kuva 6.8 Urakoitsijoiden laadunvalvontatoimenpiteisiin varattujen resurssien riittävyys, rakennuttajat.

Toteutuneissa urakoissa urakoitsijan katsottiin selviytyneen laadunvalvontatavoitteistaan kiitettävästi tai hyvin. Ainostaan 15 % vastaajista oli sitä mieltä, että urakoitsijat ovat suoriutuneet laadunvalvontatavoitteistaan vain tyydyttävästi. Samankaltaiset tulokset saatiin myös laatusuunnitelmien ja loppuraporttien laadinnasta. Kenenkään vastaajan mielestä urakoitsijat eivät ole suoriutuneet huonosti laadunvalvontatavoitteissaan, laatusuunnitelmien- tai loppuraporttien laadinnassa. Seuraavassa kuvassa esitetään urakoitsijoiden suoriutuminen toteutuneissa urakoissa laadun osalta (kuva 6.9).



Kuva 6.9 Urakoitsijoiden suoriutuminen toteutuneissa urakoissa laadun osalta, rakennuttajat.

Rakennuttajat (18 kpl), joiden mielestä urakoitsija oli suoriutunut laadunvalvontatavoitteissaan, laatusuunnitelmien laadinnasta tai loppuraporttien laadinnasta tyydyttävästi antoivat seuraavanlaista palautetta ongelmien tai puutteiden syistä:

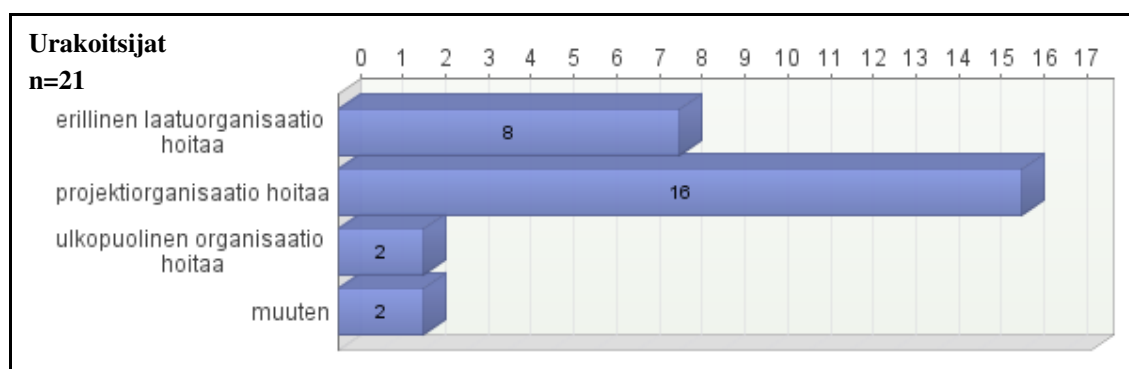
- ”Ylipäätään osalle urakoitsijoille, joilla on vähemmän kokemusta kaatopaikkarakentamisesta, tuntuu olevan vaikeata tuottaa laatusuunnitelmia. Erityisesti kalvourakoitsijat. Myös laadunvalvontatoimenpiteiden suorittamisessa on puutteita (kalvourakoitsijat) eli ei tiedetä kuinka pitäisi tehdä ja minkä takia mitään pitäisi tehdä.”
- ”Aikataulu”
- ”Enemmän henkilöresursseja”
- ”Suhtautumisessa”
- ”Alussa hankaluuksia, näkemuserot riippumattoman laadunvalvojan kanssa.”
- ”Aika usein laaturaportin tekeminen jätetään ”kesäpojalle”, jolla ei ole riittävää kokemusta.”
- ”Riippuu urakasta, koska meillä on toteutettu niitä useita. Alkuvaiheen urakoissa laatusuunnitelmat olivat puutteellisia ja laadunvalvonnan perään joutui katsomaan useassa kohdassa. Riippumasta laadunvalvojasta on ollut apua.”
- ”Omavalvonta on joutunut puuttumaan usein laatuksymyksiin.”
- ”Suunnitelma liian yleisluontoinen eikä ko. kohteelle tehty.”
- ”Liian myöhään ja itselle luovutus ei toimi. Tulos saattaa olla, mutta sen tulkinna tai hyödyntäminen uupuu.”
- ”Laatuosaaminen on suhteellisen heikkoa”.
- ”Tiedon välittäminen riippumattomalle valvojalle. Päätöksen teko poikkeamatilanteissa.”
- ”Kustannuksia pyritään säästämään, jolloin edellä mainitut asiat jäävät monesti huonolle valmistelulle.”
- ”Loppuraportoinnissa puutteita. (viranomaispuolelta huomautuksia loppuraportin laadusta)”
- ”Dokumentaatio on puutteellista vaikka työsuunnitelma on kohtalainen.”
- ”Ei riittävää perehtyneisyyttä dokumentointiin ja korjaaviin toimenpiteisiin.”

- ”Kaiken perusta on suunnitelmien laadinta ympäristöluvan mukaisesti => ammattitaitoinen suunnittelija. Laadunvalvontasuunnitelmassa ei osata yhdistää ympäristöluvan määräyksiä ja hyväksytyjä suunnitelmia. Aina ei osata mitä tarkoittaa 10-x / 1m kerros / 0,5 m kerros tai kalvon paksuuden on oltava yli x mm ja laadunvalvontatavoitteet. Mittaukset ennen työsuoritusta ja työsuorituksen jälkeen ja niiden analysointi ja toimenpiteet. Poikkeamaraportit ovat vaikea saada. Loppuraportin laadinnassa yleiset ongelmat ovat mm laatuaineiston koaminen ja raportin laadinta ei ole täsmällistä.”
- ”Yhtä totuudenmukaista vastausta ei voi antaa, koska toteutus on urakoitsija-kohtaista, toiset hoitavat työnsä hyvin toiset heikommin. Laadunvalvonnassa yleisin puute on urakoitsijan piittaamattomuus toteutuneesta laadusta kokonaisuutena. Laaturaportit toimitetaan puutteellisena ja joudutaan täydentämään useampaan otteeseen.”

6.3.2. Urakoitsijat

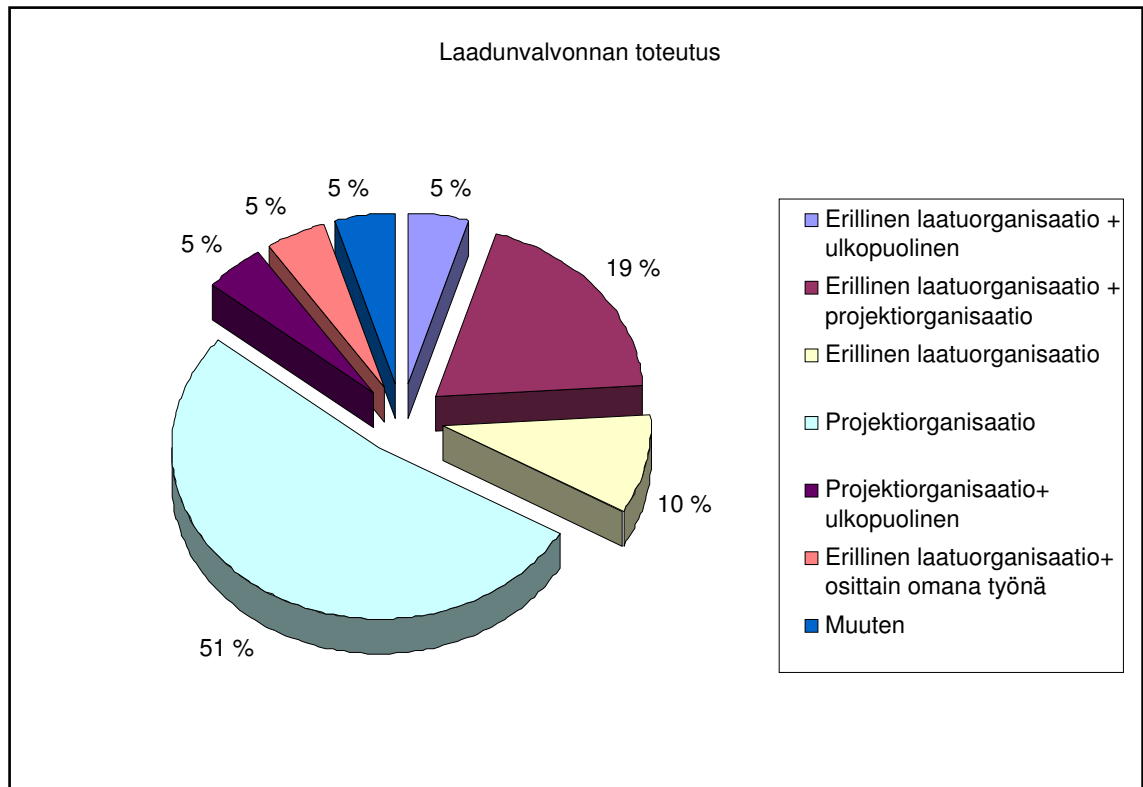
Urakoitsijoiden oma toiminta

Urakoitsijoiden laadunvalvonta toteutettiin vastaajien yrityksissä yleisimmin projektio-organisaation toimesta (kuva 6.10). Osalla urakoitsijoista oli erillinen laatuorganisaatio hoitamassa laadunvalvontaan liittyviä tehtäviä.



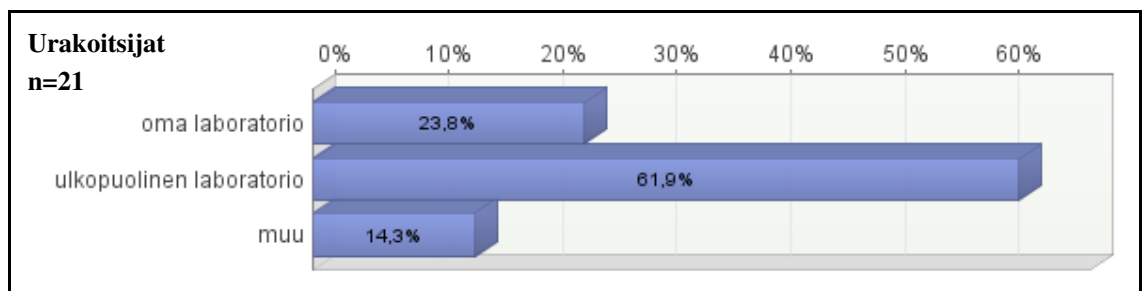
Kuva 6.10 Laadunvalvonnan toteuttajat, urakoitsijat.

Monet yritykset käyttivät useampaa kuin yhtä laadunvalvontatahoa (kuva 6.11). Laadunvalvontaan liittyviä tehtäviä hoiti vastaajien mukaan yleisimmin siis projektioorganisaatio joko yksin (51 %) tai erillisen laatuorganisaation (19 %) tai ulkopuolisen organisaation (5 %) kanssa. Pelkästään erillistä laatuorganisaatiota laadunvalvontaan käytti 10 % vastaajista.



Kuva 6.11 Laadunvalvonnan toteuttajat ryhmittäin, urakoitsijat.

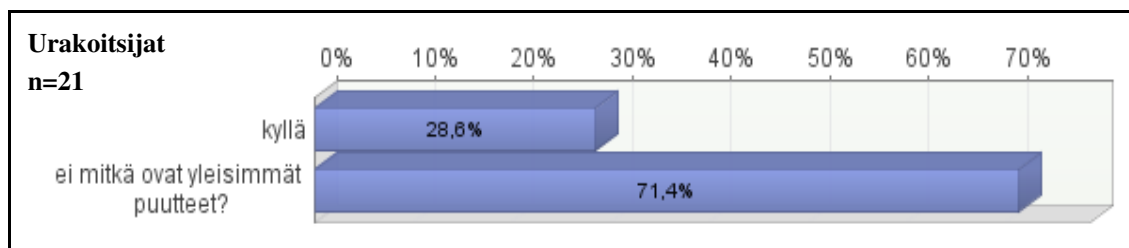
Laboratoriotutkimuksiin urakoitsijat käyttivät kyselyn perusteella useimmiten ulkopuolista laboratoriota (62 %). Omaa laboratoriota käytti noin joka neljäs vastanneista (24 %) (kuva 6.12). Ulkopuolisen laboratorion käyttö tarkoittaa sitä, että urakoitsijoiden tulee pystyä aikatauluttamaan testaukset niin, että ne palvelevat hanketta. Oma laboratorio on usein joustavampi kuin ulkopuolinen.



Kuva 6.12 Laboratoriotestausten suorittajat, urakoitsijat.

Urakoitsijat: Yhteistyö ja asiakirjojen laatu

Tarjouspyyntöasiakirjojen kattavuudesta ja yksiselitteisyydestä oltiin yleisesti sitä mieltä, että ne eivät täytä niille asetettuja vaatimuksia (71 %) (kuva 6.13).



Kuva 6.13 Tarjouspyyntöasiakirjojen laatuvaatimusten kattavuus ja yksiselitteisyys, urakoitsijat.

Yleisimmiksi puutteiksi vastaajat ovat listanneet seuraavaa:

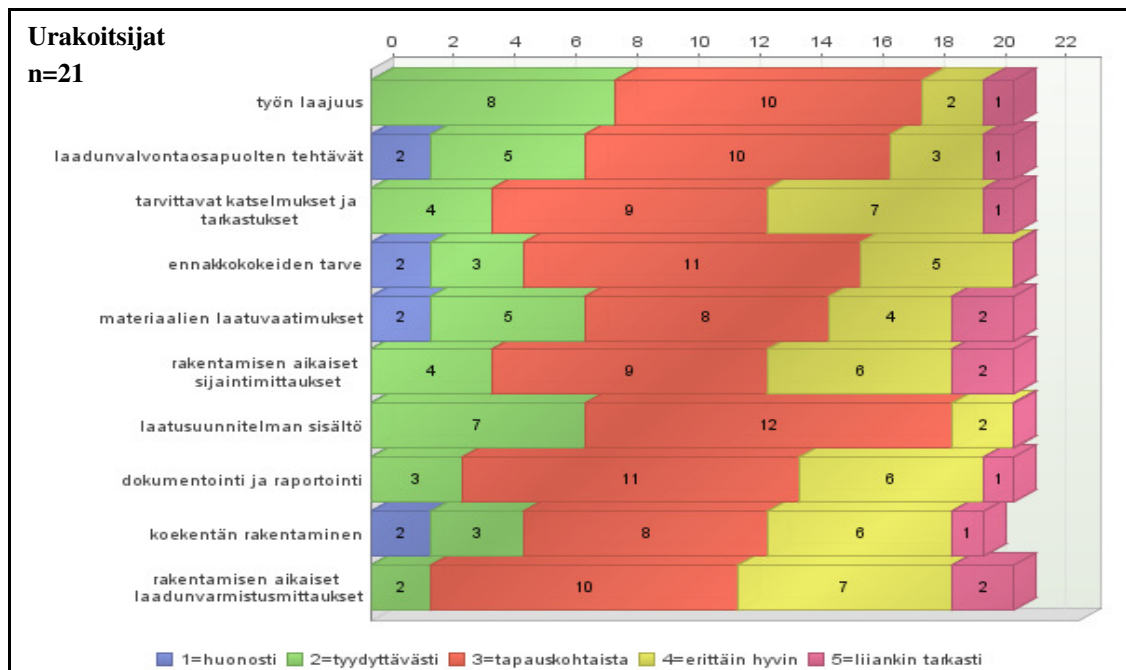
- ”Ristiriitaisia vaatimuksia eri normien/ohjeiden kesken.”
- ”Teoreettinen tausta puutteellista, tutkitaan epäolennaisia asioita.”
- ”Oleellinen hukkuu detaljeihin.”
- ”Spesifikaatiot puutteellisia”
- ”Esitetyt vaatimukset usein ristiriitaisia eri asiapapereissa.”
- ”Asiakirjojen laatuvaatimukset ovat ristiriitaisia.”
- ”Materiaalivaatimuksissa ristiriitoja”
- ”Tutkimusmenetelmien epäsovpiisuus tietyille materiaaleille.”
- ”Kuvat puutteelliset”
- ”Suunnitelmien tekijöiden ammattitaidon puute”
- ”Yleisimpänä on ”vanhojen prujujen” jäänteet ja ristiriitaisuudet vaatimuksissa. Keinotekoisien eristeiden osalta vaatimukset yleensä esitetty kohtalaisen hyvin.”
- ”Tuotevaatimukset joskus hyvin vajavaisia”

Urakoitsijoilta pyydettiin arvioimaan, miten hyvin seuraavat seikat ovat esitetty työselityksessä:

- 1) työn laajuus
- 2) laadunvalvontaosapuolten tehtävät
- 3) tarvittavat katselmukset
- 4) ennakkokokeiden tarve
- 5) materiaalien laatuvaatimukset
- 6) rakentamisen aikaiset sijaintimittaukset
- 7) laatusuunnitelman sisältö
- 8) dokumentointi ja raportointi
- 9) koekentän rakentaminen
- 10) rakentamisen aikaiset laadunvarmistusmittaukset

Tuloksista voidaan huomata, että työselityksessä yllä mainittujen seikkojen esittäminen oli tapauskohtaista (kuva 6.14). Laatusuunnitelmien sisältö näkyi kaikkein voimakkaimmin tapauskohtaisena tai tyydyttävänä. Työn laajuuden määrittelyn työselityksessä vastaajat totesivat tyydyttäväksi tai tapauskohtaiseksi.

Parin vastaajan mielestä laadunvalvontaosapuolten tehtävät, ennakkokokeiden tarve, materiaalien laatuvaatimukset ja koekentän rakentaminen ovat huonosti esitettyjä työselityksissä.



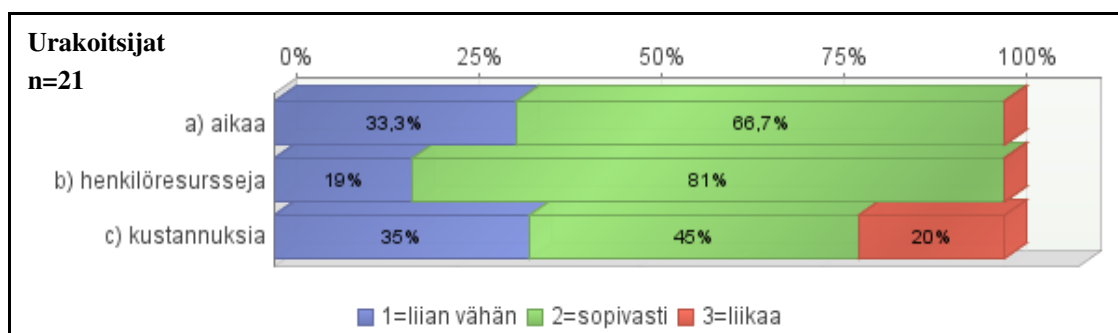
Kuva 6.14 Työselityksen sisällön arviointi, urakoitsijat.

Kysymysten vastauksia voidaan tarkastella keskiarvon ja keskihajonnan kautta (taulukko 6.3). Laadunvalvontasuunnitelmien sisältö saa alimman arvosanan (tapauskohtaista tai tyydyttävä) ja keskihajonta on siinä pienin eli mielipiteet ovat yhteneviä. Suurin hajonta on koekentän rakentamisessa, josta osa on sitä mieltä, että se on selitetty huonosti ja osa sitä mieltä, että se on esitetty erittäin hyvin. Työn laajuus ja laadunvalvontaosapuolten tehtävät eivät välttämättä ole tarpeeksi yksityiskohtaisesti selitettyjä. Parhaiten urakoitsijoiden vastaajien mielestä on työselityksessä esitetty rakentamisen aikaiset laadunvarmistusmittaukset.

Taulukko 6.3 Työselityksen sisällön arviointi. Keskiarvo ja keskihajonta, urakoitsijat.

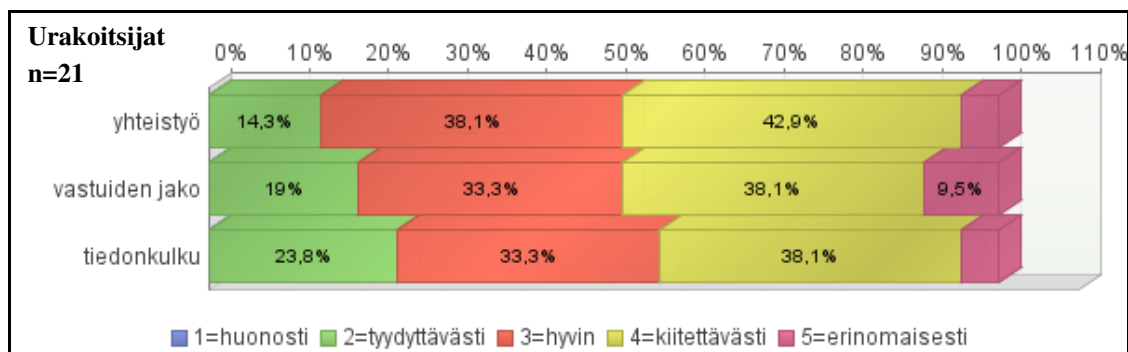
	Keskiarvo	Keskihajonta
Työn laajuus	2,81	0,81
Laadunvalvontaosapuolten tehtävät	2,81	0,98
Tarvittavat katselmuksot ja tarkastukset	3,24	0,83
Ennakkokokeiden tarve	2,90	0,89
Materiaalien laatuvaatimukset	2,95	1,12
Rakentamisen aikaiset sijaintimittaukset	3,29	0,90
Laatusuunnitelmien sisältö	<u>2,76</u>	<u>0,62</u>
Dokumentointi ja raportointi	3,24	0,77
Koekentän rakentaminen	3,05	1,22
Rakentamisen aikaiset laadunvarmistusmittaukset	3,49	0,81

Urakoitsijoilta kysyttiin ajan, henkilöresurssien ja kustannuksien riittävydestä laadunvalvontatoimenpiteiden suorittamiseen, kuten ennakkokokeisiin ja työnaikaisiin mittauksiin. Vastauksien perusteella suurin osa oli sitä mieltä, että heille on varattu sopivasti aikaa (67 %) ja henkilöresursseja (81 %) (kuva 6.15). Kustannuksien osalta tulokset näyttävät ristiriitaisilta; 35 % oli sitä mieltä, että kustannuksia on varattu liian vähän, 45 % sopivasti ja 20 % liikaa. Kysymyksen asettelu ei välttämättä ole ollut paras mahdollinen ja voikin olla, että on syntynyt väärinkäsityksiä, mitä tässä yhteydessä kustannuksilla tarkoitetaan. Eräs mahdollisuus voi olla, että esimerkiksi 20 % on tarkoittanut, että laadunvalvontatoimenpiteiden suorittamiseen kuluu liikaa rahaa.



Kuva 6.15 Ajan, henkilöresurssien ja kustannusten riittävyys laadunvalvontatoimenpiteiden suorittamiseen, urakoitsijat.

