

FINNCAO OY

**FINNCAO-KUITUSAVET
PINTARAKENTEIDEN
TIIVISTEKERROKSISSA**

FINNCAO



SUUNNITTELU- JA MITOITUSOHJE

LOKAKUU 2001

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
MERKINNÄT	3
1 Johdanto	4
2 Finncao-kuitusavien luokittelu	5
3 Finncao-kuitusavien materiaaliominaisuudet	7
3.1 Ympäristökelpoisuus	8
3.2 Vesipitoisuus ja kuivatilavuuspaino	9
3.3 Lujuus-, muodonmuutos- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet	10
3.4 Hydrauliset ominaisuudet	13
3.5 Kaasunläpäisevyys	14
3.6 Biohajoavuus	14
4 Suunnittelu ja mitoitus	16
VIITTEET	19
LIITE 1: Finncao-kuitusavitiivistekerroksen rakentamisen yleinen työselitys	20

ALKUSANAT

Suomessa tuli voimaan syyskuussa 1997 valtioneuvoston päätös, joka käsittelee mm. kaatopaikkojen toiminnan lopettamiseen kuuluvia toimenpiteitä. Päätöksessä esitetään kaatopaikan pintarakenteita koskevia vaatimuksia, jotka ovat olleet keskeisenä lähtökohtana tämän ohjeen laadinnassa.

Massa- ja paperiteollisuudessa sivutuotteena muodostuvien kuitu- ja täyteainepitoisten lietteiden ominaisuuksia on selvitetty sekä kotimaisissa että ulkomaisissa tutkimuksissa. Tulosten perusteella näiden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus sekä muodonmuutos- ja vedenläpäisevyysominaisuudet tekevät näiden materiaalien käytön kaatopaikkojen pintarakenteiden tiivistekerroksissa mahdolliseksi.

Ohjeessa on esitetty Finncao-kuitusaville soveltuvat mitoitus- ja rakentamismenetelmät, jotka koskevat näiden materiaalien käyttöä kaatopaikkojen pintarakenteiden tiivistekerroksissa. Työn tilaajana oli Finncao Oy. Materiaalien geoteknisten ominaisuuksien tutkimukset on suoritettu Oulun yliopiston geotekniikan laboratoriossa Kauko Kujalan johdolla. Finncao-kuitusavien biohajoavuustutkimukset on suoritettu Envitop Oy:n laboratoriossa Jukka Palkon johdolla. Ohjeen kirjoittamisesta on vastannut Eero Huttunen. Ohjeen laatimista on valvonut ja ohjannut työryhmä, johon kuuluivat:

Projektipäällikkö Ari-Pekka Heikkilä, Finncao Oy
Toimitusjohtaja Jaakko Soikkeli, Finncao Oy
Toimitusjohtaja Jukka Palko, Envitop Oy
Dos. Kauko Kujala, Oulun yliopisto
Toimistopäällikkö Janne Huttunen, Suomen IP-tekniikka
Projektipäällikkö Eero Huttunen, Envitop Oy.

MERKINNÄT

c	koheesio (kPa)
ϵ	suhteellinen kokoonpuristuma (%)
h_{rak}	tiivistekerroksen paksuus rakentamisen jälkeen (mm)
h_{tav}	tiivistekerroksen paksuus käyttötilassa (mm)
k	vedenläpäisevyys (m/s)
p	tiivistekerrokseen yläpuolisista maakerroksista kohdistuva kuormitus (kPa)
w	vesipitoisuus (%)
ϕ	kitkakulma ($^{\circ}$)
γ_d	kuivatilavuuspaino (kN/m^3)
σ_f	puristuslujuus (kPa)

1 Johdanto

Pohjaveteen ja vesistöihin kulkeutuu haitallisia aineita liukoisessa muodossa suoto- ja valumavesistä. Kuormittajia ovat usein mm. kaatopaikat sekä saastuneet maa-alueet. Kuormituksen vähentämiseksi pyritään estämään veden pääsy haitallisia aineita sisältävälle alueelle suojarakenteilla. Näissä rakenteissa käytetään tavallisesti tiivistyskerroksia, joille on asetettu tapauskohtaisesti määräytyviä toiminnallisia vaatimuksia. Massa- ja paperiteollisuuden sivutuotteena muodostuvat puukuitua ja mineraalisia täyteaineita sisältävät lietteet ovat usein tähän tarkoitukseen soveltuvia materiaaleja. Nämä materiaalit ovat Finncao-kuitusavien raaka-aineena. Useissa tapauksissa ekologiset ja taloudelliset perusteet puoltavat sivutuotteiden käyttöä tiivistekerrosmateriaalina.

Tässä ohjeessa esitetään geotekniset suunnittelu- ja mitoitusperusteet Finncao-kuitusavien käytölle pintarakenteen tiivistyskerroksissa. Pintarakenteilla tarkoitetaan pohjavedenpinnan yläpuolelle sijoitettavia maarakenteita, joilla pyritään vähentämään sade- ja sulamisvesien kulkeutumista rakenteen alapuolelle. Tyypillinen esimerkki tällaisesta rakenteesta on kaatopaikan pintarakenne. Erityisesti yhdyskuntajätteen kaatopaikkojen pintarakenteiden tiivistekerroksen tehtävänä on suotovesimäärän vähentämisen ohella estää kaatopaikkakaasun purkautuminen ilmakehään. Ohjetta voidaan soveltaa myös muihin edellämainituin perustein pintarakenteeksi luettaviin rakenteisiin.

Kaatopaikan pintarakenteita koskeva voimassa oleva lainsäädäntö perustuu valtioneuvoston päätöksiin n:o 861 ja 1049 kaatopaikoista, jotka on annettu vastaavasti syyskuussa 1997 ja marraskuussa 1999 /b,c/. Päätöksessä n:o 861 esitetään kaatopaikan pintarakenteen rakennekerrokset ja niiden vähimmäispaksuudet, jotka määräytyvät jätetäytön laadun perusteella. Valtioneuvoston päätöksen lisäksi aiheesta on julkaistu oppaita, joista viimeisin on luonnosvaiheessa (v. 2001) oleva ”Kaatopaikkojen lopettamisopas”.

Finncao-kuitusavien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet on selvitetty laboratorio- ja kenttäkokeilla. Kuitusavelle soveltuvia rakentamismenetelmiä ja rakenteiden toimivuutta *in situ*- olosuhteissa on selvitetty useissa koerakentamishankkeissa, joissa kuitusavea on käytetty tiivistekerroksena. Näistä 2-3 vuotta sitten rakennetuista koerakenteista on otettu laboratoriokokeisiin näytteitä, joiden materiaaliominaisuudet ovat osaltaan ohjanneet ja varmentaneet tämän ohjeen sisältöä. Kaikille Finncao-kuitusaville on ominaista pieni vedenläpäisevyys. Materiaalit sisältävät puuaineksesta muodostuvaa kuitumaista orgaanista ainetta, jonka ominaisuudet vaikuttavat materiaalin kuormitus- ja painumiskestävyyteen tiivistyskerroksen toiminnan kannalta suotuisasti. Ympäristökelpoisuustutkimuksien mukaan Finncao-kuitusavia voidaan käyttää maarakentamisessa rajoituksitta. Kuitusavien orgaanisen aineksen biohajoamisen vaikutukset otetaan huomioon pintarakenteen tiivistyskerroksen suunnittelussa.

