

Alkusanat.....	3
1. Johdanto.....	4
2. Kaatopaikan pohja- ja peiterakenteet	5
2.1 Kaatopaikkaluokitus	5
2.2 Kaatopaikan pohjarakenteet	5
2.3 Kaatopaikan peiterakenteet.....	6
3 Tiivisturpeen tuotanto.....	7
3.1 Tuotantoalueen esitutkimukset	7
3.2 Tuotanto.....	7
3.3 Tiivisturpeen laadunvarmistus.....	8
3.4 Toimitusmäärä ja materiaalimenekki	8
3.5 Varastointi	8
4 Tiivisturpeen ominaisuudet	8
4.1 Luokitusominaisuudet	8
4.11 Kosteuspitoisuus.....	8
4.12 Tilavuuspainon määrittäminen	9
4.2 Tiivistettävyys	10
4.3 Lämpötekniset ominaisuudet.....	10
4.4 Tiivisturpeen routivuus.....	11
4.5 Hydrauliset ominaisuudet.....	11
4.51 Vedenjohtavuus	11
4.52 Vedenpidätyskyky	12
4.6 Mekaaniset ominaisuudet	12
4.61 Lujuusominaisuudet	12
4.62 Kokoonpuristuvuusominaisuudet	12
4.7 Adsorptiokyky	15
4.8 Biohajoavuus	16
5 Tiivistys- ja reaktiivisten rakenteiden mitoitus	18
5.1 Kaatopaikan pohjarakenteen mitoitus	18
5.2 Haitta-aineen kulkeutuminen pohjarakenteen läpi	22
5.3 Stabiiliteetin laskenta.....	24
5.4 Peiterakenteiden suunnittelu ja mitoitus.....	24
6 . Rakentamisen työselitys	27
Lähdeluettelo	30

1. Johdanto

Jätehuoltoa koskevaa lainsäädäntöä ovat Suomessa ohjanneet useat EU-direktiivit, jotka on muunnettu kansalliseksi lainsäädännöksi valtioneuvoston päätöksillä ja asetuksilla. Kaatopaikoista ja jätteiden sijoittamisesta niille säädetään jätelaissa (1072/1993) ja jäteasetuksessa (1390/1993) sekä Euroopan Unionin kaatopaikkadirektiiviin (1999/31/EY) perustuvissa valtioneuvoston päätöksissä kaatopaikoista (861/1997, 1049/1999) ja asetuksissa (552/2001 ja 202/2006). Päätöksessä annetaan perusteita kaatopaikan suunnittelulle, perustamiselle, rakentamiselle, käytölle, hoidolle, käytöstä poistamiselle, jälkihoidolle ja jätteiden sijoittamiselle niin, ettei jätteistä pitkän ajan kuluessa aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Päätös antaa tekniset perusteet pohja- ja pintarakenteiden rakennekerrosten hydrauliselle johtavuudelle ja kerrospaksuudelle, keinotekoisien eristeiden käytölle ja kuivatuskerroksen kerrospaksuudelle.

Kaatopaikan pohjarakenteilla pyritään ensisijaisesti estämään maaperän, pohja- ja pintaveden pilaantuminen. Tähän pyritään pohjarakenteen osalta pienen vedenläpäisevyyden ja kerrospaksuuden avulla sekä varmistamalla suotoveden tehokas kerääminen. Määräykset koskevat täten pelkästään hydraulisen gradientin johdosta tapahtuvaa veden suotautumista. Maaperän ja pohjaveden pilaantumisriskin arvioimiseksi tulisi huomioida myös haitta-aineen muut kulkeutumismekanismit. Haitta-aineen kulkeutumisesta säätelee advektion ohella myös dispersio ja diffuusio. Pienillä vedenjohtavuuden arvoilla diffuusion merkitys muodostuu määrävimmäksi haitta-aineen kulkeutumismuodoksi. Haitta-aineen kulkeutumiseen hidastavasti vaikuttavat sorptio-ominaisuudet, jotka voivat estää ja hidastaa tehokkaasti haitta-aineiden kulkeutumista.

Tiivisturve on Vapo Oy:n tuotemerkki kaatopaikan pohja- ja peiterakenteen tiivistyskerroksessa käytettävälle mekaanisesti käsitellylle tuotantoturpeelle. Tiivisturve tuotetaan hankekohtaisesti ja sen laadusta vastaa materiaalitoimittaja, joka määrittää hankekohtaisesti seuraavat tiivisturpeen ominaisuudet:

- **vedenläpäisevyys kuormituksen funktiona**
- **tiivisturpeen määrä rakennekohtaisesti**
- **toimituskosteus**
- **adsorptiokyky (tarvittaessa)**

Tiivisturpeen tuotantokausi on yleensä toukokuun ja syyskuun välinen aika. Tiivisturpeen talvituotantoon on kehitetty routatuotantomenetelmä, jonka avulla voidaan tuottaa tiivisturvetta pakkaskauden aikana.

Suunnittelijan tulisi olla yhteydessä materiaalitoimittajaan jo lupavaiheessa, jotta tarvittavat esitutkimukset voidaan suorittaa suunnitellulla tavalla. Suunnitteluvaiheessa materiaalitoimittaja määrittää tarvittavat mitoitusparametrit ja laskee turvemenekin.

2. Kaatopaikan pohja- ja peiterakenteet

2.1 Kaatopaikkaluokitus

Kaatopaikalla tarkoitetaan jätteen käsittely- tai sijoituspaikkaa, jossa jätettä sijoitetaan maan päälle tai maahan. Kaatopaikalla tarkoitetaan myös tuotantopaikan yhteydessä olevaa paikkaa, jonne jätteen tuottaja sijoittaa omaa jätettään ja yli vuoden käytössä olevaa paikkaa, jossa jätettä varastoidaan väliaikaisesti (1049/1999). Kaatopaikat luokitellaan ongelmajätteen, tavanomaisen jätteen tai pysyvän jätteen kaatopaikoiksi ja niille saa sijoittaa vain luokituksen mukaisia jätteitä. Jätteen kaatopaikkakelpoisuuden perusteet on esitetty Valtioneuvoston asetuksessa (VNa 202/2006). Valtioneuvoston päätöksessä (861/1997) annetaan vaatimukset kaatopaikan sijoittamisesta sekä pohja- ja pintarakenteista.

2.2 Kaatopaikan pohjarakenteet

Kaikilla kaatopaikoilla maaperän tulee olla kantava ja kaatopaikan maaperän on täytettävä sellaiset veden kyllästämisen maan vedenläpäisevyys- (K) ja paksuusvaatimukset, että niiden yhdistetty vaikutus vastaa vähintään seuraavia vaatimuksia (kuva 1):

- 1) ongelmajätteen kaatopaikalla $K=1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s, paksuus ≥ 5 m
- 2) tavanomaisen jätteen kaatopaikalla $K=1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s, paksuus ≥ 1 m
- 3) pysyvän jätteen kaatopaikalla $K=1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s, paksuus ≥ 1 m

Jos kaatopaikan maaperän tiiviys ei luonnostaan vastaa edellä tarkoitettuja vaatimuksia, on sitä parannettava rakennetulla tiivistyskerroksella vastaavan suojatason saavuttamiseksi. Rakennetun tiivistyskerroksen paksuuden on oltava tavanomaisen jätteen ja pysyvän jätteen kaatopaikoilla vähintään 0,5 m ja ongelmajätteen kaatopaikalla vähintään 1,0 m. Kaatopaikkaveden keräämiseksi on tavanomaisen jätteen ja ongelmajätteen kaatopaikkojen maaperän tai tiivistyskerroksen päälle lisäksi asennettava kaatopaikan tiivistämiseen tarkoitettu keinotekoinen eriste ja tämän päälle kuivatuskerros (salaojakerros), jonka paksuuden on oltava vähintään 0,5 m. Pysyvän jätteen kaatopaikalle asetettavat tässä tarkoitettavat vaatimukset määrätään tapauskohtaisesti. (861/1997).

EU:n kaatopaikkadirektiivissä (1999/31/EC) kaatopaikan pohjaolosuhteet ilmaistaan termillä geologinen este (geological barrier), joka määräytyy kaatopaikan alla ja sen läheisyydessä vallitsevien geologisten ja hydrogeologisten olosuhteiden perusteella tarjoten riittävän vaimennuskapasiteetin maaperään ja pohjaveteen kohdistuvan mahdollisen riskin estämiseksi. Kaatopaikan perustuksen ja sivujen tulee koostua mineraalikerroksesta ja niiden vaatimukset ovat samat kuin maaperää koskevat vaatimukset päätöksessä 816/1997. Kaatopaikkadirektiivissä (1999/31/EC) todetaan, että mikäli geologinen este ei luonnostaan vastaa edellä mainittuja vaatimuksia, sitä voidaan täydentää rakentamalla ja vahvistaa muilla vastaavan suojan antavilla keinoilla. Rakennetun geologisen esteen on oltava paksuudeltaan vähintään 0,5 m.

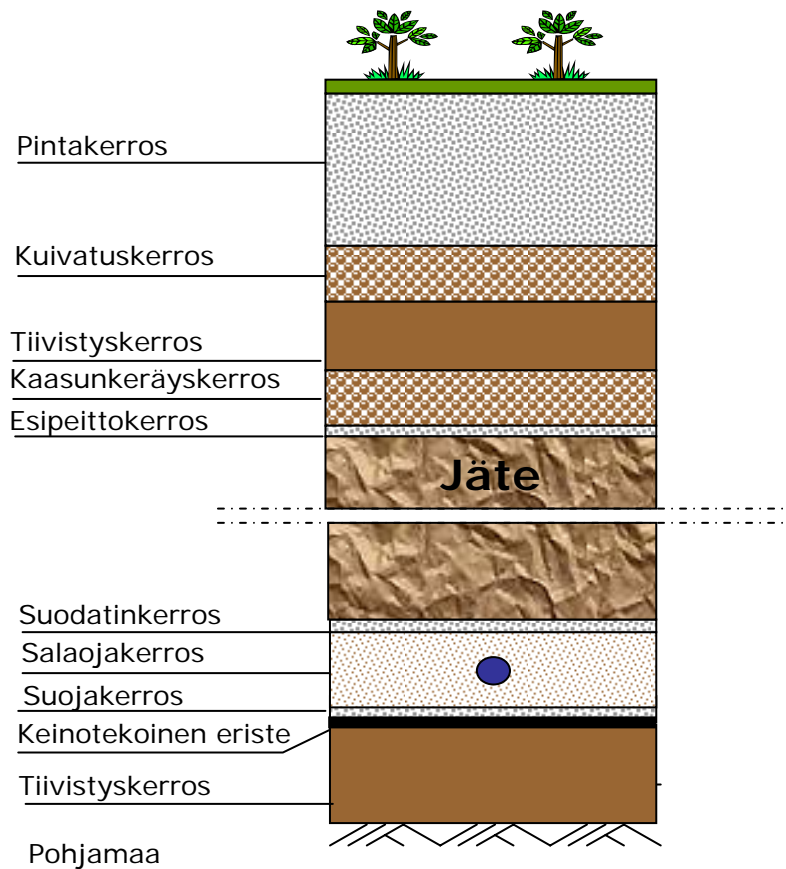
Kaatoaikan pohjarakenteet ja niitä koskevat määräykset annetaan ympäristöluvan lupaehtoissa. Tiivisturpeelle on ominaista kuormituksen johdosta tapahtuva kokoonpuristuminen ja vedenläpäisevyyden pieneneminen. *Tiivisturverakenne voidaan mitoittaa kerrospaksuuden ja vedenläpäisevyyden osalta koskemaan joko alkutilannetta ilman jätekuormitusta tai lopputilanteen mukaan, jolloin rakennetta kuormittaa lopullinen jätetäyttökerros.*

2.3 Kaatoaikan peiterakenteet

Täyttöalueen saavutettua lopullisen täyttökorkeutensa on sen päälle rakennettava pintarakenne, jossa on seuraavat rakennekerrokset ylhäältä alaspäin lueteltuina (VNp 861/1997):

Kerros	Kaatoaikkaluokka	
	Tavanomaisen jätteen kaatoaikka	Ongelmajätteen kaatoaikka
Pintakerros ≥ 1 m	Vaaditaan	Vaaditaan
Kuivatuskerros $\geq 0,5$ m	Vaaditaan	Vaaditaan
Tiivistyskerros $\geq 0,5$ m	Vaaditaan	Vaaditaan
Keinotekoinen eriste	Ei vaadita	Vaaditaan
Kaasunkeräyskerros	Vaaditaan	Tarpeen mukaan

Pintarakenteen rakennejärjestystä voidaan perustelluista syistä muuttaa.