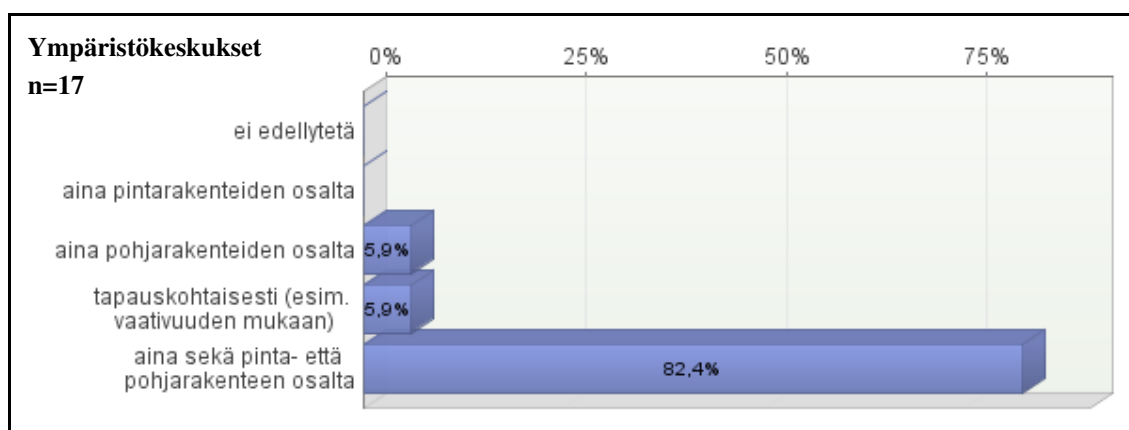
Urakoitsijoilta tiedusteltiin, miten hyvin yhteistyö, vastuiden jako ja tiedonkulku on toiminut valvojaorganisaation kanssa (kuva 6.16). Suurin osa vastaajista oli sitä mieltä, että yhteistyö on sujunut kiitettävästi tai erinomaisesti (yhteensä 48 %) tai hyvin (38 %). Ainoastaan 14 % vastaajista oli sitä mieltä, että yhteistyö on sujunut vain tyydyttävästi. Vastuiden jako on vastaajien mielestä sujunut kiitettävästi (38 %) tai erinomaisesti (10 %) tai hyvin (33 %). Vain noin viidesosa vastaajista (19 %) oli sitä mieltä, että vastuiden jako on sujunut tyydyttävästi. Tiedonkulun sujuminen valvojaorganisaation kanssa oli vastaajien mielestä sujunut kiitettävästi tai erinomaisesti (42 %) tai hyvin (33 %). Tyydyttävästi tiedonkulku on sujunut noin joka neljännän mielestä (24 %).



Kuva 6.16 Yhteistyön, vastuiden jaon ja tiedonkulun onnistuminen valvojaorganisaation kanssa, urakoitsijat.

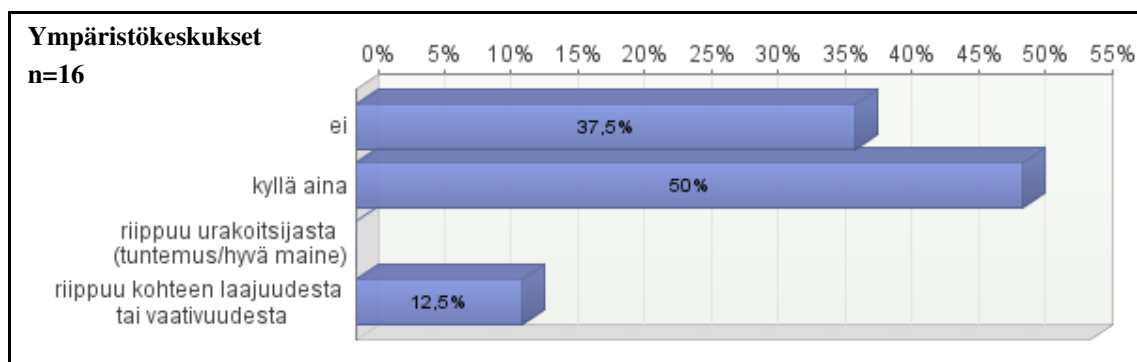
6.3.3. Ympäristökeskukset

Ympäristölupaviranomaisen kanta riippumattoman laadunvalvojan tarpeellisuudesta kaatopaikkahankkeissa on vankka eli yli 80 % vastanneista sanoo, että ympäristöluvassa vaaditaan riippumattoman laadunvalvojan käyttöä aina pinta- ja pohjarakenteen osalta rakentamisvaiheessa (kuva 6.17). Yksi vastaajista ilmoittaa, että riippumatonta laadunvalvojaa vaaditaan ympäristölupaehdoissa aina vain pohjarakenteiden osalta (5,9 %) ja yhden mukaan (5,9 %) vaatimus on tapauskohtaista riippuen esimerkiksi kohteen vaativuudesta.



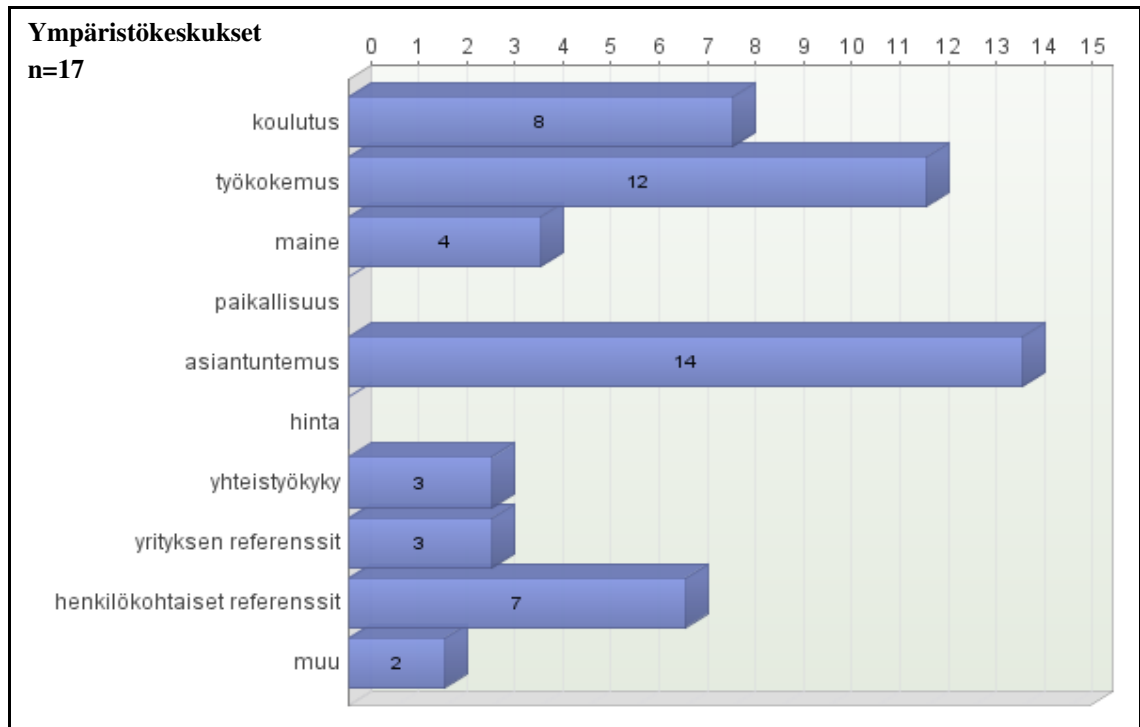
Kuva 6.17 Ympäristölupaviranomainen edellyttää lupapäätöksessään riippumattoman laadunvalvojan käyttöä seuraavasti, ympäristökeskukset.

Ympäristölupaviranomainen voi vaatia ympäristölupaehdoissa, että työmaalla tulee olla sertifioitu kalvoasentaja. Puolet ympäristöhallinnon kyselyyn vastanneista vaatii aina sertifioidun kalvoasentajan käyttöä kalvoasennuksissa (kuva 6.18).



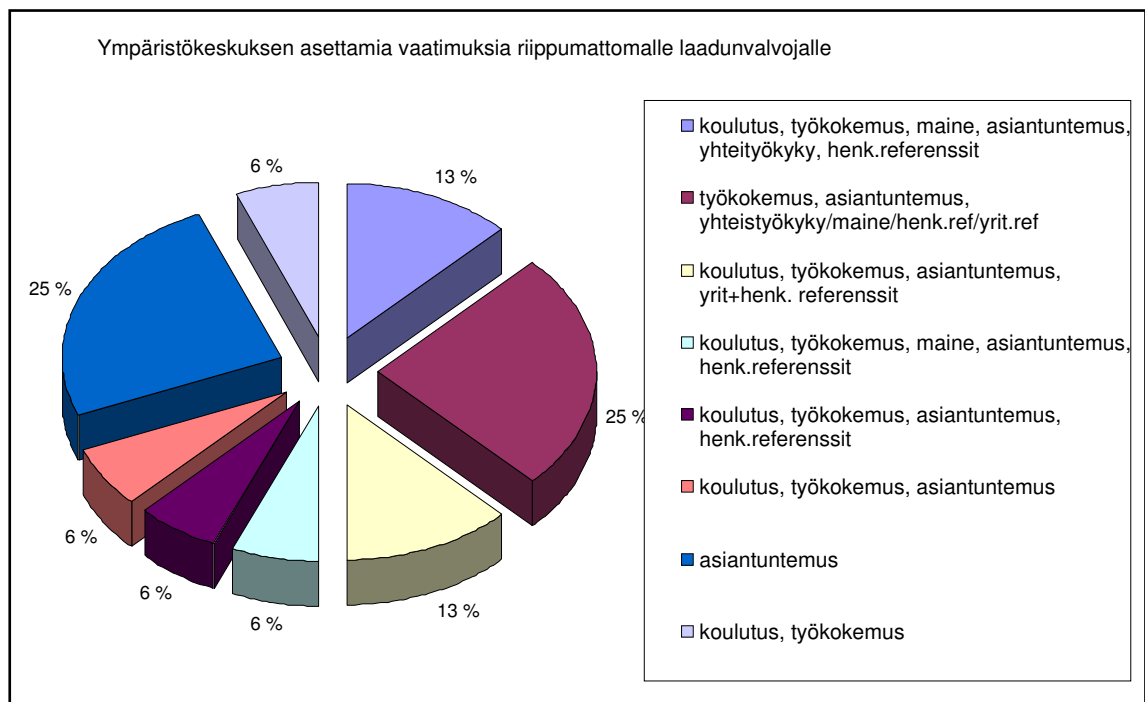
Kuva 6.18 Ympäristölupaehdoissa vaadittu sertifioidun kalvoasentajan käyttöä seuraavasti, ympäristökeskukset.

Ympäristökeskuksen asettamista vaatimuksista riippumattomalle laadunvalvojalle nousee parhaiten esille asiantuntemus, jonka oli valinnut lähes kaikki vastaajista (82 %) vaatimuslistalleen (kuva 6.19). Työkokemuksen asetti 71 % vastanneista myös vaatimukseksi riippumattomalle laadunvalvojalle.



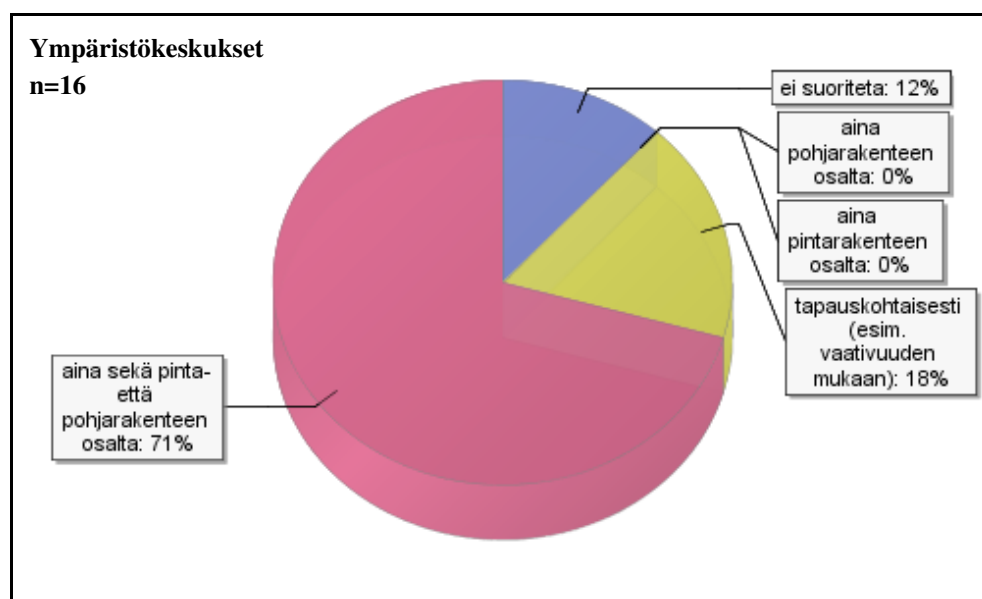
Kuva 6.19 Riippumattoman laadunvalvojan valintaperusteita, ympäristökeskukset.

Kyselyn vastaajat ovat voineet valita useita vaatimuksia riippumattomalle laadunvalvojalle ja useimmat ovatkin valinneet useampia tekijöitä valintaperusteeksi (kuva 6.20). Yksittäisenä vaatimuksena on esitetty ainoastaan asiantuntemusta. Muut vaatimukset koostuvat esimerkiksi työkokemuksesta, asiantuntemuksesta ja yhteistyökyvystä tai maineesta tai henkilökohtaisista tai yrityksen referensseistä.



Kuva 6.20 Riippumattoman laadunvalvojan vaatimuksia vastaajakohtaisesti, ympäristökeskukset

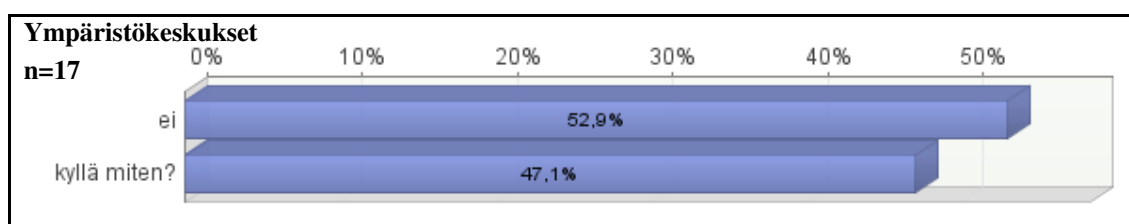
Kaatopaikan tiivistysrakenteiden viranomaisvalvontaa tehtiin yleisesti sekä pinta- että pohjarakennehankkeissa (71 %) (kuva 6.21). Tapauskohtaisesti eli esimerkiksi kohteen vaativuuden mukaan valvontaa teki kolme vastaajaa (18 %).



Kuva 6.21 Kaatopaikan viranomaisvalvonta, ympäristökeskukset.

Kysymystä olisi voinut kohdentaa hieman paremmin, sillä kahden vastaajan osalta jää hieman epäselväksi ympäristökeskuksen toiminta. Kaksi vastaajaa on siis ilmoittanut, ettei viranomaisvalvontaa tehdä (12 %). Nyt on epäselvää, tarkoittaako tämä vain, että he itse eivät tee tässä ympäristökeskuksessa valvontaa ja joku muu hoitaa. Tarkoitus oli kuitenkin selvittää eri ympäristökeskusten toimintaa liittyen viranomaisvalvontaan.

Tiedusteltaessa ympäristökeskusten vastaajilta, miten valtion aluehallinnon uudistus vaikuttaa heidän tehtäviinsä, yli puolet vastaajista oli sitä mieltä, että uudistus ei vaikuta ympäristökeskusten rooliin (53 %). (kuva 6.22)



Kuva 6.22 Vastaajien mielipide, muuttuuko ympäristökeskuksien rooli kaatopaikkarakentamisessa valtion aluehallinnon uudistuksen jälkeen, ympäristökeskukset.

Alle puolet vastaajista (47 %) oli sitä mieltä, että ympäristökeskuksen roolissa tapahtuu muutoksia. He kommentoivat seuraavasti, miten tilanne muuttuu:

- ”Vain valvoja, ei enää luvittaja”
- ”Luvat myöntää AVI ja valvoo ELY”
- ”Valvonta vähenee resurssipuutteen takia”

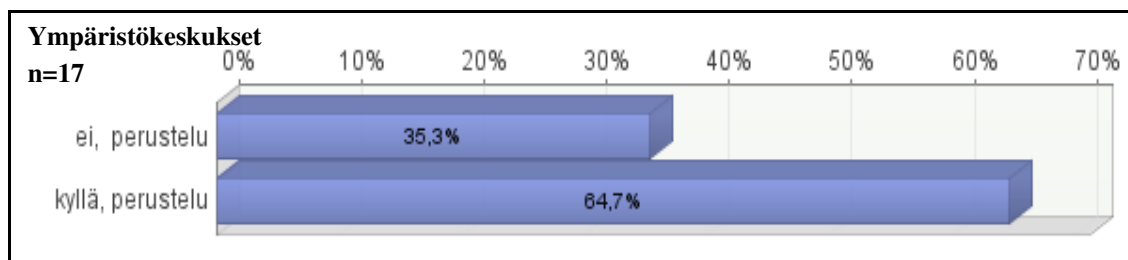
- ”Ympäristökeskus ei enää myönnä ympäristölupia, vaan toimii valvovana viranomaisena.”
- ”Jos organisaatiomuutoksella tarkoitetaan valtionhallinnon uudistusta, niin jatkossa ympäristökeskus (ELY) ei ole kaatopaikkojenkin osalta enää lupaviranomainen vaan pelkästään valvontaviranomainen.”
- ”Ympäristökeskukset lakkautetaan”
- ”Kohdekäynti vain tarvittaessa resurssien ja määrärahojen puitteissa”
- ”Ympäristökeskus ei ole enää lupaviranomainen”

Yli 60 % ympäristöhallinnon vastaajista oli sitä mieltä, että ympäristölupaan voitaisiin liittää ehto, jossa edellytetään **sertifioidun** riippumattoman laadunvalvojan käyttöä (kuva 6.23). Vastaajat perustelivat tätä seuraavasti:

- ”Ei tarvitse miettiä pätevyyskysymyksiä”
- ”Nykyisten laadunvalvojen osaaminen vaihtelee liiaksi”
- ”YSL 4 §, 5 §, 42 §, 43 §, 108 § ”

Vastaajat, joiden mielestä ei ole perusteltua liittää riippumattoman laadunvalvojan **sertifiointivaatimusta** ympäristölupaehtoihin perustelivat asiaa seuraavasti:

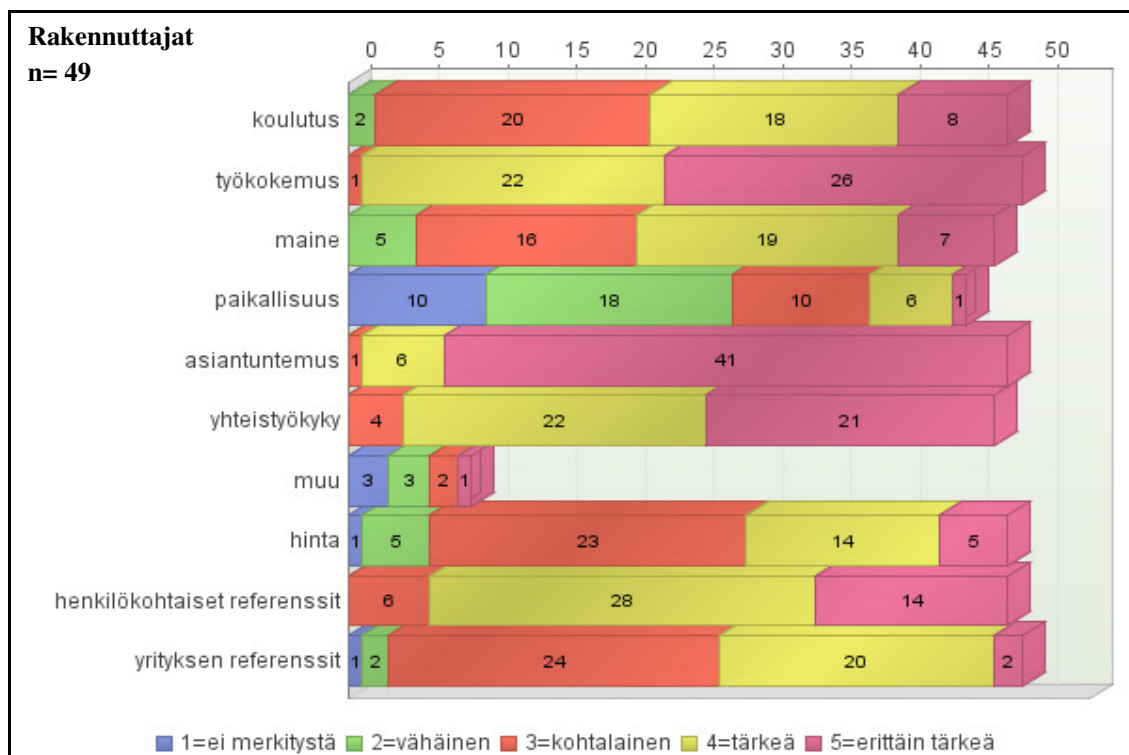
- ”Pikemminkin niin, että on riittävä kokemus ja asiantuntemus.”
- ”Vasta sitten kun sertifioituja löytyy riittävä määrä.”
- ”Lopputulokset ratkaisee”
- ”Lainsäädännössä ei vaadita sertifioitua.”
- ”Ei ainakaan tässä vaiheessa, kun sertifiointia ei ole.”



Kuva 6.23 Sertifiointivaatimuksen liittäminen riippumattoman laadunvalvojan osalta ympäristölupaehtoihin, ympäristökeskukset.

6.3.4. Yhteiset kysymykset

Vastaajilta tiedusteltiin, mitkä ominaisuudet asteikolla 1-5 ovat tärkeitä riippumattoman laadunvalvojan valinnassa. Vaihtoehdot näkyvät alla olevassa kuvassa (kuva 6.24), josta voidaan huomata, että riippumattoman laadunvalvojan tärkeimpänä ominaisuutena rakennuttajien mielestä pidettiin asiantuntemusta. Asiantuntemuksen lisäksi tärkeiksi riippumattoman laadunvalvojan ominaisuuksiksi nousivat esiin työkokemus, yhteistyökyky ja henkilökohtaiset referenssit.



Kuva 6.24 Riippumattoman laadunvalvojan tärkeimpiä ominaisuuksia, rakennuttajat.

Tarkasteltaessa yllä olevaa aineistoa vielä hiukan tarkemmin laskemalla vastausten keskiarvo ja keskihajonta (taulukko 6.4) voidaan huomata, että asiantuntemuksen ja työkokemuksen kohdalla keskihajonta on varsin pientä eli vastaajat ovat kaikki olleet yhtä mieltä niiden tärkeydestä.

