YMPÄRISTÖGEOTEKNIIKAN PERUSTEET

SISÄLLYS

ALKUSANAT

1. JOHDANTO 4

2 HAITTA-AINEET MAAPERÄSSÄ 8
2.1 JOHDANTO 8
2.2 HAITTA-AINEET 10
2.3 HAITTA-AINEIDEN KULKEUTUMINEN JA KÄYTTÄYTYMINEN MAASSA 11
2.3.1 Kulkeutumiseen vaikuttavia ilmiöitä 11
2.3.2 Vedenläpäisevyys 13
2.3.3 Pohjaveden virtaus 16
2.3.4 Kulkeutuminen pohjavedenpinnan yläpuolella 18
2.3.5 Haitta-aineiden kulkeutuminen 19

3. RISKIEN HALLINTA 24
3.1 JOHDANTO 24
3.2 RISKIN KÄSITTEET 26
3.3 RISKIN ARVIOINTI 29
3.3.1 Johdanto 29
3.3.2 RAKENTEIDEN RISKIT 32
3.3.3 Ympäristöriskit 33
3.4 RISKIEN VÄHENTÄMINEN 34

4. PILAANTUNEET MAAT 40
4.1 JOHDANTO 40
4.2 PILAANTUNEISUUDEN ARVIOINTI 43
4.3 MAAPERÄN PILAANTUNEISUUDEN TUTKIMINEN 46
4.3.1 Esiselvitykset ja kenttätutkimukset 46
4.3.2 Kemialliset tutkimukset 47
4.3.3 Kenttätyöt 50
4.3.4 Haitta-aineiden analysointi 51
4.4 PILAANTUNEIDEN MAIDEN KUNNOSTUS 51
4.4.1 Kunnostusmäärät ja lupakäytäntö 51
4.4.2 Kunnostusmenetelmät 52
4.4.3 Kunnostuskustannukset 55
4.4.4 Työturvallisuus 55

5. KAATOPAIKKARAKENTAMINEN 70
5.1 JOHDANTO 70
5.2 PÄÄSTÖT YMPÄRISTÖÖN JA KAATOPAIKAN SIJOITTAMINEN 72
5.3 KAATOPAIKKAKELPOISUUS JA KAATOPAIKKALUOKAT 74
5.4 KAATOPAIKAN SEURANTA 75
5.5 KAATOPAIKAN LOPETTAMINEN 75

6. TIIVISTYSRAKENTEET 81
6.1 JOHDANTO 81
6.2 POHJAVESIEN SUOJAUS TIEN KOHDALLA 81
6.2.1 Suojaustarpeen arviointi 82
6.2.2 Suojauksen rakenne 83
6.3 KAATOPAIKKOJEN TIIVISTYSRAKENTEET 87
6.3.1 Kaatopaikan pohjarakenteet 88
6.3.2 Kaatopaikan pintarakenteet 89

7. SIVUTUOTTEIDEN HYÖTYKÄYTTÖ MAARAKENTEISSA 97
7.1 JOHDANTO 97
7.2 LAINSÄÄDÄNNÖN VAATIMUKSET 100
7.2.1 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakennuksessa 100
7.2.2 Ympäristölupa 101
7.3 YMPÄRISTÖN VAATIMUKSET 102
7.3.1 Ympäristöturvallisuus 102
7.3.2 Ympäristökelpoisuuden arviointi ja tutkimukset 103
7.4 RAKENTEIDEN VAATIMUKSET 104
7.4.1 Sivutuotteiden teknisiä ominaisuuksia 105
7.4.2 Sivutuotteiden käyttöön vaikuttavia tekijöitä 106

Alkusanat

Ympäristögeotekniikan kurssi sisältyy ammattikorkeakoulujen infra- ja rakennetekniikan valtakunnallisiin ohjeellisiin opetussuunnitelmiin. Opintoihin osallistuu suuri osa rakennusalan insinööriopiskelijoita. Oppimateriaali, Ympäristögeotekniikan perusteet on tarkoitettu tukemaan ammattikorkeakoulujen ympäristögeotekniikan kurssin opintoja. Aineisto on laadittu siten, että sen opiskelun esitietovaatimuksena ovat peruskurssit geotekniikasta, pohjarakentamisesta ja fysiikasta. Oppimateriaalia voidaan käyttää ympäristögeotekniikan peruskurssimateriaalina myös muissa oppilaitoksissa, kuten yliopistoissa ja korkeakouluissa. Materiaali soveltuu myös itseopiskeluun.

Ympäristögeotekniikka on Suomen geoteknillinen yhdistys ry:n laatiman määrittelyn mukaan se ympäristötekniikan osa-alue, joka liittyy maaperään ja pohjaveteen. Tässä oppimateriaalissa on keskitytty ympäristögeotekniikan määrittelystä lähinnä rakentamiseen ja Suomen olosuhteisiin liittyviin osa-alueisiin, kuten haitta-aineiden aiheuttamaan maaperän pilaantuneisuuteen, riskien arviointiin, kaatopaikkarakentamiseen, tiivistysrakenteisiin ja sivutuotteiden hyötykäyttöön maarakentamisessa. Täydentävää ja erityistietoa on esitetty jokaiseen lukuun sisältyvissä teemakorteissa. Kirjallisuusluetteloissa, viittauksissa ja linkeissä esitetään lähteitä, joista löytyy yksityiskohtaisempaa tietoa.

Laajasta tiedosta on valittu ympäristögeotekniikan perusteisiin se ydinaines, joka palvelee rakentamisen ja peruskurssin näkökulmaa. Tarkoituksena on oppimateriaalin avulla antaa opiskelijoille alasta ne perustiedot, jotka tarvitaan yleiskäsityksen saamiseksi ympäristögeotekniikasta. Tavoitteena on lisäksi herättää opiskelijoiden mielenkiintoa aiheeseen ja antaa pohjaa myöhemmille jatko-opinnoille ja työssä vaadittavalle lisäopiskelulle.

Oppimateriaali on tehty Suomen geoteknillinen yhdistys ry:n (SGY) toimeksiannosta. Oppimateriaalin rahoittajina ovat SGY:n lisäksi olleet Infra r.y ja Opetusministeriö. Työtä on ohjannut tilaajan asettama ohjausryhmä, johon kuului SGY:n ympäristögeotekniikkatoimikunta ja alan opettajia: Pekka Lindroos (puheenjohtaja), Simo Hoikkala, Minna Leppänen, Jouko Saarela, Eeva-Maria Hatva, Petri Lintinen, Anton Palolahti, Kauko Kujala, Markku Raimovaara ja Pauli Vepsäläinen. Kurssiaineiston on koonnut Matti Hakulinen.

Tekijät kiittävät rahoittajia ja kaikkia oppimateriaalin tuottamiseen osallistuneita ja sen mahdollistaneita henkilöitä ja organisaatioita.

26.5.2008
Pekka Lindroos
Ohjausryhmän puheenjohtaja

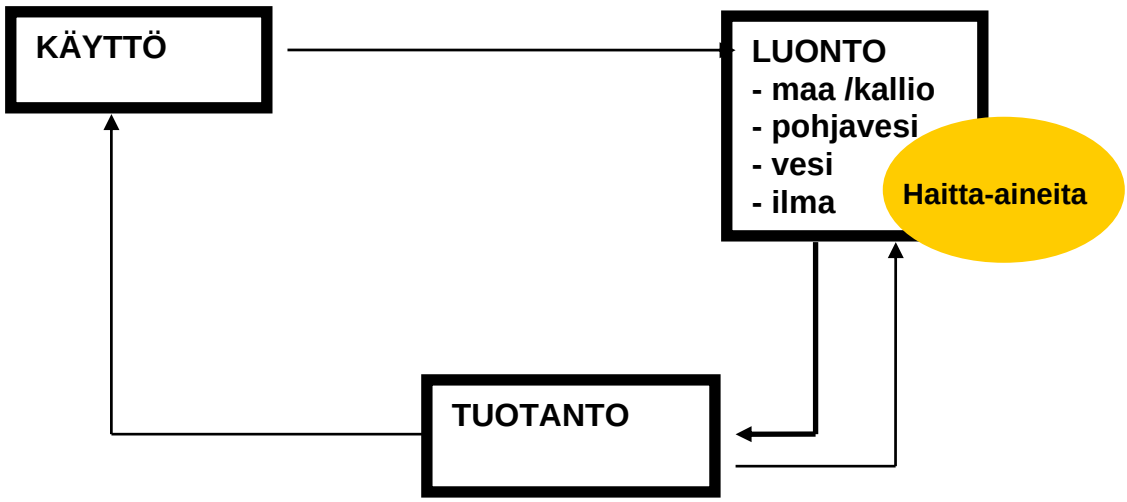
1. JOHDANTO

Geotekniikka käsittelee maan ja kallion teknisiä ominaisuuksia ja niiden soveltamista maa- ja pohjarakentamiseen sekä maa- ja pohjarakenteiden mitoitusmenetelmiä. Mitä sitten käsittelee ympäristögeotekniikka? Ympäristögeotekniikkaan sisällytetään poikkeuksetta pilaantuneet maat, kaatopaikkarakentaminen, pohjavesien suojaaminen rakentein ja teollisuuden sivutuotteiden käyttö rakentamisessa. Kaikissa edellä mainituissa aihepiireissä käsitellään ainakin mahdollisia haitta-aineita, jolloin haitta-aineiden kulkeutuminen ja käyttäytyminen maankamarassa sekä riskitarkastelu liitetään usein ympäristögeotekniikkaan.