Kuva 1. Kaaviokuva kaatoaikan pohja- ja pintarakenteesta

3 Tiivisturpeen tuotanto

3.1 Tuotantoalueen esitutkimukset

Tiivisturpeen tuotantoon valitaan sopiva tuotantosuo esitutkimusten perusteella. Suolta otettujen näytteiden perusteella arvioidaan tiivisturpeen vedenjohtavuus, kokoonpuristuvuus, sorptio-ominaisuudet sekä tuotettavan turpeen määrä ja toimituskosteus. Tuotantosuo/-soiden valintaan vaikuttaa lisäksi niiden sijainti ja materiaalin kuljetusmatka sekä alueen muu turpeen käyttö. Turvelajiltaan tiivisturve on tyypillisesti keskimaatunutta tai maatunutta (H5...H8) rahkasara- tai rahkaturvetta.

3.2 Tuotanto

Tiivisturpeen tuotannosta vastaa materiaalitoimittaja. Tiivisturpeen tuotantoon laadullisesti soveltuva alue merkitään selkeästi tuotantokarttoihin. Tiivisturve tuotetaan sitä varten kehitetyllä hienontavalla jyrsimellä turvetuotantoalueella (kuva 2). Jyrsimessä on yleensä kaksi peräkkäistä jyrsinrumpua, jotka irrottavat ja hienontavat turpeen hienojakoiseksi ja tasalaatuisiksi tuotteiksi. Tiivisturpeen annetaan kuivua tavoitekosteuteen, jonka jälkeen se kootaan karhelle. Karhelle koottu tiivisturve kootaan mekaanisella keruuvaunuilla ja kuljetetaan varastoauomoihin. Tiivisturpeen tavoitekosteutta voidaan tarvittaessa muuttaa esim. säänolojen ja pohjasuhteiden ja tiivistämiskaluston muutosten johdosta.

Routatuotantomenetelmä poikkeaa normaalista tiivisturvetuotannosta. Sitä koskevat kysymykset tulee osoittaa em. yhteyshenkilöille.



Kuva 2. Tiivisturve tuotetaan tuotantoon erityisesti suunnitellulla jyrsimellä.

3.3 Tiivisturpeen laadunvarmistus

Materiaalitoimittaja vastaa tuotetun turpeen laadusta oman laatujärjestelmänsä mukaisesti (ks. Vapo Oy:n laatujärjestelmä). Laadunvarmistuksessa käytettäviä tiivisturpeen ominaisuuksia ovat mm. turvelaji, maatuneisuusaste ja kosteus. Tiivisturve voi sisältää noin 1 % tupasvillakuitua (kuivapainosta), joka parantaa sen kantavuutta tai savea, joka parantaa tiivistettävyyttä. Isot kannot ja liekopuut seulotaan tiivisturpeesta. Puuainesta saa olla enintään 0,1 % tilavuudesta ja sen maksimimitta on 60 x 350 mm. Karkeita mineraalimaita esim. pieniä kiviä saa olla noin 0,05 % tiivisturpeen tilavuudesta. Tuotannon aikana tärkeintä on seurata tiivisturpeen kosteutta.

3.4 Toimitusmäärä ja materiaalimenekki

Lupaehdoissa annetaan tiivistyskerroksen paksuus ja vedenläpäisevyysarvo. Jos vaatimuksena annetaan kerrospaksuus ennen jätetäytön aiheuttamaa kuormitusta, määritetään tiivisturpeen ominaisuudet huomioiden rakentamisessa käytetty kalusto ja tiivistyskerroksen päälle tulevat kerrokset ennen jätetäyttöä ja siitä johtuvaa tiivistyskerroksen kokoonpuristumista.

Tiivisturpeelle on ominaista kuormituksen johdosta tapahtuva vaiheittainen kokoonpuristuminen. Koska tilavuuspaino muuttuu ajan- ja kuormituksen funktiona, tulee toimitettava materiaalmäärä arvioida turpeen kuiva-aineksen määränä pinta-alayksikköä kohden (kg/m^2). Materiaalitoimittaja määrittää massamenekin tonneina pinta-alayksikköä kohti kuiva-ainemääränä ja kokonaismassana toimituskosteudessa.

3.5 Varastointi

Tiivisturve varastoidaan tuotantoalueilla aumoihin. Tiivisturve toimitetaan rakennuskohteeseen yleensä muutaman päivän tai viikon sisällä. Tiivisturve voidaan varastoida myös rakennuskohteessa. Suositeltavaa kuitenkin on, että tuotanto ja toimitukset suunnitellaan siten, että tiivisturve levitetään ja tiivistetään välittömästi suoraan rakenteeseen.

4 Tiivisturpeen ominaisuudet

4.1 Luokitusominaisuudet

4.11 Kosteuspitoisuus

Tiivisturpeen kosteuspitoisuus määritetään yleensä uunikuivausmenetelmällä painohäviönä kuivattamalla toimituskostea turvetta 105 °C:een lämpötilassa 24 h ajan. Vesipitoisuus lasketaan yleensä painohäviönä kostean massan suhteen (kaava 1). Vesipitoisuus voidaan ilmoittaa myös kuivan massa suhteen (kaava 2). Turpeen kosteus voidaan ilmoittaa myös tilavuusvesipitoisuutena w_{vol} , jolla tarkoitetaan veden tilavuusosuutta kokonaistilavuudesta (kaava 3).

Turveteollisuudessa on yleisesti käytössä kaavan 1 mukainen laskentatapa (kuva 3).

$$w_{tot} = \frac{M_w}{M} \cdot 100\% \quad (1)$$

missä w_{tot} on vesipitoisuus [%]
 M_w veden massa [g]
 $M (= M_w + M_s)$ märän näytteen massa [g]

$$w = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100\% \quad (2)$$

missä w on vesipitoisuus [%]
 M_w veden massa [g]
 M_s kuivan näytteen massa [g]

$$w_{vol} = \frac{V_w}{V} \cdot 100\% \quad (3)$$

missä w_{vol} on tilavuusvesipitoisuus [%]
 V_w veden tilavuus [cm³]
 V koko näytteen tilavuus [cm³]

4.12 Tilavuuspainon määrittäminen

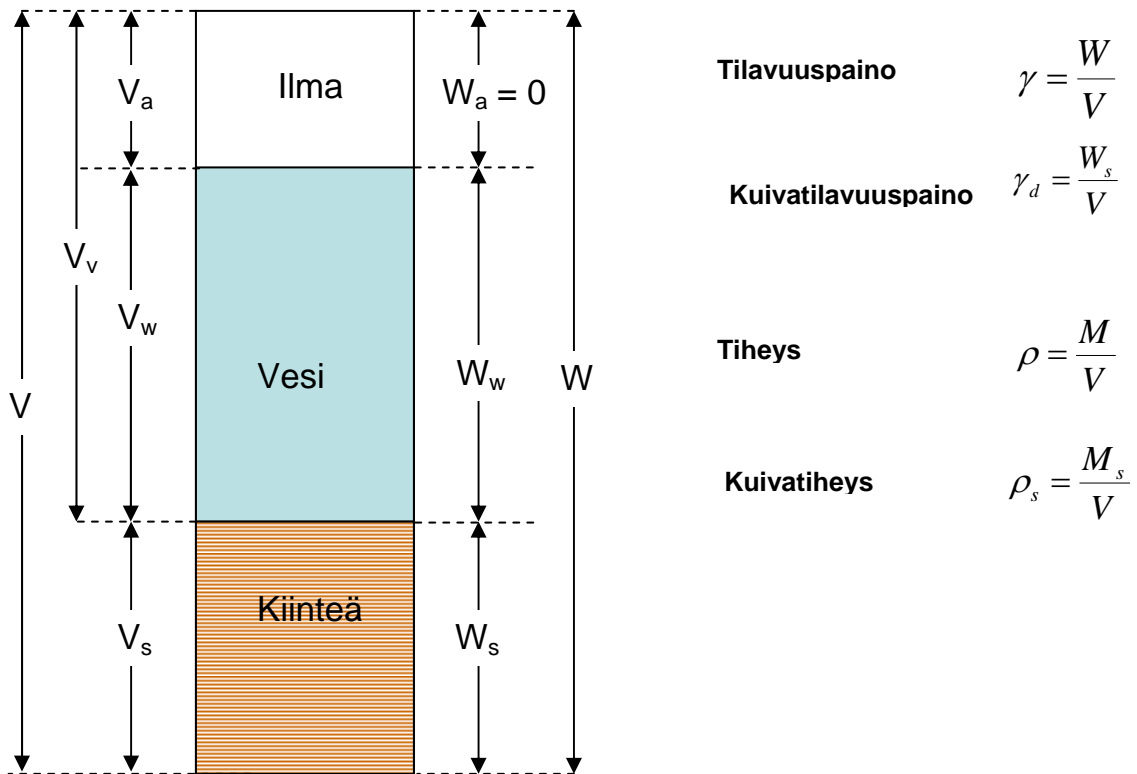
Tilavuuspainolla tarkoitetaan painovoimaa, joka kohdistuu tilavuusyksikön suuruiseen materiaalimäärään. Kuivatilavuuspainolla puolestaan tarkoitetaan painovoimaa, joka kohdistuu tilavuusyksikön suuruiseen kuivattuun (105 °C) materiaalimäärään. Tilavuuspaino lasketaan kaavalla 4 ja kuivatilavuuspaino kaavalla 5.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (4)$$

missä γ on tilavuuspaino toimituskosteudessa [kN/m³]
 W toimituskostean näytteen paino [kN]
 V materiaalierän tilavuus [m³]

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (5)$$

missä γ_d on kuivatilavuuspaino [kN/m³]
 W_s kuivaan näytteen paino [kN]
 V materiaalierän tilavuus [m³]



Kuva 3. Vesipitoisuuden ja tilavuuspainon laskentaan käytettävät paino- ja tilavuussuhteet.

