

## LAUSUNTO 27.3. 2024

### Leppänen, Minna, DI, tiivistysrakenneasiantuntija

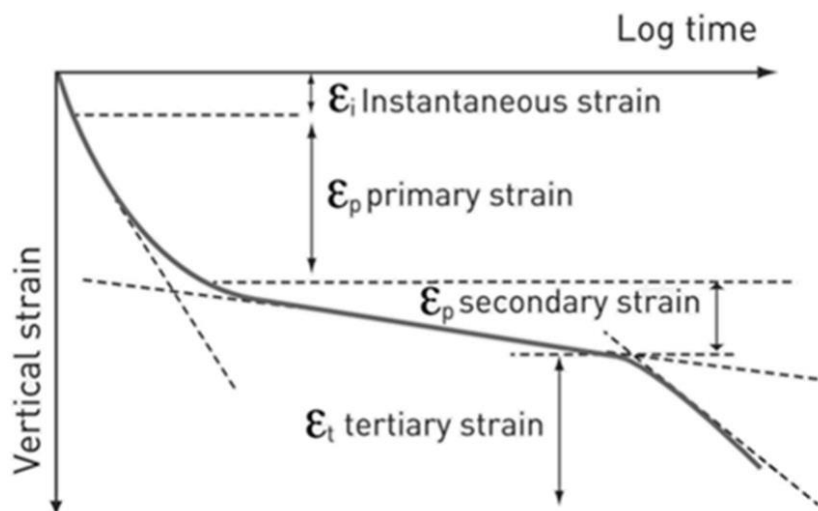
#### Turpeen soveltuminen tiivistysrakenteeseen

Turpeen ominaisuuksia rakennusmateriaalina on tutkittu mm. Antti Uotilan, Juha Uotilan ja Rasmus Sillanpään diplomitoissa.

Turve on heikosti kantava ja kokoonpuristuva materiaali, joka tyypillisesti poistetaan infrarakentamisessa, jotta sen epätasainen kokoonpuristuminen kuormituksen ja hajoamisen takia ei vaurioita sen päälle rakennettavia rakenteita. Turpeen vesipitoisuus ja orgaanisen aineksen määrä ovat tyypillisesti korkeita (tyypillisiä arvoja esim. Sillanpää 2023) eikä turpeessa ole mineraalista raerunkoa, joka antaisi sille lujuutta ja pitäisi sen kasassa kuormituksen alla. Turpeen rakennusteknisiin ominaisuuksiin vaikuttaa vesipitoisuuden lisäksi erityisesti sen maatuneisuusaste.

Turvekerroksen paksuus pienenee kuormitettuna merkittävästi, kun vesi poistuu huokosista ja huokostilavuus puristuu kasaan. Turpeen huokostila pienenee, jolloin myös vedenläpäisevyys pienenee.

Turpeessa tapahtuu kivennäismaalajeista poiketen myös sekundääripainumaa, joka johtuu kasvupalasten uudelleen järjestäytymisestä ja raerungon kokoonpuristumisesta, ja myös tertiääripainumaa, joka on rakenteellista kokoonpuristumaa. Orgaanisen aineksen hajoaminen jatkuu hitaasti hapettomissa olosuhteissa.



Kuva 1. Turpeen konsolidaatiokäyttäytyminen; alkupainuma, primääripainuma ja sekundääripainuma (Munro et al. Roadex E-learning).

Turpeen lujuus on kokoonpuristuneenakin alhainen. Uotilan (2013) mukaan maan kykyä vastustaa elastisia muodonmuutoksia kuvaava kimmomoduuli voi olla luokkaa  $< 5$  MPa ja luonnontilaisen turpeen leikkauslujuus luokkaa 8-13 kPa. Turpeen suuri kokoonpuristuvuus ja luontaisen hajonnan aiheuttamat epätasaiset painumat sekä alhainen lujuus estävät sen käytön kaatopaikkalainsäädännön mukaisena mineraalisena tiivistyskerroksena pohjarakenteessa. Turpeen päälle asennettu tiivistyskalvo vaurioituu jo asennusaikana yläpuolisten rakennekerrosten rakentamisen aiheuttamista muodonmuutoksista. Erityisen vaurioherkkiä kohtia ovat mahdolliset läpiviennit, kuten putkilinjat, ja liitokset muihin painumattomiin rakenteisiin. Turve on myös altis kuivumisesta johtuvalle halkeilulle.

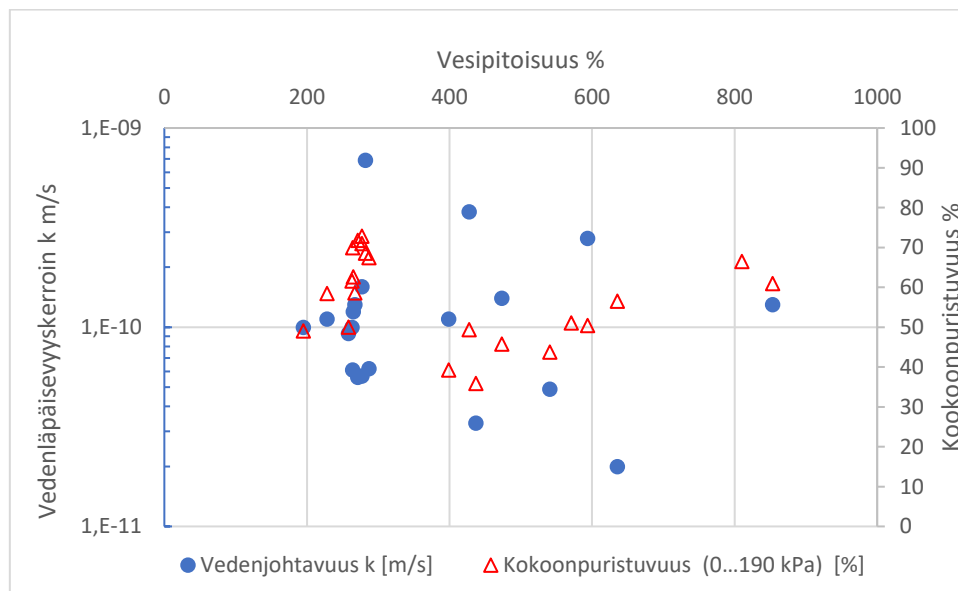
Maatunut ja tiivistynyt turve voi olla Kujalan (2013) mukaan routivaa. Hyvän lämmöneristyskyvyn takia turvekerros jäätyy vain yläosastaan, jolloin routapaine pääsee purkautumaan alla olevaan roudan alapuoliseen kerrokseen ja routanousut jäävät ainakin turvealueelle rakennettujen teiden tulosten perusteella vähäisiksi. (Uotila 2013)

Turpeen humuspartikkelit pystyvät pidättämään haitta-aineita. Pidätyspaikkoja on kuitenkin rajallinen määrä ja olosuhteiden muuttuessa haitta-aineet voivat vapautua uudelleen.