2 Finncao-kuitusavien luokittelu

Kuitusavet ovat massa- ja paperiteollisuudessa sivutuotteena muodostuvaa kuitu- ja täyteainepitoista lietettä. Kuituja ja paperin täyteaineita joutuu jätevesiin paperinvalmistuksen eri vaiheissa. Puun kuorinnasta, haketukselta, massan valmistuksesta, lajittelusta ja käsittelystä, veden poistosta paperikoneella, täyteaineiden valmistuksesta, paperin pinnoituksesta ja joskus häiriötilanteista syntyy kuitupitoisia vesijakeita. Puu- ja metsäteollisuudessa muodostuu vuosittain Suomessa noin miljoona tonnia kuitu- ja siistauslietteitä, joka on 400 000 tonnia kuiva-aineksi laskettuna (vuosi 1997) /d/.

Finncao-kuitusavet ovat UPM-Kymmene Oyj:n ja M-Real Oyj:n sekä Metsä-Tissue Oyj:n tehtaiden sivutuotteita. UPM-Kymmene Oyj:n tehtailla kuitusavea muodostuu Kymen, Jämsänkosken, Lohjan, Kaukaan, Voikkaan ja Kaipolan tehtailla, M-Real Oyj:n Äänekosken, Kankaan, Kirkniemen sekä Metsä Tissue Oyj:n Mäntän tehtailla. Materiaalien väri on valkoinen, harmaa, vaaleanvihreä, -keltainen tai -ruskea koostumuksesta riippuen. Finncao-kuitusavet jaetaan tässä ohjeessa prosessiperusteisesti kolmeen ryhmään (*taulukko 1*). Tämä ryhmittely on tehty tätä ohjetta varten ottaen huomioon ne näkökohdat, jotka liittyvät materiaalien käyttämiseen pintarakenteen tiivistyskerroksissa:

- ryhmä A: kuitulietteet, joita muodostuu mekaanista massaa raaka-aineena käyttävillä paperitehtailla
- ryhmä B: kuitulietteet, joita muodostuu sellua raaka-aineena käyttävillä paperitehtailla
- ryhmä C: siistauslietteet.

Ryhmiiin A ja B kuuluvia kuitulietteitä muodostuu valmistusprosessista riippuen alle neljä prosenttia paperintuotannon kuiva-ainemäärästä. Liette otetaan talteen jäteveden puhdistuksen mekaanisessa esiselkeytyksessä ja sitä käsitellään vedenerotuslaitteella (suotonauha, ruuvipuristin tai linko), jolloin kuiva-aineksi saadaan 25 – 55 %. *Mekaanista massaa raaka-aineena käyttävillä paperitehtailla* lietteessä on mukana kuitujen lisäksi täyteaineita (kaoliini, talkki, kalsiumkarbonaatti), ja päällystettyjä papereita valmistavilla tehtailla jonkin verran pastaa ja päällystyspigmenttejä. Lietteeseen voidaan sekoittaa pieni osa biolietettä, jolloin puhutaan sekalietteestä. *Sellua raaka-aineena käyttävillä tehtailla* lietteelle on ominaista runsas puupitoisten aineiden määrä ja alhainen ravinnepitoisuus. Tuhkapitoisuus vaihtelee eri tuotantoprosesseissa /d/.

Ryhmään C kuuluvaa *siistauslietettä* muodostuu siistattaessa (deinking) keräyspaperia uusiomassaksi. Siistausliete sisältää lyhyiden kuitujen lisäksi jät-paperista useimmiten vaahdotuksella poistettua painomustetta sekä täyte- ja päällystysaineita. Siistauslietettä syntyy 50 – 250 kg uusiomassatonna kohti. Siistauslietettä muodostuu vuosittain noin 250 000 tonnia, joka on n. 100 000 t 100 % kuiva-aineksi laskettuna. Nykyisillä kasvuennusteilla vuonna 2005 Suomessa tuotetun siistauslietteen määräksi on arvioitu 300 000 tonnia. Lisäksi siistauslietettä on satojatuhansia tonneja varastokasoissa /d/.

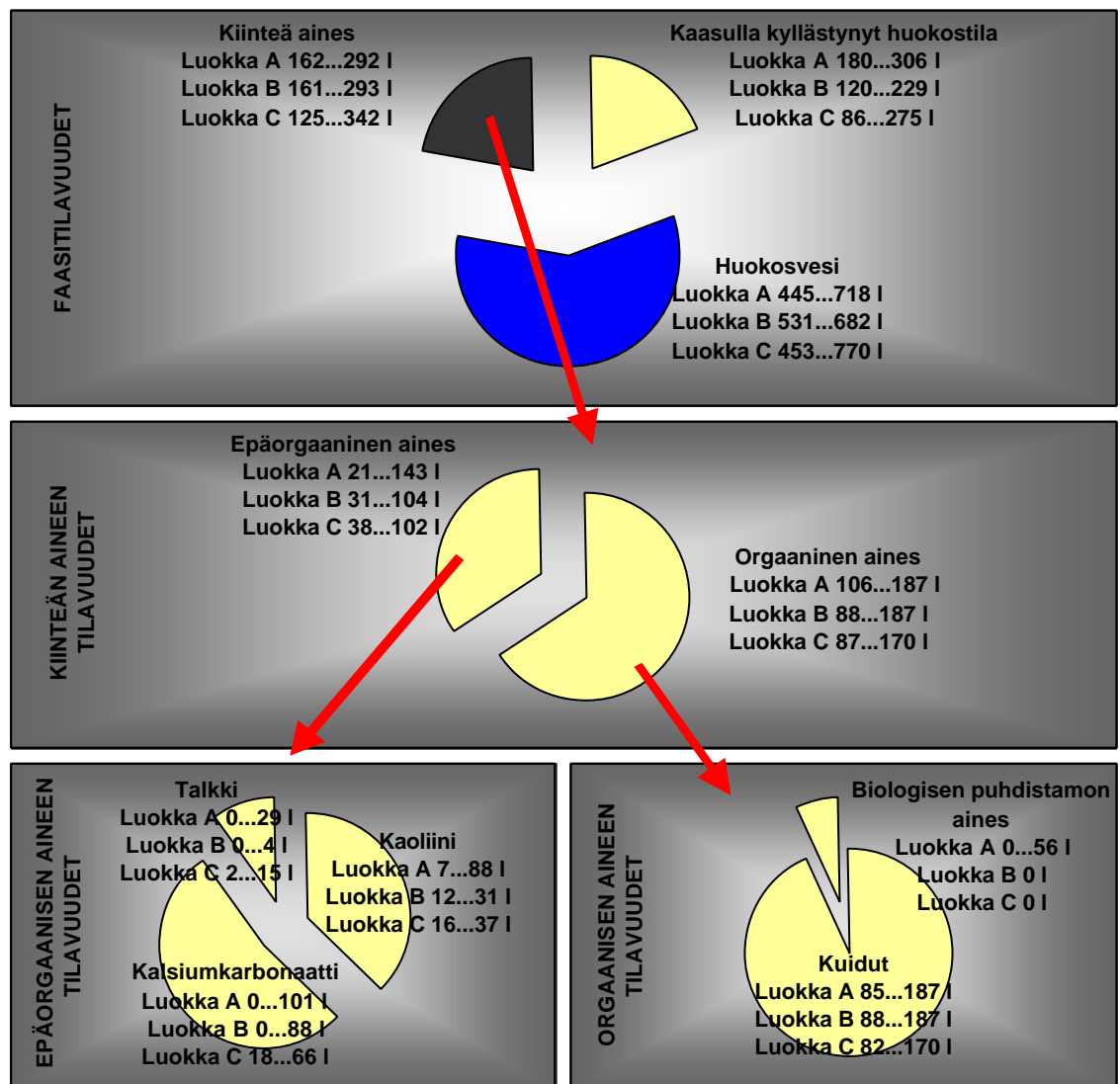
FINNCAO-KUITUSAVET PINTARAKENTEIDEN TIIVISTEKERROKSISSA

Taulukko 1. Finncao-kuitusavien luokittelu prosessiperusteisesti.