4.2 Tiivistettävyys

Tiivistettävyuden tunteminen on tärkeä tiivisturverakenteiden suunnittelussa sillä tiivistämisellä saavutettava tilavuuspaino vaikuttaa voimakkaasti sekä vedenjohtavuuteen että kokoonpuristuvuuteen ja siten myös toimitettavaan materiaalmäärään. Tiivistettävyys voidaan parhaiten arvioida koetiivistyksen avulla. Koetiivistys suoritetaan Suomen ympäristökeskuksen oppaan n:o 36 Kaatopaikan tiivistysrakenteet mukaisesti. Laboratoriossa tiivistettävyys määritetään staattisen kuormituskokeen tai ICT-kiertotiivistimen avulla. Maarakentamisessa yleisesti käytetty parannettu Proctor-menetelmä ei sovellu tiivistettävyuden määrittämiseen eikä sitä suositella käytettäväksi tavoitetilavuuspainon määrittämiseksi. Tiivisturve toimitetaan yleensä vakiokosteudessa, joka vaihtelee 60...75 %. Tällöin materiaalin tilavuuspaino tiivistettynä rakenteessa ilman jätetäyttöä on yleensä 10...12 kN/m³. Tiivisturpeen levitys ja tiivistäminen rakenteeseen tehdään 1...4 kerroksessa siten, että kerrospaksuus on 15...20 cm. Materiaalitoimittaja suorittaa rakennuskohteen tiivisturvemenekin laskennan.

4.3 Lämpötekniset ominaisuudet

Tiivistyskerroksen lämpöteknisessä mitoituksessa lämmönjohtavuutena sulassa tilassa voidaan käyttää lukuarvoa 0.20 W/Km ja jäätyneessä tilassa vastaavasti 0.40 W/Km. Tilavuuslämpökapasiteetti voidaan laskea turpeen, veden ja ilman tilavuusosien

perusteella. Sulana tiivisturpeen lämpökapasiteetti on noin $3,0 \cdot 10^6 \dots 3,6 \cdot 10^6 \text{ J/Km}^3$ ja jäätyneenä noin $2,0 \cdot 10^6 \dots 2,4 \cdot 10^6 \text{ J/Km}^3$.

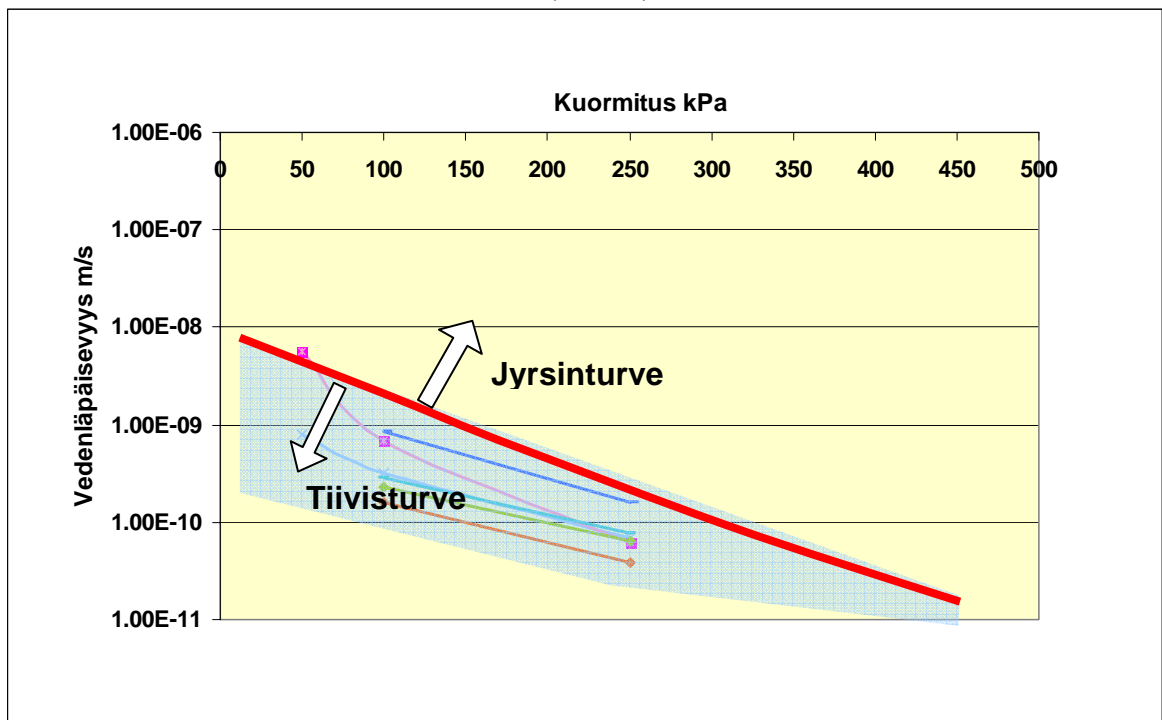
4.4 Tiivisturpeen routivuus

Tiivisturve on routimatonta materiaalia eikä routimisesta aiheutuvaa jään linssinmuodostumista tapahdu.

4.5 Hydrauliset ominaisuudet

4.51 Vedenjohtavuus

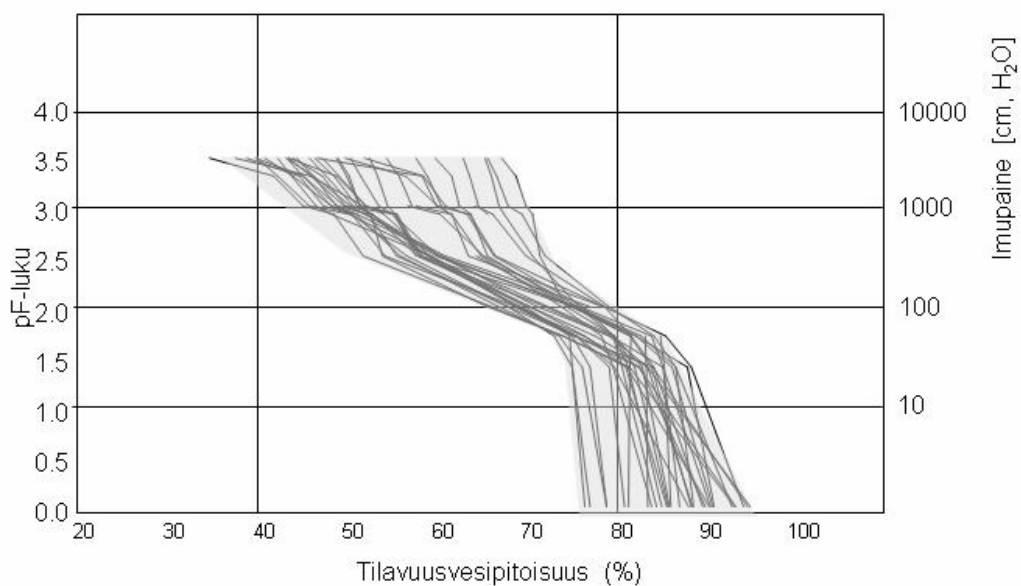
Tiivisturpeen vedenjohtavuus riippuu voimakkaasti tilavuuspainosta. Vedenläpäisevyyskoetta suoritettaessa tulee tuntea tavoitetilavuuspaino, johon näyte tiivistetään ennen vedenläpäisevyyskokeen aloittamista. Tavoitetilavuuspaino määritetään joko in situ tiivistyksen tai painumakokeen avulla laboratoriossa. Kokoonpuristuvuuskokeessa näytteen halkaisijan tulee olla riittävän suuri ($> 150 \text{ mm}$), jotta reunakitka ei rajoita tiivisturpeen kokoonpuristumista eikä tilavuuspaino jää liian alhaiseksi. Koska vedenjohtavuus on voimakkaasti tilavuuspainosta riippuva, liian löyhä tiivistäminen antaa liian suuren vedenläpäisevyyden. Tiivisturpeelle on ominaista vedenläpäisevyyden pieneneminen kuormituksen funktiona. Vedenläpäisevyysarvo $K < 10^{-8} \text{ m/s}$ saavutetaan yleensä noin 25 kN/m^2 pintakuormalla (kuva 4). Vedenläpäisevyysarvon vaihteluväli 25 kN/m^2 kuormituksella on $10^{-8} \dots 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$. Vedenläpäisevyys pienenee kuormituksen funktiona siten, että se on 350 kN/m^2 kuormituksella $10^{-10} \dots 10^{-11} \text{ m/s}$. Vaihteluväli johtuu pääosin eroista turvelaaduissa sekä maatumisasteesta eri tuotantoalueilla (kuva 4).



Kuva 4. Tiivisturpeen vedenjohtavuus kuormituksen funktiona.

4.52 Vedenpidätyskyky

Turpeella on voimakas kyky pidättää vettä. Turvemaalajeilla vesipitoisuuden ja paineen välinen vuorosuhde on erilainen riippuen siitä onko näyte tarkasteluhetkellä kuivumassa vai kostumassa. Ilmiötä sanotaan hystereesiksi ja sen aiheuttavat huokosten koon ja muodon epäsäännöllisyydet, veden pintajännitys ja maahan pidättynyt ilma. Hystereesin ja voimakkaan vedenpidätyskapasiteetin johdosta tiivisturve toimii pintarakenteessa suotautuvan veden varastona sadejakson aikana ja haihduttaa sitä kuivina ajanjaksoina. Vedenpidättyminen vaihtelee eri turpeilla (kuva 5). Esim. pF-arvoa 2 mikä vastaa 1 m etäisyyttä pohjavedenpinnasta, tilavuusvesipitoisuus on > 65 %. Vastaavasti pF-arvoa 3 eli etäisyyttä 10 m pohjavedenpinnasta, vastaava tilavuusvesipitoisuus on > 45 %. Suurella vesipitoisuudella ja korkealla kyllästysasteella on huomattava merkitys hapen kulkua rajoittavana kerroksena sulfidipitoisten rikastushiekka-altaiden pintarakenteissa.



Kuva 5. Erityyppisten turpeiden vedenpidätyskäyriä.

Tiivisturve tuotetaan tiivistettävyyden vuoksi sopivan kosteana joten se kestää hyvin rakentamisaikaista tiivistämistä. Kuormituksen kasvaessa riittävän suureksi vesi alkaa, tosin hyvin hitaasti, poistumaan.