Afryn pohjatutkimusraportin mukaan turpeen vesipitoisuus vaihtelee 398,7 -853,2 paino-% kuivapainosta laskettuna. Vedenläpäisevyys on määritetty 190 kPa kuormituksella esikuormitetuista näytteistä. Jännitys vastaa 10 metrin paksuista kerrosta täyttää, jonka tilavuuspaino on 19 kN/m<sup>2</sup>. Turpeen vedenläpäisevyys on siten heti rakentamisen jälkeen käyttöönottovaiheessa huomattavasti suurempi, koska alkutilanteessa kuormitusta ei juurikaan ole. Uotilan (2013) mukaan koskemattoman turpeen vedenläpäisevyys voi vaihdella välillä 10<sup>-4</sup>...10<sup>-7</sup> m/s ja läpäisevyys voi olla vaakasuunnassa suurempi kuin pystysuunnassa.

Koejärjestelyä vastaavan tilavuuspainon ja vedenläpäisevyystason saavuttaminen edellyttää kokeiden perusteella keskimäärin 57 % kokoonpuristumaa eli metrin paksuinen kerros kokoonpuristuu alle puolen metrin paksuiseksi ja huokosissa oleva vesi poistuu rakenteesta ympäristöön. Kaatopaikkarakentamisessa käytettävien materiaalien vedenläpäisevyyden tutkimisessa käytetään yleensä 50 kPa:n tehokasta jännitystä, ja materiaalin pitää täyttää vaatimus rakentamishetkellä.

Liitteen 6 Pohjatutkimusraportin perusteella tutkittujen turvenäytteiden ominaisuuksissa on luonnollista hajontaa, joka on huomattavasti laaja-alaisempaa kuin tavanomaisesti mineraalisena tiivistyskerroksena käytettävällä savella tai maabentoniittiseoksella. Kuvassa 2 on esitetty kokoonpuristuvuus ja vedenläpäisevyys 190 kPa:n kuormituksessa vesipitoisuuden funktiona. Kuva havainnollistaa vesipitoisuuden suurta vaihteluväliä ja sen vaikutusta turpeen ominaisuuksiin.



Kuva 2. Tutkittujen turvenäytteiden vedenläpäisevyyskerroin k [m/s] ja kokoonpuristuvuus [%] 190 kPa:n kuormituksessa vesipitoisuuden funktiona.

Turpeen lujuutta ei ole pohjatutkimusraportin perusteella tutkittu. Turpeista ei ole myöskään ilmoitettu maatuneisuutta eikä tuhkapitoisuutta, joka kuvaa epäorgaanisen aineksen osuutta kuivasta turvemateriaalista.

#### Lähteitä:

Uotila Antti 2013 Maanvaraisen ratapenkereen toimivuus turvepohjamaalla. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/22034>

Uotila Juha 2004 Seostettu turve kaatopaikan tiivistysrakenteissa. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Sillanpää Rasmus (2023) Turpeen painumaominaisuuksien ja vedenläpäisevyyden arviointi vesipitoisuuden ja maatuneisuuden avulla. Diplomityö, Tampereen yliopisto.

<https://trepo.tuni.fi/handle/10024/145646>

#### Jätealueen pohjarakenteen vaatimukset

EU direktiiviin 2006/21/EC (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0021>) perustuva kaivannaisjäteasetus (VnA 190/2013) määrittelee kaivannaisteollisuudessa muodostuvien jätteiden loppusijoitusperiaatteet. Direktiivin mukaan myös jätealuetta rajaavat patorakenteet kuuluvat jätealueeseen. Direktiivissä edellytetään, että

- ”jätealueen sijainti on sopiva ottaen huomioon erityisesti suojeltuja alueita koskevat yhteisön tai jäsenvaltioiden velvoitteet sekä geologiset, hydrologiset, hydrogeologiset, jätealue on seismiset ja geotekniset tekijät, ja jätealue on suunniteltu siten, että se täyttää lyhyellä ja pitkällä aikavälillä ne vaatimukset, jotka asetetaan maaperän, ilman, pohjavesien ja pintavesien pilaantumisen estämiseksi, ottaen huomioon erityisesti direktiivit 76/464/ETY (1), 80/68/ETY (2) ja 2000/60/EY, ja, jos luvassa sitä edellytetään, saastuneen veden ja suotoveden keräämiselle sekä veden ja tuulen aiheuttaman eroosion vähentämiseksi siltä osin kuin tämä on teknisesti mahdollista ja taloudellisesti toteutettavissa.
- jätealue on rakennettu asianmukaisella tavalla ja sitä hoidetaan ja ylläpidetään siten, että varmistetaan sen fyysinen vakaus ja estetään maaperän, ilman, pintavesien ja pohjavesien pilaantuminen tai saastuminen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä sekä rajoitetaan mahdollisesti aiheutuva vahinko mahdollisimman pieneksi;
- on huolehdittu sopivista suunnitelmista ja järjestelyistä, joiden mukaisesti jätealuetta seuraavat ja tarkastavat säännöllisesti pätevät henkilöt ja joiden pohjalta ryhdytään toimiin, jos tulokset osoittavat epävakautta tai vesien tai maaperän saastumista;
- on huolehdittu sopivista järjestelyistä maan kunnostamiseksi ja jätealueen poistamiseksi käytöstä;
- on huolehdittu sopivista jätealueen käytöstä poistamisen jälkeisistä järjestelyistä.”