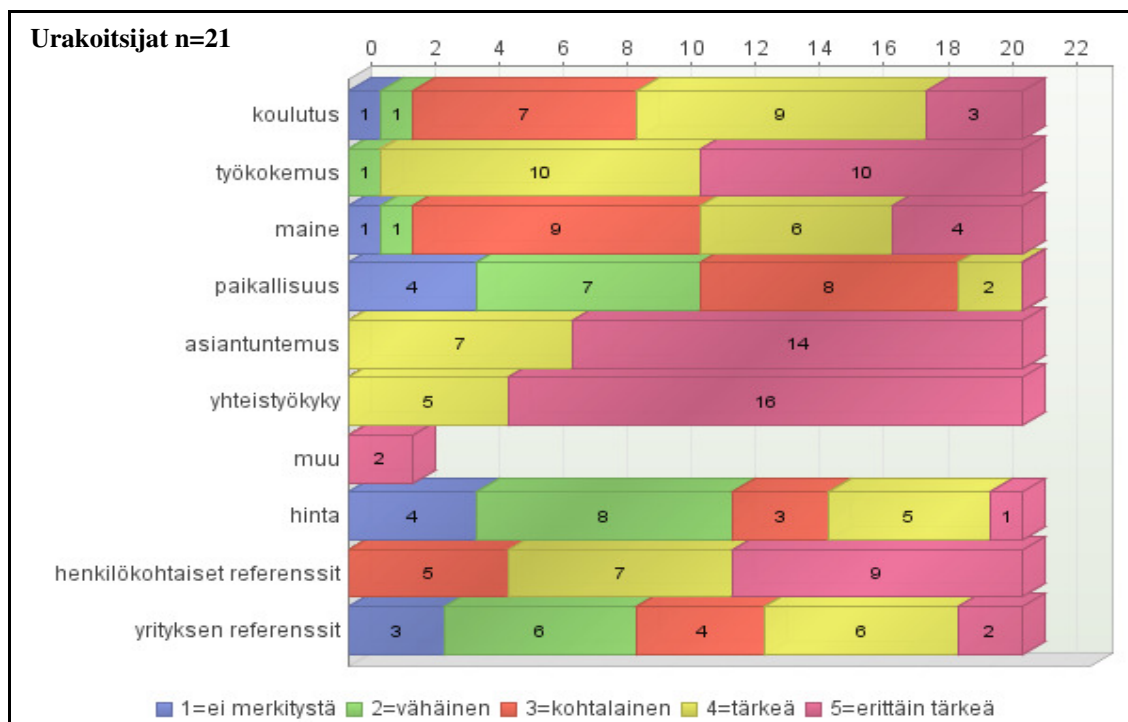
Taulukko 6.4 Riippumattoman laadunvalvojan tärkeimmät ominaisuudet; keskiarvo, keskihajonta ja moodi, rakennuttajat.

Ominaisuus	Keskiarvo	Keskihajonta	Moodi
Koulutus	3,67	0,80	3
Työkokemus	4,51	0,54	5
Maine	3,60	0,87	4
Paikallisuus	2,33	1,03	2
Asiantuntemus	4,83	0,42	5
Hinta	3,35	0,88	3
Yhteistyökyky	4,36	0,63	4
Yrityksen referenssit	3,41	0,73	3
Henkilökohtaiset referenssit	4,17	0,62	4

Urakoitsijat eivät osallistu varsinaisesti riippumattoman laadunvalvojan valintaan, mutta heidän näkökantaansa kysyttiin sekä vertailun vuoksi, että myös sen vuoksi, että urakoitsijat työskentelevät riippumattoman laadunvalvojan kanssa. Urakoitsijoilla oli hyvin samankaltainen näkemys kuin rakennuttajillakin (kuva 6.25). Yhteistyökyky oli urakoitsijoiden mielestä asiantuntemuksen ohella erittäin tärkeä ominaisuus. Työkokemus ja henkilökohtaiset referenssit olivat tärkeitä aivan kuten rakennuttajienkin mielestä.

Urakoitsijat olivat määrittäneet myös muita tärkeitä ominaisuuksia riippumattomalle laadunvalvojalle kuten:

- ”Rehellisyys”
- ”Riippumattoman valvojan tulisi olla nimenomaan riippumaton, eikä tilaajan käsikassara tai juoksupoika.”



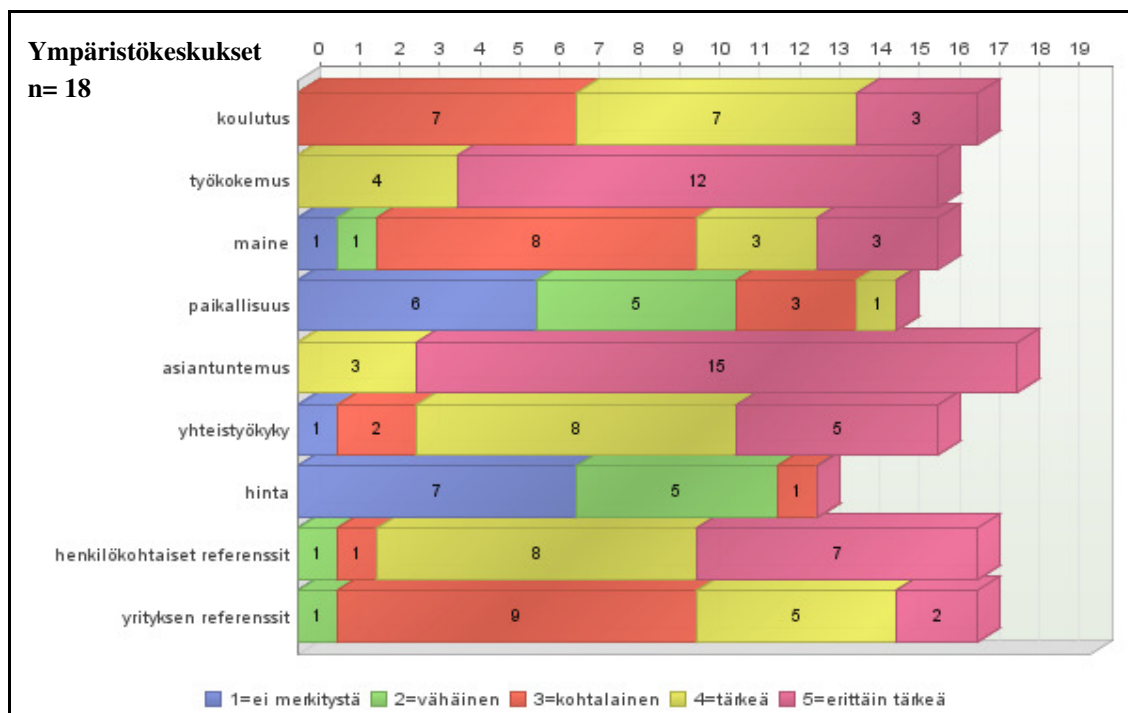
Kuva 6.25 Laadunvalvojan tärkeimpiä ominaisuuksia, urakoitsijat.

Tulosten keskiarvoa ja keskihajontaa tarkasteltaessa voidaan huomata, että yhteistyökyvyn ja asiantuntemuksen tärkeydestä ollaan yhtä mieltä, sillä myös hajonta vastaajien kesken oli vähäistä (taulukko 6.5). Muita tärkeitä ominaisuuksia vastaajien mielestä olivat työkokemus ja henkilökohtaiset referenssit. Hajonta on suurempaa kuin rakennuttajien kohdalta, mutta tämä johtuu siitä, että otosjoukko on pienempi kuin rakennuttajilla, jolloin erot näkyvät selkeämmin urakoitsijoiden keskihajonnassa.

Taulukko 6.5 Riippumattoman laadunvalvojan tärkeimmät ominaisuudet; keskiarvo, keskihajonta ja moodi, urakoitsijat

Arvioitava ominaisuus	Keskiarvo	Keskihajonta	Moodi
Koulutus	3,57	0,98	4
Työkokemus	4,38	0,74	5
Maine	3,52	1,03	3
Paikallisuus	<u>2,38</u>	0,92	3
Asiantuntemus	4,67	<u>0,48</u>	5
Hinta	<u>2,57</u>	1,21	2
Yhteistyökyky	4,76	<u>0,44</u>	5
Yrittäjän referenssit	2,90	1,26	2
Henkilökohtaiset referenssit	4,19	0,81	5

Ympäristökeskuksen edustajat ovat samaa mieltä rakennuttajien kanssa, että riippumattoman laadunvalvojan tärkeimpiä ominaisuuksia ovat asiantuntemus ja työkokemus. Merkityksettömiä ominaisuuksia olivat hinta ja paikallisuus (kuva 6.26). Asiantuntemus korostuu erityisesti, sillä sen ovat valinneet kaikki vastaajat (18 kpl). Hinta ei ole ympäristöviranomaisten mielestä tärkeä.



Kuva 6.26 Riippumattoman laadunvalvojan tärkeimpiä ominaisuuksia, ympäristökeskukset.

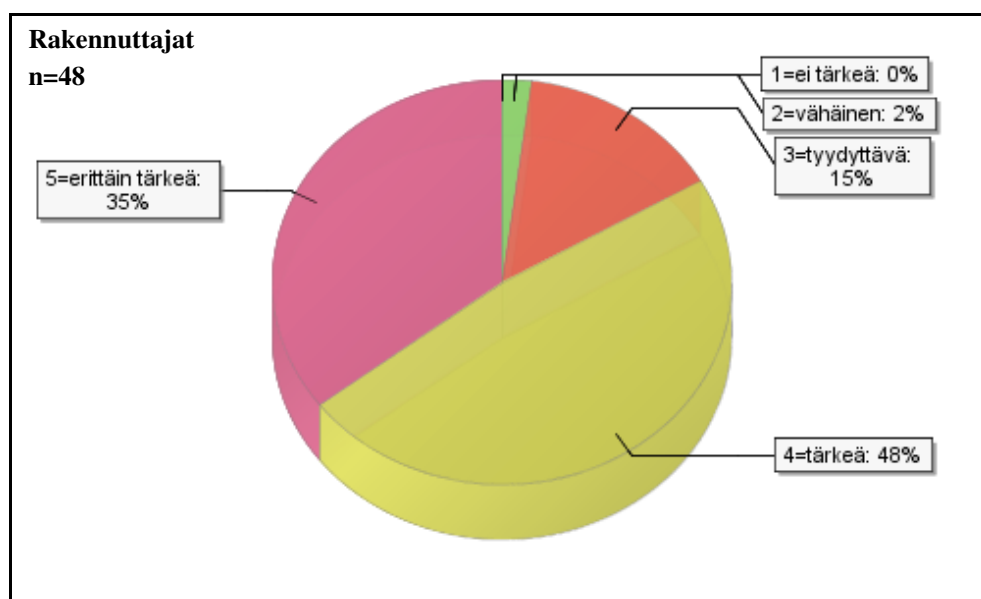
Tarkasteltaessa ympäristökeskusten vastaajien tuloksien keskiarvoa, keskihajontaa ja moodia riippumattoman laadunvalvojan tärkeimmistä ominaisuuksista, voidaan huomata, että asiantuntemus on tärkein ominaisuus (taulukko 6.6). Tämän lisäksi keskiarvon perusteella voidaan mainita henkilökohtaiset referenssit ja yhteistyökyky tärkeiksi ominaisuuksiksi.

Taulukko 6.6 Riippumattoman laadunvalvojan tärkeimmät ominaisuudet; keskiarvo, keskihajonta, moodi, ympäristökeskukset

Ominaisuus	Keskiarvo	Keskihajonta	Moodi
Koulutus	3,76	1,15	4
Työkokemus	4,75	1,59	5
Maine	3,38	1,50	3
Paikallisuus	<u>1,93</u>	1,14	1
Asiantuntemus	4,83	<u>0,38</u>	5
Hinta	<u>1,54</u>	0,90	1
Yhteistyökyky	4,00	1,62	4
Yrityksen referenssit	3,47	1,13	3
Henkilökohtaiset referenssit	4,24	1,28	4

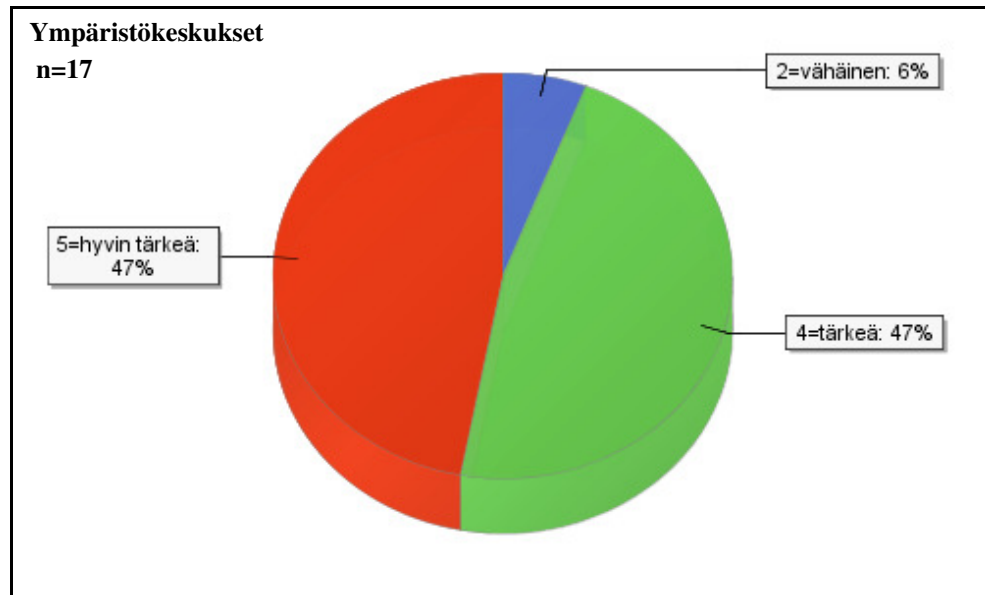
Kaikki osapuolet olivat yhtä mieltä, että tärkeimpiä riippumattoman laadunvalvojan ominaisuuksia ovat asiantuntemus, työkokemus, henkilökohtaiset referenssit ja yhteistyökyky.

Vastaajilta kysyttiin, miten tärkeä riippumattoman laadunvalvojan työpanos on ollut kaatopaikkahankkeen onnistumisen kannalta. Rakennuttajien vastaajista yli 80 % piti riippumattoman laadunvalvojan roolia erittäin tärkeänä tai tärkeänä projektin onnistumisen kannalta (kuva 6.27). Vain yksi vastaajista (2 %) oli sitä mieltä, että riippumattoman laadunvalvojan rooli on vähäinen ja seitsemän vastaajista piti riippumattoman valvojan roolia tyydyttävänä (15 %).



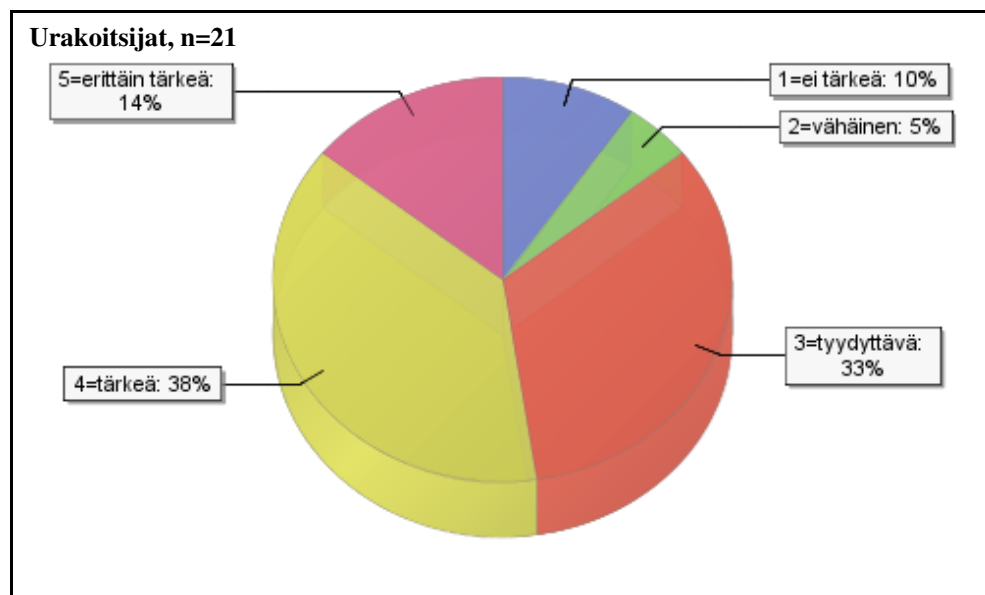
Kuva 6.27 Riippumattoman laadunvalvojan rooli kaatopaikkahankkeissa, rakennuttajat.

Ympäristökeskuksien vastaajien mielestä riippumattoman laadunvalvojan työpanos hankkeen kannalta oli vielä tärkeämpi kuin rakennuttajien mielestä, sillä lähes kaikki vastaajat pitivät riippumattoman laadunvalvojan roolia hyvin tärkeänä tai tärkeänä (94 %) (kuva 6.28). Vain yksi vastaaja oli sitä mieltä, että riippumattoman laadunvalvojan rooli on vähäinen (6 %).



Kuva 6.28 Riippumattoman laadunvalvojan rooli kaatopaikkahankkeissa, ympäristökeskukset.

Urakoitsijat olivat kriittisempiä verrattuna rakennuttajiin ja ympäristökeskuksiin. Noin puolet vastaajista piti riippumattoman laadunvalvojan roolia kaatopaikan rakentamisvaiheessa erittäin tärkeänä (14 %) tai tärkeänä (38 %) (kuva 6.29). Toinen puoli vastan- neista oli sitä mieltä, että riippumattoman laadunvalvojan rooli oli ollut tyydyttävä (33 %), vähäinen (5 %) tai ei tärkeä (10 %) hankkeen onnistumisen kannalta.

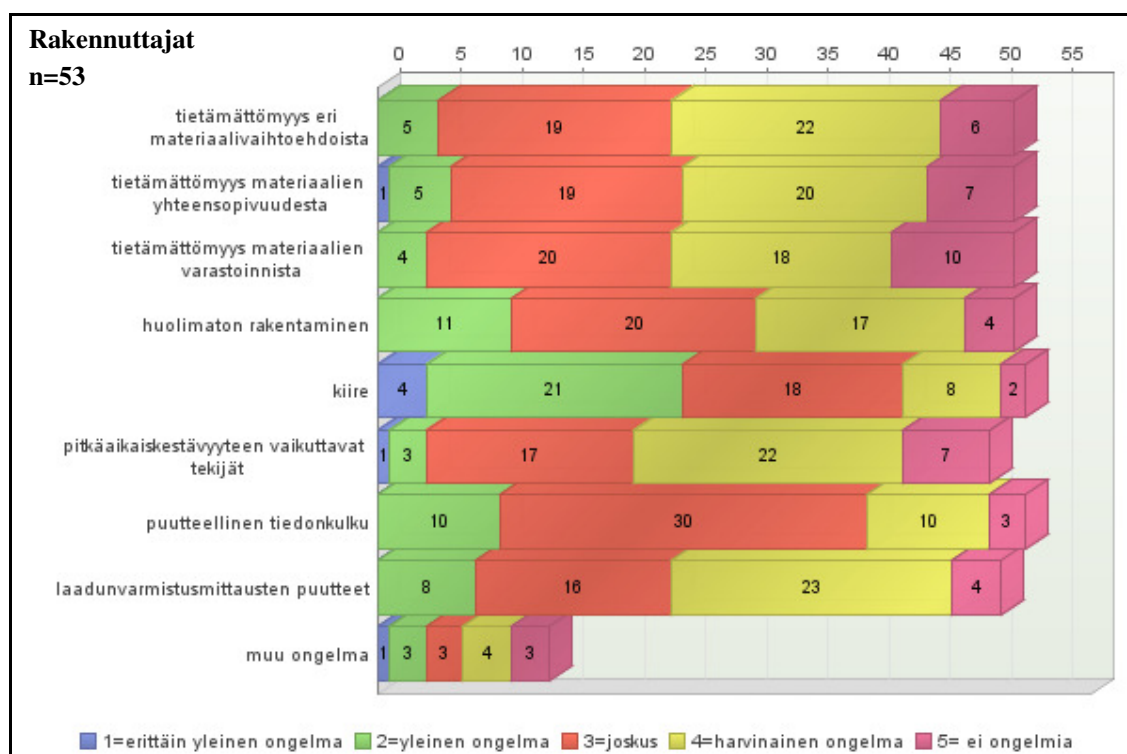


Kuva 6.29 Riippumattoman laadunvalvojan rooli kaatopaikkahankkeissa, urakoitsijat.

Työmailla esiintyviä yleisimpiä ongelmia haluttiin kartoittaa eri osapuolten näkökannalta. Vastaajat arvioivat ongelmien tärkeyttä asteikolla 1-5 (1=erittäin yleinen ongelma) ja arvioitavana olivat seuraavat vaihtoehdot:

- 1) tietämättömyys eri materiaalivaihtoehdoista
- 2) tietämättömyys materiaalien yhteensopivuudesta
- 3) tietämättömyys materiaalien varastoinnista
- 4) huolimaton rakentaminen
- 5) kiire
- 6) pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät
- 7) puutteellinen tiedonkulku
- 8) laadunvarmistusmittausten puutteet
- 9) muu ongelma

Rakennuttajien mielestä laadunvalvonnan kannalta yleisimpiä ongelmia työmailla oli kiire (*kuva 6.30*). Noin joka viides rakennuttajista koki huolimattoman rakentamisen ja puutteellisen tiedonkulun yleiseksi ongelmaksi. Lisäksi puutteellista tiedonkulkua piti joskus ongelmana yli puolet vastaajista.



Kuva 6.30 Työmaiden laadunvalvonnan ongelmia, rakennuttajat.

Rakennuttajien vastaajat pystyivät lisäksi itse määrittämään jonkun muun ongelman, joka vaikuttaa työmaalla työn laatuun. *Muu ongelma* kohtaan oli määritetty seuraavaa:

- ”Mineraalisen tiivistyskerroksen laadun tuntemus on erittäin yleinen ongelma.”
- ”Standardien tulkinta on yleinen ongelma. Pitkäaikaiskestävyys on suunnitteluasia, ei laadunvalvojan asia työn tuoksinassa.”

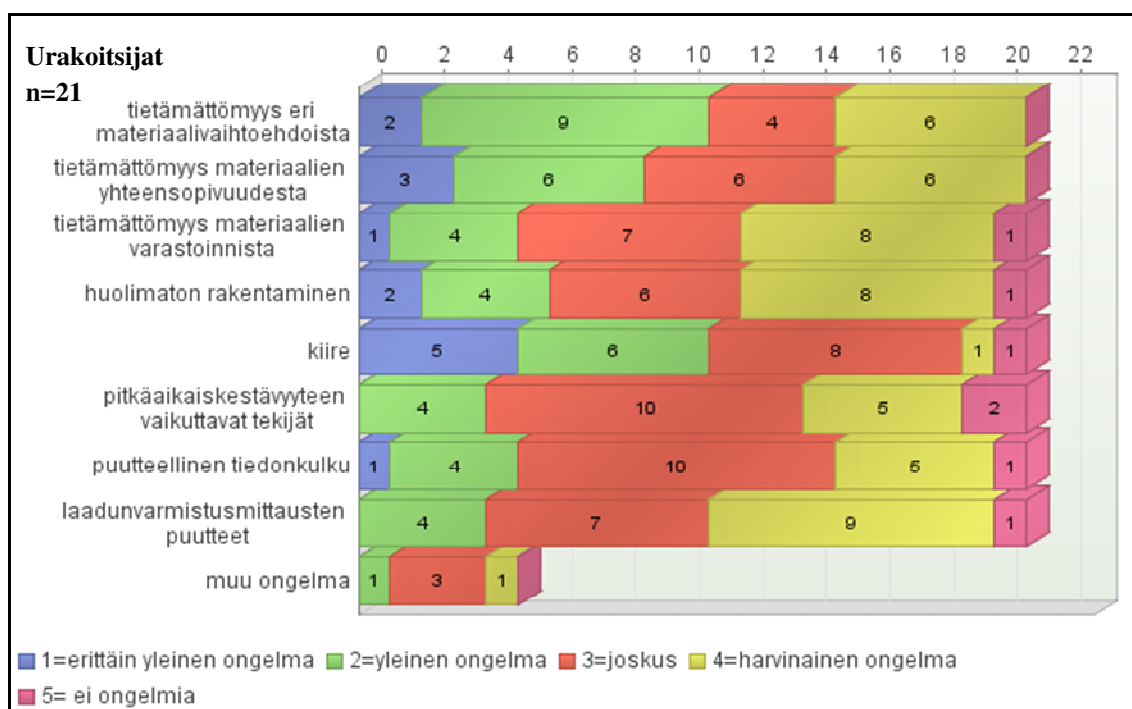
- ”Tiivistysrakenteiden ammattirakentajia ja työnjohtajia on vähän. Tavalliseen maarakennukseen totuneet urakoitsijat ja työnjohtajat eivät ymmärrä välttämättä erikoisrakentamisen vaatimuksia tai tarkoitusta täysin.” (joskus)
- ”Mittalaitteiden kalibroiminen oikealle tasolle”
- ”Kaatopaikkarakentaminen ei ole piha-alueiden rakentamista.” (yleinen ongelma).
- ”Riittämätön varmuuskerroin valitussa tiivistysrakennusratkaisussa” (yleinen ongelma)

Rakennuttajien tuloksien keskiarvojen, keskihajontojen ja yleisimpien arvojen eli moodien perusteella kiire on yleisin ongelma (taulukko 6.7). Tapauskohtaisesti eli joskus ongelmia esiintyy materiaalien varastoinnissa, rakentamisessa ja tiedonkulussa. Vähäisinä ongelmina pidettiin tietämättömyyttä materiaalivaihtoehdoista tai materiaalien yhteensopivuudesta, pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavista tekijöistä sekä laadunvarmistusmittausten puutetta.