Kun ympäristögeotekniikka käsitetään laajemmin siihen liitetään silloin myös luonnonilmiöiden kuten maanjäristysten, tulvien ja tulivuorenpurkausten aiheuttamien riskien hallitseminen geoteknisin menetelmin. Monet laajat kansainväliset ympäristögeotekniikan ongelmat liittyvät kaivospatojen sortumiin. Jätepadon murtuminen Romanian Baia Maressa vuonna 2000 aiheutti suuren syanidipäästön Tonavaan ja lähiympäristöön. Vuonna 1998 Espanjassa Aznalcóllarissa patoonnettomuus myrkytti Coto Doñana –kansallispuiston luonnonympäristön raskasmetalleilla. Euroopan komissio kiinnitti onnettomuuksien yhteydessä laajaa huomiota tämäntapaisten onnettomuuksien estämiseksi tulevaisuudessa. Tässä yhteydessä näitä aihepiirejä ei käsitellä tarkemmin.

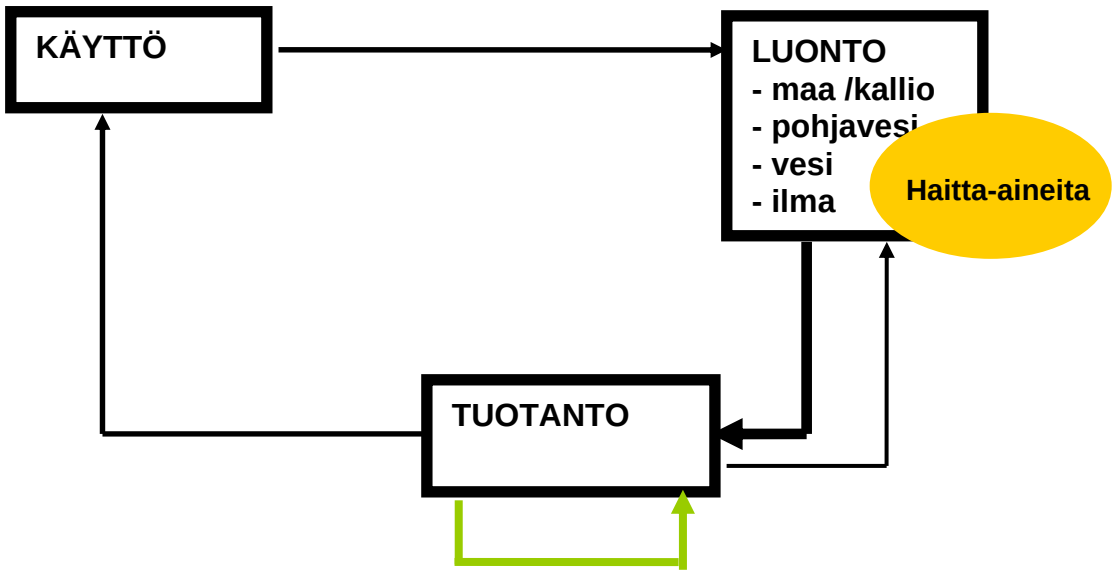
Ympäristögeotekniikka on käsitteenä varsin nuori. Monella asialla on pitkät juuret, niin tässäkin, mutta enemmän ympäristögeotekniikasta on Suomessa puhuttu vasta noin kaksikymmentä vuotta. Keskustelu alkoi käsi kädessä kestävän kehityksen pohdiskelun kanssa. Ympäristögeotekniikkaan eivät sisälly kaikki ympäristöön liittyvä maa- tai pohjarakentaminen, joissa käsitellään ihmisen aiheuttamia ongelmia tai ongelmien rajoittamista maankamaran materiaalikierrossa. Ympäristögeotekniikka keskittyy haitta-aineiden vaikutusten vähentämiseen. Luonnonmateriaalien, kuten kiviainesvarojen, käyttö esimerkiksi väylärakentamisessa ei pelkästään yleensä sisälly ympäristögeotekniikkaan, vaikka näiden uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö – Suomessa noin 100 miljoonaa tonnia vuodessa - vaikuttaa merkittävästi ympäristöön.

Teollistumisen alkuaikoina materiaalivirrat olivat nykyiseen verrattuna vielä vähäisiä (kuva 1.1). Teollisuuden tarvitsemat materiaalit otettiin luonnosta, viime kädessä maankamarasta, vedestä tai pohjavedestä, ilmasta ja elollisesta luonnosta. Määrällisesti maankamarasta lähtevä materiaalivirta oli jo tässä vaiheessa suuri. Elollinen luonto on jätetty pois yleispiirteisestä kuvasta, koska myös sen materiaalivirrat ovat pääosin peräisin elottomasta luonnosta. Materiaalivirta kiersi luonnosta tuotannon kautta käyttöön ja tavalla tai toisella hallitsemattomasti takaisin luonnonympäristöön. Esimerkiksi sellutehtaiden mustalipeä laskettiin usein lähes suoraan vesistöihin ja savukaasut sellaisenaan ilmaan. Merkittävä osa materiaalivirrasta päätyi tuotannosta suoraan jätepäästöinä takaisin luonnon ympäristöön. Samalla ympäristöön – myös maankamaraan ja pohjavesiin - siirtyi ihmisille ja ympäristölle haitallisia aineita.



Kuva 1.1. *Materiaalin yleistetty kierto, 1900-luvun alkupuolella.*

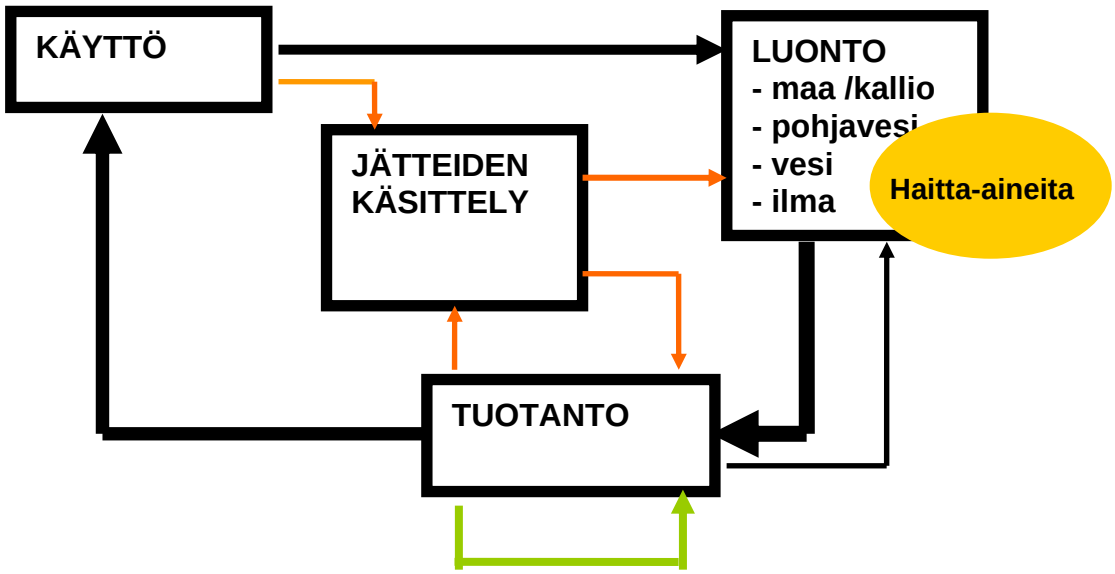
Melko pian tuotannon tehostuessa ja laajentuessa, päästöt tuotannosta suoraan luontoon vähenivät prosentuaalisesti vaikka eivät määrällisesti. Selluteollisuudessa mustalipeä otettiin talteen ja keittokemikaalit kierrätettiin. Tuotannon kasvaessa muut jätepäästöt kuitenkin lisääntyivät ja ympäristöongelmat kasvoivat (kuva 1.2).