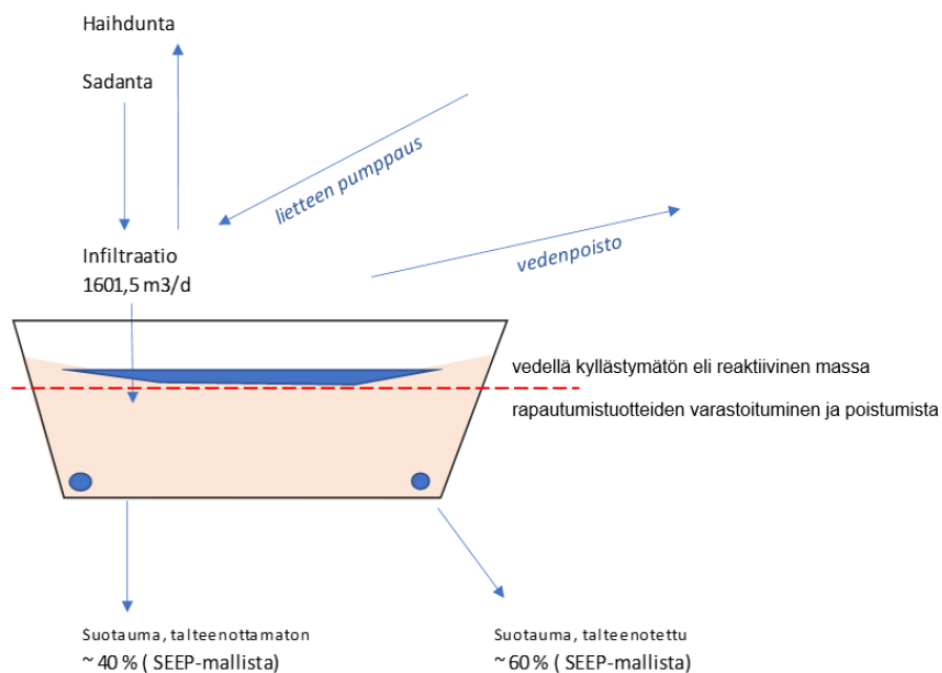
Direktiivin mukaan toiminnanharjoittaja estää tai minimoii suotoveden synnyn ja jätteiden aiheuttaman pinta- ja/tai pohjavesien sekä maaperän saastumisen ja kerää ja käsittelee jätealueen saastuneen veden ja suotoveden jätealueelta johdettavilta vesiltä edellytetyn laadun saavuttamiseksi (13§).

Samat periaatteet on kirjattu kaivannaisjäteasetukseen (VnA 190/2013), jonka ensimmäinen versio on vuodelta 2008

#### Suunnitelmissa esitetyt rikastushiekka-altaan pohjarakenteet

Rikastushiekan Co-, Cr-, Cu- ja Ni-pitoisuudet ovat kohonneita. Rikastushiekkoja ei voida luokitella Kaivannaisjäteasetuksen (VNa 190/2013) mukaisesti pysyväksi jätteeksi, vaan se luokitellaan **ei-pysyväksi ei-vaaralliseksi kaivannaisjätteeksi**. Altaalle tulevassa prosessivedessä on kohonneita metallipitoisuuksia (aluminium ja kadmium). Afryn tarkastelun perusteella rikastushiekka-altaan suotoveden Cu-, Ni-, Pb- ja Sb-pitoisuudet ylittävät pohjavedelle annetun ympäristölaatumormin (VNa341/2009). Rikastushiekka-altaan vesitaseen periaatteellinen kuva on esitetty kuvassa 4. Vesitasetarkastelun mukaan noin 40 % infiltraatiosta eli sadannasta ja rikastushiekan mukana tulevasta vedestä suotautuu ympäristöön.

Padot ovat suotavia eli osa vedestä suotautuu patojen läpi ja otetaan osin talteen. Vyöhyke-patorakenteissa esitetään käytettäväksi tiivistyssydämenä alueelta saatavaa moreenia, jonka vedenläpäisevyydeksi on Mitta Oy:n laboratorioissa tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella 92 % tiiviyssasteeseen sullottuna määritetty  $5 \cdot 10^{-9} \dots 7 \cdot 10^{-8}$  m/s.



Kuva 3. Rikastushiekka-altaan vesijakeiden muodostumisen konseptuaalinen malli (Liite 3 Vesitase- ja kuormataseraportti, ARfy)

Rikastushiekka-altaan suunnitelmissa on todettu, että tutkimusten perusteella *"turve soveltuu altaan pohjalla käytettäväksi tiivisteeksi ja saavuttaa alhaisen läpäisevyyden rikastushiekkatäytön alla"* (Liite 6.02 Rikastushiekka-altaan suunnitelmat).

Suunnitelmassa perustellaan turpeen käyttöä alhaisella vedenjohtavuudella, kyvyllä sitoa raskasmetalleja ja haitta-aineita, rakennuskustannuksilla sekä rakennettavuudella ja paikallisella saatavuudella. Raportissa todetaan, että *"vain yhden materiaalin hyödyntäminen pohjatiivisteessä muodostaa yhtenäisen ja saumattoman rakenteen, ilman mahdollisia vuotoreittejä erilaisten rakenteiden ja materiaalien liitoskohtiin. Lisäksi turvetiiviste mukautuu altaan pohjassa tapahtuville muodonmuutoksille, joten rakenteen vedenpitävyys ei ole herkkä altaan pohjan painumille."* Lisäksi todetaan, että *"pohjarakenteena turvekerros ei ole herkkä pohjavesivirtaukselle tai nostelle, kuten keinotekoiset kalvorakenteet."*

Turve ei kuitenkaan ole tasalaatuista eikä siitä tiivistyskerroksen rakentaminen ole helppoa, etenkin olemassa olevan joustavan turvekerroksen päälle, kuten suunnitelmassa sivulla 22 esitetään. Turvetta ei pysytä rakentamisen aikana tiivistämään korkean vesipitoisuuden vuoksi (Uotila 2004, vaan se häiriintyy ja vesi erottuu pinnalle. Kokoonpuristuminen vaatii pysyvää staattista kuormitusta. Turvetta voisi rakennusmateriaalina verrata kuitusaveen, mutta turpeen vesipitoisuus on vielä merkittävästi suurempi ja vaihtelualue laajempi sekä tuhkapitoisuus pienempi.