Taulukko 6.7 Yleisimpiä ongelmia työmailla; keskiarvo, keskihajonta ja moodi, rakennuttajat

Ongelma	Keskiarvo	Keskihajonta	Moodi
Tietämättömyys eri materiaalivaihtoehdoista	3,56	0,82	4
Tietämättömyys materiaalien yhteensopivuudesta	3,52	0,91	4
Tietämättömyys materiaalien varastoinnista	3,65	0,87	3
Huolimaton rakentaminen	3,27	0,88	3
Kiire	<u>2,68</u>	0,95	2
Pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät	3,62	0,87	4
Puutteellinen tiedonkulku	3,11	<u>0,77</u>	3
Laadunvarmistusmittausten puutteet	3,45	0,85	4

Urakoitsijat olivat huomattavasti kriittisempiä kuin rakennuttajat. Urakoitsijoiden vastuksissa ongelmakohdaksi nousee päällimmäisenä kiire aivan kuin rakennuttajillakin (kuva 6.31). Yleisinä ongelmina pidettiin myös tietämättömyyttä eri materiaalivaihtoehdoista ja materiaalien yhteensopivuudesta. Pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät ja puutteellinen tiedonkulku koettiin joskus ongelmaksi.



Kuva 6.31 Työmaiden laadunvalvonnan ongelmia, urakoitsijat

Urakoitsijat määrittivät *muu ongelma* kohtaan seuraavaa:

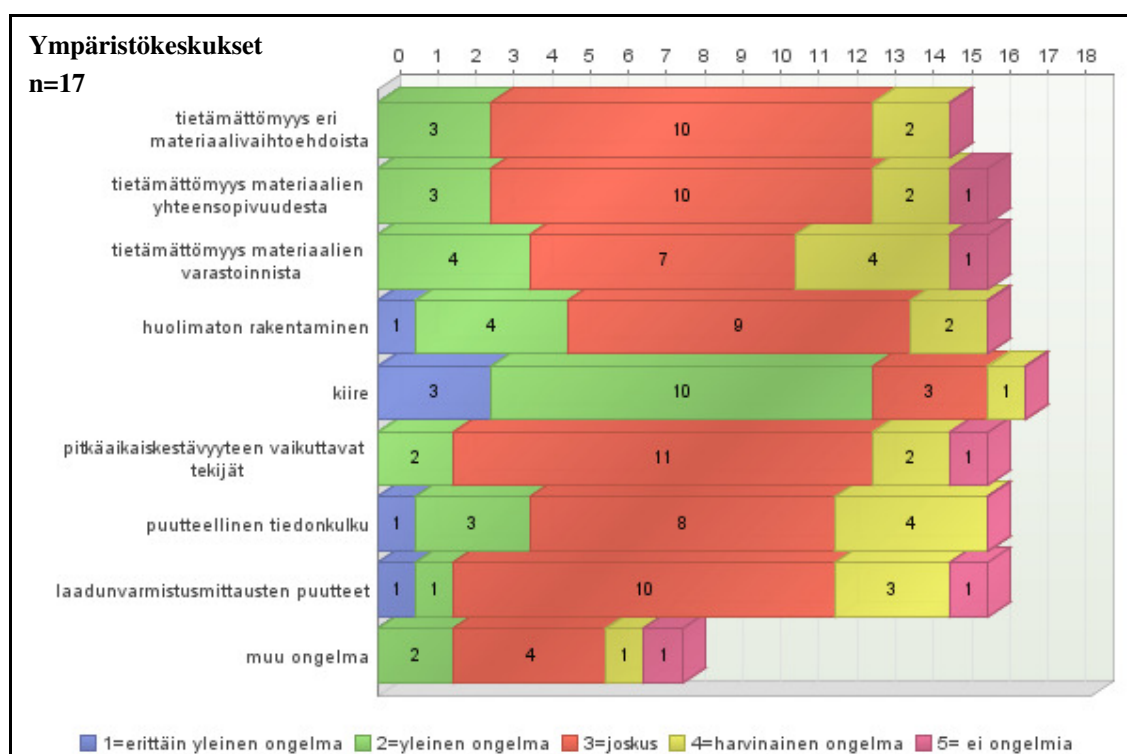
- ”Ammattitaidoton riippumaton laadunvalvoja, joka haluaa nostaa omaa arvostustaan.” (joskus ongelma)
- ”Laadunvarmistuskokeiden kuten vedenläpäisevyyden valmistuminen usein urakan töiden jo valmistuttua, jolloin tulokset eivät ole työtä ohjaavia ”(joskus ongelma)
- ”Mittalaitteilla omat tarkkuustoleranssit, eikä niitä saa ottaa huomioon laatuvaatimusten täyttämässä” (yleinen ongelma)

Tarkastellaan vielä urakoitsijoiden vastausten laadunvalvonnan ongelmien keskiarvoa ja keskihajontaa (taulukko 6.8). Keskiarvon perusteella melkein kaikki esitetyt seikat olivat ongelma joskus ja kiire taas oli yleinen ongelma. Hajonta oli kohtalaisen suurta, mutta tämä johtui osaksi myös otoksen pienuudesta.

Taulukko 6.8 Työmaiden laadunvalvonnan ongelmien keskiarvo ja keskihajonta, urakoitsijat.

Ongelma	Keskiarvo	Keskihajonta
Tietämättömyys eri materiaalivaihtoehdoista	2,67	1,02
Tietämättömyys materiaalien yhteensopivuudesta	2,71	1,06
Tietämättömyys materiaalien varastoinnista	3,19	0,98
Huolimaton rakentaminen	3,10	1,09
Kiire	2,38	1,07
Pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät	3,24	0,89
Puutteellinen tiedonkulku	3,05	0,92
Laadunvarmistusmittausten puutteet	3,33	0,86

Ympäristökeskusten yleisin vastaus laadunvalvonnan ongelmiin työmailla oli ”joskus” eli tapauskohtaisesti (kuva 6.32). Ainoastaan kiire tunnistettiin yleiseksi ongelmaksi työmailla kuten myös urakoitsijat ja rakennuttajatkin olivat vastanneet.



Kuva 6.32 Työmaiden laadunvalvonnan ongelmia, ympäristökeskukset.

Ympäristökeskusten vastaajat määrittivät seuraavaa kohtaan *muu ongelma*:

- ”Rakennuttajan ja/tai urakoitsijan asiantuntemuksen puute. Liiallinen riskinotto materiaalien laadun suhteen ts. rakennetaan sillä riskillä, ettei lopputulos myöhempien saatavien koetulosten perusteella täytäkään vaatimusta. Kynnys lähteä korjaamaan hieman puutteellista rakennetta (siis purkaa valmista) nousee tällöin korkeaksi, vaikka periaatteessa pitäisi vaatia suunnitelman mukaista.” (ongelma joskus)
- ”Sääolosuhteet ”(ongelma joskus)
- ”Materiaalien valinta urakoitsijavetoisesti, sekä ”myy” jätemateriaaleja että rakentaa siitä kaatopaikan rakenteita.” (harvinainen ongelma)
- ”Poikkeamien raportointi” (yleinen ongelma)
- ”Urakoitsijan asenne laatuun” (ongelma joskus)
- ”Töiden ajoittuminen myöhäsyksyyn ja joutuminen säätilan vaihtelujen armoille (märkyys, kylmyys...) ”(ongelma joskus)
- ”Aikataulu, sää olosuhteet, ajoitus” (yleinen ongelma)

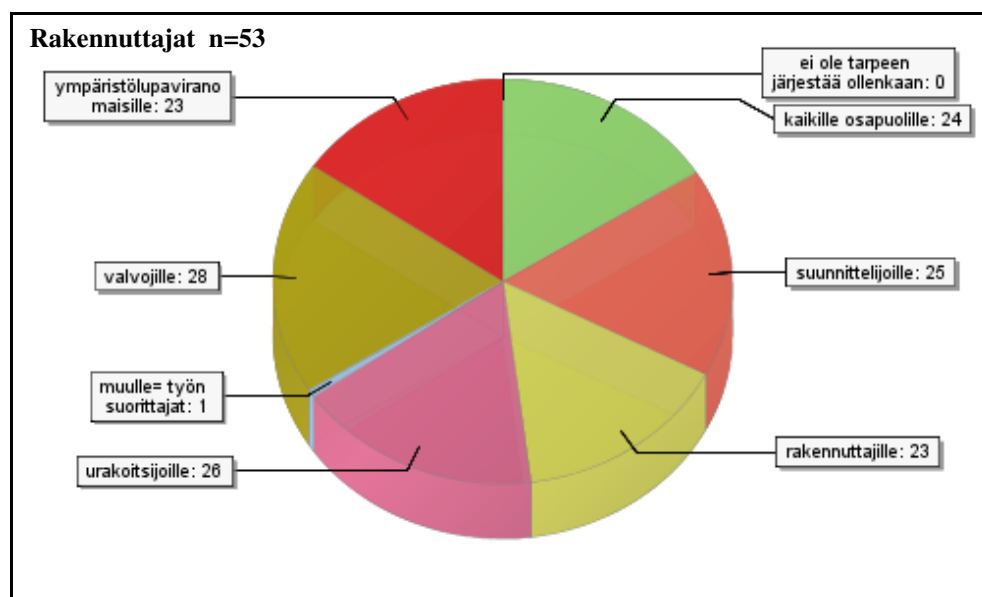
Tuloksien keskiarvo ja keskihajonta vahvistaa kuvan tuloksia eli kiire on yleinen ongelma ja muut ovat ongelmia joskus (taulukko 6.9).

Taulukko 6.9 Työmaiden laadunvalvonnan ongelmien keskiarvo ja keskihajonta, ympäristökeskukset

Ongelma	Keskiarvo	Keskihajonta
Tietämättömyys eri materiaalivaihtoehdoista	2,93	1,25
Tietämättömyys materiaalien yhteensopivuudesta	3,06	1,23
Tietämättömyys materiaalien varastoinnista	3,13	1,31
Huolimaton rakentaminen	2,75	1,31
Kiire	2,12	0,91
Pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät	3,13	1,22
Puutteellinen tiedonkulku	2,94	1,24
Laadunvarmistusmittausten puutteet	3,13	1,31

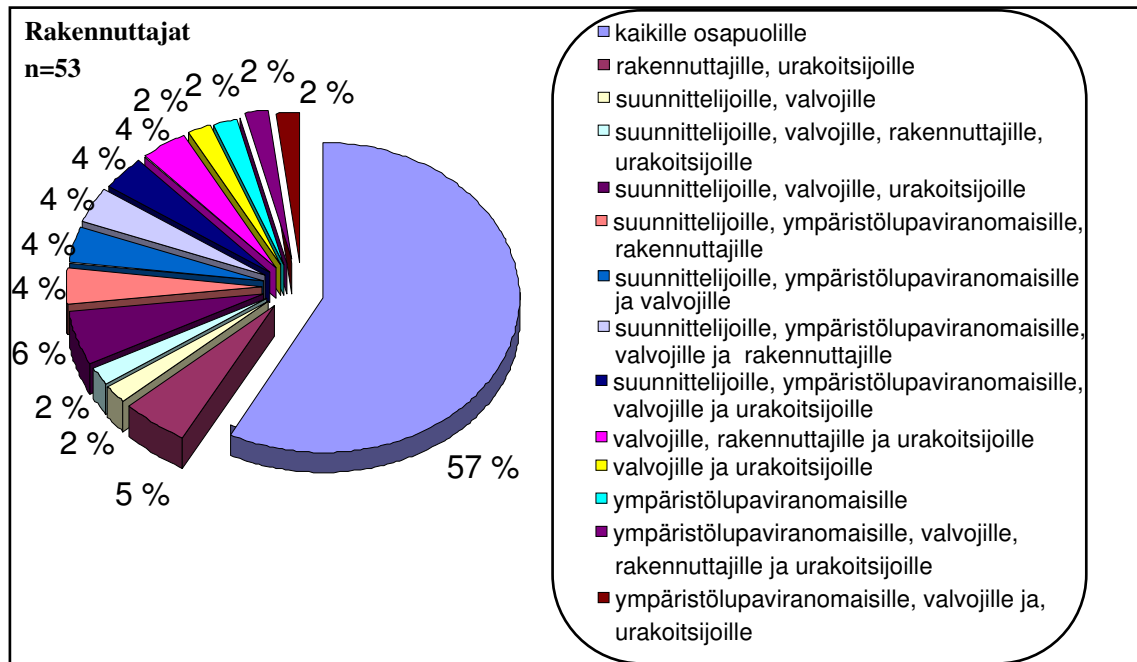
Koulutuksen tarve

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvalvonnan koulutuksen tarpeesta kysyttäessä vastaajalla oli mahdollisuus valita useampi vaihtoehto kenelle koulutusta tulisi heidän mielestään järjestää. Monet rakennuttajien vastaajista toivoivat koulutusta kaikille, mutta lisäsivät silti erikseen muita osapuolia, joille halusivat koulutusta kuten suunnittelijat, valvojat, ympäristölupaviranomaiset (kuva 6.33). Tiivistysrakenteiden laadunvalvonnan koulutuksen tarpeellisuuden puolesta puhuu jo seikka, että kukaan ei ole vastannut, että koulutusta ei ole tarpeen järjestää ollenkaan.



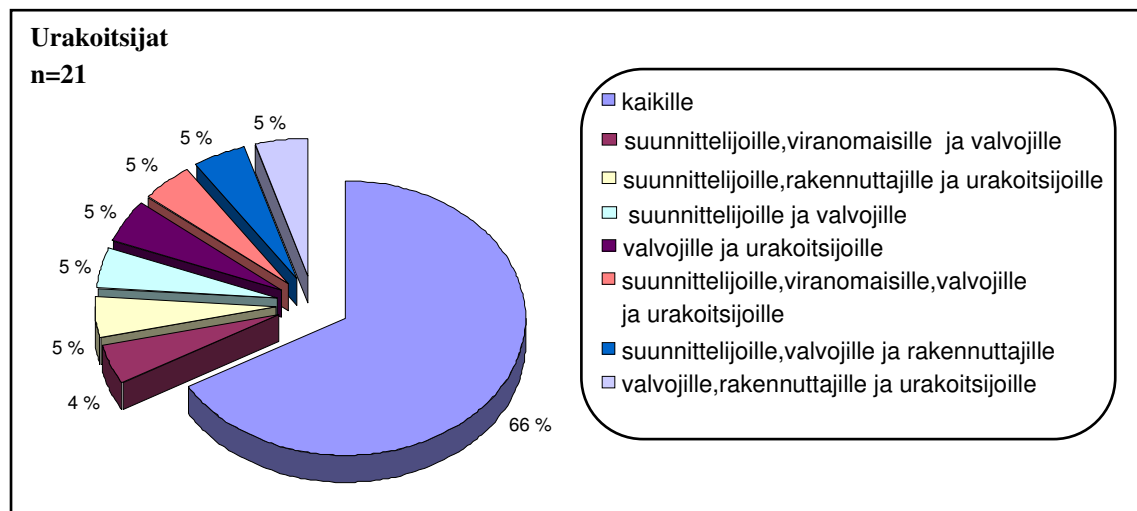
Kuva 6.33 Osapuolet joille tiivistysrakenteiden laadunvalvonnan koulutusta tulisi järjestää, rakennuttajat.

Havainnollisempi kuva saadaan, kun tarkastellaan tuloksia vastaajakohtaisesti (kuva 6.34). Yli puolet rakennuttajien vastaajista oli sitä mieltä, että koulutusta olisi tarpeen järjestää kaikille osapuolille (57 %).



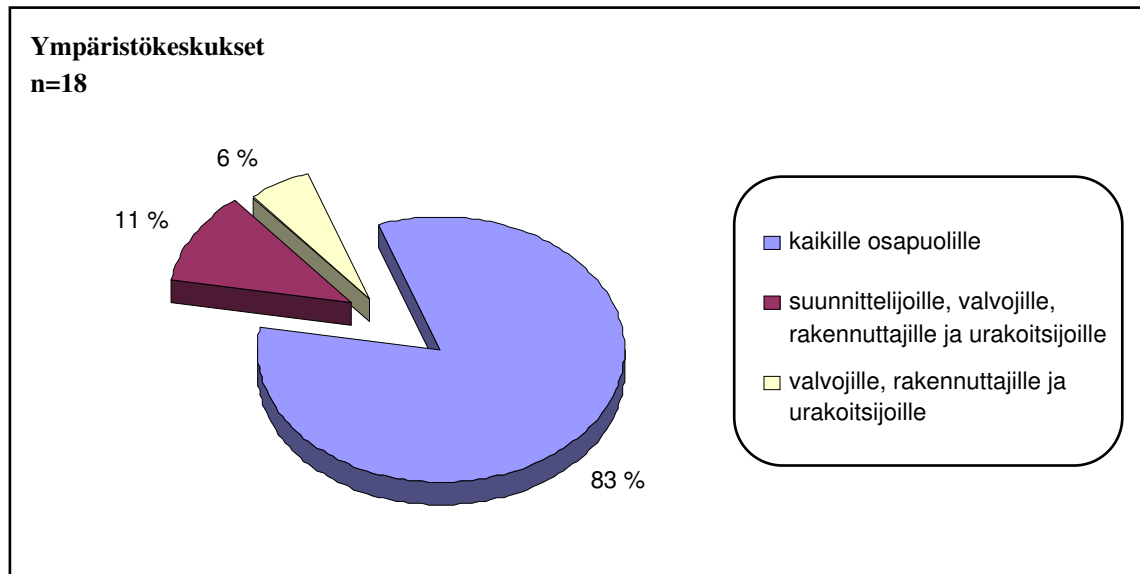
Kuva 6.34 Tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen toivotut kohderyhmät, rakennuttajat.

Urakoitsijoiden mielestä laadunvalvonnan koulutusta tulisi järjestää kaikille osapuolille (66 %). Yksittäiset vastaajat olivat sitä mieltä, että koulutusta tulisi järjestää erilaisille osapuolien yhdistelmille kuten suunnittelijoille ja valvojille (kuva 6.35).



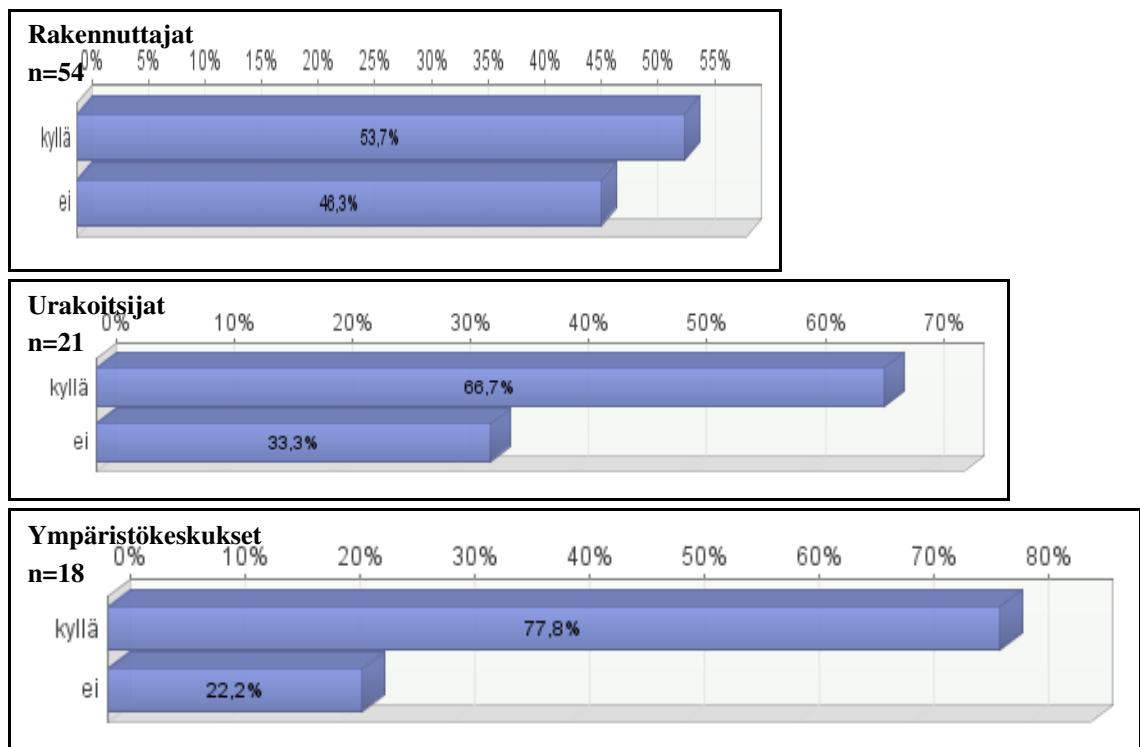
Kuva 6.35 Tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen toivotut kohderyhmät, urakoitsijat.

Ympäristökeskusten vastaajat olivat myös vahvasti sitä mieltä, että tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutusta tarvitaan kaikille osapuolille (kuva 6.36). Muutama vastaaja oli sitä mieltä, että muut osapuolet paitsi ympäristöviranomaiset tarvitsevat koulutusta (11 %) ja yksi oli sitä mieltä, että valvojat, rakennuttajat ja urakoitsijat tarvitsevat koulutusta (6 %).



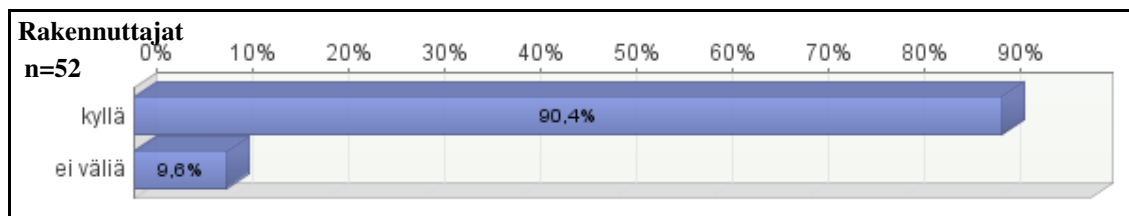
Kuva 6.36 Tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen toivotut kohderyhmät, ympäristökeskukset.