Kuva 1.2. *Materiaalin yleistetty kierto, noin 1960--luvulla.*

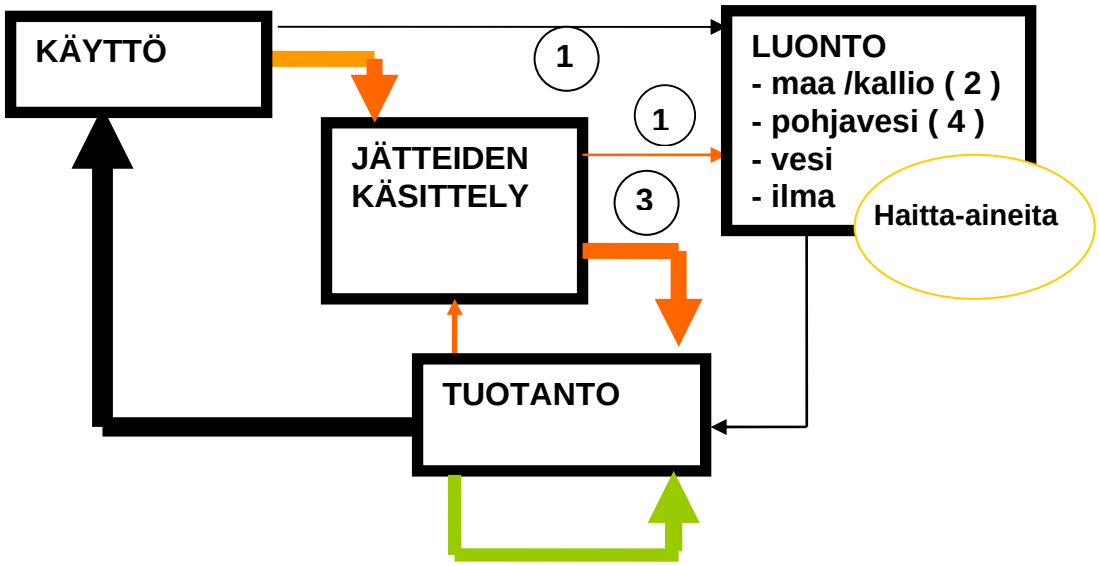
Ympäristöongelmat tiedostettiin laajemmin 1960-luvulla. Vähitellen lainsäädännön ja viime vuosina myös markkinatalouden omien lakien perusteella ympäristön huomioon ottaminen kehittyi. Sellutehtaat saivat omat jätevedenpuhdistamonsa, kemikaalien mm. kloorin käyttöä vähennettiin, savukaasuista otettiin talteen lentotuhka ja rikkiyhdisteet. Yhdyskuntien kaatopaikat rakennettiin yhtenäis-

ten rakentamiskäytäntöjen mukaan ja materiaalien kuluttajiakin koskeva kierrätys aloitettiin (kuva 1.3).



Kuva 1.3. *Materiaalin yleistetty kierto, noin vuonna 2000.*

Tulevaisuudessa materiaalivirrat kiertävät tuotannon, käytön ja jätteiden käsittelyn kautta. Sellutehtaan mustalipeästä tehtäneen tulevaisuudessa biopolttoaineita tai muita kemiallisia tuotteita, jolloin jätevedenpuhdistus voi olla tarpeetonta. Luonnosta voidaan ottaa vain vähän materiaalia ja jonkun verran sinne joudutaan palauttamaan materiaalia, mutta se tehdään hallitusti esimerkiksi määräysten mukaan rakennetuilla kaatopaikoilla.



Kuva 1.4. *Materiaalin kierto tulevaisuudessa ja haasteet ympäristögeotekniikassa. Ympäristögeotekniikan haasteita ovat (1) Kaatopaikkarakentaminen eli loppusijoitus, (2) pilaantuneiden maiden kunnostus ja niiden syntymisen ehkäisy, (3) sivutuotteiden hyötykäyttö ja (4) pohjavesien suojelu.*

Ympäristögeotekniikan jatkuvia haasteita ovat nyt ja tulevaisuudessa käytöstä poistettujen materiaalien sijoittaminen turvallisesti ja pitkäikäisesti kaatopaikoille, materiaalien kierrossa hallitsemattomasti pilaantuneiden maiden kunnostus ja maan pilaantumisen ehkäisy, tuotannon sekä jätteiden käsittelyn sivutuotteiden käyttö maarakentamisessa ja pohjavesien pilaantumisen ehkäisy. Näiden haasteiden ratkaisumenetelmiä käsitellään tässä oppimateriaalissa. Luonnollisesti näkökulma on tämän päivän osaamisessa ja mahdollisuuksissa. Epäilemättä tulevaisuudessa monet asiat osataan ratkaista paremmin kehittynyttä tietoa hyväksi käyttäen. Luultavasti esiin nousee uusia haitta-aineisiin liittyviä ongelmia, joiden ratkaiseminen vaatii myös rakentajien osaamista.

Vaikka ympäristögeotekniikkaan sisältyy monia asioita, jotka vaativat hyvin syvällistä teoreettista osaamista, on rakentamisen näkökulma asiaan usein käytännöllinen: se on maa- ja pohjarakentamista, jossa otetaan kulloisetkin erityispiirteet huomioon. Alan luonteeseen - poikkitieteellisyyteen - kuuluu, että rakentajien lisäksi ympäristögeotekniikan hankkeissa on mukana eri alojen asiantuntijoita. Näiden asiantuntijoiden erityistietämystä ei tässä yhteydessä juurikaan käsitellä. Ympäristöasiat kuuluvat ympäristöviranomaisten toimivaltaan, jolloin he tekevät yleensä ympäristöön liittyvät ratkaisut ja määrittävät ympäristöluvassa tai muissa ehdoissa työn edellytykset.

Ympäristögeotekniikka pyrkii ratkaisemaan maaperän haitta-aineiden aiheuttamia ongelmia.

Ongelmien ratkaisemisessa tarvitaan eri alojen asiantuntijoiden osaamista.

Ympäristöviranomaiset hyväksyvät ongelmien ratkaisumenetelmät.

KIRJALLISUUS

Niini, H., Uusinoka, R. ja Niinimäki, R. (toimittajat), 2007. Geologia ympäristötoiminnassa, Rakennusgeologinen yhdistys- Byggnadsgeologiska förening r.y.

2 HAITTA-AINEET MAAPERÄSSÄ

2.1 JOHDANTO

Pilaantumista aiheuttavat aineet leviävät maassa yleensä maassa liikkuvan veden välityksellä, jolloin erityisesti pohjavesialueet ovat vaarassa. Kaavoitetuilla alueilla rakennettaessa suuremman riskin voivat aiheuttaa kuitenkin maarakeisiin pidättyneiden aineiden liikkuminen maansiirtojen, pölyn, lasten leikkien tai muun vastaavan toiminnan yhteydessä ihmisten, eläinten ja kasvien ulottuville sekä kaasumaisten yhdisteiden tunkeutumisena maanvastaisten rakenteiden läpi rakennuksiin. Maan sisällä olevien kiinteiden aineiden liikkuminen on merkityksetöntä. Haitta-aineiden terveysriski voi toteutua, kun aineet kulkeutuvat ihmisten ympäristöön ja he voivat altistua aineiden vaikutuksesta. Jos aineet eivät pääse kulkeutumaan esimerkiksi maasta ihmisiin, ei terveysriskiä ole.

Pohjavesi on osa veden kiertokulkua. Sitä muodostuu sadeveden imeytyessä maaperään ja edelleen pohjavesivyöhykkeeseen, jossa maan huokoset ovat täysin veden kyllästämät. Erityisen runsasta imeytyminen on lumen sulaessa, jolloin pohjavedenpinta yleensä nousee. Kesällä haihtuminen on suurta eivätkä sadevedet useinkaan pääse imeytymään pohjaveteen saakka. Tästä johtuen pohjaveden pinta yleensä laskee kesäisin. Syksyllä, kun haihdunta pienenee, syyssateet täydentävät pohjavesivarastoja. Talvella vesi sataa lumena ja maa on jäässä. Silloin uutta pohjavettä ei muodostu ja sen pinta laskee. Lämpiminä talvina vesisateet voivat täydentää pohjavesivarastoa.