Altaan pohjan muodonmuutokset ja painumat ovat epätoivottuja ja suorastaan suunnitteluvirhe, sillä pohjarakenteen pitää olla kantava ja kestää täytön aiheuttavat kuormitukset. Mahdolliset pohjamaan painumat voivat aiheuttaa tiivistyskerrokseen toimintaa heikentäviä siirtymiä ja halkeamia. Mitä ohuempi turvekerros on, sitä suurempi riski on, että se syrjäytyy kuormituksen alta. Turpeen ominaisuuksien luonnollinen hajonta ja epätasainen kokoonpuristuminen voivat muodostaa turvekerrokseen paremmin vettäjohtavia vyöhykkeitä, joihin suotovirtaus keskittyy. Virtaus voi aiheuttaa sisäistä eroosiota huuhtoen hienoaineksia mennessään muodostaen siten yhä paremmin vettä johtavia vyöhykkeitä.

Yhtenäinen mineraalinen tiivistyskerros voidaan rakentaa myös muista paikallisista materiaaleista, esimerkiksi moreeniaineksista lisäämällä niihin bentoniittijauhetta. Turve on kevyttä, joten mahdollinen paineellinen pohjavesi voi nostaa sen tieltään, jos turpeen päällä ei muita kerroksia. Keinotekoisia kalvorakenteita ei yleensä käytetä pohjarakenteessa yksinään, vaan yhdessä mineraalisen tiivistyskerroksen kanssa (jonka tilavuuspaino on suurempi kuin turpeella) ja tyypillisesti päälle asennetaan suojakerros ja kuivatuskerros.

Pohjois-Suomen ympäristölupaviraston lupapäätöksen (Nro 122/05/1, Dnro PSY-2004-Y-80, 7.12.2005) lupaehdossa 12 todetaan, että *rikastushiekka-allas on luokitukseltaan tavanomaisen jätteen kaatopaikka*. Lisäksi todetaan, että *"altaan patorakennelmat on toteutettava siten, että patojen lävitse tai alitse suotautuvan veden määrä on **mahdollisimman vähäinen**"* – tämä on saavutettavissa vain käyttämällä mineraalisen tiivistyskerroksen lisäksi tiivistyskalvoa eli yhdistelmä-rakennetta.

Lupaehdossa 12 edellytetään myös, että *"rikastushiekka-altaan alueella olevat vettä hyvin johtavat maakerrokset on rakentamisen aikana korvattava tai peitettävä vähintään metrin paksuisella moreenimaakerroksella, jonka vedenläpäisevyys on enintään  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s tai tiivistyvällä turvekerroksella, jolla saavutetaan vastaava suojataso."* Tämä vedenläpäisevyysvaatimus on aivan liian löyhä (katso taulukko 1 ja 2) ja johtaa merkittävään suotautumiseen pohjamaan kautta: vedenläpäisevyys on 50 kertaa suurempi kuin tavanomaisen jätteen kaatopaikan pohjamaalle sallittu maksimivedenläpäisevyys ja lähempänä pysyvän jätteen kaatopaikan pohjan vedenläpäisevyysvaatimusta.

Pohjois-Suomen ympäristölupaviraston lupapäätöksen seliteosassa kerrotaan, että lumen sulamisesta ja ajoittain sattuvista voimakkaista sateista johtuen rikastushiekka-altaasta joudutaan johtamaan vettä Takalammen jälkiselkeytysaltaaseen ja edelleen pintavalutuskentän kautta Konttijärveen. **Ilmeisesti jälkiselkeysaltaassa ei ole minkäänlaisia pohjarakenteita, vaikka siellä varastoidaan rikastushiekka-altaassa likaantuneita vesiä lähes vuoden ajan?** Vesipäästön määrä on suunnitelman mukaan enintään noin  $1 \text{ Mm}^3$  vuodessa. Hallittavien vesien määrää voisi pienentää kuivaamalla rikastushiekkaa tehokkaammin ja jakamalla rikastushiekka-altaan pienempiin lohkoihin, jolloin käyttämättömien alueiden vedet ovat puhtaita ja sellaisenaan ympäristöön johdettavissa, ja käytössä olevat, tietyn täyttökorkeuden saavuttaneet lohkot voidaan sulkea väliaikaisella pintakerroksella ja näin vähentää täyttöön suotautuvan veden määrää.

Lupapäätöksen seliteosassa kerrotaan, että ”rikastushiekka-altaan suotamisesta tehdyn mallinnuksen mukaan rikastushiekka-altaalta suotautuu maaperään ja pohjaveteen vettä noin 830 m<sup>3</sup> päivässä eli noin 300 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Suotovesimäärän pienentämiseksi altaalle rakennetaan salaojitusrakenteet patojen juureen ja dekanttien alle rikastushiekka-allasuunnitelman mukaisesti – tämä vesi ilmeisesti pumpataan takaisin altaaseen, jolloin se edelleen jatkaa patoon ja pohjaan kohdistuvaa hydraulista kuormitusta. Patojen alle rakennetaan myös tarvittaessa katkaisuseinä estämään veden virtaus mahdollisissa vettä hyvin johtavissa kerroksissa.”

Sekä suunnitelma-asiakirjat että ympäristölupapäätös mahdollistavat liuenneiden metallien ja rikastuksessa käytettyjen kemikaalien kuten ksantaattien kulkeutumisen ympäristöön, joten ne eivät ole kaivannaisjätedirektiivin ja kaivannaisjäteasetuksen hengen mukaisia. Riskejä pienennetään laimentamalla vesiä sen sijaan, että poistettaisiin haitta-aineet.