Ryhmä	Tehdas
A kuitulietteet, joita muodostuu mekaanista massaa raaka-aineena käytävillä tehtailla	M-Real Oyj, Kirkniemen tehdas
	UPM-Kymmene Oyj Kaipolan tehdas
	UPM-Kymmene Oyj Jämsänkoski
	UPM-Kymmene Oyj Kaukas
	UPM-Kymmene Oyj Voikkaan paperitehdas
	UPM-Kymmene Oyj, Kajaani
B kuitulietteet, joita muodostuu sellua raaka-aineena käytävillä tehtailla	M-Real Oyj Kankaan paperitehdas
	Kymen paperi Oy
	Lohjan Paperi Oy Lohja
	M-Real Oyj, Äänekosken tehtaot
C siistauslietteet	UPM-Kymmene Oyj Kaipolan tehdas
	Metsä Tissue Oyj, Mänttä

3 Finncao-kuitusavien materiaaliominaisuudet

Pintarakenteen tiivistekerros on yleensä osittain kyllästyneessä tilassa. Tässä tilassa Finncao-kuitusavet sisältävät kiinteää ainetta, huokosvettä ja -kaasua. Kiinteä aine voidaan jakaa orgaaniseen ja epäorgaaniseen *kuvan 1* mukaisesti. Kuvaa tulkittaessa on otettava huomioon, että lasketut tilavuussuhteet perustuvat kiintotiheyksiin. Tällöin esimerkiksi orgaanisen aineksen tilavuuden laskennassa ei ole huomioitu kasvisolukon sisäpuolista kaasun ja/tai veden täyttämää tilaa. Se on sen sijaan ilmoitettu huokostilavuudessa. Tiivistyskerroksen huokostilavuus määräytyy rakentamisen aikana tiivistämisen perusteella ja pitkällä aikavälillä (käyttötalassa) tiivistekerroksen päälle tulevan kuormituksen aiheuttaman kokoonpuristumisen perusteella. Nesteiden ja kaasujen virtaukset tapahtuvat materiaalin huokostilassa, jonka ominaisuudet määräävät näitä virtausilmiöitä karakterisoivat materiaaliparametrit.



Kuva 1. Finncao-kuitusavien sisältämien aineiden tilavuudet märkätilavuuspainon 10 kN/m³ arvolla.

Finncao –kuitusavien kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien tutkimisessa on käytetty yleisesti käytössä olevia tutkimusmenetelmiä. Mineraaliaineksista poikkeava koostumus edellyttäisi joissakin tapauksissa kuitusaville erityyppisten menetelmien käyttöä. Tätä on kuitenkin haluttu tietoisesti välttää, sillä tulosten vertailtavuus ei silloin olisi laajasti mahdollista. Määrittelyissä esiintyneistä havainnoista on kerrottu jatkossa menetelmäkohtaisesti asianomaisessa tekstinkohdassa.

3.1 Ympäristökelpoisuus

Ympäristökelpoisuutta arvioidaan yleensä analysoimalla haitallisten aineiden kokonaispitoisuutta sekä toisaalta haitallisten aineiden liukoisuutta. Liukoisuuden perusteella voidaan arvioida ympäristövaikutuksia eri ajankohtina, kun tunnetaan sijoituskohteen fysikaalis-kemialliset olosuhteet. Suomessa maaperään sijoitettavien materiaalien ympäristökelpoisuuden arviointiin ei ole toistaiseksi olemassa vahvistettuja raja-arvoja. Maan saastuneisuutta arvioidaan yleisesti ns. SAMASE-arvojen /a/ ja niistä edelleen johdettujen ohjearvojen avulla. Ehdotetuissa ohjearvoissa on esitetty sekä tavoitearvo että raja-arvo, jotka molemmat ovat kokonaispitoisuuksia.

Finncao-kuitusavien kemiallinen koostumus riippuu siitä, minkä tyyppisen paperin tuotantoprosessista se on peräisin. Kuitusavien sisältämät alkuaineet ovat peräisin prosessivedestä, puuraaka-aineesta, kemikaaleista ja putkistoista. Siistauslietteet sisältävät lisäksi painovärien pigmenteistä peräisin olevia alkuaineita ja yhdisteitä (*taulukko 2*). Nykyisin kromia, lyijyä tai kadmiumia sisältävät väriaineet ovat kiellettyjä /d/. Biohajoavuuskokeiden perusteella Finncao-kuitusavet eivät sisällä bakteeriston kasvua rajoittavia toksisia yhdisteitä /h/.

Kaikki ryhmien A ja B kuitusavien alkuainepitoisuudet alittavat SAMSE ohjearvon.

Finncao kuitulietteen (ryhmä A) kokonaissyanidipitoisuus (48 mg/kg) on SAMASE ohjearvon ja raja-arvon välillä. Vapaan syanidin pitoisuus on pienempi kuin ohjearvo. Vastaavasti Finncao-kuitusavien (ryhmät A,B,C) PCB- ja PAH- yhdisteiden kokonaispitoisuudet ovat pienempiä kuin SAMASE ohjearvo (*taulukko 2*).

Kaikki Finncao-kuitusavet (ryhmät A,B,C) soveltuvat rajoituksetta maarakentamiseen.

FINNCAO-KUITUSAVET PINTARAKENTEIDEN TIIVISTEKERROKSISSA

Taulukko 2. Finncao-kuitusavien alkuaineiden ja yhdisteiden koostumuspitoisuuksia mg/kg kuivaainetta.

Alkuaine/yhdiste	Tyypillinen koostumuspitoisuus Finncao kuitusavissa			Maan saastuneisuuden arvioin- nissa käytettävät kokonais- pitoisuusarvot /a/	
	Ryhmä A	Ryhmä B	Ryhmä C	ohjearvo	raja-arvo
As	<20	<20	<4	10	50
Ba	<200	<200	<100	600	600
Cd	<1	<1	<0,15	0,5	10
Co	<10	<10	<10	50	200
Cr	<200	<200	<30	100	400
Cu	<40	<40	<200	100	400
F	4*			200	2000
Hg	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	5
Mo	<5	<5	<2	5	200
Ni	<50	<50	<10	60	200
Pb	<30	<30	<15	60	300
Sb	<5	<5		5	40
Se	<10	<10	<4	1	10
V	<20	<20	<20	50	500
Zn	<100	<100	<200	150	700
CN (kok)	48*			16	170
CN (vapaa)	0,1*			1	20
PCB (kok)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,05	0,5
PAH (kok)	< 20	< 20	< 20	20	200

*määritystulos ilmoitettu yksittäisen kuitulietynteen perusteella

3.2 Vesipitoisuus ja kuivatilavuuspaino

Finncao-kuitusavien materiaalitutkimuksissa /i/ on havaittu, ettei maarakentamisessa perinteisesti käytetty Proctor-koe sovellu parhaalla mahdollisella tavalla Finncao-kuitusavien tiivistettävyyssominaisuuksien tutkimiseen. Proctor-kokeen dynaaminen tiivistystapa muuttaa ja osittain myös särkee kuitusaven alkuperäisen rakenteen, jonka vuoksi tiivistyminen kokeessa on erilaista kuin kenttäolosuhteissa. Tämän vuoksi käytännössä ei välttämättä saavuteta Proctor- kokeen mukaisia kuivatilavuuspainoja. Käytännössä ei myöskään yleensä voida operoida optimivesipitoisuudessa, vaan rakentamisessa käytettävien kuitusavien vesipitoisuus on suurempi kuin optimivesipitoisuus. Materiaalien kuivattaminen optimivesipitoisuuteen edellyttäisi joko tuotantoprosessitekniisiä muutoksia tai lämpökuivaamista. Nämä vaihtoehdot eivät ole teknistaloudellisesti järkeviä, sillä tiivistyskerrokselta tyypillisesti vaadittavat vedenläpäisevyyssominaisuudet täyttyvät useissa tapauksissa myös toimitusvesipitoisuudessa. Samanlaisiin johtopäätöksiin on päädytty myös ulkomaisissa kuitusavien kaltaisten materiaalien tutkimuksissa /j/. Käyttötillassa tiivistyskerroksen kuivatilavuuspaino määräytyy yläpuolella sijaitsevien maakerrosten aiheuttaman kuormituksen perusteella (ks. kappale 3.3).