Pohjavesien muodostumiseen vaikuttaa erityisesti maan läpäisevyys. Karkearakeisilla mailla jopa 60 % sadannasta imeytyy maahan. Hienorakeisilla maapohjilla pohjavettä ei imeydy käytännöllisesti katsoen lainkaan. Suomen maaperän rakeisuus vaihtelee alueellisesti erittäin paljon. Karkearakeiset kerrostumat ovat usein suppeita harjuja, vaikkakin esimerkiksi Salpausselkiin sisältyy myös laajoja hiekkakankaita. Pohjaveden pilaantuessa pohjavesialueen pienialaisuus on etu, mutta pohjaveden käyttö vesihuollossa edellyttää usein riittävän laajoja pohjaveden muodostumisalueita. Suomessa pohjavettä riittää vedenhankintaan yleensä hyvin rannikkoseutuja lukuun ottamatta.

Suomessa on noin 6600 luokiteltua pohjavesialuetta. Näillä alueilla muodostuu pohjavettä lähes 6 miljoonaa kuutiota vuorokaudessa. Vesilaitokset, joiden jakamasta vedestä noin 60 prosenttia on pohja- tai tekopohjavettä, käyttävät noin 10 % pohjavesialueilla muodostuvasta pohjavedestä. Pohjavesi on laadultaan pääosin moitteetonta. Joskus pohjaveden käyttöä haittaavat rauta ja mangaani. Paikallisesti voi maa- ja kallioperästä siirtyä pohjaveteen myös haitallisia määriä arseenia, fluoria ja radonia. Koska pohjavesi on laadultaan parempaa, usein lähes sellaisenaan käytettävissä, sen käsittely on edullisempaa kuin pintaveden. Tällöin sen mahdolliset, niin lyhytaikaiset kuin myös pitkäaikaisetkin terveysriskit ovat vähäisiä. Tähän vaikuttaa myös se, että pohjavesi on paremmin suojassa pilaantumiselta kuin pintavesi. Pohjaveden ja tekopohjaveden käyttö lisääntyy myös tulevaisuudessa, vaikka sen käyttöä esimerkiksi pääkaupunkiseudulla vähentää alueellisesti vähäinen pohjaveden saatavuus.

Pilaantumisen tapahtuessa pohjaveden puhdistuminen vaatii lähes aina erittäin pitkän ajan. Aikaisemmin pohjaveden laatua heikensivät lähes kaikkialla ilmasta laskeutuneet rikkiyhdisteet. Savukaasujen puhdistamisen tehostuttua on rikkiyhdisteiden määrä pohjavedessä kääntynyt laskuun. Koska teitä on edullista rakentaa karkearakeisille maapohjille, jotka ovat samalla myös pohjavesialueita, on teiden suolaus merkittävä uhka pohjavesille. Vaikka teiden reunoille on noin kymmenen vuoden aikana rakennettu runsaasti pohjaveden suojausrakenteita, ei kloridien määrä ole vähentynyt ennakoidusti. Tähän voi olla syynä se, että suojausrakenteet eivät toimi riittävän hyvin, mutta myös se että haitta-aineiden poistuminen pohjavedestä vaatii pitkän ajan. Suurinta väheneminen on ollut teiden välittömässä läheisyydessä. Muita pohjavesiriskejä aiheuttavat pilaantuneet maat, kaatopaikat, kemikaalien kuljetukset, kiviainesten otto, jätevesien maahan imeytys, viemärit sekä lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttö maa- ja metsätaloudessa. Pohjaveden pilaantumisvaara on suurin hiekka- ja soramailla, jotka läpäisevät hyvin sekä vettä että haitta-aineita.

Pohjavesien suojelu on tärkeää, sillä likaantuneen pohjaveden puhdistaminen on erittäin vaikeaa ja kallista. Puhdas pohjavesi pyritään turvaamaan mm. suojelusuunnitelmilla, joiden laatimisesta vastaavat pääasiassa kunnat. Ensisijaisena pyrkimyksenä on, että uudet riskikohteet sijoitetaan pohjavesialueiden ulkopuolelle. Suojelusuunnitelman avulla pyritään suojelemaan koko pohjavesialue rajoittamatta tarpeettomasti kuitenkaan muuta maankäyttöä. Suojelusuunnitelma voidaan laatia mille tahansa pohjavesialueelle, myös alueille, jotka eivät ole vedenhankintakäytössä. Ympäristöviranomaisten tavoitteena on, että suojelusuunnitelmat laadittaisiin ainakin kaikille riskialueiksi luokitelluille tärkeille pohjavesialueille. Suojelusuunnitelmia on laadittu noin 900 pohjavesialueelle.

Tärkeimmät pohjaveden ja maaperän suojelua koskevat kansalliset säädökset sisältyvät ympäristönsuojelulakiin:

> *Maahan ei saa jättää tai päästää jätettä eikä muutakaan ainetta siten, että seurauksena on sellainen maaperän laadun huononeminen, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle, viihtyisyyden melkoista vähentymistä tai muu niihin verrattava yleisen tai yksityisen edun loukkaus*. (*Maaperän pilaamiskielto, Ympäristönsuojelulaki 7 §)*
>
> *Ainetta tai energiaa ei saa panna tai johtaa sellaiseen paikkaan tai käsitellä siten, että 1) tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti huonontua; 2) toisen kiinteistöllä oleva pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai kelpaamattomaksi tarkoitukseen, johon sitä voitaisiin käyttää; tai 3) toimenpide vaikuttamalla pohjaveden laatuun muutoin saattaa loukata yleistä tai toisen yksityistä etua (pohjaveden pilaamiskielto, Ympäristönsuojelulaki 8 §)).*

Vesilaissa käsitellään muun muassa pohjaveden muuttamiskieltoa (VL 1:18 §). EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60 EY) eräs pyrkimys on estää pohjavesien pilaantuminen ja vähentää jo tapahtunutta pilaantumista. Pohjavesialueiden suojelun valvonnasta vastaavat alueelliset ympäristökeskukset yhteistyössä kuntien kanssa.