### Onko 0,3 m paksuinen turvekerros riittävä?

Mineraalinen kerros ei ole yksinään tehokas estämään haitta-aineiden kulkeutumista ympäristöön. Se kyllä viivyyttää virtausta, muttei estä sitä. Mineraalinen kerros on huokoinen materiaali, joka läpäisee vedenläpäisevyykertoisensa ja hydraulisen gradientin mukaisesti. Mitä suurempi on hydraulinen gradientti eli kerroksen päällä oleva vedenpaine korkeus, sitä suurempi on läpäisevä vesimäärä.

Kaivannaisjätealueen pohjarakenteen käyttöaika käytännössä ääretön, joten kaikki haitta-aineet, jotka liukenevat veteen kulkeutuvat veden mukana ennemmin tai myöhemmin ympäristöön, jollei vesiä koota ja käsitellä. Veden mukana kulkeutuminen ei ole ainoa haitta-aineiden kulkeutumismekanismi, vaan haitta-aineita kulkeutuu myös muilla mekanismeilla, kuten kemiallisena diffuusiona pitoisuuseron ajamana.

Taulukossa 1 on esimerkkilaskelma läpäisevästä vesimäärästä m<sup>3</sup> hehtaaria kohden päivässä, kun mineraalisen tiivistyskerroksen paksuus on 1 m. Vertailukohtaksi voisi mainita, että kaatopaikkamääräyksessä on tavanomaisen jätteen pohjarakenteen lähtökohtana luonnollinen pohjamaa, jonka paksuus on vähintään 1m ja vedenläpäisevyys korkeintaan  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s (ja sitäkin on asetuksen mukaan täydennettävä keinotekoisella eristellä ja kuivatuskerroksella, jolla johdetaan kaatopaikkavedet käsittelyyn ja siten pidetään vedenpaine korkeus pienenä). Vastaavat läpäisevät vesimäärät, kun mineraalisen tiivistyskerroksen paksuus on 0,3 m, mikä on suunnitelmassa esitetty turvekerroksen vähimmäispaksuus, on esitetty taulukossa 2. Kuten tuloksista näkee, ohuempi tiivistyskerros läpäisee enemmän ja mikä korkeampi on tiivistyskerrokseen kohdistuva veden paine korkeus, sitä suurempi on läpäisevä vesimäärä.

Taulukko 1. Tiivistyskerroksen läpäisevä vesimäärä m<sup>3</sup> hehtaaria kohden päivässä, kun vedellä kyllästetyn mineraalisen kerroksen paksuus on 1 m.

| Vedenläpäisevyyseroin<br>m/s | Hydraulinen painekorkeus tiivistyskerroksen (h= 1 m) päällä |       |       |        |
|------------------------------|---|-------|-------|--------|
|                              | 1 m   | 5 m   | 10 m  | 20 m   |
| $5 \cdot 10^{-8}$            | 86,4  | 259   | 475   | 907    |
| $1 \cdot 10^{-9}$            | <b>1,728</b>  | 5,184 | 9,504 | 18,144 |
| $3 \cdot 10^{-10}$           | 0,518   | 1,555 | 2,851 | 5,443  |
| $1 \cdot 10^{-10}$           | 0,173   | 0,518 | 0,950 | 1,814  |
| $1 \cdot 10^{-11}$           | 0,017   | 0,052 | 0,095 | 0,181  |

Taulukko 2. Tiivistyskerroksen läpäisevä vesimäärä m<sup>3</sup> hehtaaria kohden päivässä, kun vedellä kyllästetyn mineraalisen kerroksen paksuus on 0,3 m.

| Vedenläpäisevyyskerroin<br>m/s | Hydraulinen painekorkeus tiivistyskerroksen (h=0,3 m) päällä |       |        |        |
|--------------------------------|--|-------|--------|--------|
|                                | 1 m  | 5 m   | 10 m   | 20 m   |
| $5 \cdot 10^{-8}$              | 187,3  | 763,2 | 1483,2 | 2923,2 |
| $1 \cdot 10^{-9}$              | 3,74   | 15,26 | 29,66  | 58,46  |
| $3 \cdot 10^{-10}$             | 1,123  | 4,579 | 8,899  | 17,54  |
| $1 \cdot 10^{-10}$             | 0,374  | 1,526 | 2,966  | 5,846  |
| $1 \cdot 10^{-11}$             | 0,0374   | 0,153 | 0,297  | 0,585  |

Nesteenä pumpattava rikastushiekka aiheuttaa pohjamaahan huokosvedenpaineen, joka aiheuttaa hydraulisen gradientin pohjamaahan. Sisäisen vedenpinnan korkeus voi rikastushiekka-altaassa olla lähes yhtä suuri kuin rikastushiekka täytön korkeus, eli jopa kymmeniä metrejä. Jos pohjalla ei ole painetta tasaavaa kuivatuskerrosta eikä vesiä johdeta pois alueelta, tämä vedenpaine aiheuttaa veden virtausta läpäisevän pohjamaan kautta.

Rikastushiekka-altaan pinta-ala on 470 ha ja suunniteltu lopullinen läjityskorkeus (+182) yli 30 m nykyisestä maanpinnasta (noin +146 m). Ilman kuivatuskerrosta rikastushiekan huokosvedenpaine voi aiheuttaa tiivistyskerrokseen merkittävän hydraulisen paineen, jonka takia läpäisevät vesimäärät moninkertaistuvat, kuten taulukko 1 ja 2 osoittavat. Suunnitelmien mukaisen 0,3 m paksuisen turvekerroksen ( $k = 3 \cdot 10^{-10}$  m/s) läpäisevä vesimäärä voi olla koko kentän ollessa käytössä ja sisäisen vedenpinnan korkeuden ollessa esimerkiksi 5 m noin 2 200 m<sup>3</sup> vuorokaudessa; jos vedenpinta on 20 m korkeudella tai turpeen vedenläpäisevyys onkin suurempi esim. näytteistä mitattu  $1,2 \cdot 10^{-9}$  m/s, vesimäärä onkin nelinkertainen.