Kaikilla osapuolilla oli tarvetta kouluttaa omaa henkilökuntaa laadunvalvontaan liittyviin tehtäviin (kuva 6.37). Rakennuttajista noin puolet (54 %), urakoitsijoista kaksi kolmasosaa (67 %) ja ympäristökeskusten vastaajista neljä viidesosaa (78 %) oli sitä mieltä, että heillä on tarvetta kouluttaa henkilökuntaa laadunvalvontaan. Rakennuttajien vastaajissa oli suurin osuus niistä, joiden mielestä heidän oma henkilökunta ei tarvitse koulutusta (46 %).



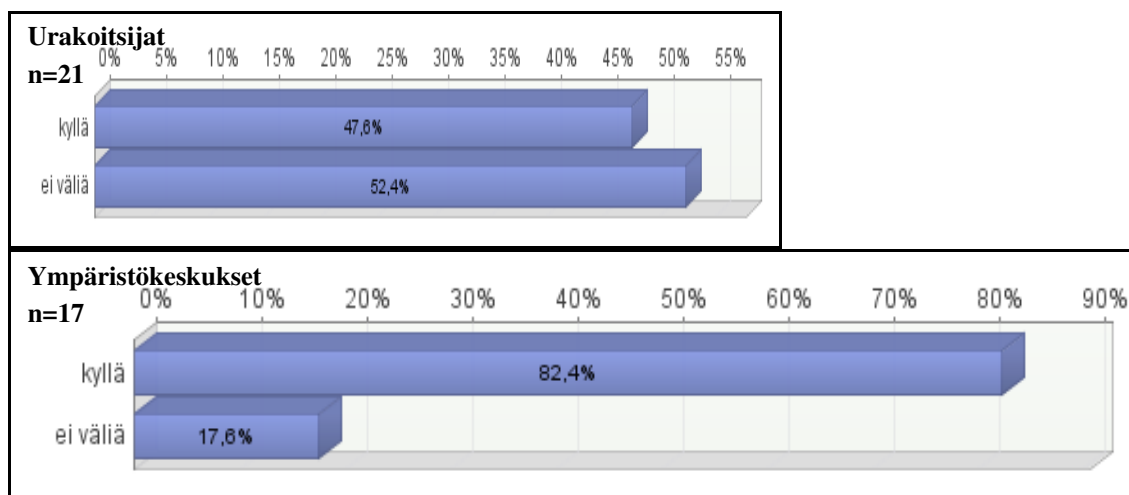
Kuva 6.37 Oman henkilökunnan laadunvalvontakoulutuksen tarve; rakennuttajat ylin, urakoitsijat keskimäinen ja ympäristökeskukset alin.

Rakennuttajien intressi on, että kaatopaikkahanke etenee osaavissa käsissä. Tämä näkyy myös vastauksissa, kun kysytään palkkaisiko rakennuttaja mieluummin sertifioidun laadunvalvojan, joka on tehtävään koulutettu ja jonka pätevyys on osoitettu. Rakennuttajista 90 % on sitä mieltä, että palkkaisi mieluummin sertifioidun laadunvalvojan (kuva 6.38). Vain noin 10 % vastaajista oli sitä mieltä, että ei ole väliä, onko laadunvalvoja sertifioitu vai ei.



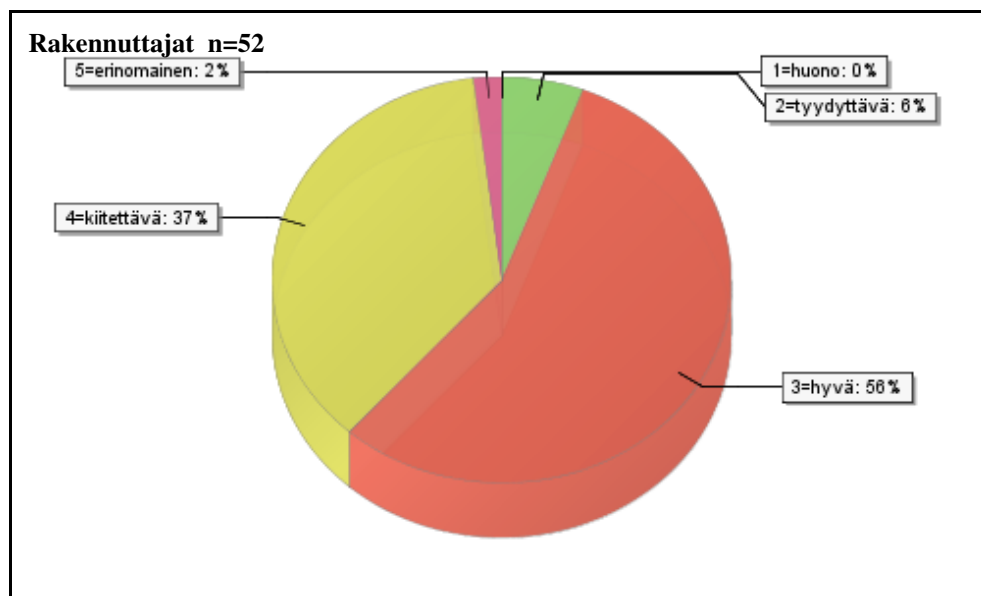
Kuva 6.38 Sertifioidun laadunvalvojan palkkaus kaatopaikkahankkeeseen, rakennuttajat.

Urakoitsijoilta ja ympäristökeskuksilta kysyttiin samaa siten, että tiedusteltiin tulisiko kaatopaikan tiivistysrakenteiden työmailla olla aina sertifioitu laadunvalvoja. Urakoitsijoiden vastaajien mielipide laadunvalvojen sertifiointista jakaantui kahtia (kuva 6.39). Reilut puolet vastaajista oli sitä mieltä, että työmailla oleva laadunvalvoja ei tarvitse sertifiointia (52 %) ja toinen puoli (48 %) sitä mieltä, että sertifiointi tulisi olla. Ympäristökeskusten vastaajat olivat samoilla linjoilla rakennuttajien kanssa siitä, että työmaila tulisi aina olla sertifioitu riippumaton laadunvalvoja (82 %).



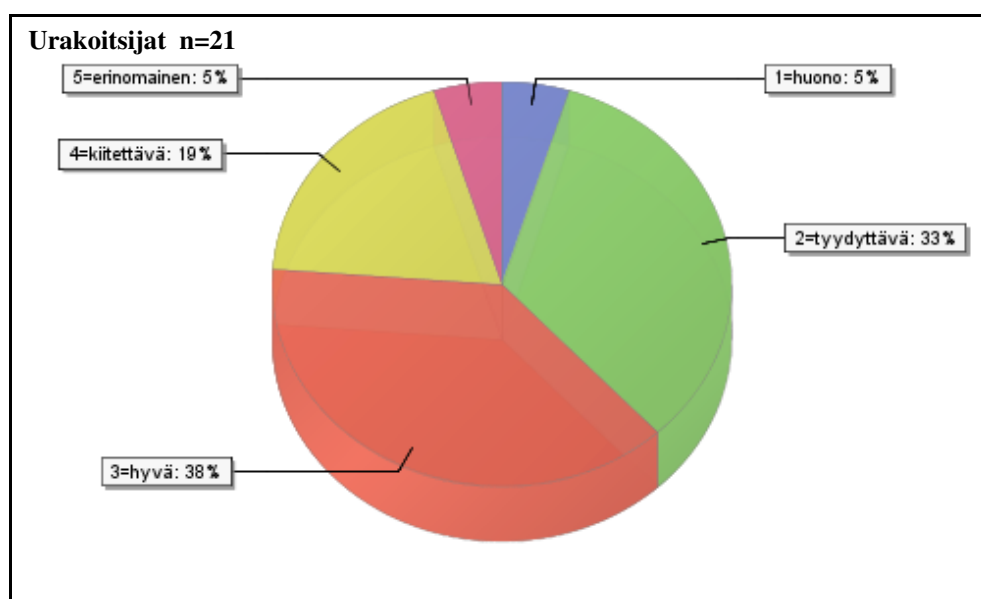
Kuva 6.39 Tulisiko työmailla olla sertifioitu laadunvalvoja? Urakoitsijat ylempi ja ympäristökeskukset alempi.

Rakennuttajien mielestä riippumattomien laadunvalvojen tietotaito on tällä hetkellä hyvä (56 %) tai kiitettävä (37 %) (kuva 6.40). Riippumattomien laadunvalvojen tasoa tyydyttäväksi luonnehtii vain noin 6 % rakennuttajien vastaajista. Riippumattoman laadunvalvojen tietotaidon tasolle ei kukaan rakennuttajista ole antanut huonoa arvosanaa.



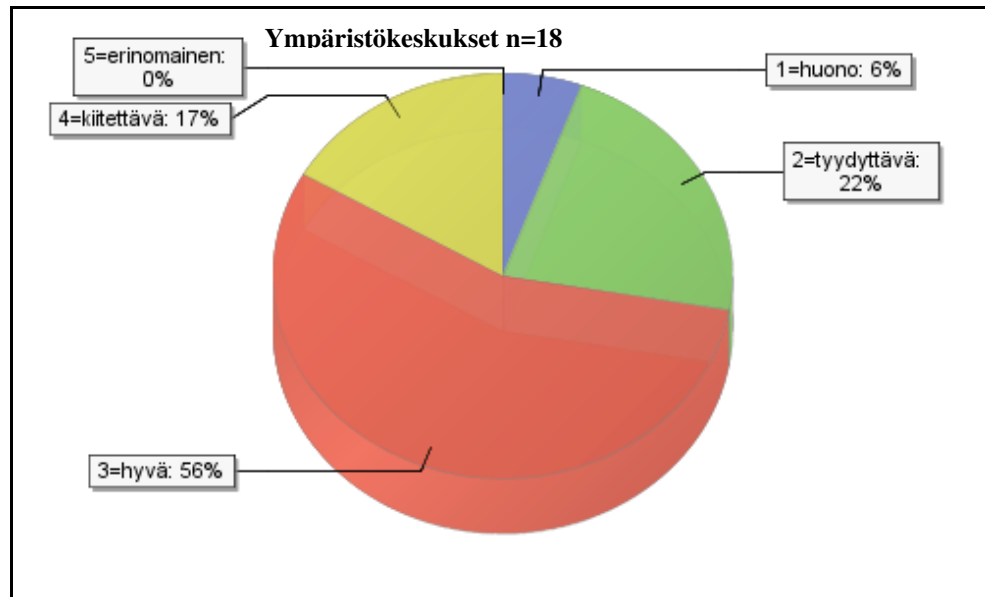
Kuva 6.40 Riippumattomien laadunvalvojien tietotaito, rakennuttajat.

Urakoitsijoiden mielestä riippumattomien laadunvalvojien tietotaitoa pidettiin yleisesti hyvänä (38 %) ja jopa kiitettävänä/erinomaisena (24 %) (kuva 6.41). Tyydyttävänä laadunvalvojien tietotaitoa piti kolmannes (33 %) vastaajista ja huonona vain yksi vastaajista (5 %).



Kuva 6.41 Riippumattomien laadunvalvojien tietotaito, urakoitsijat.

Ympäristökeskukset pitivät riippumattomien laadunvalvojien tietotaitoa korkeana (kuva 6.42). Yli puolet vastaajista oli sitä mieltä, että riippumattomien laadunvalvojien tietotaito on hyvä (56 %) ja noin joka kuudes piti kiitettävänä (17 %). Tyydyttäväksi arvioi tason noin viidennes vastaajista (22 %). Huonoksi tietotaidon tason arvioi vain muutama vastaaja (6 %), mutta erinomaista arvosanaa ei antanut ympäristökeskusten vastaajista kukaan.

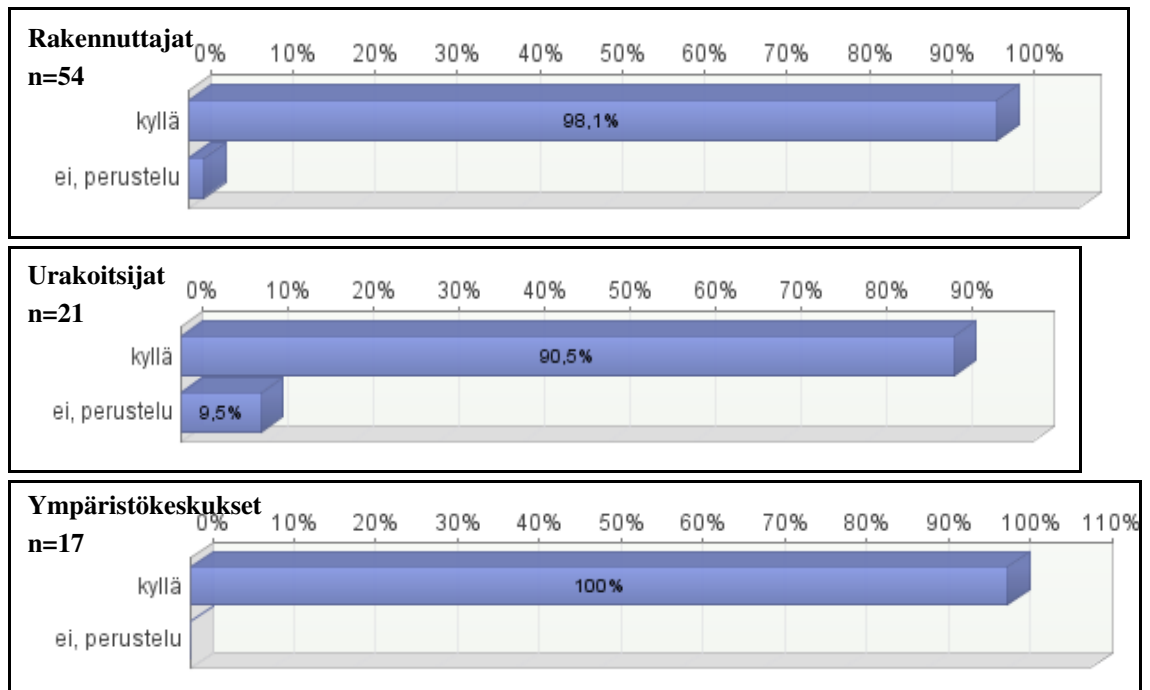


Kuva 6.42 Riippumattomien laadunvalvojen tietotaito, ympäristökeskukset.

Rakennuttajien (98 %), urakoitsijoiden (91 %) ja ympäristökeskuksien (100 %) vastaajat olivat lähes kaikki sitä mieltä, että riippumattoman laadunvalvojan sertifiointissa tulee ottaa huomioon työkokemus niin, että varsinaisen pätevyyden saa, kun työkokemus on hankittu (kuva 6.43).

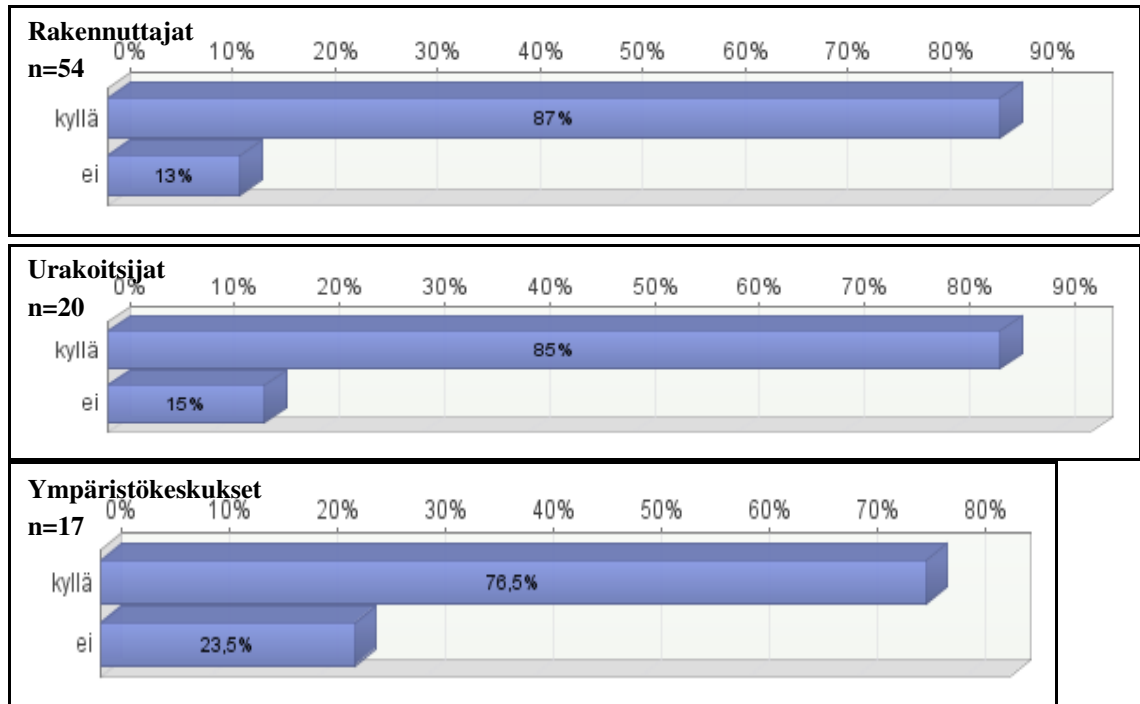
Urakoitsijoiden vastaajista muutama oli eri mieltä ja perusteli seuraavasti:

- ”Jos sertifiointi koulutus riittävän laaja”
- ”Rajoittaa kilpailua”



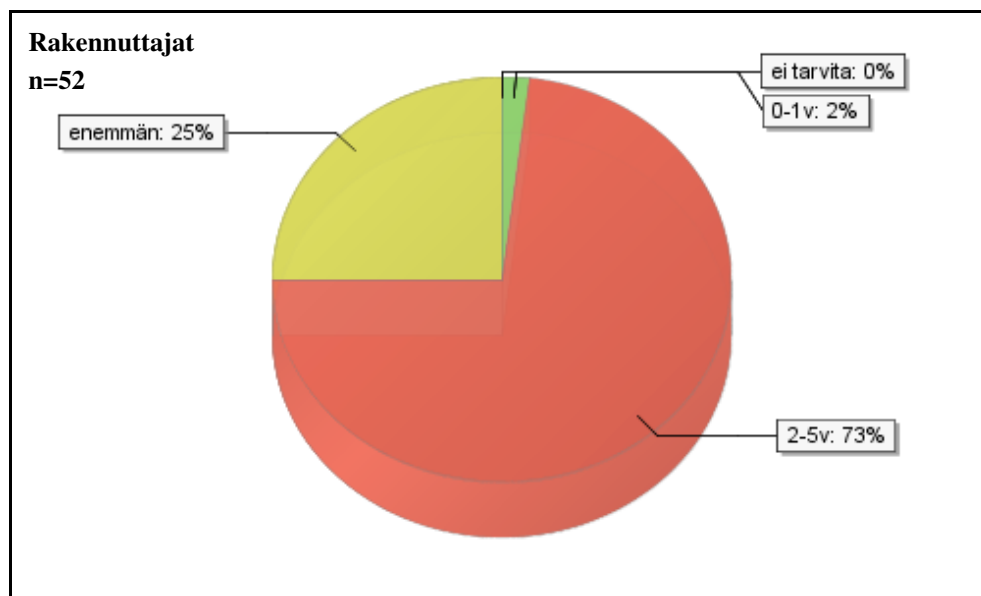
Kuva 6.43 Työkokemuksen huomioiminen laadunvalvojan sertifiointissa; rakennuttajat ylin, urakoitsijat keskimäinen ja ympäristökeskukset alin.

Loppukokeen tarpeellisuudesta pätevyyden saamiseksi (kuva 6.44) oltiin myös sitä mieltä, että se tulee liittää pätevyyden ehtoihin. Rakennuttajista ja urakoitsijoista yli 85 % ja ympäristökeskusten vastaajistakin yli 75 % liittäisi loppukokeen osaksi sertifiointiprosessia. Hajontaa oli kuitenkin enemmän kuin työkokemuksen kohdalla, ja oli myös niitä vastaajia, joiden mielestä loppukoe ei ole välttämätön (rakennuttajat 13 %, urakoitsijat 15 % ja ympäristökeskukset 24 %).



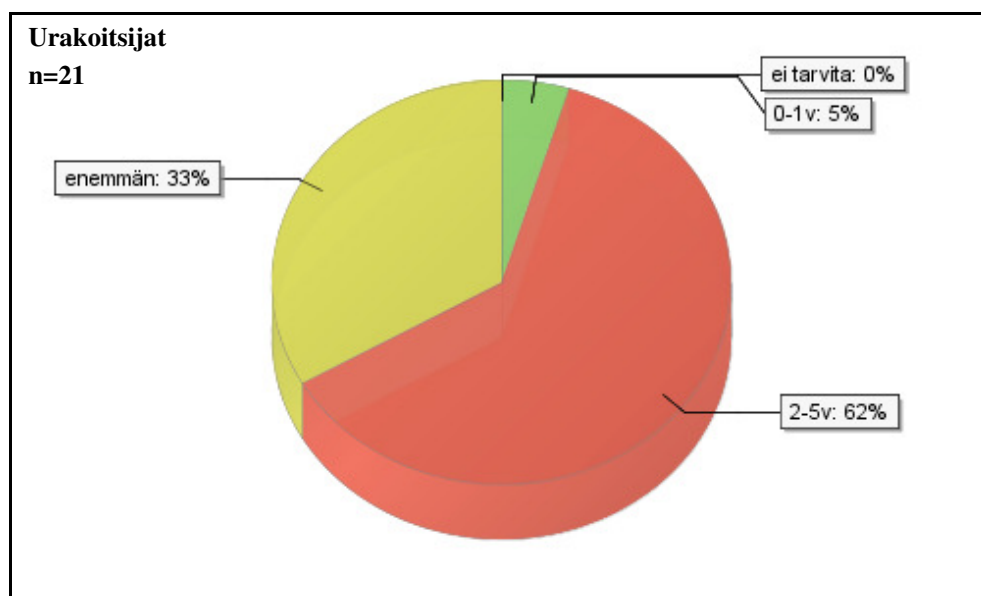
Kuva 6.44 Loppukokeen tarpeellisuus sertifiointin osana. Rakennuttajat ylin, urakoitsijat keskellä, ympäristökeskukset alin

Riippumattoman laadunvalvojan työkokemuksen tärkeydestä oltiin yksimielisiä. Tarvittavan työkokemuksen määrästä suurin osa (73 %) rakennuttajista oli sitä mieltä, että työkokemusta tulisi olla vähintään kahdesta viiteen vuotta (kuva 6.45). Neljäsosa vastaajista (25 %) oli jopa sitä mieltä, että viisi vuotta ei riitä, vaan työkokemusta tulisi olla enemmän kuin viisi vuotta.