Rakentamisessa käytettävien kuitusavien suositeltavat vesipitoisuuden vaihtelut on esitetty taulukossa 3.

FINNCAO-KUITUSAVET PINTARAKENTEIDEN TIIVISTEKERROKSISSA

Taulukko 3. Kuitusavien suositeltava vesipitoisuus rakentamisvaiheessa.

Ryhmä	Suosittelava vesipitoisuus*) rakentamisvaiheessa (%)
A kuitulietteet, joita muodostuu mekaanista massaa raaka-aineena käytävillä tehtailla	100...200 %
B kuitulietteet, joita muodostuu sellua raaka-aineena käytävillä tehtailla	100...220 %
C siistauslietteet	100...300 %

**) vesipitoisuus on veden massa jaettuna kuivan kuitusaven massalla (%)*

3.3 Lujuus-, muodonmuutos- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet

Finncao-kuitusavilla on mineraalimaa-aineksista poikkeavia mekaanisia ominaisuuksia. Nämä poikkeavuudet johtuvat kuitusavien sisältämästä kuitujakeesta. Kuiduilla on vetolujuutta, jonka seurauksena mm. kantavuus ja muodonmuutoskestävyys voivat olla huomattavasti suurempia kuin hienorakeisilla mineraalimaa-aineksilla.

Kuitusavien muodonmuutosominaisuudet

Arvioitaessa materiaalin soveltuvuutta tiivistyskerrokseen tärkeä ominaisuus on materiaalin jännitys-muodonmuutoskäyttäytyminen. Kaatopaikan pintarakenteen tiivistyskerrosta rasittaa pitkäaikaisessa käyttötilassa jätetätön epätasainen painuminen. Tiivistyskerroksen materiaalin tulee tällöin mukautua jätetätön painumiin ja säilyttää mitoituksen perusteena käytetty vedenläpäisevyys. Finncao-kuitusavien jännitys-muodonmuutoskäyrästä (*kuva 2*) voidaan havaita, että jännityksen ja muodonmuutoksen välinen riippuvuus on epälineaarinen ja murtuminen tapahtuu huomattavan suurella aksiaalisen muodonmuutoksen arvolla /i/.



Kuva 2. Finncao-kuitusavien tyypillinen jännityksen ja muodonmuutoksen välinen vuorosuhde yksiaksisiaalisessa puristuskokeessa. Kuvan kuitusavinäyte (ryhmä A) on Koivissillan kaatopaikan tiivistyskerroksesta ($w = 99,4 \%$, $g_t = 6,2 \text{ kN/m}^3$, koestusikä 3 v).

Kuitusavien lujuusparametrit

Pintarakenteiden toimivuuden edellytyksenä on jätepenkereen sekä peiterakenteen riittävä stabiileetti. Stabiileetti voidaan laskea geoteknisten laskentamenetelmien mukaisesti liukupintatarkasteluiden avulla. Liukupinnan muoto voi olla joko ympyräliukupinta, tasoliukupinta tai näiden yhdistelmä. Finncao-kuitusavien avoimen tilan tehokkaat leikkauslujuusparametrit määritettynä rasialeikkauskokeella vaihtelevat siten, että kaikilla Finncao-kuitusavilla kitkakulma on noin 20° sekä koheesio ryhmän A materiaalilla 20 kPa ja noin 5 kPa ryhmien B ja C materiaaleilla (taulukko 4) /i/. Rasialeikkauskokeen mukaisessa leikkaustilanteessa kitkakulma voi olla kuitenkin huomattavasti taulukossa 4 esitettyjä lukuarvoja suurempi.

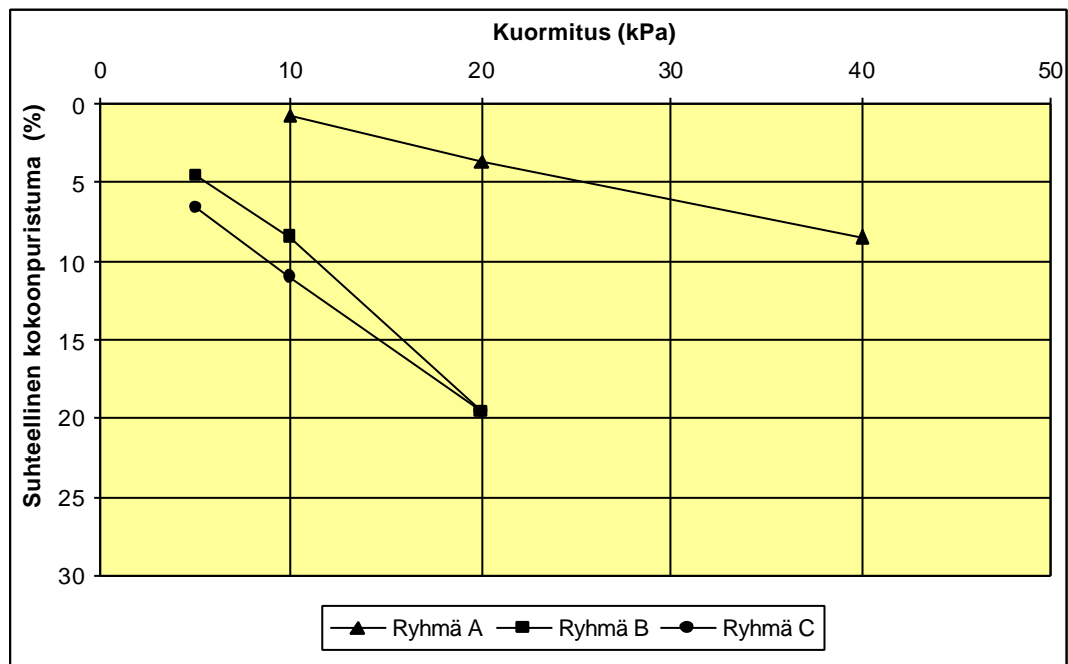
FINNCAO-KUITUSAVET PINTARAKENTEIDEN TIIVISTEKERROKSISSA

Taulukko 4. Finncao-kuitusavien leikkauslujuusparametrit määritettynä rasialeikkauskokeella (konsolidoitu avoin tila)

Ryhmä	Leikkauslujuusparametrit	
	Koheesio c (kPa)	Kitkakulma f (°)
A kuitulietteet, joita muodostuu mekaanista massaa raaka-aineena käyttävillä tehtailla	20	20
B kuitulietteet, joita muodostuu sellua raaka-aineena käyttävillä tehtailla	5	20
C siistauslietteet	5	20

Kuitusavien kokoonpuristuvuusominaisuudet

Tiivistyskerros kokoonpuristuu sitä kuormittavien maakerrosten johdosta. Kuormituksen suuruus määräytyy tiivistyskerroksen yläpuolelle tulevien maakerrosten kokonaispaksuudesta ja tilavuuspainosta. Kokoonpuristumisen yhteydessä tiivistyskerroksen huokosista poistuu ilmaa ja vettä ja raerunko kokoonpuristuu. Tasaisesti kuormitetun kuitusavikerroksen pitkäaikainen enimmäispainuminen voidaan määrittää kuvan 3 mukaan eri kuitusaviluokissa /i/. Kuvassa 3 esitetty kokoonpuristuma vastaa pitkäaikaista sekundaaripainumaa, joka laboratorioolosuhteissa määritettiin 3 kk kokoonpuristumisen jälkeen.