Lisäksi turvekerrokseen voi kohdistua rikastushiekkatäytöstä jopa 400 kPa lisäjännitys - mikä onkaan turvekerroksen paksuus, kun rikastushiekkatäyttö on saavuttanut suunnitellun maksimikorkeutensa?

### Vertailu kaatopaikkarakenteisiin

Kaatopaikka-asetuksessa (331/2013) on annettu joitakin vähimmäisvaatimuksia pohja- ja pintarakenteille. Kaatopaikkoja koskevia rakennevaatimuksia ei sellaisenaan sovelleta kaivannaisjätealueisiin, jotka edellyttävät tarkempaa tapauskohtaista tarkastelua ja joiden aiheuttama ympäristöriskit voivat olla kaivannaisjätteen luonteesta riippuen olla huomattavasti suurempia kuin yhdyskuntajätteen - tai pienempiä, jos kyseessä on esimerkiksi luonnonkivilouhimo. Kaivannaisjätealueet ovat tyypillisesti pinta-alaltaan jopa kymmenkertaisia ja jätetäytön korkeus kymmeniä metrejä. Lisäksi esimerkiksi malmikaivoksilla materiaali on murskattu pieneksi, jolloin potentiaalisesti reagoivaa pintaa on paljon ja osa kaivannaisjätteistä pumpataan jätealueelle nestemäisenä, jolloin hydraulista kuormitusta tulee myös sadannan lisäksi. Nestemäisen jätteen sijoittaminen kaatopaikalle on kielletty.

Kaatopaikkarakenteista saatua kokemusta ja periaatteita voidaan kuitenkin soveltaa muihinkin jätealueisiin, sillä rakenteiden ja jätepenkereen hydrologisen käyttäytymisen periaatteet ovat samat jätteen tyypistä riippumatta.

Kaatopaikkalainsäädännön mukaan pelkkä mineraalinen tiivistyskerros riittää vain pysyvän jätteen kaatopaikalla. Teollisuus- ja yhdyskuntajätekaatopaikoilla on Euroopassa 1990-luvulta lähtien (Suomessa VNP 1997), USAssa jo 1980-luvulta lähtien (RCRA Subtitle D ja C) edellytetty

pohjarakenteessa **yhdistelmä** rakennetta ja **kuivatuskerrosta** sekä kaatopaikkavesien keräämistä ja käsittelyä. Yhdistelmä rakenne muodostuu huonosti vettä läpäisevästä, kantavasta mineraalisesta tiivistyskerroksesta ja keinotekoisesta eristeestä, joka on tyyppillisesti polyeteenistä valmistettu, maahan asennettavaksi tarkoitettu tiivistyskalvo.

Amerikkalaisessa lainsäädännössä edellytetään vaarallisten jätteiden loppusijoitusalueille ns. kaksoisyhdistelmä rakennetta, jossa on kaksi yhdistelmä rakennetta päällekkäin ja niiden välissä vuodontarkkailukerros (RCRA Subtitle C). Jotkut osavaltiot edellyttävät sellaista myös yhdyskuntajätteen kaatopaikoilla.

Tiivistyskalvo tehostaa mineraalista tiivistysrakennetta, sillä se estää epäorgaanisten aineiden diffuusion ja virtausta tapahtuu vain kalvon mahdollisten pienien vauriokohtien kautta. Alla oleva huonosti vettä läpäisevä tiivistyskerros on kalvon alla osittain kyllästyneessä tilassa, jolloin sen vedenläpäisevyys on pienempi kuin kyllästyneessä tilassa. Mineraalisen tiivistyskerroksen pieni vedenläpäisevyys rajoittaa tiivistyskalvon vauriokohdasta tapahtuvaa virtausta.

Kuivatuskerros on oleellinen osa tiivistysrakennetta, sillä se vähentää ja tasoittaa tiivistyskerrokseen kohdistuvaa hydraulista painetta.

Kaatopaikkarakenteiden vaatimukset on esitetty kaatopaikka-asetuksessa ja materiaalien ja rakentamisen yleiset vaatimukset on esitetty InfraRYLin luvussa 14250 ja liitetaulukoissa 8, 9, 18 ja 19.

Tiivistyskerroksen paksuudella tavoitellaan pitkää viipymäaika ja mahdollisuutta erilaisille pidätymprosesseille, kuten sorptiolle ja ioninvaihdolle. Mitä suurempi on päälle tuleva hydraulinen kuormitus, sitä paksumpi mineraalinen tiivistyskerros tarvitaan.

Kaatopaikkalainsäädännön mukaan tavanomaisen jätteen kaatopaikalla on oltava joko luonnollinen, vähintään 1,0 m paksuinen maakerros, jonka vedenläpäisevyys on pienempi kuin  $10^{-9}$  m/s, tai on rakennettava vähintään 0,5 m paksuinen maakerros, jolla saavutetaan vastaava suojavaikutus. Jos oletetaan kerroksen päälle 1 m vesipaine, vastaavan täydentävän rakennetun tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys on pienempi kuin  $6,7 \cdot 10^{-10}$  m/s (Ympäristöopas 36). Vaarallisen jätteen kaatopaikalla vaadittu vähimmäispaksuus on luonnolliselle maaperälle 5 m ja rakennetulle täydentävälle tiivistyskerrokselle 1 m. Nimensä mukaisesti täydentävä mineraalinen tiivistyskerros täydentää kaatopaikan sijoituspaikaksi soveltuvaa luonnollista pohjamaata ja sen päälle asennetaan aina keinotekoinen eriste ja vähintään 0,5 m paksuinen kuivatuskerros.