2.2 HAITTA-AINEET

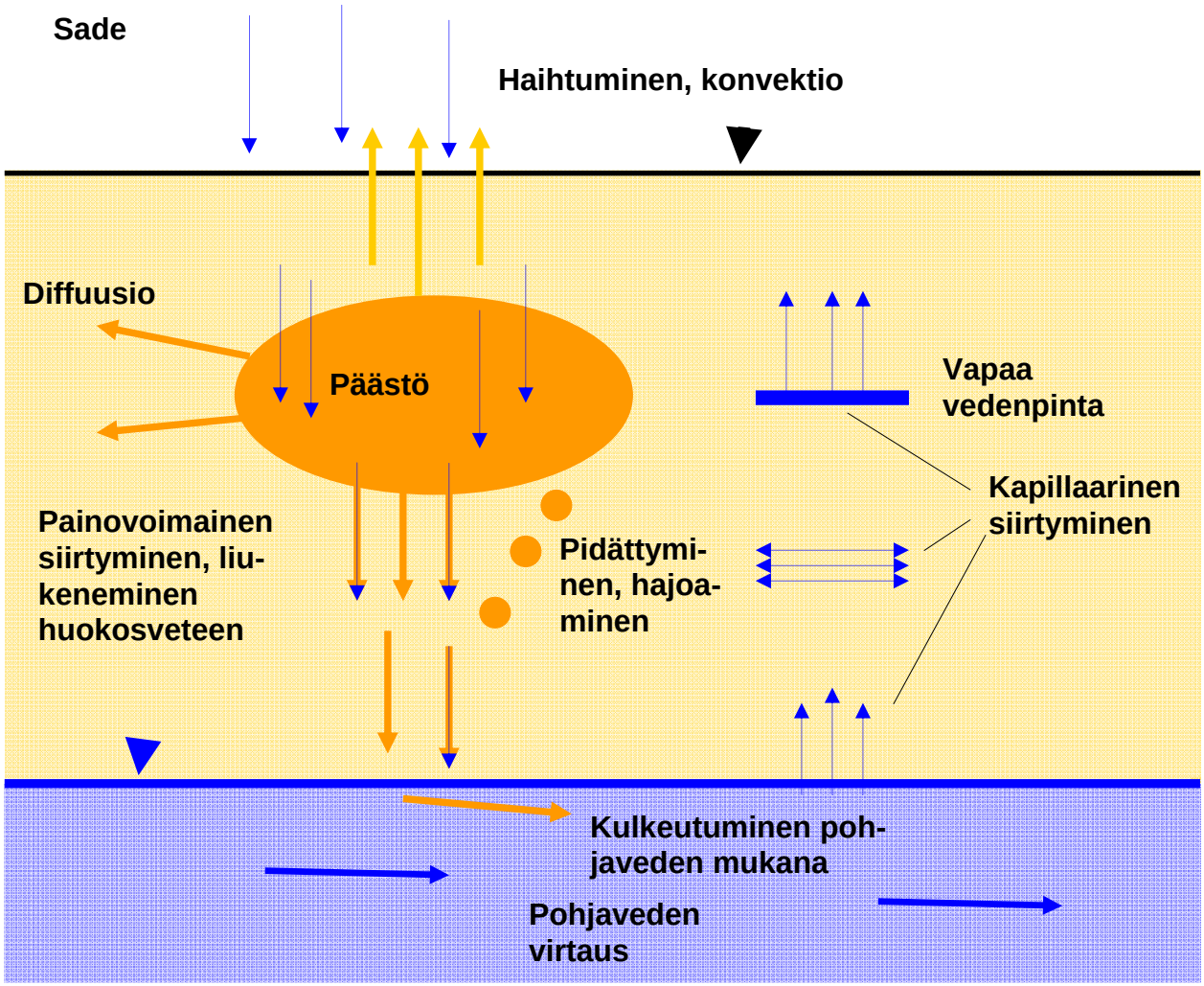
Maaperää pilaavien haitta-aineiden ominaisuudet ja käyttäytyminen maaperässä vaihtelevat paljon. Usein maaperää ovat lianneet useat haitta-aineet. Tyypillisiä epäorgaanisia aineita ovat raskasmetallit: kuten lyijy (Pb), sinkki (Zn), elohopea (Hg), nikkeli (Ni), kromi (Cr), kadmium (Cd) ja kupari (Cu) sekä arseeni (As). Alkuaineina raskasmetalleja ei voi hävittää. Kunnostettaessa ne siirretään haitattomaan paikkaan tai eristetään. Kun epäorgaanisia aineita on vain muutamia, on orgaanisia yhdisteitä lukemattomia. Tavanomaisia ovat polttonesteet, liuottimet ja polyaromattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet) ja PCB- yhdisteet. Saha-alueilla tavataan usein orgaanisista aineista kloorifenoleja ja dioksiineja (taulukko 2.1). Orgaaniset yhdisteet hajoavat luonnonympäristössä. Lukuisat tekijät kuten valo, happi ja lämpö, voivat muuttaa haitta-aineiden rakennetta ja määrää. Jotkut yhdisteet hajoavat nopeasti, yleensä häviäminen vaatii kuitenkin pitkän ajan, jopa tuhansia vuosia. Hajoamisnopeus riippuu yhdisteestä ja olosuhteista, mitä monimutkaisempi yhdiste, sitä hitaampaa on hajoaminen.

Taulukko 2.1. *Pilaantumista aiheuttavia aineita.*

Toimiala	**Haitta-aineet**	**Haitta-aineiden lähteet**
Polttoaineiden jakelu	hiilivedyt, Pb	Poltto- ja lisäaineet
Korjaamot ja romuttamot	hiilivedyt, metallit (mm. Pb, Cu), PCB	Jäteöljyt, akut, kaapelit, kondensaattori ja muuntajat, liuottimet, maalit
Sahat ja kyllästämöt	kloorifenolit, dioksiinit, furaanit, PAH-yhdisteet, As, Cu, Cr	Kyllästysaineet
Metalliteollisuus	raskasmetallit, hiilivedyt, liuottimet, syaanit	Liuottimet, työstönesteet, työstöjätteet
Ampumaradat	Pb, Ni, antimoni	Haulit, luodit, savikiekot
Kaatopaikat	Mitä vain	Jätteet, ongelmajätteet
Muu teollisuus	raskasmetallit, liuottimet	
Tiet	kloridit, Pb	Tiesuolaus, bensiini

2.3 HAITTA-AINEIDEN KULKEUTUMINEN JA KÄYTTÄYTYMINEN MAASSA

2.3.1 Kulkeutumiseen vaikuttavia ilmiöitä



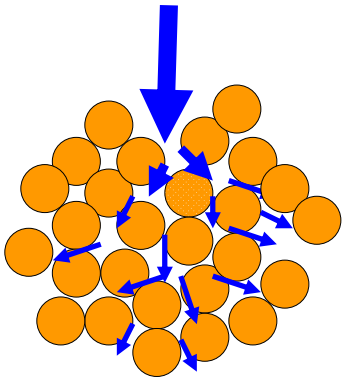
Kuva 2.1 *.Haitta-aineiden kulkeutuminen maassa ja pohjavedessä.*

Maaperä sisältää kiinteän aineksen lisäksi huokosia. Näissä huokosissa haitta-aineet pääsevät liikkumaan yleensä joko huokoskaasussa tai vedenkiertokulkuun maassa osallistuvan veden mukana. Kun haitta-aineet täyttävät maaperän tai kallioperän huokostilan, ne voivat liikkua myös omana kaasunaan tai nesteenään.

Maassa vesi liikkuu nesteenä lähinnä painovoimaisesti tai kapillaarisesti ja vesihöyrynä konvektion ja diffuusion vaikutuksesta. Pääasiassa samojen lainalaisuuksien mukaan kulkeutuvat myös haitta-aineet maankamarassa. Haitta-aineiden leviämisessä vaikuttavat samanaikaisesti yleensä useat kulkeutumistavat. Konvektiossa aineet tai energia liikkuvat väliaineen, kuten veden tai ilman mukana. Pohjaveden mukana siirtyvien aineiden kulkeutumista nimitetään usein myös advektioksi. Konvektiovirtauksissa haitta-aineet voivat sekoittua ja laimentua mekaanisesti. Tällöin on kyse dispersiosta.

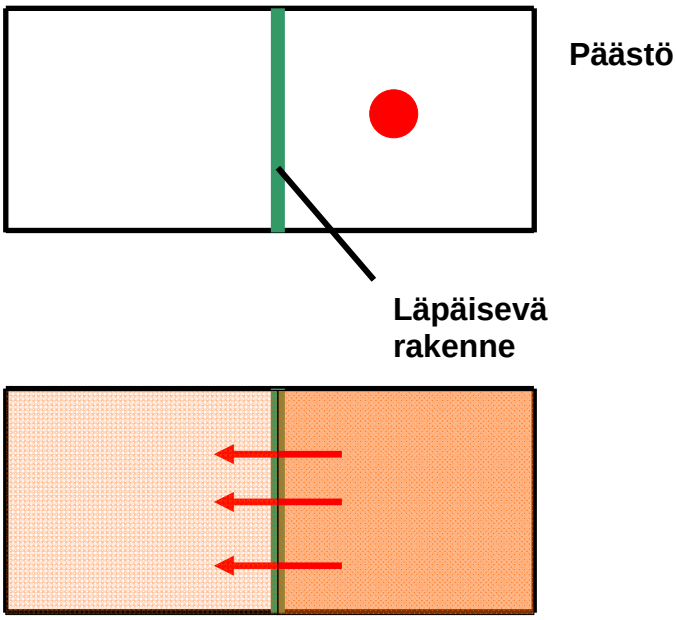
Kuvassa 2.2 on esitetty aineiden leviäminen dispersion avulla. Dispersiota eli sekoittumista tapahtuu, kun pohjaveden virtaus törmää maarakeisiin ja joutuu muut-

tamaan suuntaan ja mutkittelemaan, jolloin myös pohjaveden mukana kulkeutuvat yhdisteet leviävät mekaanisesti sekä sivulle päin että virtauksen suunnassa. Ilmiötä voidaan verrata ihmisryhmän kulkemiseen tiheän väkijoukon läpi.



***Kuva 2.2**. Aineiden leviäminen maassa tapahtuvassa virtauksessa dispersion välityksellä.*

Diffuusiossa kaasun ja nesteen pitoisuudet pyrkivät tasoittumaan. Tällöin kulkeutumista tapahtuu, vaikka väliaine ei lainkaan liikkuisi. Kuvassa 2.3 on esitetty diffuusion periaate. Diffuusiossa pitoisuudet pyrkivät tasoittumaan, vaikka väliaine; kaasu tai neste, olisi liikkumaton.