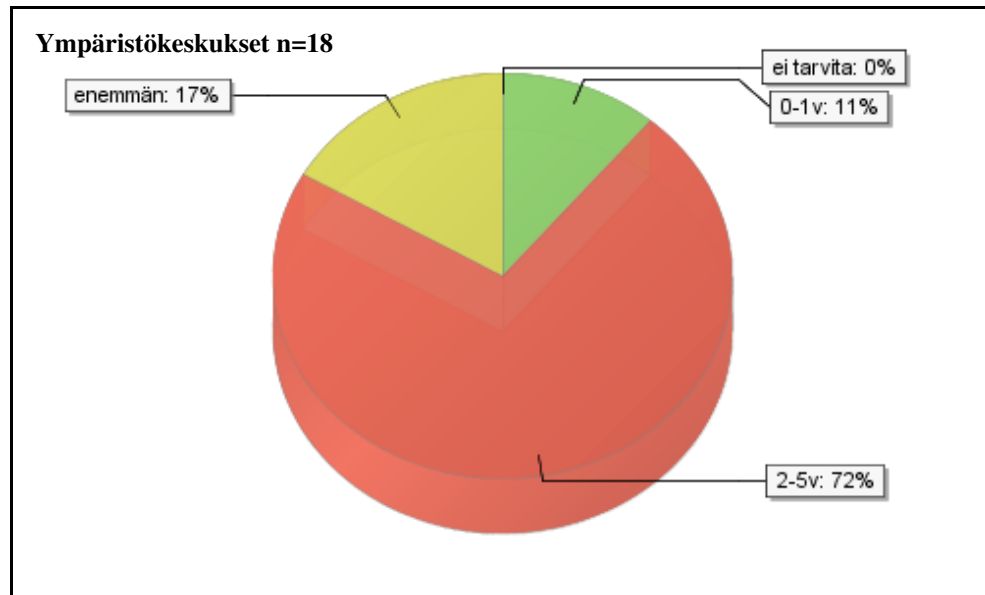
Kuva 6.45 Riippumattoman laadunvalvojan tarvittavan työkokemuksen määrä, rakennuttajat.

Urakoitsijat olivat samaa mieltä kuin rakennuttajatkin, että riippumattoman laadunvalvojan soveltuvan työkokemuksen määrän tulee olla kahdesta viiteen vuotta (62 %) tai enemmän (33 %) (kuva 6.46). Ainostaan yksi vastaaja oli sitä mieltä, että alle vuoden työkokemus riittää (5 %).



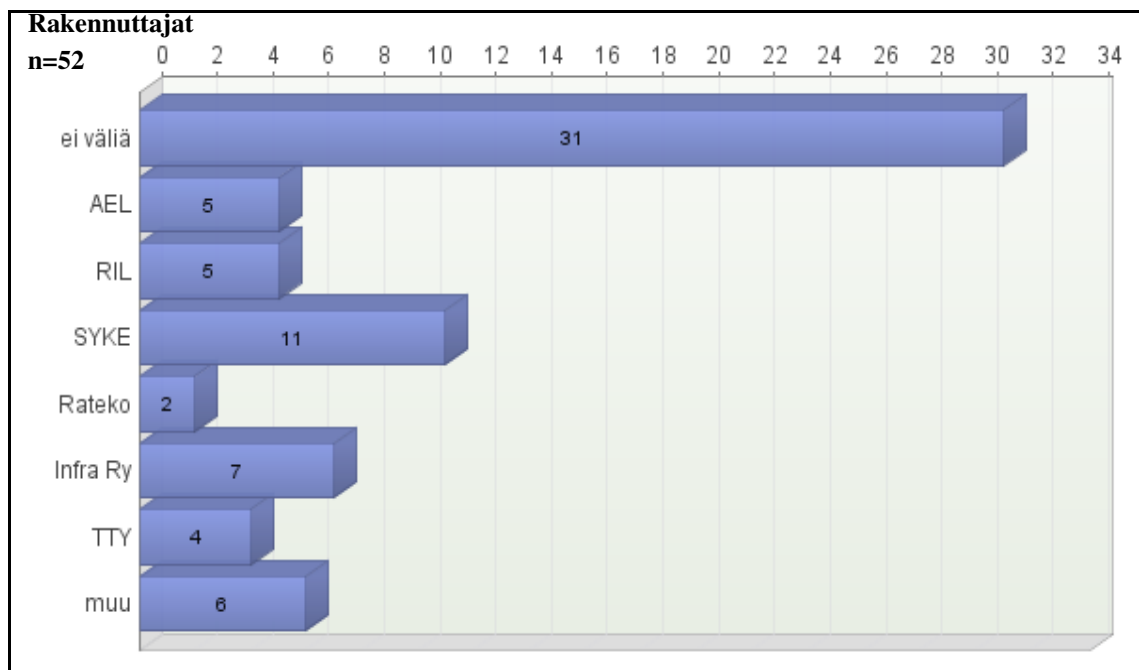
Kuva 6.46 Riippumattomien laadunvalvojen tarvittavan työkokemuksen määrä, urakoitsijat.

Ympäristökeskusten vastaajien mielestä soveltuvaa työkokemusta tulisi olla kahdesta viiteen vuotta (72 %) (kuva 6.47). Enemmän kuin viisi vuotta työkokemusta tulisi olla 17 % mielestä. Alle vuoden työkokemus oli riittävä kahden vastaajan mielestä (11 %).



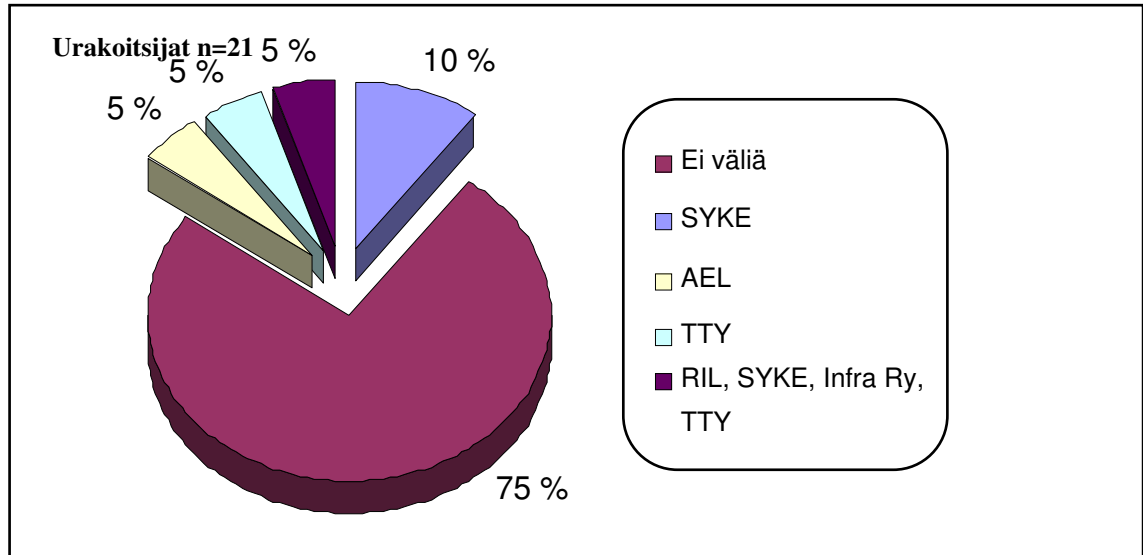
Kuva 6.47 Riippumattomien laadunvalvojien tarvittavan työkokemuksen määrä, ympäristökeskukset.

Tiivistysrakenteiden laadunvalvonnan koulutuksen järjestäjäksi oli ehdolla useita tunnettuja vaihtoehtoja kuten AEL, RIL, SYKE, RATEKO ja TTY (kuva 6.48). Rakennuttajien mielestä koulutuksen järjestäjällä ei ole väliä (60 %). Monet esittivät koulutuksen järjestäjätahoksi myös SYKE:tä tai Infra Ry:tä. Vaihtoehtokohdassa ”muu” esitettiin myös muutamia vaihtoehtoisia kouluttajia kuten POHTO, Sito ja HAMK, mutta pääsääntöisesti toivottiin, että kouluttajat ovat päteviä ja ammattitaitoisia ja koulutus laadukasta.



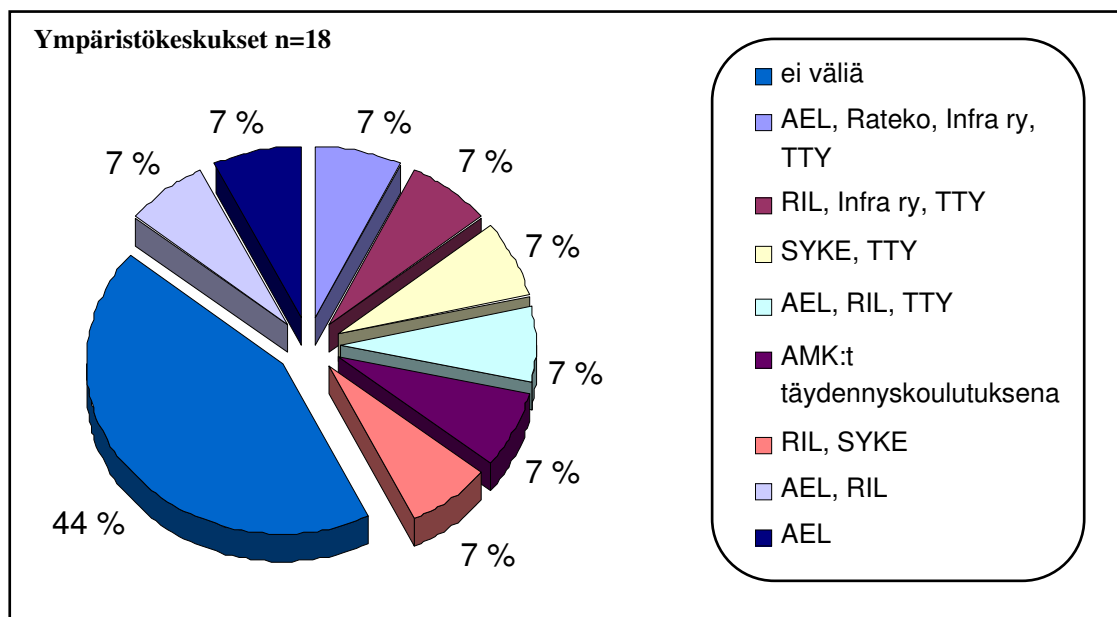
Kuva 6.48 Mahdollisia koulutuksen järjestäjätahoja, rakennuttajat.

Urakoitsijoiden vastaajien mielestä laadunvalvonnan koulutuksen järjestäjällä ei ole väliä (kuva 6.49). Erikseen mainittiin vielä, että koulutuspaikalla ei ole väliä, vaan tärkeintä on kouluttajien ammattitaito. SYKE oli erään mielestä oikea taho, mutta toisaalta hän oli sitä mieltä, että SYKEssä ei ole tehtävään ammattitaitoisia kouluttajia.



Kuva 6.49 Mahdolliset koulutuksen järjestäjätahot vastaajakohtaisesti, urakoitsijat.

Myös ympäristökeskusten vastaajat esittävät useita mahdollisia koulutuksen järjestäjä tahoja (kuva 6.50). Kohdassa ”muu” oli toivottu, että koulutuksen järjestäjällä olisi riittävä asiantuntemus korkealuokkaisen koulutuksen järjestämiseen. Eräs vastaajista oli myös sitä mieltä, että järjestäjätahoa on vaikea nimetä, koska asiantuntemus on riippuvainen henkilöstä eikä tahoista.



Kuva 6.50 Mahdolliset koulutuksen järjestäjätahot vastaajakohtaisesti, ympäristökeskukset

6.3.5. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvalvonnan ja -varmistuksen kehittäminen

Kyselyyn vastanneet antoivat sanallista palautetta, miten tiivistysrakenteiden laadunvarmistusta ja -valvontaa voitaisiin kehittää. *Rakennuttajat* (21 kpl) toivoivat, että viranomaistaholta tulisi selkeät vaatimukset riippumattomalle laadunvalvonnalle. Toimintatapojen yhtenäistämistä ja etenkin riippumattomien laadunvalvojien sertifiointia toivottiin. Vaihtoehtoisten rakenteiden osalta haluttiin, että eri materiaalien väliset eroavaisuudet pystyttäisiin selventämään paremmin ominaisuuksien osalta. Suurin osa vastaajista toivoi juuri koulutusta, jolloin kaikki puhuisivat samaa kieltä ja ymmärtäisivät, mitä laadunvalvonta ja -varmistus käytännössä tarkoittavat. Materiaalivaihtoehdot ja ennakkokokeet tulisi olla valmiina riittävän ajoissa, jotta vältytään ”huonoilta” ratkaisuilta. Tämän lisäksi toivottiin myös laadunvalvontalaitteiden ja menetelmien ja yhdenmuikaistamista sekä materiaalien tuotehyväksyntää.

Urakoitsijoiden (10 kpl) mielestä tiivistysrakenteiden laadunvalvontaa tulisi kehittää kouluttamalla osapuolia niin, että kaikilla on osoitettu kyky toimia tehtävissään. Laadunvalvontaan toivottiin koulutusta etenkin viranomaisvalvojille ja suunnittelijoille. Riippumattoman laadunvalvojan toivottiin osallistuvan hankkeeseen jo suunnitteluvaiheessa. Ennakkokokeiden ja materiaalitiedon tärkeyttä korostettiin. Urakoitsijat toivoivat, että muut osapuolet ymmärtäisivät käytännön työmaaoloja, jolloin esimerkiksi valvojat puuttuisivat oleellisiin asioihin eivätkä takertuisi epäolennaisiin seikkoihin. Ympäristölupamenettelyn osalta toivottiin valtakunnallisesti yhteistä käytäntöä. Lisäksi toivottiin selkeämpiä laadunvarmistusasiakirjoja, joissa esimerkiksi laatumittaukset olisi taulukoitu selkeästi.

Ympäristökeskusten (12 kpl) vastaajien mielestä tiivistysrakenteiden laadunvalvontaa tulisi kehittää koulutuksen, pätevyyskokeiden ja lupaehtojen vaatimuksilla. Toivottiin, että pelisäännöt, tehtäväjako ja vastuut eri osapuolten välillä olisi selkeämpi. Ympäristökeskusten vastaajat toivoivat myös yksiselitteisiä työohjeita ja laadunvalvontakriteerejä, joita tulee noudattaa rakennettaessa. Laadunvalvontakriteerit eivät ole hyväksyttäviä, joten niistä ei pitäisi selvitä selittelemällä. Työmailla tulisi olla kokenut ja asiantunteva riippumaton laadunvalvoja. Materiaalien pitäisi olla määriteltynä ennen urakan aloittamista, ettei urakoitsija voi ehdottaa uusia materiaaleja rakennustyön ollessa käynnissä. Haluttiin myös, että SYKE voisi määritellä selkeästi, mitä mitataan ja miten.

7. TULOSTEN ANALYSOINTI

Laadunvarmistus tulee huomioida kaatopaikkahankkeen alusta saakka. Työselitys on asiakirja, johon suunnittelija spesifioi hankkeen laatukriteerit ja niiden todentamisen. Urakan tarjouspyyntöasiakirjojen, joihin sisältyy myös työselitys, tulisi yksiselitteisesti esittää urakoitsijalle ja hankkeelle asetetut vaatimukset. Urakoitsijoille tehty kyselytutkimus kuitenkin osoitti, että urakoitsijat olivat tyytymättömiä tarjouspyyntöasiakirjojen laatuun. Yleisimpänä puutteena pidettiin asiakirjojen ristiriitaisuutta. Urakoitsijat mainitsivat myös piirustusten ja spesifikaatioiden puutteellisuuden. Lisäksi suunnittelijoiden ammattitaitoa kritisoitiin.

Kaatopaikkahankkeiden yleisin ongelma laadunvalvonnan kannalta rakennuttajille, urakoitsijoille ja ympäristökeskuksille tehdyn kyselytutkimuksen mukaan oli kiire. Rakennuttajien mielestä joskus ongelmana on ollut puutteellinen tiedonkulku ja huolimaton rakentaminen. Rakennuttajien vastaajat nostivat esille ammattitaitoisten tiivistysrakenneiden rakentajien puutteen. Ympäristökeskusten vastaajista monet olivat sitä mieltä, että sää on laatuun vaikuttava ongelma. Etenkin, jos työajankohta ajoittuu myöhäiseen syksyyn, voi ongelmia esiintyä. Tällöin aikataulut on haasteellista, kun pitäisi osata varata riittävän väljä aikataulu työn toteutukselle. Urakoitsijat olivat kriittisempiä laadunvalvonnan ongelmien suhteen. Heidän mielestään melko yleisiä ongelmia olivat tietämättömyys eri materiaalivaihtoehdoista, tietämättömyys materiaalien yhteensopivuudesta ja puutteellinen tiedonkulku. Yksittäiset urakoitsijoiden vastaajat olivat sitä mieltä, että laadunvalvonnan kannalta yleisin ongelma työmailla on ammattitaidoton riippumaton laadunvalvoja tai että laadunvarmistuskokeet kuten vedenläpäisevyys valmistuvat liian myöhään, jolloin tulokset eivät ole työtä ohjaavia. Urakoitsijoiden vastauksissa kävikin ilmi, että suurin osa urakoitsijoista käyttää ulkopuolista laboratoriotäytteenä näytteen testaukseen, mikä täytyy ottaa huomioon myös aikataulutuksessa ja resursseja on muistettava varata laboratorion riittävän ajoissa. Ennakkokokeiden ja koekentän tärkeys on ilmeinen ja ne tulisi olla huolellisesti tehtynä ennen varsinaista rakennustyötä.

Rakennuttajien tulisi kiinnittää enemmän huomiota siihen, että urakkatarjouspyynnöt lähetetään urakoitsijoille riittävän ajoissa ja tarjouspyyntöasiakirjat ovat sisällöltään riittäviä. Näiden seikkojen valossa riippumaton laadunvalvoja voisi olla se henkilö, joka ohjaa alusta saakka kaatopaikkahanketta oikeille raiteille. Riippumattoman laadunvalvojan tulisi olla mukana kaatopaikan rakennushankkeessa viimeistään rakennussuunnitteluvaiheessa ja ennen tarjouspyyntöasiakirjojen lähettämistä.

Kyselytutkimuksen mukaan rakennuttajat ottavat riippumattoman laadunvalvojan pääsääntöisesti kaatopaikan rakennushankkeeseen vasta rakennusvaiheessa niin kaatopaikan laajennus- kuin sulkemishankkeissakin.

Kaikkien osapuolten mielestä riippumattomalla laadunvalvojalla on tärkeä merkitys kaatopaikan rakennushankkeen onnistumisen kannalta. Rakennuttajat ja ympäristöhallinnon viranomaiset olivat melkein kaikki sitä mieltä, että riippumattoman laadunvalvojan rooli hankkeen onnistumisen kannalta oli joko tärkeä tai hyvin/erittäin tärkeä. Urakoitsijat olivat kriittisempiä, mutta silti noin puolet pitää riippumattoman laadunvalvojan roolia tärkeänä tai erittäin tärkeänä. Tällä hetkellä riippumattomien laadunvalvojien tietotaitoa pidettiin hyvänä. Rakennuttajilla oli positiivisin näkemys riippumattomien laadunvalvojien tietotaidosta, kun taas urakoitsijoilla kriittisin.

Riippumattoman laadunvalvojan valinta tehdään usein tarjouskilpailun perusteella hinta- ja laatuvertailun avulla. Laatuksien ja referenssien painoarvo tulisi olla suurempi kuin urakoitsijaa valittaessa. Edellä oleva väite pitää paikkaansa ainakin vastausten perusteella, joita rakennuttajat ovat antaneet. Rakennuttajat ovat erityisesti painottaneet riippumattoman laadunvalvojan valinnassa asiantuntemusta. Moni vastaaja ei ole edes maininnut hintaa valintaperusteena, vaan asiantuntemuksen lisäksi muita tärkeitä seikkoja ovat työkokemus ja henkilökohtaiset referenssit. Urakoitsijan valinnassa hinta oli keskeinen valintaperuste, mutta tämän lisäksi painotettiin myös yrityksen referenssejä ja laatuorganisaatiota tai työmaapäällikön kokemusta.

Kaikkien osapuolten mielestä riippumattoman laadunvalvojan tärkeimpiä ominaisuuksia olivat kyselyn mukaan asiantuntemus, työkokemus ja henkilökohtaiset referenssit. Urakoitsijat korostivat erityisesti vielä yhteistyökykyä. Asiantunteva ja kokenut riippumattoman laadunvalvoja maksaa palkkansa moninkertaisesti takaisin onnistuneella työsuorituksellaan.

Rakennuttajilla on tällä hetkellä ongelmana, miten he voivat varmistua siitä, että hankkeeseen on valittu asiantunteva ja kokenut riippumattoman laadunvalvoja. Kertarakennuttajilla tämä ongelma on suurempi, koska hän ei välttämättä tunne kentällä toimivia asiantuntijoita. Samaan tapaan kuin kalvoasennuksiin käytetään sertifioituja hitsaajia, olisi luonnollista vaatia myös sertifioituja riippumattomia laadunvalvojia. Näin rakennuttajat ja ympäristökeskukset voisivat olla varmoja, että riippumattoman laadunvalvoja omaa tarvittavat tiedot ja taidot hankkeen laadunvarmistukselle. Tällä hetkellä rakennuttajat olivat hyvin valveutuneita sertifioidujen kalvoasentajien käytön tärkeydestä, sillä lähes kaikki vaativat sertifioidun hitsaajan käyttöä kalvoasennuksissa joko aina tai riippuen hankkeen vaativuudesta/laajuudesta tai urakoitsijasta. Hitsaajien sertifiointin vaatimukset ovat tiukat. Hitsaajalla tulee olla riittävästi työkokemusta ja lisäksi hänen tulee osoittaa tietonsa ja taitonsa sekä käytännön kokeella että teoria kokeella. Tämänkin jälkeen sertifiointi on voimassa yleensä vain vuoden.

Saksalaisten käytäntö kaatopaikkarakentamisen riippumattomalle laadunvalvonnalle on ylivertainen, koska siellä riippumaton laadunvalvonta on eriytetty osa-alueisiin eli valvojat ovat erikseen mineraaliselle tiivistysrakenteelle ja geosynteettirakenteille, jolloin yksittäinen laadunvalvoja voi keskittyä hallitsemaan tietyn osa-alueen hyvin. Lisäksi laadunvarmistusta suorittavat organisaatiot tai laitokset, joilla tulee olla riittävästi ammattitaitoista henkilökuntaa. Näin laadunvarmistus ei jää yhden ihmisen harteille, vaan toimistosta löytyy tukea myös vaikeissa tilanteissa. Aloitteleva riippumaton laadunvalvoja ei myöskään joudu yksin työmaille vaan hänellä on kokeneempi valvoja opastamassa ja avustamassa työuran alkuvaiheissa. Suomi on pieni maa, joten tällainen käytäntö ei välttämättä sovellu tällaisenaan, mutta oppia siitä voidaan tuki ottaa ainakin sen verran, että voidaan vaatia pätevyyskoulutusta riippumattomille laadunvalvojille ja tämän lisäksi ylläpitokoulutusta, jossa riippumattomat laadunvalvojat pääsevät vaihtamaan ajatuksiaan ja kokemuksiaan. Saksalaisten laadunvarmistus korostaa juuri kokemusten vaihdon tärkeyttä. Saksassa laadunvarmistuksen hinta on merkittävä osa koko rakenteen kokonaiskustannuksista.

Lähes kaikki rakennuttajat palkkaisivat mieluummin sertifioidun riippumattoman laadunvalvojan työmailleen, jos sertifiointijärjestelmä olisi olemassa. Myös ympäristökeskusten mielestä työmaille tulisi olla sertifioitu riippumaton laadunvalvoja, kun taas urakoitsijoista yli puolet oli sitä mieltä, että sertifiointilla ei ole merkitystä. Tulos on hyvin ymmärrettävä, sillä on rakennuttajan ja viranomaisen etu, että riippumaton laadunvalvoja on tehtävään koulutettu ja pätevä. Luulisi kuitenkin, että olisi myös urakoitsijan kannalta helpompaa, kun paikalla valvomassa olisi asiantunteva laadunvalvoja, joka pystyisi huomioimaan rakentamisessa olennaisimmat seikat. Lisäksi monissa hankkeissa viranomaisvalvontaa on resurssipulan takia siirretty riippumattoman laadunvalvojan harteille. Ympäristöhallinnon uudistus on lakkauttanut ympäristökeskukset vuoden 2010 alusta ja tilalla on neljä aluehallintovirastoa (AVI), jotka myöntävät lupia ja alueelliset elinkeino-, liikenne- ja ympäristövirastot (ELY) valvovat lupaehtojen toteutumista. Muutoksen vaikutuksia voidaan tällä hetkellä vain arvailla. Ympäristökeskusten vastaajista eräs kommentoi muutosta siten, että valvonta vähenee resurssipulan takia ja kohdekäyntejä tehdään vain tarvittaessa resurssien ja määrärahojen puitteissa. Tämä taas tarkoittaisi sitä, että riippumattoman laadunvalvojan roolin merkitys kasvaa kaatopaikka-hankkeiden valvojana.