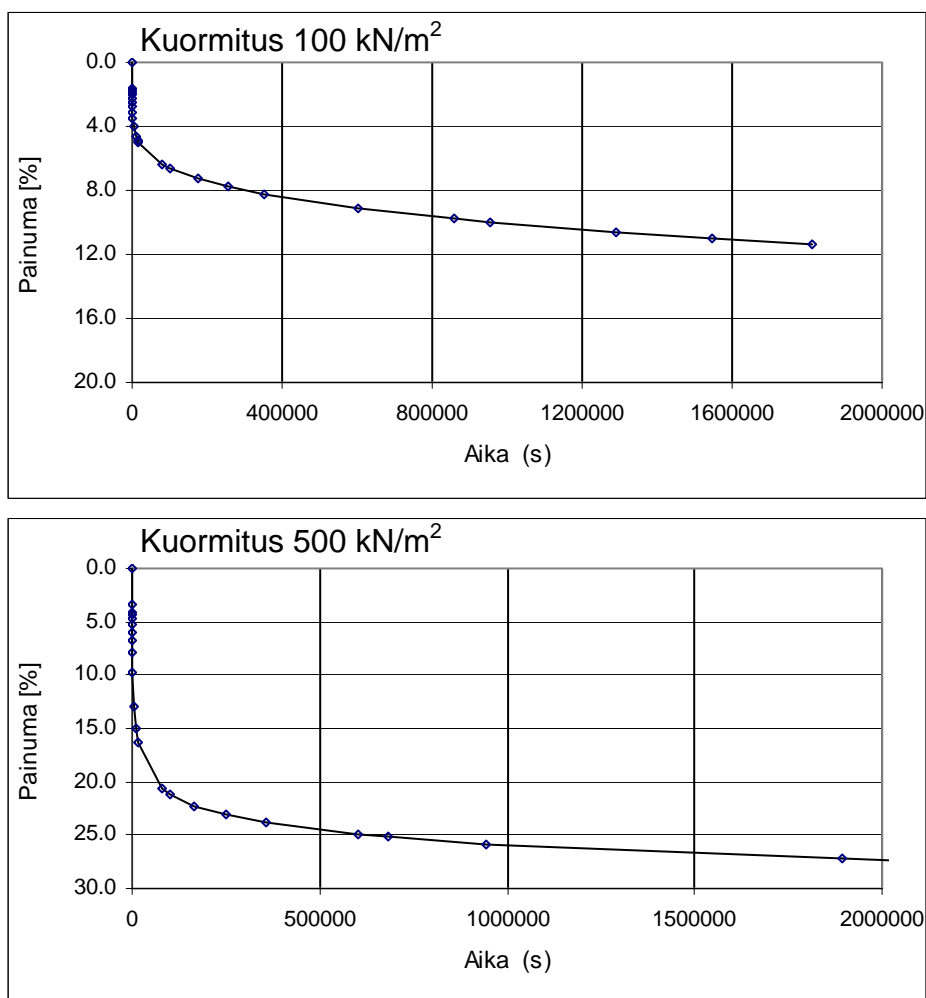
4.6 Mekaaniset ominaisuudet

4.61 Lujuusominaisuudet

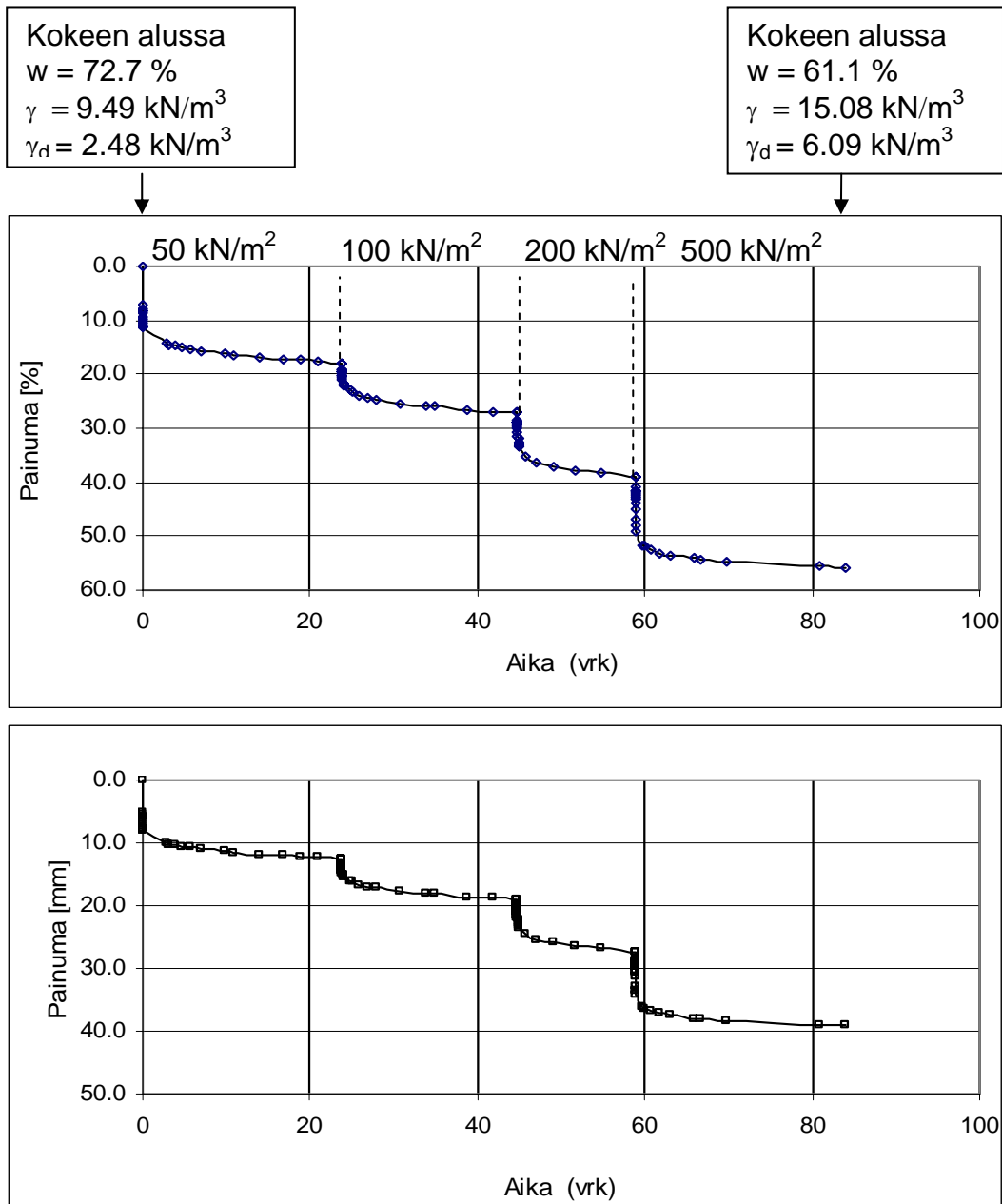
Tiivisturpeen lujuus muodostuu kitkasta ja koheesiosta. Mitoituksessa tiivisturpeen kitkakulmana voidaan käyttää $\phi = 38^\circ$ ja koheesiona $c = 4 \text{ kN/m}^2$. Lujuusparametrit on määritetty rasialeikkauskojeella.

4.62 Kokoonpuristuvuusominaisuudet

Tiivisturpeelle on ominaista kuormituksen vaikutuksesta tapahtuva kokoonpuristuminen. Kokoonpuristumisen tunteminen on tärkeää mm. sen vuoksi, että vedenjohtavuusarvo riippuu tilavuuspainosta. Luonnontilaisen turpeen kokoonpuristumisessa voidaan erottaa kolme peräkkäistä vaihetta: primääri-, sekundääri- ja tertiäärivaihe. Kuormitettaessa tiivisturpe kokoonpuristuu nopeasti heti kuormitusvaiheen alussa mutta hidastuu sen jälkeen (kuva 6 a ja b). Primäärivaiheen kuormitus kestää ainoastaan muutamia vrk ja suurin osa kokoonpuristumisesta tapahtuu tänä aikana. Kuvassa 7 on esitetty esimerkki tiivisturpeen kokoonpuristumisesta ajan funktiona portaittaisilla kuormituksilla. Suurin osa painumisesta tapahtuu heti kuormitusvaiheen alussa. Painuman suuruuteen vaikuttaa lähtötilanteen tilavuuspaino ja vesipitoisuus. Kuvasta 7 voidaan havaita, että tiivisturpeen vesipitoisuus on huomattavan korkea (61,1 %), vaikka tiivisturpe on kokoonpuristunut lähtötilanteesta noin 55 %.



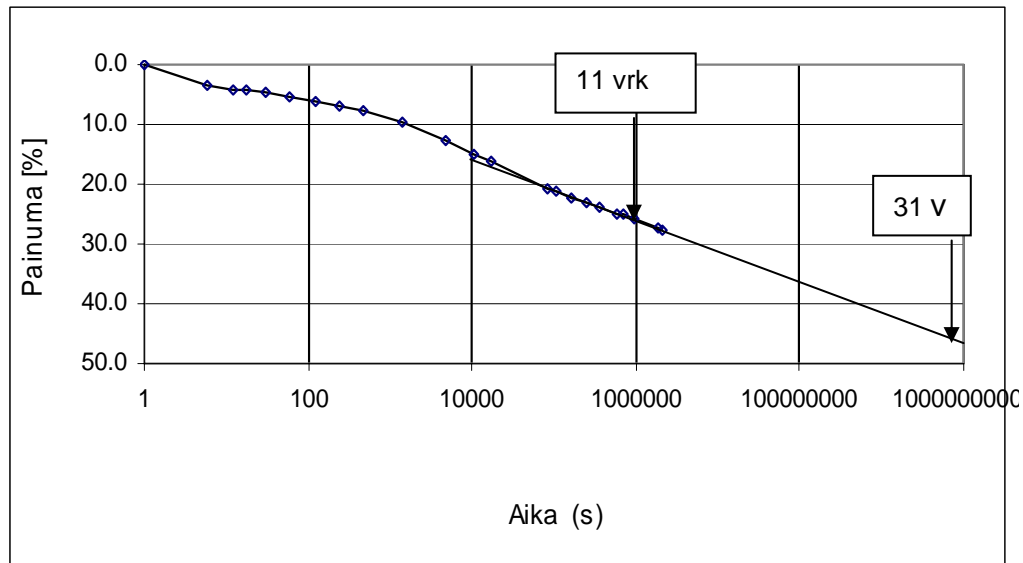
Kuva 6. Tiivisturpeen kokoonpuristuminen ajan funktiona 100 kN/m² ja 500 kN/m² pintakuormilla.



Kuva 7. Tiivisturpeen kokoonpuristuminen ajan funktiona kuormitettuna 50 kN/m^2 , 100 kN/m^2 , 200 kN/m^2 ja 500 kN/m^2 kuormituksella.

Pitkäaikaispainuminen

Tiivisturpeen pitkäaikaispainumaa voidaan arvioida aika-painumakäyrän avulla ekstrapoloimalla lineaarisesti lyhytaikaishavaintoja logaritmisessa aikaskaalassa (kuva 8). Kun näyte on kokoonpuristunut 500 kPa :n pystyjännitystä vastaavaan tilaan kuten esim. kuvan 8 tiivisturve, aiheuttaa pitkäaikainen (esim. 30 vuotta) kokoonpuristuminen lisäpainuman, jonka suuruus voidaan arvioida ekstrapoloimalla kokoonpuristuman kehitystä ajan logaritmiasteikolla. On kuitenkin huomattava, että painuma todennäköisesti hidastuu ajan funktiona jolloin logaritmiasteikolla lineaarisesti ekstrapoloitut painuma-arvot ovat painuman maksimiarvoja.



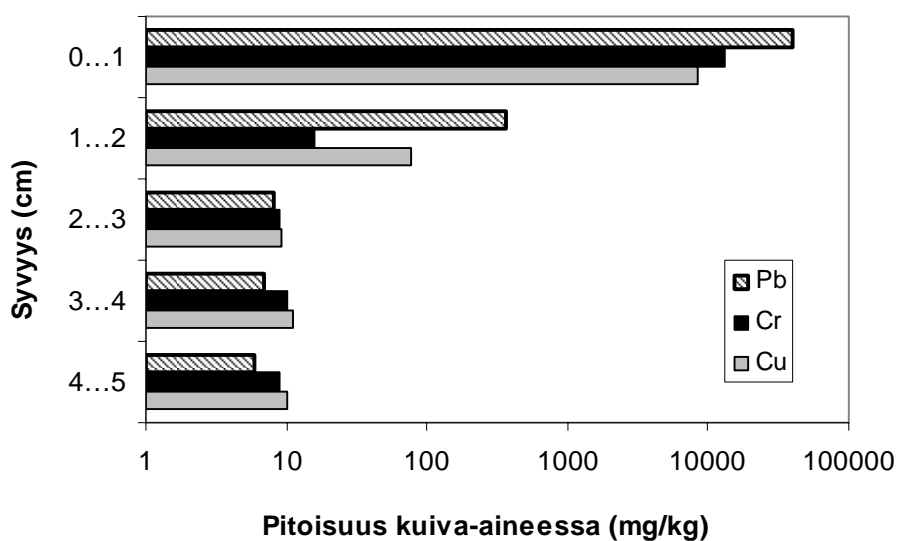
Kuva 8. Tiivisturpeen pitkäaikaisen kokoonpuristuman arvioiminen.