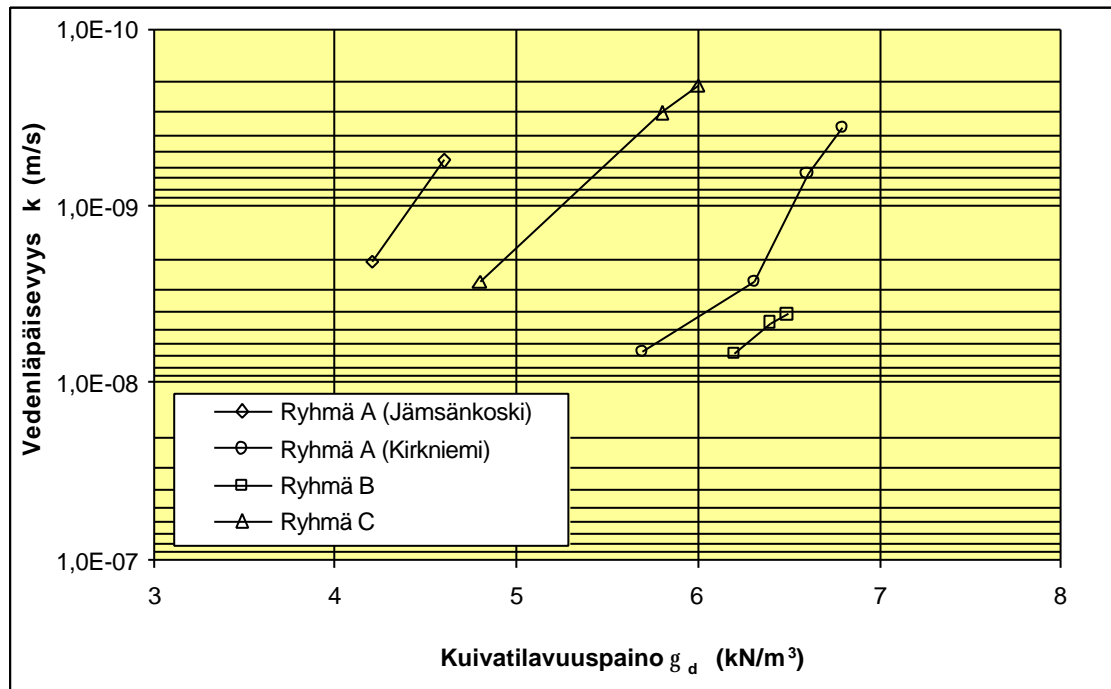
Kuva 3. Finncao-kuitusavien kokoonpuristuma kuormituksen funktiona.

3.4 Hydrauliset ominaisuudet

Kuitusavien vedenläpäisevyys

Kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys voidaan määrittää mittaamalla näytteen läpäissyt vesimäärä aikayksikköä kohden, kun tunnetaan näytteen päiden välinen paine-ero. Mittaukset suoritetaan pehmeäseinäisellä mittausrakenteella, jossa näytettä ympäröivä kumikalvo puristuu näytettä vasten estäen mahdollisen reunavirtauksen. Näyte kyllästetään vedellä, jonka jälkeen näytteen läpi johdetaan vettä. Vedenläpäisevyys lasketaan näytteen läpäisseestä vesimäärästä, paine-erosta ja mittauksen kuluneesta ajasta /e/.

Kuitusavien kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys vaihtelee $10^{-8} \dots 10^{-10}$ m/s /i/. Kuivatilavuuspainon kasvaessa vedenläpäisevyys pienenee kaikissa kuitusaviluokissa (kuva 4). Tiivistetyn kuitusavikerroksen päälle rakennetaan pintarakenteissa maakerroksia, joiden kuormitus kokoonpuristaa tiivistekerrosta. Kokoonpuristumisen aikana kuitusaven huokosista poistuu kaasua ja vettä. Samanaikaisesti kuitusaven raerunko kokoonpuristuu, jolloin kuivatilavuuspaino kasvaa ja vedenläpäisevyys pienenee kuvan 4 mukaisesti. Kokoonpuristumisen suuruuden ja samalla käyttötilan vedenläpäisevyyden määrää siis tiivistekerroksen yläpuolisten maakerrosten kuormitus. Kuvassa 4 on havaittavissa suuri ero ryhmän A kuitusavien tilavuuspainoissa. Tämä johtuu siitä, että Jämsänkosken kuitulietteen tuhkapitoisuus on 30 % ja Kirkniemen kuitulietteen vastaavasti 51 %.



Kuva 4. Finncao-kuitusavien vedenläpäisevyys kuivatilavuuspainon funktiona määritettynä joustavaseinäisellä vedenläpäisevyyslaitteistolla.

Pintarakenteiden tiivistyskerros on useimmiten osittain kyllästynyt. Tässä tilassa tapahtuvia veden virtausilmiöitä ei voida luotettavasti käsitellä yleisesti käytetyllä Darcyn lailla. Osittain kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys on aina pienempi kuin kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys. Osittain kyllästyneessä tilassa voidaan virtausnopeus laskea Darcyn lain kanssa analogisella kaavalla, mutta on huomioitava, että:

- vedenläpäisevyys on kyllästysasteen funktio ja se on pienempi kuin kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys. Lisäksi se ei yleensä ole vakio kahden pisteen välillä, vaan muuttuu veden virtausreitillä maaveden potentiaalini muuttuessa
- hydraulinen gradientti koostuu kokonaispotentiaalieroista kahden pisteen välillä sekä niiden välisestä etäisyydestä. Kokonaispotentiaalissa on gravitaatiopotentiaalini lisäksi huomioitava matriisipotentiaali ja huokosilman paine
- maan kyllästysaste on riippuvainen maan kyllästyshistoriasta (hystereesi) /g/.

Kuitusavien vedenpidätyskyky

Vedenpidätyskyky kuvaa materiaaliin pidättyvää vesimäärää eri kuivatustilanteissa. Vedenpidätyskyky voidaan määrittää painelevylaitteiston avulla, jossa vedellä kyllästyneet näytteet ovat huokoisen keraamisen levyn päällä ja painekammiossa vaikuttaa ylipaine. Paineen vaikutuksesta näytteestä virtaa vettä huokoslevyn kautta ulos kammioista siihen saakka kunnes vesipitoisuus on tasoittunut vallitsevan paineen kanssa. Tasapainon saavuttaneen näytteen tilavuusvesipitoisuus määritetään ja käsittely toistetaan suuremmalla paineella. Kaikille kuitusaville on tyypillistä voimakas veden pidättyminen /i/. Esim. 100 kPa alipaineessa, joka vastaa noin 10 m pohjaveden yläpuolella olevaa kuivatustilaa, kuitusavien tilavuudesta noin 50...70 % on vettä. Voimakas veden pidättyminen estää käyttötilassa haitallisten halkeamien syntymisen rakenteessa.

3.5 Kaasunläpäisevyys

Tiivistyskerroksen tehtävänä on estää suotoveden pääsy jätetäyttöön ja estää kaatopaikkakaasujen purkautuminen pintarakenteen läpi ilmakehään. Kuitusavien kaasunläpäisevyys määritettiin ilmanläpäisevyyslaitteistolla, jossa mitattiin painegradientin johdosta näytteen läpi virtaavan ilman tilavuus aikayksikköä kohden. Kuitusavien ilmanläpäisevyys pienenee kyllästysasteen kasvaessa ja huokoisuuden pienetessä. Kuitusavien ilmanläpäisevyys on hyvin pieni ja vastaa hienorakeisista maalajeista lähinnä savea /i/.