Enemmistö ympäristökeskusten vastaajista oli sitä mieltä, että sertifiointivaatimus voitaisiin liittää vaatimukseksi lupaehtoihin, kunhan sertifioituja riippumattomia laadunvalvojia on riittävä määrä. Esimerkiksi Iso-Britanniassa hitsaajien sertifiointikoulutus lähti todenteolla käyntiin vasta, kun sertifiointia vaadittiin liitettäväksi lupaehtoihin.

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen tarpeesta kaikki olivat yhtä mieltä. Koulutusta ei tule järjestää pelkästään riippumattomille laadunvalvojille, vaan kaikille osapuolille. Tämä käy myös ilmi kyselyn lopussa esiintyneissä kommentteissa, joissa toivottiin koulutusta ja seminaareja.

Varsinaisesta riippumattomien laadunvalvojien sertifiointista kaikki osapuolet olivat sitä mieltä, että varsinainen pätevyys tulisi saada vasta sitten, kun tarvittava työkokemus on hankittu ja loppukoe suoritettu. Työkokemuksen tarpeellisuudesta kaikki oli yhtä mieltä, kun taas loppukokeen tarpeesta oli hieman hajontaa. Suurin osa vastaajista oli kuitenkin sitä mieltä, että loppukoe on tarpeellinen. Tarvittavan työkokemuksen määräästä yleisin mielipide oli kahdesta viiteen vuotta. Noin kolmasosa urakoitsijoista ja neljäsosa rakennuttajista oli sitä mieltä, että koulutusta tarvittaisiin enemmän kuin viisi vuotta.

Tavoitetila olisi, että riippumattomien laadunvalvojien sertifiointi saataisiin ympäristöministeriön ja SYKEN alaisuuteen. FISE Oy on toinen vaihtoehto sertifiointille. Sen kautta on pätevöitynyt monia talo- ja maapuolen suunnittelijoita ja valvojia. Riippumattomien laadunvalvojien sertifiointi soveltuu hyvin myös FISEn toimenkuvaan, sillä sen tarkoitus on juuri koota yhteen rakennusalan henkilöpätevyudet. Toisaalta sertifiointin painoarvo ei välttämättä ole niin suuri kuin ympäristöministeriön ja SYKEN alaisuuteen organisoituna. Riippumattomien laadunvalvojien joukko Suomessa on varsin pieni ja SYKEN alaisuudessa myös muut kaatopaikkarakentamisen osapuolet voisivat olla kiinnostuneita koulutuksesta. Vaarana voi olla, että FISEn alaisuudessa osallistuminen jää varsin laimeaksi.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaatopaikkojen elinkaari on pitkä ja potentiaaliset haitalliset ympäristövaikutukset ovat vakavia. Kierrätyksen ja jätteenpolton lisääntyessä ajatukset suuntaavat jo yhteyskuntaan, jossa kaatopaikkoja on hyvin vähän. Suunta on oikea mutta tosiasia on, että kaatopaikkoja tarvitaan edelleen. Osa kotitalousjätteestä päätyy edelleen kaatopaikoille ja jätteenpolton lisääntyessä myös tuhkalle tarvitaan loppusijoituspaikka. Lisäksi esimerkiksi kaivosteollisuuden lisääntyessä myös tarve loppusijoitukselle kasvaa.

Kaatopaikkahankkeessa laadunvalvonta ja -varmistus ovat ne työkalut, joilla pyritään varmistamaan, että oikea materiaali on valittu oikeaan paikkaan ja rakenteet ovat rakennettu ja suojattu oikein. Laadunvalvontaa tekee työn tai materiaalin tekijä, kun taas laadunvarmistusta työn tai materiaalin tarkastaja. Tutkimukset osoittavat, että laadunvarmistuksella on tärkeä merkitys kaatopaikan tiivistysrakenteiden toimivuuden kannalta. Erään tutkimuksen mukaan esimerkiksi geomembraaniasennuksissa erittäin tiukalla laadunvarmistuksella saadaan eliminoitua lähes kaikki reiät.

Laadunvarmistuksessa henkilöpätevyudet ovat tärkeässä roolissa. Kaatopaikkahankkeen suunnittelu, rakentaminen ja valvonta tulisi olla ammattilaisten käsissä. Ympäristölupaehdoissa edellytetään yleensä riippumattoman laadunvalvojan käyttöä, jonka tehtävä on varmistaa, että kaatopaikkahanke on rakennettu suunnitelmien mukaisesti ja se täyttää ympäristöluvassa määritetyt ehdot. Yleensä riippumaton laadunvalvoja otetaan kaatopaikkahankkeeseen vasta urakoitsijan valinnan jälkeen. Laadunvarmistuksen kannalta olisi parempi, että pätevä ja asiantunteva riippumaton laadunvalvoja olisi mukana kaatopaikkahankkeessa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jopa jo yleissuunnitelmavaiheessa mutta viimeistään ennen urakkatarjousvaihetta.

Ammattitaitoisen ja pätevän riippumattoman laadunvalvojan tulee hallita sekä mineraalisten tiivistysrakenteiden että geosynteettisten tuotteiden laadunvarmistus, jotka vaativat laajaa tietämystä niiden ominaisuuksista ja testauksesta. Esimerkiksi Saksassa mineraaliselle tiivistysrakenteelle on oma laadunvarmistaja ja geosynteettisille rakenteille omansa. Suomessa riippumattomille laadunvalvojille tarvitaankin koulutusta ja sertifiointiohjelma, jolla pätevyys voidaan todentaa. Riippumattomien laadunvalvojien sertifiointin tavoitteena on, että kaatopaikkarakentamiseen saadaan ammattilaisia, jotka ymmärtävät eri materiaalien ominaisuudet ja testaustulokset, pystyvät perustelemaan ne ja havainnoimaan poikkeamia sekä ymmärtämään poikkeamien vaikutukset tiivistysrakenteiden toimintaan.

Rakennuttajille, urakoitsijoille ja ympäristökeskuksille tehtyjen kyselytutkimuksien mukaan kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutusta tarvitaan kaikille osapuolille, eikä pelkästään riippumattomille laadunvalvojille. Riippumattomien laadunvalvojen sertifiointia pitivät kyselytutkimuksien mukaan tärkeänä etenkin rakennuttajat ja ympäristöviranomaiset. Ympäristökeskusten vastaajat olivat myös valmiita liittämään riippumattomien laadunvalvojen sertifiointiin osaksi ympäristölupaehtoja, kun sertifioituja riippumattomia laadunvalvoja on riittävä määrä. Kyselytutkimuksissa kävi ilmi, että riippumattomien laadunvalvojen sertifiointi tulisi koostua soveltuvasta työkokemuksesta, tutkintovaatimuksesta, kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksesta ja loppukokeesta. Kyselytutkimuksen mukaan koulutuksen järjestäjäosapuolella ei ollut suurta merkitystä. Toivottiin vain, että koulutuksen järjestäjät ovat asiantuntevia ja päteviä.

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen tulee olla järjestetty niin, että kaikki kaatopaikkahankkeen osapuolet voivat osallistua siihen. Tärkeää olisi, että riippumattomien laadunvalvojen lisäksi erityisesti suunnittelijat ja lupaviranomaiset osallistuisivat koulutukseen. Myös urakoitsijoille ja rakennuttajien edustajille laadunvarmistuskoulutus on hyödyllistä, koska sillä voidaan luoda yhteinen käytäntö, käsitteistö ja ymmärrys eri kaatopaikkahankkeen vaiheisiin liittyvistä prosesseista. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen tulee sisältää sekä mineraalisten tiivistysrakenteiden että geosynteettisten tuotteiden laadunvarmistus. Koulutuspäiviä tarvitaan luultavimmin neljästä kymmeneen, jotta aihealueet saadaan käsiteltyä riittävän laajasti. *Liitteessä 3* on esitetty ehdotus laadunvarmistuskoulutuksen sisällöstä, jonka pohjana on käytetty USAlaisten riippumattomien laadunvalvojen sertifiointikoulutusta. Hakijoiden, jotka haluavat riippumattoman laadunvalvojan sertifiointiin, tulee suorittaa koko laadunvarmistuskoulutuspaketti, mutta suunnittelijat, AVI:n ja ELY:n edustajat, urakoitsijat ja rakennuttajien edustajat voivat valita koulutuksesta haluamansa osat alueet. Varsinainen riippumattoman laadunvalvojan pätevyys myönnetään, kun hakijalla on soveltuva työkokemus, perustutkintovaatimus täyttyy ja loppukoe on suoritettu laadunvarmistuskoulutuksen lisäksi. Soveltuvaksi työkokemukseksi voidaan katsoa toimiminen vaativissa kaatopaikan laadunvalvontatehtävissä. Työkokemusta kyselytutkimusten perusteella tulisi olla kahdesta viiteen vuoteen. Perustutkintovaatimus tulisi olla ammattikorkeakoulututkinto tai sitä korkeampi sisältäen maa- ja pohjarakentamiseen sekä geotekniikkaan liittyviä opintoja.

Riippumattoman laadunvalvojan sertifiointiin myöntäjätaho voi olla joko FISE Oy tai ympäristöministeriön ja SYKEN alainen sertifiointielin. Sertifiointi voisi olla voimassa kahdeksan vuotta ja sertifiointin uusiminen tulisi suorittaa ennen voimassaoloajan umpeutumista. Sertifiointiin olisi hyvä sisällyttää ylläpitokoulutusvaatimus esimerkiksi kerran vuodessa päivän koulutus, jossa sertifioidut riippumattomat laadunvalvojat voisivat vaihtaa kokemuksiaan ja ajatuksiaan sekä saavat ajantasaista tietoa kaatopaikkarakentamisesta.

Tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen järjestämisen edellytys on pätevien ja ammattitaitosten kouluttajien löytäminen sekä laadukkaan koulutuspaketin luominen. Tulevaisuuden haasteiksi jää varsinaisen täydennyskoulutuspaketin luominen. Geosyn-teettitoiminta Suomessa on vielä lapsenkengissä ja tietoa tarvitaan ulkomaisilta yhteis-työkumppaneilta. Näiden kontaktien luominen ja yhteyshenkilöiden hakeminen vie oman aikansa.

Kaatopaikan tiivistysrakenteiden materiaalien hyväksymiseen tarvitaan selkeämpiä ohjeita. Yksi menettelytapa on VTT:n kehittämä tuotehyväksyntämenettely. Toinen tapa on laatia eri materiaaleista yksityiskohtainen laadunvarmistusohjeistus, jossa otetaan huomioon eri materiaalien ominaisuudet ja niiden tarvittavat laadunvarmistustestaukset. Nämä ohjeet voisi julkaista esimerkiksi SYKEN oppaana. AVI voisi näin ollen ohjeistaa rakennuttajaa ja urakoitsijaa, miten laadunvarmistus tulee suorittaa. Tämä luultavasti yhtenäistäisi myös lupapäätösten linjaa. Pohjaksi tarvitaan selkeitä toiminnallisia vaatimuksia, joilla eri materiaalien vastaavuutta voidaan verrata. Tämä helpottaisi myös sivutuotteiden ja geosyn-teettisten tuotteiden hyväksyntää rakennemateriaaleiksi. Tulevai-suudessa myös geomembraaneille olisi hyvä saada NorGeoSpecin tapainen menettely ja vaatimus ulkopuolisen testauslaitoksen suorittamista varmistusnäytteidenotosta.

LÄHTEET

AEL. Ympäristönäyttteenottajien pätevyitysmiskoulutus AEL:ssä. [WWW]. [Viitattu 12.11.2009]. Saatavissa:

<http://www.ael.fi/koulutustarjonta/laboratoriotekniikka/taito/kurssintiedot/?ala=3&pid=712966699&aid=710599400&cid=715813305>

ASTM D4439. 2004. Standard Terminology for Geosynthetics

ASTM D5890. 2006. Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners

ASTM D5891 - 02(2009) Standard Test Method for Fluid Loss of Clay Component of Geosynthetic Clay Liners

Bagchi, A. 2004. Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management. Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 3rd Edition. ISBN: 9780471254997. pp. 696

BAM, Federal Institute of Materials and Testing. 1999. Certification Guidelines for Plastic, Geomembranes Used to Line Landfills and Contaminated Sites. [WWW]. [Viitattu 4.5.2010]. Saatavissa:

http://www.bam.de/en/service/amtl_mitteilungen/abfallrecht/abfallrecht_medien/gm_certification_guidelines.pdf

BAM, Federal Institute of Materials and Testing. 2009. Richtlinie für Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle beim Einbau von Kunststoffkomponenten und –bauteilen in Deponieabdichtungssystemen. [WWW]. [Viitattu 15.5.2010]. Saatavissa:

www.bam.de/de/service/amtl_mitteilungen/abfallrecht/index.htm

Bonaparte, R., Daniel, D., and Koerner, R. 2002. Assessment and Recommendations for Improving the Performance of Waste Containment Systems. CR-821448-01-0, Environmental Protection Agency, Washington, DC, pp. 1039

Bräcker, W. 2006. Fremdprüfung beim deponiebau. AbfallwirtschaftsFakten 14. [WWW]. [Viitattu 4.5.2010]. Saatavissa:

www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=11417&article_id=52057&psmand=37

Burkhardt, G.U., Egloffstein, T. 2010. Asphalt liners in landfill construction. Construction for a Sustainable Environment. London. Sarsby & Meggyes (eds.) 2010 Taylor & Francis Group. pp. 101- 109. ISBN 978-0-415-56617-9

CEN/TR 15019. 2005. Geotextiles and geotextile-related products. On-site quality control. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS.

CSWIP- certification. 2007. Document No. CSWIP-PW-6-96 Requirements for the Certification of Plastics Welders. [WWW]. [Viitattu 2.3.2010]. Saatavissa: http://www.cswip.com/pdfs/cswip_pw_6_9_6_6th_edition_April_2007.pdf

Daniel, D. E. 1993. Geotechnical Practice for Waste Disposal. Chapman & Hall. London. ISBN 0 412 35170 6. pp. 683

Daniel, D. E. Koerner, R. M. 2007. Waste Containment Facilities, Guidance for Construction Quality Assurance and Construction Quality Control of Liner and Cover Systems. Virginia. ASCE. Second Edition ISBN 13: 978-0-7844-0859-9. pp. 352

Egloffstein, T. A. 2001. Natural bentonites—influence of the ion exchange and partial desiccation on permeability and self-healing capacity of bentonites used in GCLs Geotextiles and Geomembranes, Volume 19, Issue 7, September 2001, pp. 427-444

Environmental Agency, UK. 2009a. LFE4- Earthworks on landfill sites, Designing, constructiong and quality assuring compacted clay liners. [WWW]. [Viitattu 9.2.2010]. Saatavissa: <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0409BPNF-e-e.pdf>

Environmental Agency, UK. 2009b. LFE10- Using bentonite enriched soils in landfill engineering. [WWW]. [Viitattu 9.2.2010]. Saatavissa: <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0409BPNW-e-e.pdf>

FISE Oy, Rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpatvyydet. 2009. FISE käsikirja 2009. ISSN 1796-9050

GRI Standard GC8. 2001. Standard Guide for Determination of the Allowable Flow Rate of a Drainage Geocomposite. Geosynthetic Research Institute. [WWW]. [Viitattu 2.3.2010]. Saatavissa: <http://www.geosynthetic-institute.org/grispeccs/gc8pp.pdf>

GRI-GCL3. Powerpoint tutorial. GRI-GCL3 Spesifications geosynthetic clay liners (GCLs). Geosynthetic Research Institute. [WWW]. [Viitattu 15.4.2010]. Saatavissa: <http://www.geosynthetic-institute.org/grispeccs/gcl3pp.pdf>

GRI-GCL3. 2005. Test Methods, Required Properties, and Testing Frequencies of Geosynthetic Clay Liners (GCLs). Geosynthetic Research Institute. [WWW]. [Viitattu 15.4.2010]. Saatavissa: <http://www.geosynthetic-institute.org/grispeccs/gcl3.pdf>

GRI-GM13. 2009. Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes. Geosynthetic Research Institute. [WWW]. [Viitattu 21.4.2010]. Saatavissa: <http://www.geosynthetic-institute.org/grispeccs/gm13.pdf>

GRI Specification GM10. 2006. "The Stress Crack Resistance of HDPE Geomembrane Sheet". Geosynthetic Research Institute. [WWW]. [Viitattu 21.4.2010]. Saatavissa: <http://www.geosynthetic-institute.org/grispeccs/gm10.pdf>

Geosynthetic Institute (GSI). 2010. Inspector Certification Exams. [WWW]. [Viitattu 19.3.2010]. Saatavissa: <http://www.geosynthetic-institute.org/inspector.htm>

Guyonnet, D., Touze-Foltz N., Norotte V., Pothier C., Didier G., Gailhanou H., Blanc P., Warmont F. 2009. Performance-based indicators for controlling geosynthetic clay liners in landfill applications. *Geotextiles and Geomembranes* 27 (2009). pp. 321-331

Huhtala, H. 2009. Kyselyn suunnittelu ja toteutus, luentoaineisto. Kyselytutkimuksen kurssi 23–30.11.2009. Jyväskylän Yliopisto

Hämäläinen, J. 2006. Laadunvalvonnan pelisäännöt ja roolit viranomaisen kannalta. Laatu kaatopaikkojen eristerakentamisen laadunvalvontaan, Ygoforum seminaari 19.10.2006. [WWW]. [Viitattu 24.2.2010]. Saatavissa: www.ygoforum.fi/jyrkih.pdf

Hämäläinen, J., Gustafsson, J., Hellstén, P., Nystén T. 2005. Natriumkloridin vaikutus mineraalisten luiskasuojauksien vedenläpäisevyyteen. Suomen ympäristökeskus. Edita Prima Oy, Helsinki 2005. ISBN 952-11-2012-6 Saatavissa: www.ymparisto.fi/de_fault.asp?contentid=148574&lan=FI

The International Association of Geosynthetic Installers (IAGI). 2009. About IAGI. [WWW]. [Viitattu: 6.5.2010]. Saatavissa: <http://www.iagi.org/About.aspx>

IDEM, Indiana Department of Environmental Management, Office of Land Quality. 2000. Construction quality control and construction quality assurance of clay liner/final cover. Guidance document. [WWW]. [Viitattu 11.2.2010]. Saatavissa: www.in.gov/idem/files/la-018-gg.pdf

Jones, R. 2010. Short Course on Quality Control for Geomembrane Installations. Training Lecture. 9th International Conference on Geosynthetics. May 23-27.5.2010. Guarujá, Brazil

NorGeoSpec 2002. A Nordic system for specification and control of geotextiles in roads and other trafficked areas. SINTEF, VTT

Leppänen M. 2006a. Pohjarakenne, työnaikainen laadunvalvonta. Ygoforum, kommenttipyyntö. [WWW]. [Viitattu: 10.4.2010]. Saatavissa: www.ygoforum.fi/tliite4.pdf

Leppänen M. 2006b. Pintarakenne, ennakkokokeet ja materiaalitiedot. Ygoforum, kommenttipyyntö. [WWW]. [Viitattu: 8.4.2010]. Saatavissa: www.ygoforum.fi/tliite1.pdf

Leppänen M. 2010. Henkilökohtainen tiedonanto 17.5.2010

Leppänen, M., Vahanne, P., Ahonen, J. 2006 Tiivistysrakenteiden laadunvalvonta. [WWW]. [Viitattu: 15.2.2010]. Saatavissa: <http://www.ygoforum.fi/tiivlaat.pdf>

Müller, W. W., Simon, F. 2004. Standard and alternative landfill capping design in Germany. Environmental Science & Policy, Volume 7, Issue 4, August 2004, pp. 277-290

Narejo, D., Allen S. 2008. Drainage Geocomposites in Landfill Engineering. One Day Short Course. TRI Environmental, Inc

National Research Council, Committee to Assess the Performance of Engineered Barriers. 2007. Assessment of the performance of engineered waste containment barriers. National Academies Press. ISBN: 0-309-10810-1, pp. 134. Saatavissa: <http://www.nap.edu/catalog/11930.html>

Naturvårdverket. 2008. Kvalitetssäkring av bottenkonstruktion och sluttäckning i en deponi. Vägledning till 32 och 37 § i deponeringsförordningen (2001:512). Rapport 5909, [WWW]. [Viitattu 18.5.2010]. Saatavilla: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5909-5.pdf>

PANK-4113. 2002. Päällysteen tiheys, DOR-menetelmä. Päällystealan neuvottelukunta

PANK-4122. 2008. Asfalttipäällysteen tyhjättila, päällystetutkamenetelmä. Päällystealan neuvottelukunta

PANK-4212. 1997. Asfalttimassat ja -päällysteet, Päällysteominaisuudet, Vedenläpäisevyys. Päällystealan neuvottelukunta.

Phaneuf, R. 2005. Landfill Construction QC/QA, "Can It Be Done Better?" ASTSWMO 2005 State Solid Waste Managers Conference. [WWW]. [Viitattu 11.5.2010]. Saatavissa: www.astswmo.org/files/meetings/2005SWConference/Phaneuf.pdf

Peggs, I. D. 2004. Assuring the Quality of HDPE Geomembrane Liners: An International Perspective, I-CORP INTERNATIONAL, Inc. [WWW]. [Viitattu 2.12.2009]. Saatavissa http://geosynthetica.net/tech_docs/AssuringQualityHDPEIDP.asp

Peggs, I. D. 2005. HDPE Geomembrane CQA Plan (Construction Quality Assurance). I-CORP INTERNATIONAL, INC. [WWW]. [Viitattu 17.2.2010]. Saatavissa: http://www.geosynthetica.net/tech_docs/CQA/HDPE/TOC_HDPE_CQA.asp

Perttinä, V-P. 2009. Sähköiset vuodonhavaitsemisjärjestelmät. SGY, Ympäristögeotekniikkatoimikunta, Teemailtapäivä 13.5.2009. Seminaariaineisto. Sito Rakennuttajat Oy

Ramboll. 2007. Kukkuroinmäen jätekeskuksen laajennus. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. [WWW]. [Viitattu: 3.12.2009]. Saatavissa: <http://projektit.ramboll.fi/yva/lassila.tikanoja/joutseno-yva/YVA-selostus-valmis.pdf>

Rathmayer, H., Juvankoski, M. 1992. Geosynteettiset tuotteet georakentamisessa. Suomen geoteknillinen yhdistys ry. Helsinki, Rakennustieto. ISBN: 951-682-249-5. 105s

Richardson, G., Richard, T., Erickson, R. 2002. GCL design series- Part 3: GCL installation and durability. [WWW]. [Viitattu 9.2.2010]. Saatavissa: www.rthil.com/GSE_Part3.pdf

Rissanen, J. 2009. Laatu näytteenottoon: Vedenlaadun näytteenoton standardisointi ja ympäristönäytteenottajien henkilösertifiointi, SYKE. [WWW]. [Viitattu 2.12.2009]. Saatavissa: www.evira.fi/attachments/valvira_20091006_rissanen.pdf

Ronkainen, N. 2009. Teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttö kaatopaikkarakenteissa-kansainvälinen vertailu. Diplomityö. Oulu. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio, Oulun Yliopisto. Saatavissa: www.jly.fi/sivutuotteet_kprakenteissa.pdf

Rowe R.K. 2005. Long-term performance of contaminant barrier systems. Géotechnique 55, No. 9. pp. 631-678

Sarkkila, J., Kuusiniemi R., Forstén L., Manni-Rantanen L. 2006. Asfalttiset ympäristönsuojaurakenteet. Ympäristöopas. Vammala. Suomen ympäristökeskus (SYKE). ISBN 952-11-2444-X (PDF). 105 s. Saatavissa: www.ymparisto.fi/julkaisut.