***Kuva 2.3.** Diffuusio. Ylemmän kuvan oikeanpuolessa rakenneosassa tapahtuu päästö, jonkun ajan kuluttua pitoisuus on tasoittunut molempiin rakenneosiin.*

Tasoittuminen tapahtuu myös rakenteiden läpi. Kulkeutuminen rakenteen läpi riippuu sen materiaalin diffuusiovastuksesta ja myös yhdisteen ominaisuuksista. Jokaisella yhdisteellä on oma diffuusiopaineensa.

Diffuusiossa yhdisteet voivat liikkua myös muuta virtausta vastaan. Esimerkiksi huonetiloista suuri kosteuspitoisuus pyrkii siirtymään rakenteiden läpi ulkoilmaan alhaisempaan kosteuspitoisuuteen, vaikka rakennuksissa on yleensä alipaine ja konvektioilmavirtaukset pyrkivät siirtymään epätiiviyskohtien läpi sisälle. Samalla tavalla voi muovisen vesijohdon läpi tunkeutua kemiallisia yhdisteitä sen ulkopuo-

lelta sisäpuolelle, vaikka sisällä olisi suurikin vedenpaine. Diffuusion merkitys haitta-aineiden kulkeutumisessa on konvektioon verrattuna pieni karkearakeisissa maa-aineksissa. Diffuusiolla voi olla merkitystä pitkäaikaisissa tarkasteluissa erityisesti hienorakeisissa kerrostumissa, joissa konvektion merkitys on vähäinen (vrt. kuva 2.9).

Määrällisten kulkeutumistarkastelujen teko vaatii usein numeeristen laskentamenetelmien käyttöä. Koska näiden käyttö edellyttää maapohjan vaihtelun, kuten kerroksellisuuden ja kerrosten läpäisevyyksien riittävän tarkkaa selvittämistä, ovat numeeriset menetelmät usein kalliita ja aikaa vieviä.

2.3.2 Vedenläpäisevyys

Kun maan huokoset ovat täysin vedellä kyllästyneet, voidaan painovoimaista pohjaveden virtausta tarkastella Darcy:n yhtälöllä (2.1). Kyllästynyt tila vallitsee pohjaveden pinnan alapuolella. Yhtälöllä ei voi tarkastella maaveden virtausta pohjavedenpinnan yläpuolella kyllästymättömässä tilassa.

$$v = k\frac{H}{L} \quad = \quad ki \qquad (2.1)$$

v veden virtausnopeus (m)

k vedenläpäisevyyskerroin (m/s)

H painekorkeus, vesipatsaan korkeus (m)

L suotomatka (m)

i hydraulinen gradientti H / L

Maa-aineksesta riippuvan vedenläpäisevyyskertoimen k (m/s) määritys (yhtälöstä 1 saadaan muokkaamalla yhtälö 2.2) on laboratoriossa periaatteessa yksinkertaista, kun on olemassa laitteisto jossa painekorkeus, suotomatka ja veden virtausnopeus voidaan mitata (yhtälöt 2.2 ja 2.3, kuva 2.4).

$$k = \frac{vL}{H} \qquad (2.2)$$

Virtausnopeus v voidaan määrittää jatkuvuusyhtälön perusteella (yhtälö 2.3).

$$v = \frac{Q}{A} \qquad (2.3)$$

A virtauksen poikkileikkauksen ala (m^2)

Q vesimäärä (m^3/s)

Tässä vedenvirtausnopeus v on laskettu koko näytteen poikkileikkausalalle. Huokosissa on vedenvirtausnopeus v_s todellisuudessa suurempi, koska vesi virtaa ainoastaan huokostilassa (yhtälö 2.4), tällöin myös vesiliukoisten haitta-aineiden leviäminen on nopeampaa kuin yhtälöllä 2.3 laskettaessa. Usein pohjavesitarkas-

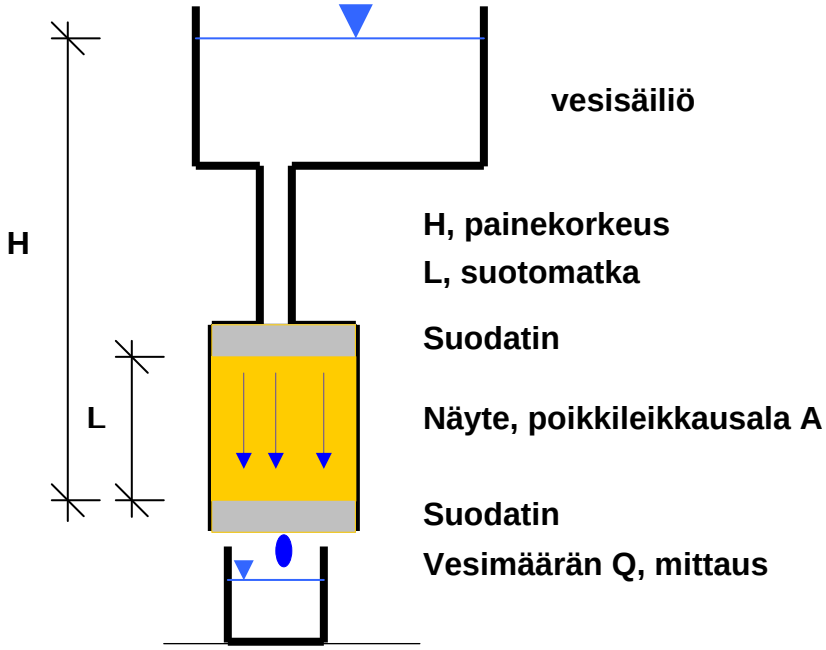
teluissa käytetään kuitenkin yksinkertaisuuden vuoksi laskennallista virtausnopeutta v.

$$v_s = \frac{v}{n} \qquad (2.4)$$

n = huokoisuus

Yhtälöiden (2.2) ja (2.3) perusteella voidaan määrittää vedenläpäisevyyskerroin k (m/s) yhtälön 2.5 mukaisesti.

$$k = \frac{QL}{AH} \qquad (2.5)$$



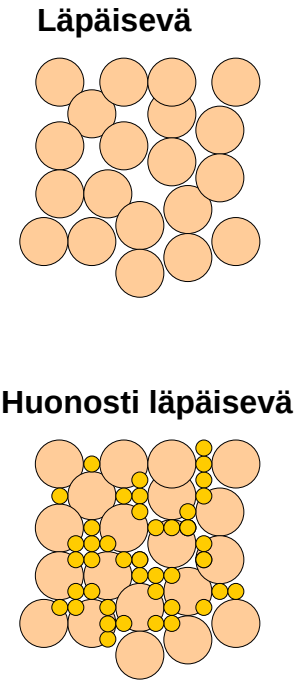
Kuva 2.4. *Vedenläpäisevyyden mittauslaitteisto, kiinteäseinämäinen vakiopainekoe.*

Edellä esitettyjen tekijöiden lisäksi vedenläpäisevyyteen vaikuttaa veden viskositeetti, joka riippuu lämpötilasta. Yleensä viskositeetin vaihtelun merkitys on niin vähäinen, että sitä ei tarvitse pohjavedenvirtauslaskelmissa ottaa huomioon. Tähän vaikuttaa erityisesti se, että todellisten maakerrosten vedenläpäisevyys vaihtelee merkittävästi. Laboratoriokokeissa, joissa määritetään vedenläpäisevyyskerroin k, lämpötilakorjaus otetaan huomioon. Lämpötilan korjauskertoimelle α löytyy arvo esimerkiksi julkaisusta: Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, Osa II. Tie- ja vesirakennushallitus 1970.