3.6 Biohajoavuus

Finncao-kuitusavien biohajoavuutta on tutkittu OECD 301F mukaisella testillä, jolla määritetään näytteen biohajoavuutta aerobisissa olosuhteissa. Aerobinen biohajoavuus edustaa näytteen enimmäisbiohajoavuutta. Tulosten mukaan biohajoavuus pienentää Finncao kuitusavesta rakennetun tiivistyskerroksen tilavuutta 1,6...4,8 % materiaalista riippuen /h/. Biohajoavuus otetaan suunnittelussa huomioon varautumalla 5 %:n

FINNCAO-KUITUSAVET PINTARAKENTEIDEN TIIVISTEKERROKSISSA

paksuuden pienenemiseen tiivistekerroksessa. Määrättäessä lopullista tiivistekerroksen paksuutta rakentamisen jälkeen (h_{rak} arvoa) on huomioitava tiivistekerroksen yläpuolisten kerrosten aiheuttama kokoonpuristuminen kuvan 3 ja kappaleen 4 mukaisesti.

4 Suunnittelu ja mitoitus

Finncao-kuitusavien suunnittelussa ja mitoituksessa ovat lähtötietoina kohdetta koskevat lupamääräykset. Tavallisesti niissä esitetään tiivistyskerroksen osalta paksuutta ja vedenläpäisevyyttä koskevat vaatimukset. Edellä esitetyn mukaisesti tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys käyttötilassa määräytyy tiivistekerrosta kokoonpuristavan kuormituksen perusteella. Finncao kuitusavesta rakennettavan tiivistekerroksen paksuus määritetään ottamalla huomioon kerroksen yläpuolelle tulevien kerrosten aiheuttama kokoonpuristuminen ja biohajavuus. Finncao-kuitusavien vedenläpäisevyys pintarakenteen tiivistekerroksissa on pienempi kuin 5×10^{-9} m/s, mikäli kerros rakennetaan tässä ohjeessa esitettyjen työmenetelmien mukaisesti sekä tiivistekerroksen yläpuolelle rakennettavat kerrokset tehdään mineraalimaa-aineksista valtioneuvoston päätöksen n:o 861 mukaisilla kerrospaksuuksilla. Jos tiivistyskerroksen vedenläpäisevyyden on oltava pienempi kuin tämän ohjeen perusteella olisi mahdollista, on suoritettava materiaalieräkohtaiset tutkimukset vedenläpäisevyysvaatimuksen toteutumisen varmistamiseksi.

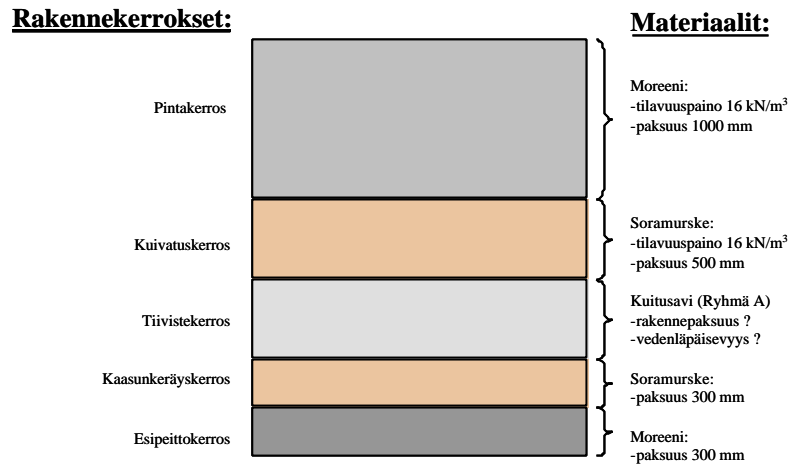
Finncao-kuitusavien mitoitus pintarakenteen tiivistekerrokseen suoritetaan seuraavien periaatteiden mukaisesti:

1. Määritetään pintarakenteen tiivistyskerroksen käyttötilan mukainen paksuus h_{av} ja vedenläpäisevyys k lupaehtojen perusteella.
2. Todetaan, millä tiivistekerrokseen kohdistuvan kuormituksen arvolla (joka määräytyy tiivistekerroksen yläpuolella sijaitsevien rakennekerrosten paksuudesta ja tilavuuspainoista) vedenläpäisevyysvaatimus täyttyy (ks. kuva 6)
3. Määritetään tiivistekerroksen rakennepaksuus (suunnitelman mukainen paksuus) huomioimalla yläpuolisten kerrosten kuormituksen aiheuttama painuma ja biohajoavuus kuvan 6 mukaisesti.
4. Valitaan kuitusaven käyttötilan koheesio ja kitkakulma taulukon 3 perusteella ja lasketaan rakenteen stabiliteetti, jos siihen on olemassa erityiset syyt.
5. Laaditaan tiivistyskerroksen rakentamisen työselitys kohteen erityispiirteet ja liitteessä 1 esitetty yleinen työselitys huomioiden.

Mitoitusesimerkki:

Tarkastellaan esimerkkinä yhdyskuntajätteen kaatopaikaa, jonka toimintaa ollaan lopettamassa. Alueellinen ympäristöviranomaisena on lupaehdoissa edellyttänyt valtioneuvoston päätöksen n:o 861 mukaista pintarakennetta, jolloin pintarakenteen tiivistyskerroksen paksuuden h_{av} on oltava vähintään 500 mm. Lisäksi lupaehtojen mukaan tiivistyskerroksen vedenläpäisevyyden k on oltava pienempi tai yhtäsuuri kuin 10^{-8} m/s. Kohteen lähistöllä on saatavilla ryhmään A kuuluvaa kuitusavea.

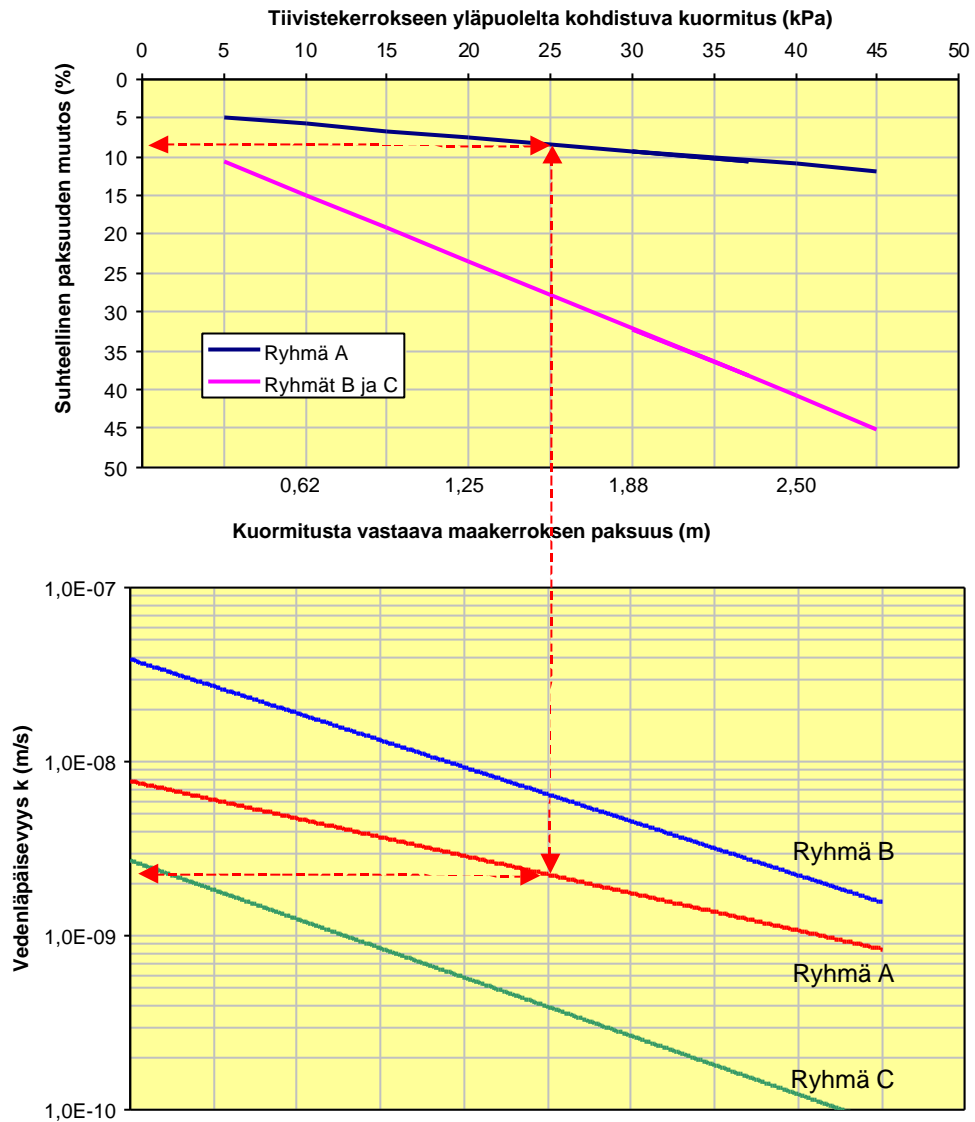
Suunnittelija on laatinut pintarakenteesta alustavan tyyppipoikkileikkauksen (kuva 5). Tehtävänä on määrittää tiivistekerroksen rakennepaksuus ja varmistaa, että tiivistekerroksen vedenläpäisevyys on lupaehtojen mukainen.