Kaatopaikkarakentamisessa käytetään tyyppillisesti tiivistyskalvon raaka-aineena korkeatiheyksistä HDPE, jonka kemiallinen kestävyys on laaja-alainen ja muita muoviraaka-aineita parempi. Mikäli tarvitaan parempaa muodonmuutoskestävyyttä, käytetään LLDPE-tiivistyskalvoa, jolla on lähes samat ominaisuudet, mutta suurempi venymä. Lisäaineilla voidaan vaikuttaa tiivistyskalvon ominaisuuksiin, kuten pitkäaikaiskestävyyteen ja joustavuuteen. Tiivistyskalvo suojataan työnaikaisilta kuormituksilta esim. suojatekstiilillä. Rakentamisen laadunvalvonta on oleellinen osa laadukasta lopputulosta. Tiivistyskalvot saumataan saumausrobotilla vesitiiviisti kaksoiskuumakiilasaumalla ja kaikkien saumojen tiiviys varmistetaan ennen peittämistä. Rakentamisen aikana mahdollisesti muodostuneet vauriokohdat voidaan vielä etsiä korjattavaksi sähköisillä mittauksilla.

Suosituksena toimenpiteiksi:

- Turpeesta pitää määrittää maatuneisuusaste, tuhkapitoisuuslujuus ja kokoopuristuvuus suunnitellulla maksimitäyttökorkeudella (ödömetrikoe)



- Täytön alle jäävä turve pitää ottaa huomioon täyttösuunnitelmassa, jotta ei aiheuteta epätasaisia painumia, tursumista tai sortumia
- Maaperän pilaantumisen estämiseksi rikastushiekka-altaan pohjarakenne suunnitellaan yhdistelmärakenteena. Mikäli turve huomioidaan osana pohjarakennetta, se esikuormitetaan niin, että sillä on täytön alkamishetkellä vaadittu maksimivedenläpäisevyys. Tarvittaessa turpeen ominaisuuksia täydennetään bentoniittimatolla (vaatimukset InfraRYL + turpeen kokoonpuristumisen huomioiminen vetolujuudessa) tai korvataan turve esimerkiksi bentoniitilla seostetusta moreenista rakennetulla mineraalisella tiivistyskerroksella, joka tiivistetään kahtena osakerroksena. Tätä paksua mineraalista tiivistyskerrosta ei voida korvata bentoniittimatolla.
- Rikastushiekka-altaan pntarakenne suunnitellaan tehokkaammaksi hyödyntäen esimerkiksi bentonittimattoa ja salaojamattoa sekä riittäviä kaltevuuksia

### **Sivukivien varastointi**

Lupapäätöksen seliteosan mukaan alle 1 % sivukivistä sisältää rikkiä siinä määrin (>0,3 %), että sen hapettuessa voi muodostua rikkihappoa ja siten hapanta suotovettä, joka liuottaa kiviaineksesta mm. ympäristölle haitallisia metalleja. Läjitysperiaatteena on, että happoa muodostavat sivukivimassat kapseloidaan vähintään 5 metrin vahvuisen emäksisistä kivilajeista koostuvan kerroksen sisään. Päällimmäinen emäksinen kerros tiivistyy sivukiven kuljetuksen jatkuessa sen päällä, mikä pienentää suotautuvaa vesimäärää. Sadevesien pH kohoaa veden suotautuessa ylimpien kerrosten läpi ja välikerroksessa mahdollisesti muodostuva hapan suodos neutraloituu kulkeutuessaan alemman emäksisen kerroksen läpi. Menetelmällä turvataan haponmuodostuksen estyminen ja muodostuvien suotovesien hyvä laatu. Varastointitavasta ei aiheudu maan tai pohjaveden pilaantumista.

Lupaehdossa 14 todetaan, että *”sivukivien läjitysalueet ovat luokitukseltaan tavanomaisen jätteen kaatopaikkoja, joille saa sijoittaa louhittua sivukiveä, jota ei voida hyödyntää”*.

Lupaehdossa 15 edellytetään, että *”rikkipitoisen sivukiven ylä- ja alapuolelle on sijoitettava neutralointipotentiaalia omaavaa kiveä”*. Lisäksi edellytetään, että *”rikkipitoisen sivukiven läjitys on keskitettävä niille läjitysalueen osille, joilla luontainen maapohja muodostuu vähintään metrin paksuisesta turvekerroksesta, tiiviistä siltimoreenista tai vastaavasta maalajista”*.

Neutralointi ei estä kokonaan metallien liukenemista, joten myös sivukivien varastointialueen pohjarakenteena pitäisi olla yhdistelmä rakenne eli mineraalisen tiivistyskerroksen päälle pitää asentaa tiivistyskalvo tai tiivis asfaltti ja tarvittavat suojakerrokset. Vesien laatua pitää tarkkailla ja vedet pitää koota ja johtaa tarvittaessa käsittelyyn

### **Marginaalimalmin varastointi**

Pohjois-Suomen ympäristölupaviraston lupapäätöksen seliteosassa kerrotaan, että malmin ja marginaalimalmin varastoalueiden suotovesien pääsy pohjaveteen estetään sijoittamalla alueet tiiviin luonnonmaapohjan päälle tai rakentamalla tiivistyskerrokset.

Marginaalimalmi rikastetaan kaivoksen toiminnan viimeisinä vuosina. Kahden erillisen varastoalueen pinta-ala on noin 20 ha, ja niillä varastoidaan yhteensä noin 20 Mt marginaalimalmia.

Pohjois-Suomen ympäristölupaviraston lupapäätöksen seliteosan mukaan *”varastoalueen pohjamaa on tiivistä moreenia, jonka vedenläpäisevyys on noin  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s. Tarvittaessa varastoalueen pohjalle rakennetaan noin metrin paksuinen kerros tiivistettyä moreenia, jotta valumavedet saadaan*

*kerättyä talteen. Valuma- ja suotovedet käsitellään ns. teollisuusaluevesinä eli ne kerätään suotovesiojiin ja pumpataan kokonaisuudessaan rikastushiekka-altaalle tai prosessiin. Vesiä ei johdeta luontoon.”*

*Lupaehdossa 20 määrätään, että ”marginaalimalmin varastoalueet on sijoitettava alueille, joilla luontainen maapohja muodostuu pääosin tiivistyvistä turvekerroksesta tai heikosti vettä läpäisevästä moreenista. Mahdolliset vettä hyvin johtavat maakerrokset on rakentamisen aikana korvattava tai peitettävä vähintään metrin paksuisella heikosti vettä läpäisevällä moreenimaakerroksella tai tiivistyvällä turvekerroksella. Luontaisen maapohjan päälle on rakennettava happoa muodostamattomasta sivukivestä tai moreenista riittävän korkea täyttöpenger, joka estää marginaalimalmin joutumisen kosketuksiin pohja- tai pintavesien kanssa. Penkereen yläpinta on muotoiltava reunoja kohti kallistuvaksi. Sen päälle on asennettava metrin paksuinen tiivistyskerros moreenista, jonka vedenläpäisevyys on enintään 5\*10<sup>-8</sup> m/s.”*

Varastointiaika on niin pitkä, että malmin varastointialueen pohjarakenteena pitäisi olla myös yhdistelmä rakenne eli mineraalisen tiivistyskerroksen päälle pitää asentaa tiivistyskalvo tai tiivis asfaltti ja tarvittavat suojakerrokset.