Kiinteäseinämäinen mittauslaitteisto soveltuu karkearakeisten maa-ainesten, joiden vedenläpäisevyyskerroin on suurempi kuin 10^{-8} m/s, mittaukseen. Hienorakeisten maa-aineisten, joita käytetään muun muassa tiivistysrakenteissa, vedenläpäisevyyden määrityksessä mittaustarkkuus ei ole riittävä. Virhettä voi aiheuttaa oikovirtaus näytesellin ja näytteen välissä. Toinen merkittävä virhelähde voi

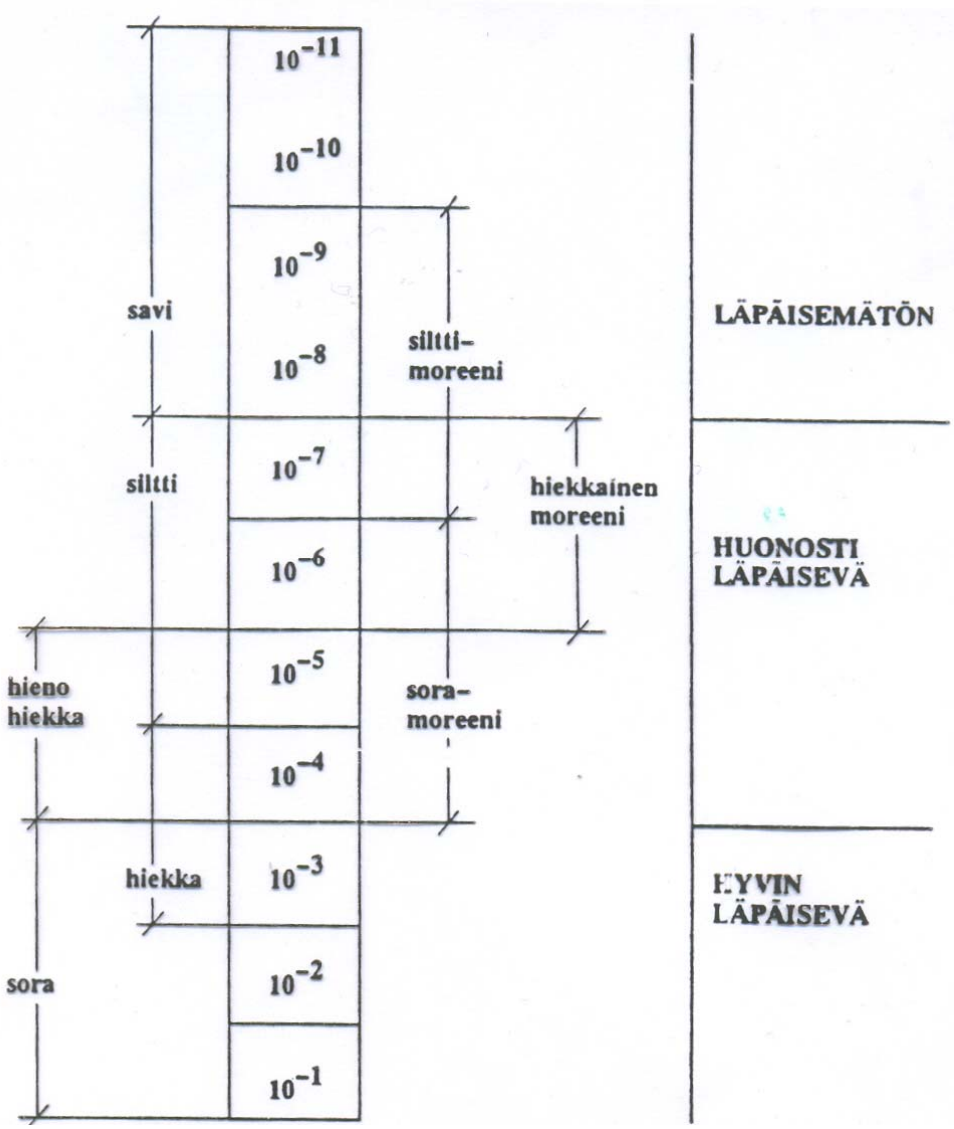
olla vesimäärän mittaaminen riittävän tarkasti. Hienorakeisilla maa-aineksilla suotoveden määrä voi olla erittäin pieni, jolloin mm. haihtumisen estäminen mittausastiasta saattaa olla vaikeaa. Ongelmana voi olla myös riittävän painekorkeuden eli hydraulisen gradientin (yhtälö 2.1) saavuttaminen. Tarkemmin vedenläpäisevyys voidaan mitata joustavaseinäisellä vedenläpäisevyyden mittauslaitteella (katso teemakortti, Joustavaseinäinen vedenläpäisevyyden mittauslaite). Mittauksen periaate on siinä sama kuin kuvassa 2.4.

Vedenläpäisevyyteen vaikuttaa ennen kaikkea maan hienoaineksen määrä (kuva 2.5). Karkearakeisten maa-ainesten vedenläpäisevyyttä voidaan alustavasti arvioida rakeisuuden perusteella.



Kuva 2.5. *Rakeisuuden vaikutus vedenläpäisevyyteen.*

Vedenläpäisevyysero eri maalajien välillä voi olla kymmenenmiljoonakertainen (sora k = 10^{-3} m/s ja savi k = 10^{-10} m/s) ja ääritilanteissa jopa suurempikin (vrt. kuva 2.6).



***Kuva 2.6**. Maa-ainesten vedenläpäisevyyden likimääräinen arviointi. Hienorakeiset maa-ainekset on kuvattu likimääräisesti läpäisemättömäksi, mikä ei kuitenkaan pidä paikkaansa ympäristögeotekniikan tarkasteluissa..*

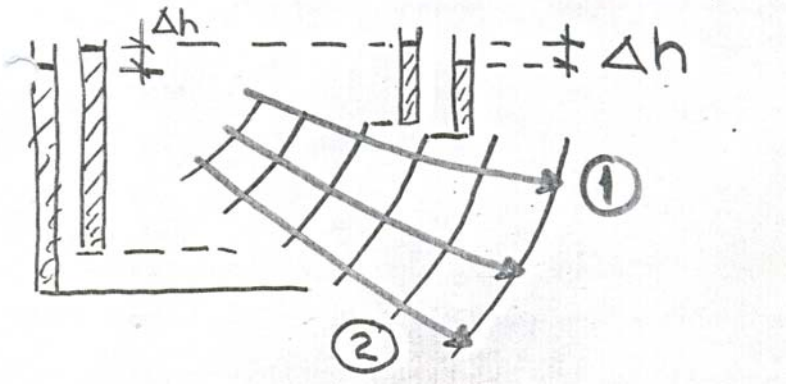
Haitta-aineiden kulkua rajoittavien mineraalisten tiivistysrakenteiden vaatimukset kuvataan usein vedenläpäisevyyden avulla, vaikka niiden käyttötilassa ei välttämättä kehity varsinaista kyllästyneentilan pohjavesivirtausta. Usein veden virtaus maassa tapahtuu osittain kyllästyneessä tilanteessa, jolloin Darcyn yhtälö (2.1) ei ole sellaisenaan voimassa.

2.3.3 Pohjaveden virtaus

Kaksiulotteinen pohjaveden virtaus maassa voidaan määrittää Laplacen yhtälöllä (kuva 2.7).

Laplace-yhtälö

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \qquad (2.6)$$



Kuva 2.7. *Pohjaveden kaksiulotteinen virtaus.*

Yhtälö (2.6) on harvoin ratkaistavissa analyyttisesti. Sen likimääräinen ratkaisu voidaan tehdä piirtämällä ja tarkempi ratkaisu numeerisin menetelmin. Ratkaisu esitetään tavallisesti kahden käyräparven: virtausviivojen (1) ja vedenpaineviivojen saman arvokäyrien (2) avulla. Virtausviivat osoittavat veden kulkureitin. Läpäisemätön pinta on virtausviiva, joka rajaa ratkaisua. Samalla vedenpaineviivalla on sama vedenpaine koko viivan matkalla. Veden virtaussuunnassa vedenpaine vähenee, jokaisella paineviivavälillä yhtä paljon. Matemaattisen ratkaisun käyräparvet ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan, jolloin niiden välinen kulma on 90° ja kentät neliöitä. Piirrettäessä joudutaan tästä yleensä jonkun verran poikkeamaan.