On huomattava, että tiivisturpeen vedenläpäisevyys riippuu voimakkaasti tilavuuspainosta. Tiivisturpeen kokoonpuristuessa vedenläpäisevyys pienenee kuvan 5 mukaisesti.

4.7 Adsorptiokyky

Tiivisturpeella on kyky sitoa haitallisia aineita, kuten raskasmetalleja. Haitta-aineen pidäytyminen tapahtuu useiden mekanismien avulla kuten adsorboitumalla, jakautumalla eri faaseihin, ioninvaihdon avulla sekä saostumalla. Metallien saostuminen riippuu happamuudesta ja hapetus-pelkistysolosuhteista. Tiivisturpe on luontaisesti hapanta ja sen pH vaihtelee 4...5. Esim. Cu^{2+} -ionien sitoutuminen kasvaa voimakkaasti pH alueella 3...5. Turve adsorboi voimakkaasti useimpia metalleja kuten arseenia (As^{3+}), kromia (Cr^{3+}), kuparia (Cu^{2+}), lyijyä (Pb^{2+}), molybdeenia (Mo), sinkkiä (Zn). Adsorptiokyky määritetään kokeellisesti joko ravistelutestin tai kolonnitestin avulla.

Tiivisturpeen kyky pidättää haitta-aineita voidaan havainnollistaa kuvan 9 esimerkillä, jossa on esitetty kolonnikokeessa pidättyneen haitta-aineen syvyysuuntainen jakautuminen. Kolonnikokeen kesto on ollut n. 12 kk ja näytteen läpi on virrannut tänä aikana 4 l vettä, mikä vastaa 12,8 -kertaista huokostilavuutta. Kuvasta 9 voidaan havaita, että arseeni, kromi ja kupari ovat pidättyneet erittäin voimakkaasti näytteen yläosaan.



Kuva 9. Lyijyn, kromin ja kuparin pitoisuudet (mg/kg) viipaloituissa turvenäytteissä eri syvyyksillä. Huom. pitoisuusasteikko on logaritminen. (Koivula et al. 2006)

Turpeella on huomattavan suuri kationinoninvaihtokapasiteetti (100...150 meq/100 g näytettä) useimpiin maalajeihin verrattuna. Kationinvaihtokapasiteetti kuvaa kykyä adsorboida ulkopuolisia kationeja. Kationinvaihdossa liuoksen positiivisesti varautuneet ionit vaihtavat paikkaa turvepartikkelin pinnalla olevien kationien kanssa ja sitoutuvat siihen elektrostaattisilla voimilla. Yksikkönä kationinvaihtokapasiteetille käytetään yleensä milliekvivalenttia/100g näytettä (meq/100g).

4.8 Biohajoavuus

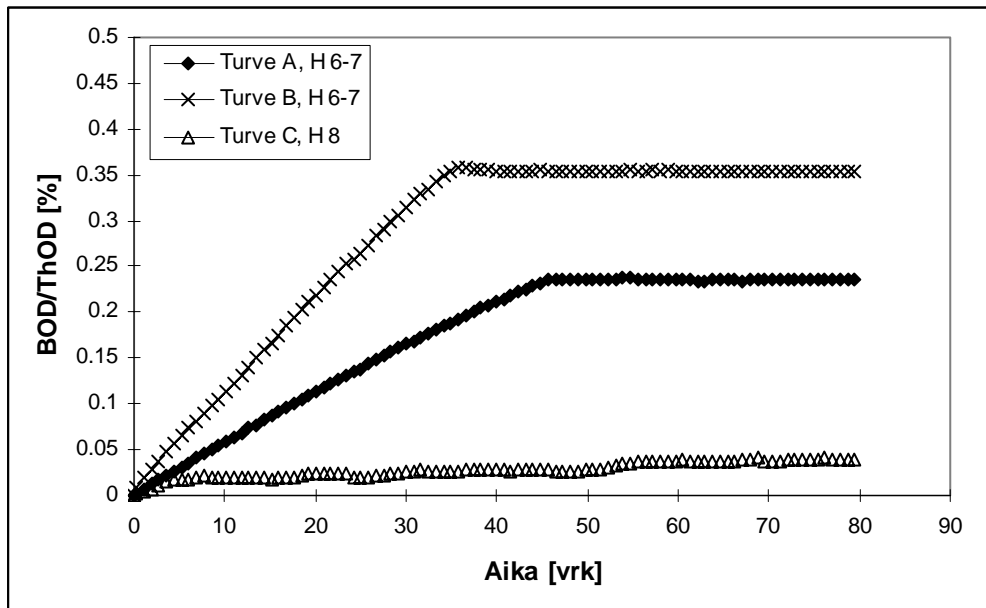
Biohajoavuudella tarkoitetaan mikro-organismien aikaansaamaa orgaanisen aineksen hajoamista. Mikro-organismit (bakteerit, sienet) hajoattavat orgaanisen aineen pienimolekyylisiksi yhdisteiksi ja lopulta hiilidioksidiksi ja vedeksi. Molekyylien hajoamisen seurauksena vapautuu ravintoaineita ja energiaa, jotka mikrobit käyttävät hyödyksi omassa kasvussaan ja uusiutumisessa. Biohajoavuus ilmoitetaan yleensä biohajoavuusasteena, jolla tarkoitetaan turpeen sisältämän hiilen hajoamista verrattuna kokonaishiilipitoisuuteen. Biohajoavuus voidaan määrittää manometrisellä, respirometrisellä menetelmällä (OxiTop[®]), missä mitataan biohajoamisen seurauksena muodostuvan hiilidioksidin aiheuttamaa paineen muutosta. Sen perusteella voidaan laskea kuinka paljon happea biohajoamisessa on kulunut ja se ilmoitetaan BOD-arvona. Biohajoavuusaste lasketaan BOD-arvon ja teoreettisen hapenkulutuksen (ThOD) avulla seuraavasti:

$$\text{Biohajoavuusaste} = \text{BOD}/\text{ThOD} \times 100\%$$

Teoreettinen (ThOD) hapenkulutus ilmoittaa kuluneen hapen määrän, kun kaikki orgaanisen hiili biohajonnut.

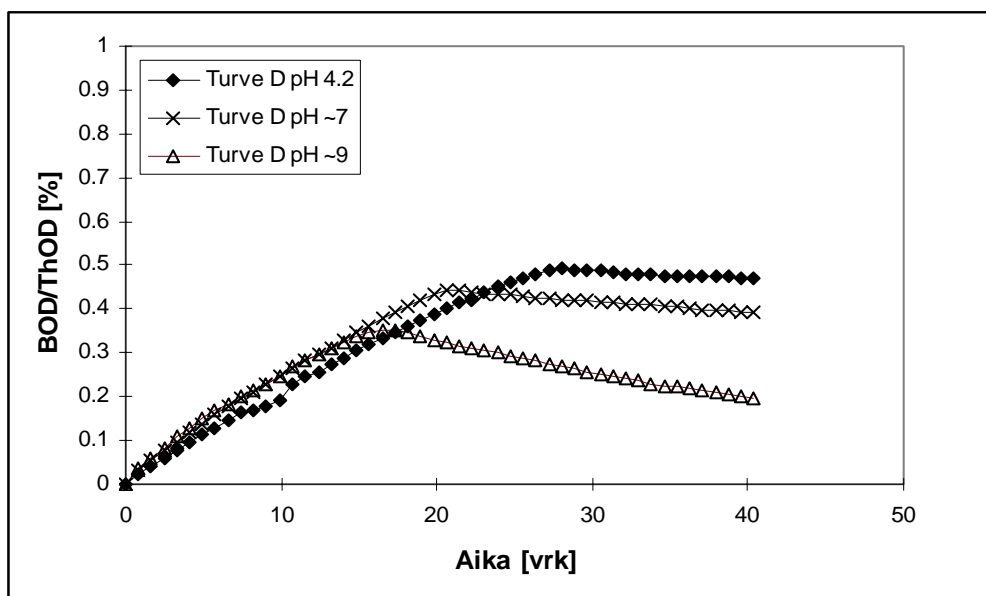
Tiivisturpeen biohajoavuus on hyvin vähäistä. Tiivisturpeiden biohajoavuusasteet vaihtelivat välillä 0,05...0,35 % ja maksimaalinen biohajoavuus saavutettiin jo

muutaman kuukauden kuluessa. Pienin biohajoavuus on turpeella, jonka maatumisaste on suurin (kuva 10). (Roppola et al. 2006)



Kuva 10. Tiivisturpeiden biohajoavuusasteet ajan funktiona. (Roppola et al. 2006)

Turpeen happamuudella ei ole merkittävää vaikutusta biohajoavuuteen. Emäksisyyden kasvaessa turve biohajoaa hieman vähemmän ja nopeammin kuin hapan turve (kuva 11).



Kuva 11. Tiivisturpeiden biohajoavuusaste ajan ja happamuuden funktiona. (Roppola et al. 2006)

Biohajoavuuden vaikutus tiivisturvekerroksen kokoonpuristumaan riippuu kerrospaksuudesta. Jos tiivisturvekerroksen paksuus on esim. 1000 mm, aiheuttaa

biohajoavuus enintään 1...2 mm:n painuman. Tästä johtuen sitä tarvitse ottaa huomioon kerrospaksuuden mitoituksessa.

5 Tiivistys- ja reaktiivisten rakenteiden mitoitus

5.1 Kaatopaikan pohjarakenteen mitoitus

Kaatopaikan pohjarakenteessa tiivistyskerroksen mitoituksen lähtökohtana on yleensä rakenteen vedenläpäisevyysarvo ja kerrospaksuusvaatimus.

Seuraavien laskentaesimerkkien avulla osoitetaan periaate, jolla määritetään kahden vedenläpäisevyydeltään ja kerrospaksuudeltaan erilaisen tiivistyskerroksen vastaavuus.

Esimerkki 1) Vaadittavan vedenläpäisevyyden laskeminen

Määritetään tiivisturvekerroksen vedenjohtavuus, jotta se täyttää tavanomaisen jätteen kaatopaikan mukaisen suojatason ($K = 10^{-9}$ m/s), kun tiivisturvekerroksen paksuus on 0,5 m. Rakenteen läpi suotautuva vesimäärä aikayksikössä eli virtaama (m^3/s) on yhtä suuri molemmissa tapauksissa. Suotovedenpinnan korkeus on 1,0 m molemmissa tapauksissa.