Kuva 5. Esimerkki kaatopaikan pintarakenteen rakennekerroksista, -materiaaleista ja -paksuuksista. Kuva liittyy tekstissä käsiteltyyn mitoitus-esimerkkiin, jossa kaatopaikan pinta-rakenteen tiivistekerroksessa käytetään ryhmään A kuuluvaa Finncao-kuitusavea.

Kuvan 5 rakenne on valtioneuvoston päätöksen n:o 861 mukainen tavanomaisen jätteen kaatopaikan pintarakenne, mikäli tiivistekerroksen paksuus on (käyttötilassa) ≥ 500 mm. Tiivistekerrokseen kohdistuu käyttötilassa noin 25 kPa:n suuruinen kuormitus (tiivistekerroksen yläpuolella olevien rakennekerrosten tilavuuspaino on 16 kN/m³ ja kokonaispaksuus 1,5 m, jolloin kuormitus = 1,5 m x 16 kN/m³ ~ 25 kN/m²). Tämä kuormitus ja biohajoavuus aiheuttavat yhteensä noin 9 % suhteellisen paksuuden muutoksen tiivistekerrokseen (ks. punainen katkoviiva kuvassa 6). Tällöin suunnitelman mukainen rakennepaksuus $h_{\text{rak}} = 100 \times h_{\text{tav}} / (100 - 9)$ mm = 100 x 500 / 91 mm = 549 mm, jolloin rakennepaksuutena voidaan käyttää 550 mm.

25 kPa:n kuormituksella tiivistekerroksen vedenläpäisevyys on noin $2,1 \times 10^{-9}$ m/s, joka täyttää asetetun vedenläpäisevyysvaatimuksen $k < 10^{-8}$ m/s.

FINNCAO-KUITUSAVET PINTARAKENTEIDEN TIIVISTEKERROKSISSA


Kuva 6. Finncao-kuitusavien kuormituksen ja biohajoamisen yhteisvaikutuksena tapahtuva tiivistekerroksen suhteellinen kokoonpuristuminen sekä kuormituksen ja vedenläpäisevyyden välinen riippuvuus. Punainen katkoviiva liittyy tekstissä käsitelyyn esimerkkiin.

Mitoitus etenee tämän jälkeen stabiliteetin tarkistamisella (kuitusaven mitoitusparametrit esitetty taulukossa 4), mikäli rakennekaltevuudet sitä edellyttävät. Lopuksi laaditaan kohdekohtainen työselitys liitteessä 1 esitetyn yleisen työselityksen perusteella.

VIITTEET

- a. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa, Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto, 1994.
- b. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (Nro 861). Syyskuu 1997.
- c. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (Nro 1049). Marraskuu 1999.
- d. Finncao-hankkeen loppuraportti Tekesille 2000. Julkaisematon.
- e. Strandberg, T. & Leppänen M. Suositus vedenläpäisevyyden mittaamenetelmiksi. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 1995.
- f. Koivissillan kaatopaikan pintarakenne. Laboratorio- ja kenttätutkimukset ajalta toukokuu 1998-lokakuu 1999, Tutkimusraportti, tammikuu 2000. SCC VIATEK. Julkaisematon.
- g. Mualem, Y. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: Prediction and Formulas. Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and mineralogical Methods, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc, Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA 1986.
- h. Finncao-kuitusavien biohajoavuus (OECD 301F). Envitop Oy 2001. Julkaisematon.
- i. Finncao-kuitusavien materiaalitekniset ominaisuudet. Oulun yliopisto 2001. Julkaisematon.
- j. Quiroz, J. D. 2000. Shear Strength, Slope Stability and Consolidation Behavior of Paper Mill Sludge Landfill Covers. Doctor of Philosophy. Rensselaer Polytechnic Institute. Troy, New York, USA. 321 p.

LIITE 1: Finncao-kuitusavitiivistekerroksen rakentamisen yleinen työselitys

RAKENNUTTAJAN TEHTÄVÄT

Rakennustyön valvonnan lisäksi rakennuttaja palkkaa tarvittaessa riippumattoman ulkopuolisen laadunvalvojan.

KÄYTETTY LITTERASTO

Tässä työselityksessä on käytetty soveltaen Kaupunkiliiton julkaisun ”Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys 97” mukaista litterointia.

1200 TYÖMAAN HALLINTO

Urakoitsijat laativat tiivistyskerroksen rakentamista koskevan työohjelman / asennussuunnitelman aikatauluineen sekä laadunvalvontasuunnitelman.

1240 Katselmukset

Alusrakenteen tarkastus

Tarkastuksessa rakennuttaja luovuttaa tasatun ja tiivistetyn rakennuspohjan ja sen mittaustulokset tiivistysrakenneurakoitsijalle. Tilaisuudessa todetaan, että esipeitetty ja muotoiltu jätetäyttö täyttää kaltevuus-, tiiviys- ja pinnantasaisuusvaatimukset. Tarkastuksessa todetaan, että urakoitsijan esipeittämä, tasaama ja tiivistetty pohja on suunnitelman mukainen.

Tiivistyskerroksen tarkastus

Tarkastuksessa todetaan urakoitsijan päivittäiset työsuoritukset. Todetaan myös, että tiivistyskerroksen rakentaminen on tapahtunut suunnitelmien mukaisesti ja että laadunvarmennustyöt on tehty hyväksyttävästi ja asetetut vaatimukset täytyneet. Tiivistysrakenteen todetaan soveltuvan yläpuolelle tulevan kerroksen asennuspohjaksi. Mikäli todetaan, että rakenne ei täytä asetettuja vaatimuksia, korjaus tehdään pääsääntöisesti poistamalla virheellinen rakenne ja rakentamalla se uudelleen.

1260 Toimintasuunnitelma erilaisten sääolojen varalta

Finncao-kuitusaven liettyminen siirtojen yhteydessä on estettävä. Varastokasalla Finncao-kuitusavien liettyminen on tarvittaessa estettävä esim. suojaamalla materiaali tarkoituksenmukaisesti.