SFS-EN ISO 9000. 2005. Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN ISO/IEC 17024: 2003. Conformity assessment. General requirements for bodies operating certification of persons. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 12697-5. 2003. Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 5:Asfalttimassan maksimitiheyden määrittäminen. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 12697-6 + A1:en. 2007. Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 6: Asfaltti-päällysteen tiheyden määrittäminen hydrostaattisella menetelmällä. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 13067: 2003. Plastics welding personnel - Qualification testing of welders - Thermoplastics welded assemblies. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS EN 13249/A1:2005 Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Toiminnalliset vaatimukset teiden ja muiden liikennöityjen alueiden rakentamisessa. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS EN 13257: 2001. Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Toiminnalliset vaatimukset kaatopaikkojen rakentamisessa. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS EN 13493: 2005 Synteettiset geeristeet. Toiminnalliset vaatimukset kiinteän jätteen varastojen ja kaatopaikkojen rakentamisessa. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS. 2004. Rakennustuotteiden CE-merkintä. [WWW]. [Viitattu 29.3.2010]. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/files/ce-cpd.pdf>

SFS. 2005. Standardien tarkoitus ja käyttö. [WWW]. [Viitattu 18.5.2010]. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/palvelut/oppilaitoksille/tarkoitusjakaytto.html>

Sipilä, L. 2010. Kaatopaikkarakenteiden laadunvalvonta. Diplomityö. Tampere. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Saatavissa: www.tut.fi

Sost E. 2010. Kalvojen ja salaojamattojen laadunvarmistus tehtaalla. Suullinen tiedonanto. Kaitoksen geosyntetipäivät 17-18.3.2010

Suomen ympäristökeskus (SYKE). 2002. Ympäristöhallinnon ohjeita 36. Kaatopaikan tiivistysrakenteet. edit. Leppänen M. Helsinki. ISBN 952-11-0232-2. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=12513&lan=FI>

Suomen Ympäristökeskus (SYKE). 2008. Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. Ympäristöhallinnon Ohjeita I. Helsinki. ISBN 978-952-11-3150-9. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=90466>

Suomen Ympäristökeskus (SYKE). 2009. Ympäristönäytteenottajan henkilösertifiointi. [WWW]. [Viitattu: 19.11.2009]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=3290&lan=FI>

Tammirinne, M., Juvankoski, M., Laaksonen, R., Rathmayer, H. 2004a. Pohjaveden suojausrakenteiden käyttöikämitoitus ja tuotehyväksyntä. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo. ISBN 952-5004-50-3. 253 s.

Tammirinne, M., Juvankoski, M., Laaksonen, R., Rathmayer, H. 2004b. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden ja -materiaalien tuotehyväksyntä. Menettelytapaopas vapaaehtoiselle tuotehyväksynnälle. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo. ISBN 952-5004-51-1. 42 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2004/menettelytapaohje.pdf>

Texas Research Institute (TRI). GSI CQA Technician Certification. [WWW]. [Viitattu 25.1.2010]. Saatavissa: <http://geosyntheticstesting.com/reg/docs/CQA-Training%20Week%20Invitation-April2010.pdf>

Tilastokeskus. Tieto tiivistyy tunnuslukuihin. Keskihajonta ja varianssi. [WWW]. [Viitattu 10.2.2010]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/tup/verkkokoulu/data/tt/02/index.html>

The Welding Institute (TWI). FAQ: What constitutes acceptable welder qualification? [WWW]. [Viitattu: 9.12.2009]. Saatavissa: <http://www.twi.co.uk/content/faqtti001.html>

Trisoplast. 2010. Main advantages of Trisoplast. [WWW]. [Viitattu: 5.5.2010]. Saatavissa: <http://www.trisoplast.com/cms/view/28>

Vehkalahti, K. 2008. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Tammi, Vammala. ISBN 978-951-26-5760-5. 223 s.

Vilen, P. 2007. Tuotesertifiointimenettely luvittajan näkökulmasta. Kaatopaikkojen suojausmateriaalien tuotesertifiointi - teoriasta käytäntöön 18.9.2007, Ygoforum seminaari. [WWW]. [Viitattu 15.3.2010]. Saatavissa: <http://www.ygoforum.fi/vilen07.pdf>

VNp 861/97 Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 4.9.1997/861

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Eskola, P., Vahanne, P., Mäkelä, E., Vikman, M., Venelampi, O., Hämäläinen, J., Frilander, R. 2004. Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus. Espoo. VTT:n tiedotteita 2246. 84 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2246.pdf>.

Witt K.J. 2010. Mineral barrier in landfill capping systems- Conditions and durability. Construction for a Sustainable Environment. London. Sarsby & Meggyes (eds.). Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-415-56617-9

YSE 98. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot

Zanzinger, H. 2008. Evaluation of clay geosynthetic barriers in landfill cover systems. Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, June 17 – 20.2008 Shanghai, China. Hangzhou. Zhejiang University Press 2008. pp. 496-501

LAATUSUUNNITELMAN SISÄLTÖÄ; MINERAALINEN TIIVISTYSKERROS

YLEISTÄ	SELITE	Asiakirja/tekijä
Pätevyudet ja vastuut	Rakennuttaja, suunnittelija, urakoitsija, aliurakoitsija Laadunvalvonta ja -varmistus henkilöstö	Urakka-asiakirja/ rakennuttaja
Valvonta ja hyväksymismenettelyiden järjestäminen rakentamisen aikana		Työselitys/suunnittelija
SUUNNITTELU		
Rakentamisen spesifikaatiot	Materiaalin laatuvaatimukset Rakentamismenettelmät - käytettävä kalusto Tiivistämsspesifikaatiot - parannettu vs. standardi proctor-tiiviys, kerroksen paksuus, ylityskertojen määrä	Työselitys/suunnittelija
Maa-aineksen ominaisuuksien parantaminen ja sen spesifikaatiot	Esim. bentoniitin lisääminen	Työselitys/suunnittelija
Suunnittelun toleranssit rakentamiselle	Sallitut mittapoikkeamat	Työselitys/suunnittelija
Stabiilisuuslaskelmat luiskille ja rakenteille		Suunnittelija
Tarvittaessa osoitettava maatiivistyskerroksen vastaavuus		Urakoitsija
Kuvaus työn aikana suoritettavista valvontatehtävistä, näytteiden otto, näytteiden otto menetelmät ja niiden tiheys		Työselitys/suunnittelija
Hyväksymis- /hylkäämiskriteerit		Työselitys/suunnittelija
<i>Suunnitteliasiakirjojen tarkastus</i>	Riippumaton laadunvalvoja voi tarkastaa	Työselitys, piirustukset/ suunnittelija
URAKOITSIJA		
Ongelmien ratkaisu prosessit		Laatusuunnitelma/urakoitsija
Korjaavat toimenpiteet	Miten ongelmat ratkaistaan, jos joku osa työstä ei täytä viranomaismääräyksiä ja suunnittelustandardeja	Laatusuunnitelma/urakoitsija
Kuivumisen ja jäätymisen estäminen		Laatusuunnitelma/urakoitsija
Toimenpiteet asennuksen jälkeen		Laatusuunnitelma/urakoitsija
Toimenpiteet johtuen poikkeavasta säästä		Laatusuunnitelma/urakoitsija
Kalibraatiotodistukset	Mittalaitteilla voimassa olevat kalibraatiotodistukset	Laatusuunnitelma/urakoitsija
Mittausuunnitelma		
Työturvallisuussuunnitelma		
<i>Urakoitsijan laatusuunnitelman tarkastus</i>	Rakennuttaja ja riippumaton laadunvalvoja tarkastavat	
Rakentamisen aikainen dokumentointi	Työmaan olosuhteiden, tehtyjen toimenpiteiden ja testauksien kirjaaminen	Työmaapäiväkirja

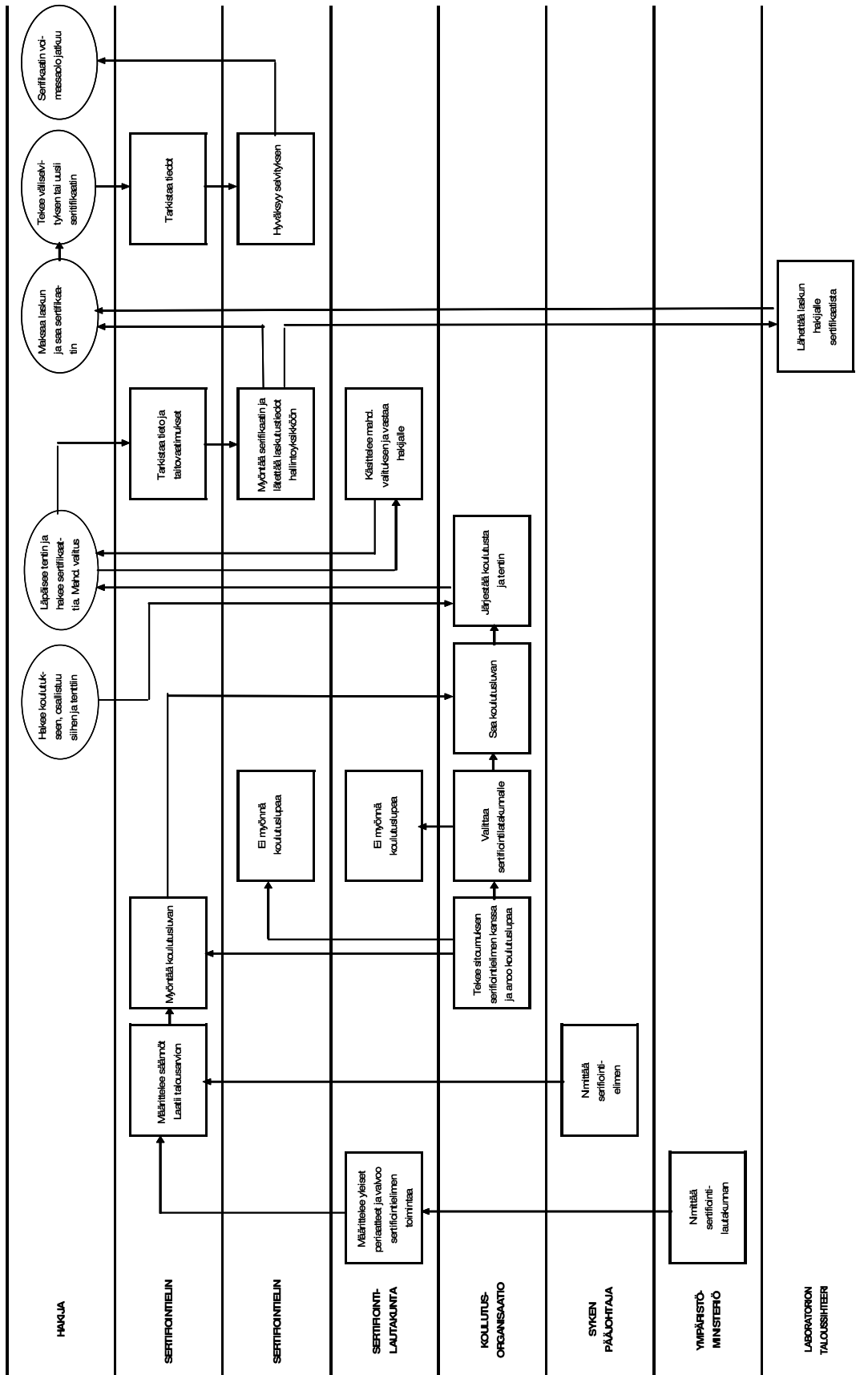
ENNAKKOKOKEET JA MATERIAALIEN ARVIOINTI	SELITE
Vähintään seuraavat seikat tulee selvittää ja tarkastaa:	
1) Suunnitelmien ja spesifikaatioiden tarkastelu	Suunnittelija, urakoitsija, riippumaton laadunvalvoja, rakennuttaja
2) Runkoaineen arviointi	Rakeisuus, konsistenssirajat, tiiviys (proctor), vesipitoisuus Laboratoriossa vedenläpäisevyys
3) Lisäaineen arviointi, jos tarvitaan	Esim. bentoniitti (bentoniittipitoisuus, rakeisuus, paisumisindeksi, nestehukka)
4) Seossuhteiden määrittely, jos lisäainetta käytetään	Esim. runkoaine, bentoniitti ja vesi
5) Materiaalin sopivuuden arviointi	Materiaalin tasalaatuisuus (rakeisuus ja sen vaihtelu sekä vesipitoisuus ja sen vaihtelu) Pysyvyys (karbonaattipitoisuus, humuspitoisuus, biohajoavuus, muut liukenevat) Savimineraalien määrä (rakeisuus) Soveltuvuus kalvon asennusalustaksi (maksimiraekoko) Kiintotiheys
Huom! Varmista, että laboratorio käyttää standardoituja menetelmiä ja heillä on hyväksytty laatu järjestelmä	
KOEKENTÄ	SELITE
Koekentän rakentaminen ehdotetulla mineraalilla tiivistysmateriaalilla	
Rakentaminen ja dokumentointi	Varmistetaan, että haluttu tiivistysaste, vesipitoisuus ja vedenläpäisevyys saavutetaan Vedenläpäisevyys testataan sekä työmaalla että laboratoriossa Laadunvalvonta ja -varmistus dokumentoi tulokset osaksi loppuraporttia

MINERAALISEN TIIVISTYSKERROKSEN RAKENTAMINEN	SELITE
Maapohjan valmistelu	Kaikki pehmeä, orgaaninen tai muuten sopimaton aines poistetaan Halkeamien täyttö Pohjamaa ja sivuseinämät tulee olla muotoiltu niin, ettei lätäköitä tai lammikoita muodostu
Mineraalisen tiivistysrakennemateriaalin visuaalinen tarkastus	Esim. sekoitetun maabentoniitin silmämääräinen tarkkailu. Sopimaton materiaali tulee poistaa työmaalta. Muutokset materiaalissa kirjattava
Varmista, että käytetty materiaali vastaa spesifikaatioita	Käytetty materiaali on testattu laboratoriossa suunnitellulla seoksella ja materiaalin alkuperä vastaa työmaalla käytettyä
Tiivistyskerroksen asennus	Asennus kerroksittain Kerroksen paksuus riippuu: maan ominaisuuksista, tiivistyslaitteiston koosta ja tyypistä, tarvittavasta tiivistystehosta. Yleensä proctor tiiviyysaste: 95 standardi proctor ja 90 % parannettu proctor tulee saavuttaa. ≤ 5 % tiiviyysvaihtelu voidaan sallia, jos se ei kohdistu kerroksen yhteen osaan Tiivistyskalusto ja niiden tyypit, painot ja ylityskertojen määrä. Jokaisen kerrossegmentin jälkeen on suoritettava porrastus tai tehdä viistous, jolla minimoidaan vuotokohtien syntyminen
Vesipitoisuuden kontrollointi	Vettä voidaan joutua lisäämään tai vähentämään Optimivesipitoisuus tulee tarkastaa Kosteuden tulee olla jakaantunut tasaisesti koko maa-ainekseen
Tiivistysrakenteen segmenttien kii- laus	Pinnan rikkominen ja/tai kerrosten liittyminen toisiinsa on tärkeää vedenläpäisevyysarvon saavuttamisen kannalta Jos kerrosten liittymistä ei ole tehty hyvin, voi aiheutua horisontaalista vedenläpäisevyyden kasvua kerrosten rajapinnassa. Tätä voidaan estää: 1) rikkomalla edellisen kerroksen pinta lautasäeksellä tai muulla laitteella 2) vesipitoisuuden kontrollointi niin, että läheisten kerrosten kosteus vastaa suunnitteluarvoja
Kuivumisen kontrollointi	Jos tarpeellista, tulee suorittaa jätteen kanssa yhteensopivuustestaus tiivistysrakenteelle niin, että voidaan varmistua kemiallisesta kestävydestä halkeilulle Tiivistyskerroksesta tulee testata neste-, plastisuus- ja kutistumisrajat Tiivistysrakenteen voi muodostaa kuivumisesta johtuvia halkeamia asennuksen tai heti asennuksen jälkeen. Tämä voidaan estää asentamalla salaojamatto, suojaava kerros tai geomembraani savi tiivistyskerroksen päälle
Jäätyminen	Älä rakenna jäätyneelle maalle Lämpötilan laskiessa tiivistyskerrosta on hankala työstää ja tiivistää Alhaisissa lämpötiloissa on hankala saavuttaa haluttua tiivistysastetta ja vedenläpäisevyyttä Jäätyvän rakenteen pinta voi halkeilla ja maa kuivua suurena vedenläpäisevyyttä Tiivistysrakenteen tulee suojata maakerroksella
Asennuksen jälkeiset toimenpiteet	Tiivistysrakenteen tulee olla tasainen Varmistutaan mittauksin, että rakenne on oikean paksuinen, vaaditussa kaltevuudessa ja täyttää muut asetetut spesifikaatiot Mittausten dokumentointi Rakenne tulee peittää muovilla tai pintamaalla kuivumisen estämiseksi ennen seuraavaa työvaihetta

Lähde: SYKE: Olli Järvinen, 2008

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=118510&lan=fi>

YMPÄRISTÖNÄYTTÖVOTTAJAJEN SERTIFIKOINTIOMINNAN PROSESSIKAAVIO



KOULUTUKSEN SISÄLTÖ – EHDOTUS

1. Peruskurssi (1-2 päivää): Laadunvarmistuksen perusteet (osapuolten tehtävät, vastuut, käsitteistö), kaatopaikkarakentamisen ongelmakohtia, geosyntteettisten tuotteiden perusteita, mineraalisten tiivistyskerrosten perusteita
2. Syventävä kurssi (1-2 päivää): Mineraaliset tiivistysrakenteet ja bentoniittimatot
3. Syventävä kurssi (1-2 päivää): Geosyntteetit: mm. ominaisuudet, käyttökohteet, geomembraanien ja hitsaussaumojen testaus

PERUSKURSSI	SISÄLTÖ:
Kaatopaikkarakentamisen laadunvalvonnan ja -varmistuksen perusteita	Käsitteistö, osapuolten vastuut ja velvollisuudet, dokumentointi, kokoukset, näytteenottokeju
Lainsäädännön vaatimukset ja niiden ongelmakohdat	VNp 861/97, poikkeavat ratkaisut lainsäädännön kannalta
Geosyntteettisten materiaalien perusteita ja niiden valmistus ”Johdanto geosyntteettisiin tuotteisiin”	Polymeeristä tuotteeksi, materiaalien ominaisuuksia, materiaalien valmistustapoja, käyttötarkeitä
Mineraaliset tiivistysrakennemateriaalit ja niiden ominaisuudet	Materiaalit, hydrauliseen johtavuuteen vaikuttavat asiat, vesipitoisuus-tiheys -kriteerit, paksuus, kuormituksen vaikutus, tiivistyskerrosten liittyminen toisiinsa
Eristeasfaltti	Ominaisuudet, käyttö
Kaatopaikkarakentamisen ongelmakohtia	Suunnittelu, rakentaminen, yhteistyö valvojen kanssa, dokumentaatio
Tiivistysrakenteiden pitkäaikaiskestävyys	Kuivatuskerroksen tukkeutuminen, vuotovedet tiivistyskerroksen läpi, diffuusio, geomembraanien elinikä, bentoniittimattojen elinkaari
Teollisuuden sivutuotteet/ jätemateriaalit	Ympäristökelpoisuus, kaatopaikkakelpoisuus, valintakriteerit
Tiivistysrakentamisen suunnittelun perusteita	Suunnittelijan tehtävät laatuvaatimusten kannalta, lähtötiedot, materiaalien valinta, läpiviennit, ankuroinnit

SYVENTÄVÄ KURSSI MINERAALISET TIIVISTYSRAKEN- TEET JA BENTONIITTIMATOT	SISÄLTÖ:
Pohjaeristys ja pintaeristys	Yksinkertainen/kaksoisrakenne / yhdistelmä rakenne, vuodot maaperään, yhdistetty toiminta geomembraanin kanssa, kuivatuskerroksen + muiden kerrosten toiminta
Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen pohja- ja pintaeristykseen	Laitteet, maan esikäsitteily, vesipitoisuuden kontrollointi, seulonta, paakkujen kontrollointi, tiivistys, testaus
Pohja- ja pintaeristyksen mineraalisen tiivistyskerroksen laadunvarmistus	Laadunvarmistuksen periaatteet, laadunvarmistussuunnitelma, testit, havainnot, vesipitoisuuden testaus kentällä, tiheyden testaus kentällä, hydraulisen johtavuuden testaus, testaus tiheys, testauspisteiden sijainti, korjaavat toimenpiteet, lopullinen hyväksyntä
Bentoniittimatot	Kaupallisesti valmistetut bentoniittimatot, geosynteettiset materiaalit, bentoniittimattojen valmistus, valmistuksen laadunvalvonta, suositellut spesifikaatiot
Bentoniitti	Arvot ja testaukset bentoniitin laadulle, suositellut spesifikaatiot bentoniitille, kontaminaatiota kestävä bentoniitti
Bentoniittimattojen asennus	Kuljetus, käsittely, varastointi, alusmaan valmistelu
Tiiviit asfaltit	Arvot ja testaukset, laadunvarmistus
Suunnittelun kriittiset kohdat	Mm. detaljit, läpiviennit, luiskat

SYVÄNTÄVÄ KURSSI GEOSYNTEETIT	SISÄLTÖ:
HDPE, LLDPE, fPP geomembraanit	Tyypit ja spesifikaatiot, kuormaus/vastaanotto, purkaminen, varastointi ja asennus
MQC/MQA (Valmistuksen laadunvalvonta ja -varmistus)	Membraanien valmistuksen laadunvalvonta. Eri membraanien testausten erot
Rakentamisen aikainen laadunvarmistus ja -valvonta (CQA/CQC). Koesauma ja työnäyte.	Pohjamaan vaatimukset, hitsaussaumot, kuorinta- ja vetokokeet sekä venymä mittaukset, vauriotavat, kenttä- vastaan laboratoriotestaus
Geotekstiilit, geoverkot (geonets)/geokomposiitit, geoverkot (geogrids), putket, eroosion torjunta	Tyypit, spesifikaatiot, laivaus/vastaanotto, purkaminen, varastointi ja asennus
Suojaus ja peitto maa-aineksella	Rakeisuudet ja kerrospaksuudet
Laadunvarmistuksen paperityöt ja kirjaaminen	Dokumentaation tärkeys, yhteydenpidon kirjaus, esimerkkejä pöytäkirjanpidosta ja dokumentaatiosta, tarkastuslistat
Suunnittelun kriittiset kohdat	Läpiviennit, luiskat, ankkuroinnit
Sähköiset vuodontarkkailumenetelmät	