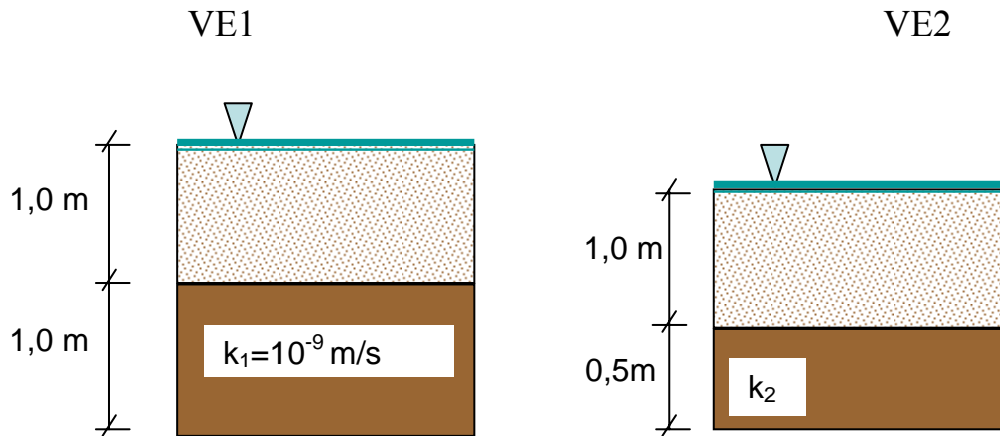
Laskenta suoritetaan Darcyn lain mukaisesti

$$\frac{Q}{A} = v = k * i$$

$$v_s = \frac{v}{n}$$

$$s = v * t$$

missä	Q on virtaama [m^3/s]
	A pinta-ala [m^2]
	v virtaamanopeus [m/s]
	k vedenjohtavuus [m/s]
	i hydraulinen gradientti
	v_s suotonopeus [m/s]
	n huokoisuus
	s matka [m]
	t aika [s]



Lasketaan hydraulinen gradientti

$$i_1 = \frac{1,0 + 1,0}{2,0} = 1,0$$

$$i_2 = \frac{1,0 + 0,5}{1,5} = 1,0$$

$$v_{VE1} = k_1 \times i_1$$

$$v_{VE2} = k_2 \times i_2$$

Merkitään virtaamanopeudet yhtä suuriksi

$$v_{VE1} = v_{VE2} \Rightarrow k_1 \times i_1 = k_2 \times i_2 \Rightarrow$$

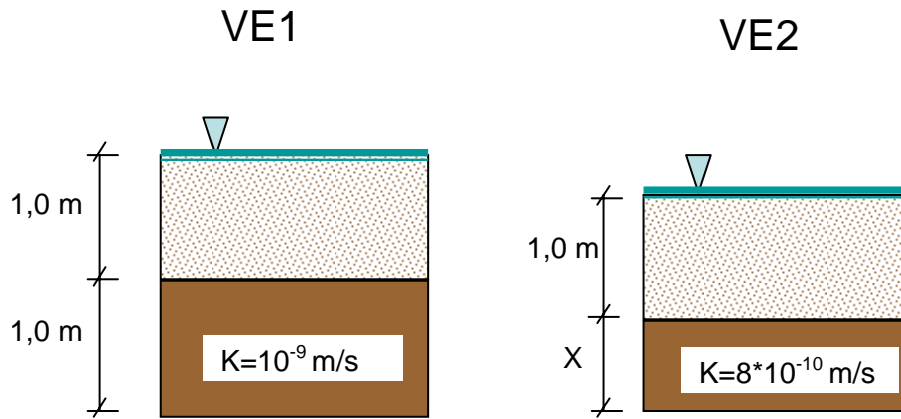
Vedenläpäisevyydeksi saadaan

$$k_2 = \frac{k_1 \times i_1}{i_2} = \frac{10^{-9} \times 1,0}{1,0} = 10^{-9} \frac{m}{s}$$

Tiivisturvekerroksen vedenjohtavuuden tulee olla $\leq 6,67 \times 10^{-10} \text{ m/s}$

Esimerkki 2) Vaadittavan kerrospaksuuden määrittäminen

Määritetään tiivisturvekerroksen paksuus, jotta se vastaa rakennetta jonka vedenläpäisevyys $k \leq 10^{-9}$ m/s ja kerrospaksuus $h=1,0$ m. Oletetaan, että tiivisturvekerroksen vedenläpäisevyys on $8 \cdot 10^{-10}$ m/s



Tarkastellaan 1 m^2 suuruista aluetta molemmissa rakenteissa (VE1 ja VE2). Virtaama (m^3/s) molemmissa rakenteissa tulee olla sama. Tällöin saadaan

$$Q_{VE1} = Q_{VE2} \Rightarrow$$

$$v_{VE1} = v_{VE2}$$

Rakenteessa VE1

$$v_{VE1} = k * i$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Hydraulinen gradientti } i &= \frac{1 \text{ m} + 1 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 2 \\ v_{VE1} &= 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{s}} * 2 = 2 * 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned} \right\}$$

Rakenteessa VE2

$$v_{VE2} = k * i$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Hydraulinen gradientti } i = \frac{1 \text{ m} + x \text{ m}}{x \text{ m}} \\ v_{VE2} = 8 * 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{s}} \left(\frac{1 \text{ m} + x \text{ m}}{x \text{ m}} \right) \end{array} \right\}$$

Merkitään $v_{VE1} = v_{VE2}$

Ratkaistaan yhtälö, jolloin saadaan $x = 0,67 \text{ m}$

Esimerkki 3) Haitta-aineen kulkeutumisaika tiivistyskerroksen läpi

Lasketaan haitta-aineen kulkeutumiseen tarvittava aika tiivistyskerroksen läpi. Haitta-aineen oletetaan kulkeutuvan pelkästään advektion avulla. Veden todellinen suotonopeus riippuu huokoisuudesta n . Tällöin saadaan:

$$v_s = \frac{v}{n}$$

Aika, joka vedellä menee matkan s kulkemiseen, saadaan kaavasta

$$t = \frac{s}{\frac{v}{n}}$$

Jolloin:

$$\text{Rakenteessa VE1} \quad t = \frac{1 \text{ m}}{\frac{2 * 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,5}} = 7,93 \text{ v}$$

$$\text{Rakenteessa VE2} \quad t = \frac{0,67 \text{ m}}{\frac{2 * 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,5}} = 5,31 \text{ v}$$

5.2 Haitta-aineen kulkeutuminen pohjarakenteen läpi

Kaatoaikan pohjarakenteella estetään pohjaveden ja maaperän pilaantuminen. Haitta-aine kulkeutuu kaatoaikan pohjarakenteen läpi sekä advektion, dispersion että diffuusion avulla. Advektiolla tarkoitetaan haitta-aineen kulkeutumista veden virtauksen mukana, jolloin kulkeutumisnopeuteen vaikuttaa pelkästään kerroksen vedenläpäisevyys. Diffuusiolla puolestaan tarkoitetaan haitta-aineen kulkeutumista pitoisuuserojen johdosta. Diffuusion vaikutuksesta aine voi kulkeutua rakenteen läpi, kuten esim. jätetäytöstä suotautuva vesi pohjarakenteen tiivistyskerroksen läpi, ilman hydraulisen gradientin vaikutusta. Haitta-aineiden kulkeutuminen advektion mukana on määrää ainoastaan vedenjohtavuuden arvoilla, jotka ovat $>10^{-8}$ m/s. Hallitsevaksi kulkeutumismekanismitiksi muodostuu diffuusio, joka ilmiönä ei edellytä hydraulista gradienttia. Aineen kulkeutumiseen vaikuttaa myös adsorptio, jolla tarkoitetaan haitta-aineiden pidättymistä. Haitta-aineiden kulkeutuminen voi puolestaan hidastua tai täysin estyä adsorption vaikutuksesta

Em. ilmiöiden vaikutusta haitta-aineen kulkeutumiseen tiivisturvekerroksen läpi voidaan arvioida laskentaohjelmien avulla, jotka ottavat huomioon haitta-aineen kulkeutumisen ja pidättymisen eri muodot. Laskenta voidaan suorittaa GeoStudio2004 laskentaohjelmistolla käyttämällä aliohjelmia SEEP/W 2004 ja CTRAN/W2004 (GEO-SLOPE International Ltd.).

Ohjausyhtälö SEEP/W on ohjelmassa muotoa (6)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial W_{vol}}{\partial t} \quad (6)$$

missä	H	hydraulinen korkeus
	k_x	vedenjohtavuus x-akselin suunnassa
	k_y	vedenjohtavuus y-akselin suunnassa
	Q	virtaama
	W_{vol}	tilavuusvesipitoisuus
	t	aika

Ohjausyhtälö CTRAN/W ohjelmassa on muotoa (7)

$$\Theta \frac{\partial C}{\partial t} + \rho_d \frac{\partial S}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} = \left(\Theta + \rho_d \frac{\partial S}{\partial C} \right) \frac{\partial C}{\partial t} = \Theta D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} \quad (7)$$

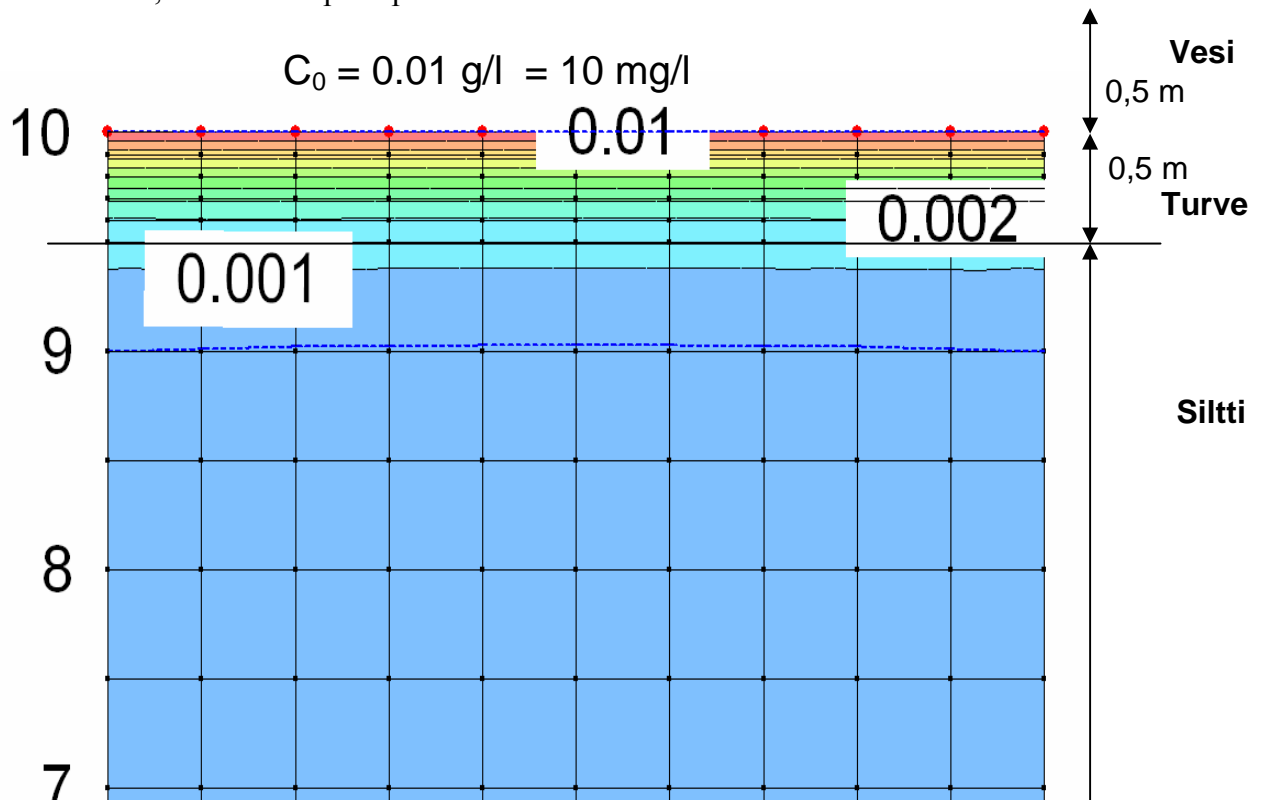
missä	Θ	tilavuusvesipitoisuus, -
	C	konsentraatio, g/m ³
	t	aika, s
	ρ_d	kuivatilavuuspaino, g/m ³
	S	adsorptio,
	D	hydrodynaaminen dispersio, m ² /s
	U	Darcyn lain mukainen virtaamanopeus, m/s

Seuraavan esimerkin avulla havainnollistetaan haitta-aineen kulkeutumisen laskentaa.