Mikäli rakenteissa käytetään bentoniittimattoa täydentämässä luonnollisen maakerroksen ominaisuuksia, bentoniitin paisuminen ja ominaisuuksien pitkäaikaiskestävyys rikkipitoisen sivukiven läjitysalueella muodostuvissa olosuhteissa pitää varmistaa käyttämällä esimerkiksi laminoitua bentoniittimattoa tai polymeeriparannettua bentoniittia.

## **Sulkemirakenteet**

Pohjois-Suomen ympäristölupaviraston lupapäätöksen seliteosassa kerrotaan, että rikastushiekka-allas suljetaan levittämällä yläpinnalle 0,3 metrin paksuinen turpeesta ja moreenista muodostuva kasvukerros, joka kasvitetaan alueen luontaisella kasvustolla. Rikastushiekka-allas muotoillaan siten, että päälle muodostuu kaksi vesiallasta ylivuotokynnyksen kohdalle.

Lupaehdossa 30 edellytetään hieman paksumpaa rakennekerrosta ja tiivistyskerroksen rakentamista: lupa edellyttää, että ”rikastushiekka-altaan lakialue on toiminnan lopettamisen yhteydessä muotoiltava mahdollisimman paljon reunoja kohti kallistavaksi, kuitenkin vähintään kaltevuuteen 1:200. Altaan päälle ei saa jättää vettä keräviä painanteita tai vesialueiksi muodostuvia kohtia. Allas ja reunapenkeret on peitettävä vähintään 0,4 metrin paksuisella hienoainemoreenista muodostuvalla tiivistyskerroksella ja sen päälle levitettävällä vähintään 0,1 metrin paksuisella kasvukerroksella.”

Suhangon kaivoksen rikastushiekka ei ole ilmeisesti happoamudostavaa, joten sitä ei ole tarpeen varastoida veden alla, hapettomissa olosuhteissa, kuten usein on.

Suunnitelmissa esitetty ohut kasvukerros ei ole riittävä lopulliseksi rakenteeksi estämään sade- ja sulamisvesien imeytymistä täyttöön ja edelleen huuhtomaan ja liuottomaan rikastushiekasta haitallisia aineita. Jos pintarakenne on läpäisevä, pohjarakenteeseen kohdistuva hydraulinen ja kemiallinen kuormitus jatkuu, vaikka täyttövaihe on jo loppunut. Tehokas pintarakenne koostuu pinnan muotoilusta, huonosti vettä läpäisevästä **tiivistyskerroksesta** ja sen päällä olevasta **kuivatuskerroksesta** sekä ylimpänä olevasta **pintakerroksesta**, joka toimii vesivarastona ja kasvualustana sekä tiivistyskerroksen routasuojakerroksena (Ali-Tolppa 2021). Sulamishetki on tyypillisesti pintarakenteen vesitaseen kannalta kuormittavin tilanne, jolloin pintakerroksen vedenpidätyskyky ja varastokapasiteetti ylittyy etenkin, jos kaltevuudet ovat pieniä. Ämmäsuolle rakennetuissa pintakoerakenteissa, joiden kaltevuus on 1:7, todettiin, että pelkästä moreenista

rakennettu pintakerros läpäisi rakenteeseen kertyvästä vedestä 72 % ja pintavalunnan osuus oli 30 % (haihdunta ei ole mukana vesimäärissä) (Reiman A. 2019). Moreeni ei siten ole tehokas pintarakenne, jos halutaan estää veden pääsy täyttöön.

Täytön pinta tulee muotoilla kaltevaksi, jotta voidaan pinnan muotoilulla ohjata mahdollisimman suuri osa sadannasta pintavalunnaksi. Kaatopaikkaohjeistuksessa käytetään yleisesti minimikaltevuutena **1:20**. Veden imeytymistä täyttöön voidaan estää huonosti vettäläpäisevällä kerroksella, esim. bentoniittimatolla, jonka päälle on syytä rakentaa kuivatuskerros, joka johtaa kasvu- ja pintakerroksen läpi suotautuneen veden pois rakenteesta ja siten vähentää tiivistyskerrokseen kohdistuvaa vedenpainetta. Salaojamatto toimii tehokkaana kuivatuskerroksena pienilläkin kaltevuuksilla, jos kiviainesta ei ole saatavilla. Pintakerroksen tulee olla vähintään 0,5 m paksuinen, jotta se suojaa tiivistyskerrosta jäätymis-sulamissykleiltä ja kuivumis-kastumissykleiltä.

#### **Lähteitä:**

Ali-Tolppa, J. (2021) Kaatopaikan pintarakenteiden liukoisuusprosessit ja vesitase. Diplomityö, Tampereen yliopisto <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/136205>

Reiman, A. (2019) Kaatopaikan pintarakenteen toiminta: Ämmässuon koerakenteet. Diplomityö, Tampereen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/118308>

Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Ympäristöopas 36. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/41085>

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista VNp 861/97

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013

Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä 190/2013

EU direktiivi 2006/21/EC <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0021>

Pohjois-Suomen ympäristölupaviraston lupapäätös. Nro 122/05/1, Dnro PSY-2004-Y-80, 7.12.2005  
Suhangon kaivoksen ja rikastamon ympäristö- ja vesitalouslupa, Ranua ja Tervola