Sade

Voimakkaan sateen aikana tulee huolehtia siitä, ettei tiivistyskerrokseen käytettävä materiaali pääse liiaksi kostumaan, koska tiivistäminen voi vaikeutua ja lisäksi tiivistetyn materiaalin pinta muuttuu liukkaaksi.

1300 TOIMINNAN JÄRJESTELY

Ennen työn aloittamista urakoitsija laatii alustavan selvityksen työn järjestyksestä, jossa esitetään ainakin: tilapäisjärjestelyt, työjärjestys ja alustava aikataulu.

FINNCAO-KUITUSAVET PINTARAKENTEIDEN TIIVISTEKERROKSISSA

1325 Varastot ja varastoalueet

Varastointi

Finncao kuitusavi varastoidaan työmaan välittömään läheisyyteen. Materiaalit varastoidaan materiaalityöntekijän ohjeita noudattaen siten, etteivät käsittely ja kosteus aiheuta vaurioita tai ominaisuuksien muuttumista materiaaleissa.

1500 MITTAUKSET JA LAADUNVALVONTA

Tässä esitetään ne laadunvalvontatoimenpiteet, jotka koskevat nimenomaisesti Finncao-kuitusavia. Muilta osin materiaalin laadunvalvonta suoritetaan Suomen ympäristökeskuksen oppaan n:o 36 ”Kaatopaikan tiivistysrakenteet” mukaisesti.

1520 Laadunvalvonta

Materiaalin laadunvalvonta

Tiivistekerroksessa käytettävän Finncao kuitusaven vesipitoisuus (materiaalin sisältämän veden massa jaettuna kuivan näytteen massalla, %) on rakentamisvaiheessa oltava seuraava:

- Ryhmä A 100...200 %
- Ryhmä B 100...220 %
- Ryhmä C 100...300 %.

Vesipitoisuus määritetään kuivaamalla näyte 105°C:ssa. Menetelmä on esitetty mm. ohjeessa ”Geotekniset laboratorio-ohjeet, 1. luokituskokeet”. Mikäli vesipitoisuus poikkeaa näistä rajoista, materiaalityöntekijä vastaa kelvollisen materiaalin toimittamisesta työmaalle. Ennen kuitusaven käyttöönottoa todetaan sen vesipitoisuus ja varmistetaan, että se on edellä esitetyn mukainen. Lisäksi hankitaan ne todistukset, jotka on mainittu suunnitelmassa, tässä työselityksessä tai niissä asiakirjoissa, joihin suunnitelman tai tämän työselityksen asianomaisessa kohdassa on viitattu.

Mikäli näytteen vesipitoisuus ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, sitä materiaalityöntekijää, jota kyseinen koetulos edustaa, ei käytetä rakentamiseen ennen lisäselvityksiä. Ennen hylkäämispäätöksen tekemistä voidaan vaatimukset täyttämättömää koetta kohti tehdä kaksi uutta koetta. Vain mikäli molemmat uudet koetulokset täyttävät asetetut vaatimukset, koetulosten edustamaa materiaalityöntekijää voidaan käyttää rakentamiseen. Materiaalityöntekijälle suoritettujen parantamis- tai korjaustoimenpiteiden jälkeen sen kelpoisuus on osoitettava kahdella uudella kokeella.

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

Tiivistämistyön valvonta

Finncao kuitusavesta rakennetun tiivistekerroksen tiivistymistä valvotaan huolehtimalla siitä, että rakenteen tiivistäminen tehdään tämän työselityksen mukaisia enimmäiskerros- ja kalustopakkuuksia, kalustoa ja työmäärää käyttäen. Kerralla tiivistettävän kerroksen enimmäispaksuus on 300 mm. Tiivistyksessä käytetään vähintään 10 tonnin valssijyrää ja ylityskertojen lukumäärän on oltava suurempi kuin 4. Jos käytetään edellisestä poikkeavaa kalustoa on tiivistyminen selvitettävä ennen tiivistystyön aloittamista rakennettavalla koetiiivistyspenkereellä.

Valmiiden rakenteiden sallitut mittapoikkeamat

Tiivistetyn tiivistyskerroksen kokonaispaksuus on vähintään rakennussuunnitelmassa esitetyn suuruinen, alituksia ei hyväksytä.

FINNCAO-KUITUSAVET PINTARAKENTEIDEN TIIVISTEKERROKSISSA

1521 Urakoitsijan laadunvalvonta

Urakoitsija tekee päivittäistä laadunvalvontaa työmaalla. Mittauksia tehdään jäljempänä esitetyistä kohteista määriin ja pinta-aloihin sidottuna.

Laadunvalvontasuunnitelma

Urakoitsija laatii laadunvalvontasuunnitelman, jonka tulee täyttää Suomen ympäristökeskuksen oppaan n:o 36 ”Kaatopaikan tiivistysrakenteet” vaatimukset ja ohjeet ja joka sisältää mm seuraavat asiat:

- Materiaalien laatu ennen työn aloittamista (vesipitoisuus)
- Työ- ja laadunvalvontamenetelmien hyväksyttämismenettelyyn
- Työjärjestyksen ja aikataulun
- Mittaussuunnitelman
- Näytteenottosuunnitelman ja menetelmät
- Raportointimenettelyn ja dokumentoinnin
- Toimenpiteet poikkeamien kohdalla
- Tarkastukset.

2000 MAANRAKENNUSTYÖT

2500 PINGER- JA KERROSRAKENTEET

2560 Tiivistysrakenteet

2561 Tiivistyskerros

Tiivistyskerros tehdään tyyppiirustuksen mukaisilla rakenteilla, suunnitelman mukaisesta Finncao kuitusavesta.

Tiivistyskerroksen tiivistäminen pitää suorittaa 10 tonnin valssiyrällä siten, että ylityskertoja tulee vähintään 4 kpl. Kerralla tiivistettävän kerroksen enimmäispaksuus on 300 mm. Jos käytetään edellisestä poikkeavaa kalustoa on tiivistäminen selvitettävä ennen tiivistystyön aloittamista rakennettavalla koetiiivistyspenkereellä. Tiivistyskerroksen kokonaispaksuuden tiivistämisen jälkeen on oltava rakennussuunnitelman mukainen.

Tiivistysmateriaali toimitetaan kaatopaikan tasatun ja tiivistetyn pinnan päälle kasalle, josta se levitetään ja tiivistetään paikalleen. Pinta tiivistetään tasaiseksi. Pinnan päällä ei saa liikkua sellaisilla koneilla, jotka voivat aiheuttaa muodonmuutoksia pintaan tai materiaalin irtoamista siitä. Tiivistyskerroksen rakentaminen pitää keskeyttää rankan sateen ajaksi, rakentamista voidaan jatkaa tiivistetyn pinnan kuivuttua riittävästi. *Tiivistyskerroksen rakentaminen alle + 5°C lämpötiloissa ei ole sallittua. Tiivistekerros ei saa jäätyä rakentamisen aikana.*

Rakennuttaja tarkastaa ja hyväksyy tiivistyskerroksen valmiin pinnan päivittäin siten, että valvontatyö ei aiheuta katkoksia työn etenemiseen. Hyväksyminen kirjataan työmaapäiväkirjaan ja vahvistetaan allekirjoituksin. Hyväksytty pinta suojataan haitalliselta kastumiselta ja kuivumiselta sekä mekaanisilta vaurioilta.

Materiaalin laadunvalvonta

Materiaalin muuttuessa on siitä tehtävä tarpeelliset määritykset ennen käyttöä. Materiaalin homogeenisuuden seurantaan tulee kiinnittää erityistä huomiota ja urakoitsijan on ilmoitettava rakennuttajalle tai riippumattomalle laadunvalvojalle heti, kun materiaalin koostumuksessa havaitaan muutoksia tai materiaalin seossuhteita muutetaan.