Laskennassa on käytetty seuraavia lähtöarvoja:

- tiivisturpeen vedenjohtavuus 10^{-9} m/s
- tiivisturpeen paksuus 500 mm
- haitta-aineen konsentraatio 10 mg/l
- tiivisturpeen adsorptio 95 %
- pohjamaan siltin adsorptio 20 %
- pohjaveden korkeus 1,0 m tiivisturpeen yläpinnasta
- tiivisturpeen päällä ei ole kalvoa
- laskenta-aika 10 v
- suotoveden korkeus 0,5 m tiivisturpeen pinnasta

Kun haitta-aineen lähtökonsentraatio on 10 mg/l, kulkeutuu haitta-aine tiivisturpeen läpi siten, että turpeen alapinnassa konsentraatio on 10 v kuluttua 2 mg/l (kuva 12). Haitta-aineen konsentraatio 1 mg/l etenee pohjamaan noin 10 cm syvyyteen. Tällöin oletetaan, että tiivisturpeen päällä ei muovikalvoa tai muovikalvo on rikkoontunut.



Kuva 12. Haitta-aineen (g/l) kulkeutuminen tiivisturpeen läpi 10 vuoden aikana tilanteessa jossa turpeen päällä ei ole muovikalvoa tai se on rikkoontunut.

5.3 Stabiileetin laskenta

Tiivisturpeen stabiileetti voidaan laskea yleisillä geotekniikan laskentamenetelmillä esim. sijoittaessa tiivisturvekerros kalvon päälle luiskaan.

5.4. Peiterakenteiden suunnittelu ja mitoitus

Täyttöalueen saavutettua lopullisen täyttökorkeutensa on sen päälle rakennettava pintaeristys. Rakenteen suunnittelu ja mitoitus tulee pohjautua kohteen ympäristölupamääräyksiin, joissa esitetään mm. tiivistyskerroksen paksuus ja kyllästyneen tilan vedenläpäisevyys. Tiivistyskerroksen päälle tulee VNp 861/1997 mukaisesti tavanomaisen jätteen ja ongelmajätteen kaatopaikoilla kuivatuskerros ja pintakerros, joiden yhteispaksuus on 1,5 m. Tiivistyskerroksen vedenjohtavuuden suuruutta ei ole määritelty Valtioneuvoston päätöksessä mutta yleisesti se on vaihdellut $10^{-8} \dots 10^{-9}$ m/s.

Kaatopaikan pintaeristysrakenteen materiaalit ja niitä koskevat määräykset annetaan lupaehtoisissa, joissa esitetään mm. kerrospaksuus ja vedenläpäisevyys.

Pintaeristysrakenteissa tiivisturpeen suunnittelu- ja mitoitus etenee seuraavasti:

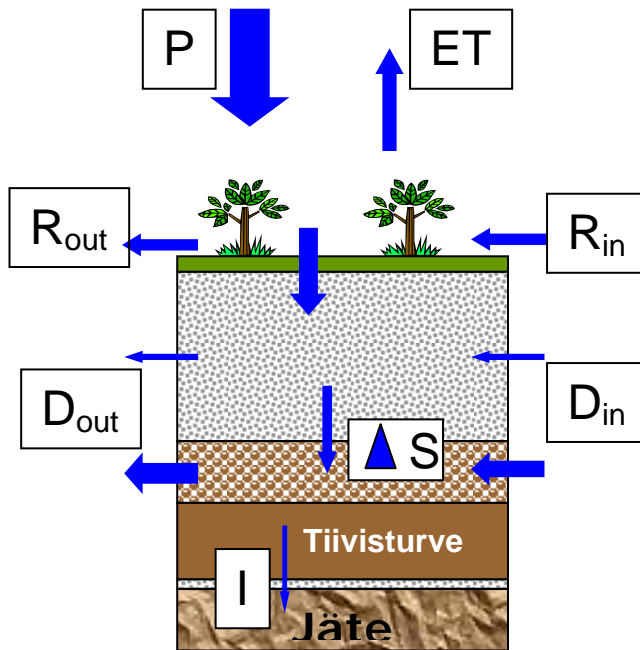
1. **Määritetään tiivisturpeen tilavuuspaino**
-tilavuuspaino määritetään in situ tiivistämistä vastaavalla työmäärällä toimitusvesipitoisuudessa
2. **Määritetään tiivisturpeen vedenjohtavuus**
-vedenjohtavuus määritetään in situ tiivistyksen mukaisessa tilavuuspainossa.
3. **Määritetään tiivisturpeen kokoonpuristuminen**
-turpeen kokoonpuristuvuus määritetään pintaeristysrakenteen kuormituksen mukaisesti
4. **Lasketaan tarvittava tiivisturvemäärä**

Mikäli tiivistyskerroksen mitoituksessa käytetään yksikkögradienttia (suotovedenpinta tiivistyskerroksen yläpinnassa), ei tiivistyskerroksen paksuudella ole vaikutusta läpisuotautuvaan vesimäärään vaan se riippuu pelkästään vedenläpäisevyydestä. On huomattava, että kaatopaikan peiterakenteet ovat kuitenkin lähes aina osittain kyllästyneessä tilassa. Tästä syystä määräävin hydraulinen ominaisuus on tiivistekerroksen hydraulinen johtavuus osittain kyllästyneessä tilassa.

Peiterakenne voidaan mitoittaa myös rakennekerroksiin suotavan vesimäärän perusteella. Laskennassa tarkastellaan peiterakenteen vesitasetta. Kaatopaikan peiterakenteen vesitase voidaan muodostaa kuvan 13 mukaisten merkintöjen avulla kaavalla 8 seuraavasti:

$$I = P - ET - \sum D_{out} + \sum D_{in} - R_{out} + R_{in} - \sum \Delta S_n \quad (8)$$

- missä I on jätetäyttöön suotautuva vesimäärä
 P sadanta
 ET haihdunta (evapotranspiraatio)
 D_{out} tasealueelta poistuva välikerrosvalunta kerrokseen n
 D_{in} tasealueelle tuleva välikerrosvalunta kerrokseen n
 ΔS_n vesivaraston muutos



Kuva 13. Kaatopaikan pintakerroksen vesitase.

Vesitaseen komponenteista käytetään seuraavia nimityksiä

1. **Sadanta P** eli sademäärä on aikayksikössä alueelle sataneen veden määrä
2. **Haihdunta ET** on aikayksikössä veden höyrystymistä ja siirtymistä maan, veden ja kasvillisuuden pinnalta ilmakehään.
 - pintahaihdunta eli evaporaatio tapahtuu suoraan maan, veden tai lumen pinnalta. Myös sateesta kasvipeitteen pinnalle pidättyneen veden haihdunta on evaporaatiota.
 - kasvillisuushaihdunta eli transpiraatio liittyy kasvien elintoimintaan. Haihtuva vesi kulkeutuu juuri-varsi-lehti-systeemin lävitse.
 - kokonaishaihdunta eli evapotranspiraatio sisältää alueen evaporaation ja transpiraation.
3. **Valunta R** on alueelta aikayksikössä virtaava veden määrä pinta-alayksikköä kohden.
 - pintavalunta on se osa sadannasta tai sulannasta, joka ei haihdu eikä imeydy maaperään vaan kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta pintavetenä vesistöön.
4. **Välikerrosvalunta D** eli pinnanalainen valunta on maansisäinen alueelta aikayksikössä virtaava veden määrä pinta-alayksikköä kohden.
5. **Infiltraatio I** eli imeytyminen on veden imeytyminen rajapinnan lävitse. Hydrologiassa infiltraatiolla tarkoitetaan yleensä sadeveden imeytymistä maanpinnan lävitse tai pintaveden imeytymistä maaperään. **Suodanta** on huokoisen väliaineen läpi virtaava vesimäärä pinta-ala ja aikayksikköä kohden
6. **Vesivaraston muutos ΔS**

Kaatoaikan peiterakenteen vesitase voidaan laskea useilla kaupallisilla ohjelmilla. Visual Help (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) laskentaohjelma on kehitetty pelkästään kaatoaikkojen vesitaseen mallintamiseen (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (WES)). Mallilla voidaan tarkastella sekä kaatoaikan peite- että pohjarakennetta. Malli on näennäisesti kaksidimensionaalinen laskentamalli, jossa luodaan kerroksellinen laskentaprofiili. Peiterakenteessa malli käsittelee infiltraatiota pintakerroksen läpi, kuivatuskerroksessa tapahtuvaa virtausta, heikosti vettä läpäisevää tiivistyskerrosta ja geomembraaneja. Ohjelma sisältää rajoituksia kerrosjärjestykseen ja niiden lukumäärään

Visual Help mallissa annetaan sää-, maalaji- sekä suunnitteluparametrit, jonka jälkeen ratkaistaan rakenteen vesitase. Vesitaseen laskennassa käytetään useita empiirisiä yhtälöitä, jotka liittyvät lumen kertymiseen, pintavaluntaan, haihduntaan, kyllästyneen tilan välikerrosvaluntaan, geomembraanien läpäisevyyteen ja maaperän jäätymiseen. Help –mallia voidaan pitää näennäisesti kaksidimensionaalisena, koska mallissa on yhdistetty kahdessa eri dimensiossa tapahtuvia prosesseja (sadanta, haihdunta, infiltraatio ja suodanta; pintavalunta, välikerrosvalunta). Virtausyhtälöä ei ole kuitenkaan ratkaistu kaksidimensionaalisena. Help –mallissa on laaja Pohjois-Amerikan ilmastotietoa sisältävä tiedosto. Help –mallista on laadittu keski-eurooppalaiseen ilmasto-olosuhteisiin soveltuvampi versio (Berger 2000). Mallin ensisijainen tarkoitus on auttaa vertailemaan eri pinta- ja pohjarakennevaihtoehtoja päättelämällä rakennevaihtoehtojen vesitase.

VADOSE/W (GEO-SLOPE International Ltd.) on Windows-ympäristössä toimiva elementtimenetelmään perustuva kaksidimensionaalinen laskentaohjelma, joka on tarkoitettu lähinnä maapinnan läpi tapahtuvan infiltraation laskentaan. Ohjelma käsittelee samanaikaisia lämmön, veden ja vesihöyryn siirtoilmiötä tosistaan riippuvia prosesseina. Ohjelma huomioi haihdunnan riippuvuuden osittain kyllästyneessä maaperässä ja ilmassa.

Laskentamallilla voidaan tarkastella sekä osittain kyllästynyttä että kyllästynyttä tilaa. Osittain kyllästyneen tilan vedenjohtavuuden laskentaan on käytettävissä kolme eri laskentamenettelyä sekä mitatun vedenjohtavuuden syöttömahdollisuus. Ohjelman laskentayhtälöiden ratkaisumenetelmästä johtuen sillä voidaan laskea reunaehdoiltaan erilaisia tilanteita. Ohjelma ottaa huomioon haihdunnan laskennassa sadannan, infiltraation, maapohjan jäätyminen ja sulamisen, pintavalunnan ja lammikoitumisen sekä pohjaveden muodostumisen. Laskentatuloksina saadaan solmupisteissä mm. lämpötila, painepotentiaali, kokonaispotentiaali, suotoveden virtausnopeus ja suunta, jääpitoisuus, vesipitoisuus ja höyryn paine sekä kerrosten läpäisevä vesimäärä. Vesitaselaskelmista saadaan sadanta, haihdunta, suotovesivirtaus, haihdunta ja vesivaraston muutos. Ohjelma sisältää laajan ilmasto- ja maalajitietokannan.

Vesitaseen eri komponenttien suuruuteen kaatoaikan pintarakenteessa vaikuttaa monet eri tekijät kuten pintakasvillisuus, rakenteen kaltevuus ja pituus, ilmasto sekä rakennekerrosten materiaaliominaisuudet (vedenjohtavuus, vedenpidätysominaisuudet, vesipitoisuus). Likimäärin ja suuruusluokallisesti eri komponenttien osuudet ovat VNp 861/1997 mukaisilla pintarakenteilla kertaluokkaa:

- sadanta 650 mm
- haihdunta 300 mm
- pintavalunta 100 mm
- kerrosvalunta (pintakerros ja salaojakerros) 200..250 mm
- imeytyminen jätteeseen 25...50 mm

Peiterakenteessa tapahtuu myös kosteusvaraston muutosta eri vuodenaikoina. Kosteustilan muutokset riippuvat materiaalien vedenpidätyskyvystä. Tilavuusvesipitoisuuden muutokset materiaalissa ovat yleensä muutaman prosenttiyksikön suuruisia.

6 . Rakentamisen työselitys

Tätä työselitystä sovelletaan käytettäessä tiivisturvetta kaatopaikan pinta-pohjarakenteiden tiivistyskerroksessa. Rakentamisessa noudatetaan Suomen ympäristökeskuksen oppaassa 36 **Kaatopaikan tiivistysrakenteet** esitettyä työselitysohjetta. Seuraavassa esitetään ohjeen tarkennukset ja lisäykset, jotka koskevat tiivisturvetta.

TOIMINTASUUNNITELMA ERILAISTEN SÄÄOLOJEN VARALTA

Tiivisturpeen hyvät ominaisuudet korostuvat hankalien sääolojen aikana. Tiivisturpeessa on vettä jo lähtötilanteessakin $400...450 \text{ l/m}^3$, joten runsaskaan sade ei vaikuta kasalla olevan turpeen kosteusarvoon. Voimakkaan sateen aikana tulee huolehtia, että jo levitetty tiivisturve ei pääse vettymään siinä määrin että se vaikuttaa kokoonpuristumiseen. Tarvittaessa vettynyt turve kerätään kasalle ja sekoitetaan kuivempaan turpeeseen. Myös turvetuottaja voi tarvittaessa toimittaa kuivempaa turvetta.

Kasalla tiivisturve kuivuu vain pinnasta, mikä ei edellytä erityistoimenpiteitä. Levitetyn tiivisturpeen kuivuminen on myös estettävä pitkien kuivien poutajaksojen aikana esim. kastelemalla.

TOIMINNAN JÄRJESTELY

Ennen työn aloittamista urakoitsija laatii suunnitelman turverekkojen työmaaliikenteestä, purkupaikoista ja työn etenemisjärjestyksestä ja aikataulusta.

TIIVISTURPEEN VARASTOINTI, KÄSITTELY JA KULJETUS

Tiivisturve voidaan varastoida muovikalvolla peitettynä aumoihin. Talvirakentamisessa tulee huolehtia, että tiivisturve ei pääse jäätymään eikä jäätyneitä tiivisturvetta käytetä rakentamiseen. Tiivisturve on kostea joten se myös jäätyy helposti ja talvivarastointi tulee suunnitella huolellisesti. Talvivarastoinnissa tiivisturveauma peitetään ensin eristeellä (esim. kuivaa turvetta 2 cm) ja lisäksi muovikalvolla, jonka paikalla pysyminen varmistetaan reunapainoilla tai naruilla. Kesällä ja kuivalla säällä pitkäaikaisesti varastoituna varastokasa tulee tarvittaessa kastella pölyämisen estämiseksi. Varastoinnissa on huolehdittava, että sadevesi ei pääse kertymään materiaaliin. Varastointi ei vaadi erityisiä toimia tai seurantaa.

KOETIIVISTYSKENTÄ

Materiaalitoimittaja rakentaa oman koetiivistyskentän toimivalle turvetyömaalle ja testaa kosteuden vaikutusta tiivistyvyyteen ja kokoonpuristuvuuteen. Tällöin selvitetään alustavasti tarvittava turvemäärä.

Ennen varsinaisen tiivistyskerroksen rakentamista tehdään varsinainen koetiiivistyskenttä toimituskohtessa, jossa selvitetään tiivistyskaluston soveltuvuus, tiivistettävän kerroksen paksuus, tiivistämisellä saavutettava tilavuuspaino. Koetiiivistämisen avulla määritetään varsinaisen tiivistyskerroksen rakentamisessa saavutettava tilavuuspaino. Koetiiivistyskenttä rakennetaan Suomen ympäristökeskuksen ympäristöopas 36:ssa luvussa 6.3 esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

RAKENTEIDEN POIKKEAMAT

Tiivistyskerroksen sallitut mittapoikkeamat on esitetty taulukossa 1.

TYÖNAIKAISET MITTAUKSET

TOIMENPITEET POIKKEAMISSA VAADITTUUN

Mikäli todetaan, että rakenne ei täytä asetettuja laatuvaatimuksia, korjaus tehdään pääsääntöisesti poistamalla virheellinen rakenne ja rakentamalla se uudelleen.

TEHTÄVÄT TARKISTUKSET

Ennen tiivistyskerroksen rakentamista todetaan, että alusrakenne kantavuus- ja tiiviysvaatimukset ja että korkeustaso- ja pinnantasaisuusvaatimukset on täytetty. Mikäli tiivistyskerros rakennetaan kahtena tai useampana kerroksena todetaan ennen uuden kerroksen rakentamista, että alapuolinen kerros täyttää tiiviys- (tilavuuspaino) ja -vesipitoisuusvaatimukset sekä korkeustaso- ja pinnantasaisuusvaatimukset. Tiivistämistyön aikana todetaan urakoitsijan päivittäiset työsuoritukset ja todetaan että laadunvarmistustyöt on tehty hyväksyttävästi ja asetetut vaatimukset ovat täyttyneet.

TARKEMITTAUKSET

Tiivistyskerroksen paksuus mitataan vaakitseamalla korkeusasema 10 m * 10 m ruutuun. Kun tiivistyskerros tehdään kerroksittain kantavan kivennäismaan päälle, voidaan ensimmäisen tiivisturvekerroksen paksuus mitata terässauvalla, jossa on mitta-asteikko.

LAAADUNVALVONTA

Tiivisturpeen laadunvalvonnassa määritetään vedenläpäisevyys, kosteus, kerrospaksuus ja kerroksen tasaisuus taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Tiivistyskerroksen laadunvalvonnassa määritettävät ominaisuudet.

RAKENNUSVAIHE	Tutkittava ominaisuus	Menetelmä	Määri- tyksiä yhteensä	Määritysten tiheys	Raja-arvot		Huom.
					alaraja	yläraja	
TIIVISTYSKERROS	W%	uunikuivatus	kpl	1kpl/1000 m ²	- 5%optW %	+5%optW %	vrt. optimivesipit. W % lasketaan märkäpainosta
TIIVISTYSKERROS	maksimikuiva- tiheys	ICT tai pikatesteri (näyte)	kpl	1 kpl/5000 m ²	-	-	näyte tiivistetään rakenteessa todettuun tiiviyyteen alkuperäisessä W%:ssa,
TIIVISTYSKERROS	tiivius, kuivatiheys	Troxler tai pikatesteri	kpl	1 kpl/500 m ²	D 80%	-	verrataan ICT- kokeen kuivatiheyteen
TIIVISTYSKERROS	painuma ylijomäärän mukaan	näyte	kpl	1 kpl/500 m ²			Tiiviyyden laskenta punnituksella
TIIVISTYSKERROS	vedenläpäis- evyys	ASTM D 5084-00	kpl	1 kpl/10000 m ²		vaadittu m/s	kuormitus: jätetty+pinnaerist e
TIIVISTYSKERROS	levitetyn kerroksen paksuus	Takymetri /mittatikku	kpl	jatkuva	- 20 mm	+ 20 mm	kuormituksen ja painuman mukaan laskettu aluekohtainen
TIIVISTYSKERROS	rakenteen asema	Vaaitus		Jatkuva	0 mm	+50 mm	
TIIVISTYSKERROS	tasaisuus	4 m:n oikolauta tai näköhavain- to	kpl	1 kpl/500 m ²	-20 mm	+20 mm	

RAPORTOINTI

Riippumaton laadunvalvoja laatii tiivistyskerroksen rakentamisesta raportin, joka toimitetaan lupaviranomaiselle hyväksyttäväksi. Raporttiin liitetään laadudokumentaatio, joka sisältää urakoitsijan ja riippumattoman laadunvalvojan dokumentit suoritetuista laadunvarmistuskokeista ja –tarkastuksista, kuvauksen tiivistyskerroksen rakentamisesta, käytetyistä työ- ja mittausmenetelmistä sekä tehdyistä muutoksista ja niiden hyväksyttämismenettelystä.

Lähdeluettelo

- Ilmavirta, I. & Helander, R., Tiivisturpeen tuotteistaminen. Julkaisematon. Vapo Oy. 2005
- Hakola, A., Tiivisturpeen laadun määrittäminen. Pro gradu-tutkielma. Oulun yliopisto 2004
- Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Ympäristöopas 36. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki 1998.
- Koivula, M., Ongelmajätekaatopaikan tiivistyskerroksen mitoituksen optimointi huomioiden materiaalien haitta-aineen pidätysominaisuudet. Diplomityö. Oulun yliopisto 2004
- Koivula M., Kujala K., Rönkkömäki H. & Mäkelä M., Lyijyn, kromin, kuparin ja arseenin, sekä trikloorietyleenin ja kreosootin pidättyminen turpeeseen ja pidättymisen hyödyntäminen kaatopaikan tiivistyskerroksissa. 2006
- Palaturpeen käyttö tierakenteessa. Tielaitoksen selvityksiä 35/1997. TIEL 320048
- Reili, K., Tiivisturpeen ominaisuudet ja käyttö kaatopaikan pohjarakenteissa. Pro gradu-tutkielma. Oulun yliopisto 2004
- Roppola, K., Kuokkanen, T., Kujala, K., Matti Kuokkanen, M., Biodegradation Studies of Different Peat Samples as Determined by the Manometric Respirometric Test. 2006
- Suomen Kuntaliitto. (1997) Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys 97. KT97.. Suomen Kuntaliitto. Helsinki
- Suomen Kuntaliitto. (1997) Kunnallisteknisten töiden määrittämisperusteet 97. KM97.. Suomen Kuntaliitto. Helsinki
- EU:n neuvoston direktiivi 1999/31/EY kaatopaikoista
- VNp 861/1997. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista. Ympäristöministeriö 4.9.1997. 3 s., 3 liitettä
- Ym 426 Jätelaki V:1.1.1994 A: 3.12.1993, SK: 1072/1993
- Ym 427 Jäteasetus V:1.1.1994 A:22.12.1993, SK:1390/1993
- VNp 1049 Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta. Ympäristöministeriö 18.11.1999
- VNa 202/2006 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta. Ympäristöministeriö 23.3.2006
- VNa 552/2001 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta annetun valtioneuvoston päätöksen voimaantulopäätöksen muuttamisesta. Ympäristöministeriö 13.6.2001