Suotovesimäärä voidaan laskea virtausverkon perusteella yhtälöllä 2.7. Yhtälö vastaa aikaisemmin käsiteltyä yhtälöä 2.5.

$$Q = \frac{kHNf}{Nd} \qquad (2.7)$$

Q vesimäärä (m^3/m)

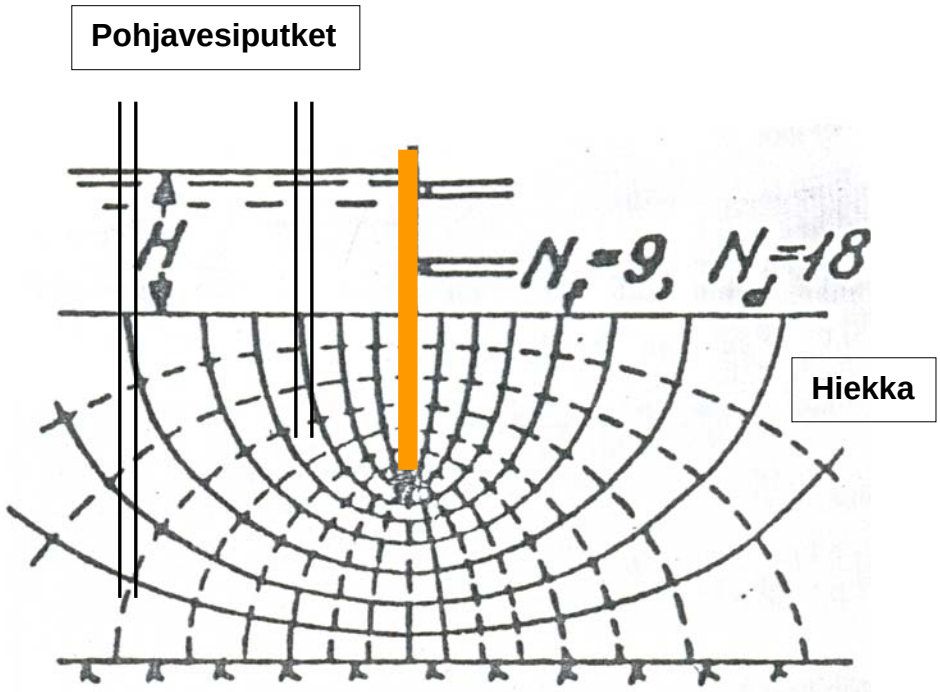
N_f virtauskanavien lukumäärä

N_d painekaistojen lukumäärä

k vedenläpäisevyyskerroin (m/s)

H painekorkeus (m)

Kuvassa 2.8 esitetyn ponttiseinä ali virtaavan pohjaveden virtausmäärä on yhden metrin kaistaa kohden 0,000015 m^3/s eli 0,015 l/s, kun vedenläpäisevyyskerroin k on 10^{-5} m/s ja painekorkeus H on 3 metriä.



Kuva 2.8. *Ponttiseinän ali suotautuvan veden virtausverkko. Huomaa, että kuvan pohjavesiputkissa vedenpinta nousee samalle tasolle, koska niiden siiviläkärki on samalla painetasolla. Mikä on niissä vedenpinnan korkeus ?*

Saattaisi kuvitella, että suotovesi kulkisi pelkästään mahdollisimman lähellä pontin alapäätä sen ympäri. Kun vesi ei juurikaan puristu kokoon, se joutuu etsimään reittejä myös kauempaa pontin ali kuvan 2.8 mukaisesti. Lähintä virtausviivaa pitkin veden virtausnopeus on suurin, koska suotomatka L on lyhin (vrt. yhtälö 2.1). Nopein virtaus kuluttaa vedenpaine-eron lyhyimmällä matkalla.

Kuvassa 2.8 samoin kuin monissa maa- ja pohjarakenteissa ovat pohjavesivirtauksen reunaehdot riittävän yksinkertaiset ja virtausverkko voidaan suhteellisen helposti määrittää samoin kuin painekorkeus H. Luonnon maakerroksissa näiden määrittäminen on lähes aina vaikeaa. Tämän vuoksi on laskelmat usein tehtävä numeerisin menetelmin (vrt. teemakortti, Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla).

2.3.4 Kulkeutuminen pohjavedenpinnan yläpuolella

Painovoimaista veden siirtymistä kyllästymättömässä tilassa pohjavedenpinnan yläpuolella on vaikea laskea. Selvää on, että mitä huonompi on maa-aineksen vedenläpäisevyys, sitä vähäisempää on virtaus.

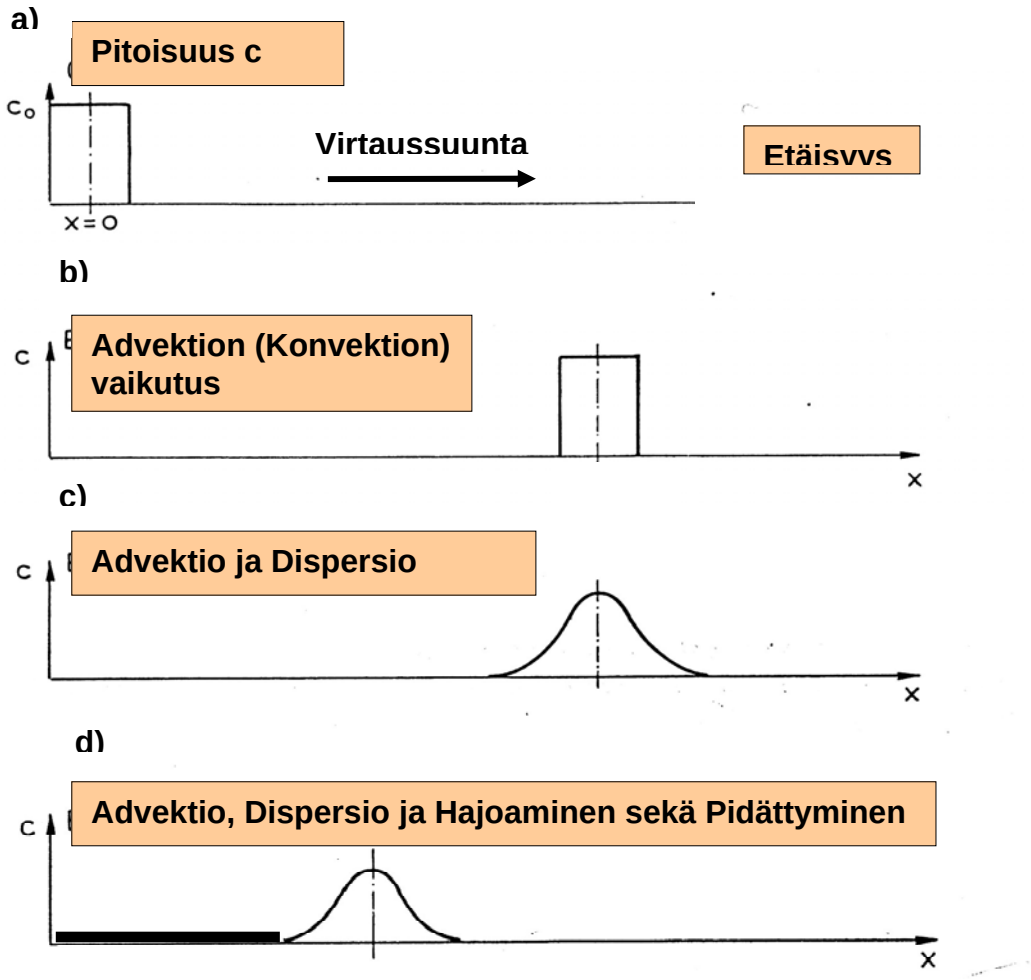
Kapillaarista virtausta voi myös tapahtua muustakin vapaasta vedenpinnasta kuin pohjavedenpinnasta (vrt. kuva 2.1). Usein kapillaarisen virtauksen mahdollistama vapaa vedenpinta syntyy sade- ja sulamisvesien vajovesistä ainakin lyhytaikaisesti rakenteiden perustusten kaivupohjille, alimpien täyttöjen alle luonnontilaisen maapohjan päälle. Usein esitetään veden kapillaarinen siirtyminen nesteenä ainoastaan pystysuunnassa, vaikka vaakasuuntainen siirtyminen on lähes aina pystysuuntaiseen siirtymiseen nähden moninkertaista, koska painovoima ei hidasta virtausta. Haitta-aineiden siirtymisessä pohjaveden vaikutuksen ulkopuolinen vaakasuuntainen kapillaarinen virtaus on usein merkittävin kapillaarisen siirtymisen tapa. Suurinta kapillaarinen siirtyminen on hienorakeisissa ja vähäisintä karkearakeisissa maa-aineksissa. Kapillaarisvirtaus on puolestaan nopeinta kar-

kearakeisissa maa-aineksissa, joilla on suurempi läpäisevyys kuin hienorakeisilla maa-aineksilla.

Kaasut liikkuvat maanhuokosissa konvektion ja diffuusion välityksellä. Haitta-aineiden kulkeutumisessa näillä virtauksilla on merkitystä, kun haitta-aineet ovat haihtuneet huokostilaan. Luonnontilassa ilmavirtaukset rajoittuvat yleensä karkearakeisissakin kerrostumissa noin kahden metrin syvyyteen maanpinnasta. Tästä ovat poikkeuksena harjut ja muut jyrkkärinteiset karkearakeiset kerrostumat, jotka tuulettuvat syvemmältäkin. Hienorakeisissa kerrostumissa ei konvektiovirtauksilla ole yleensä merkitystä.

2.3.5 Haitta-aineiden kulkeutuminen

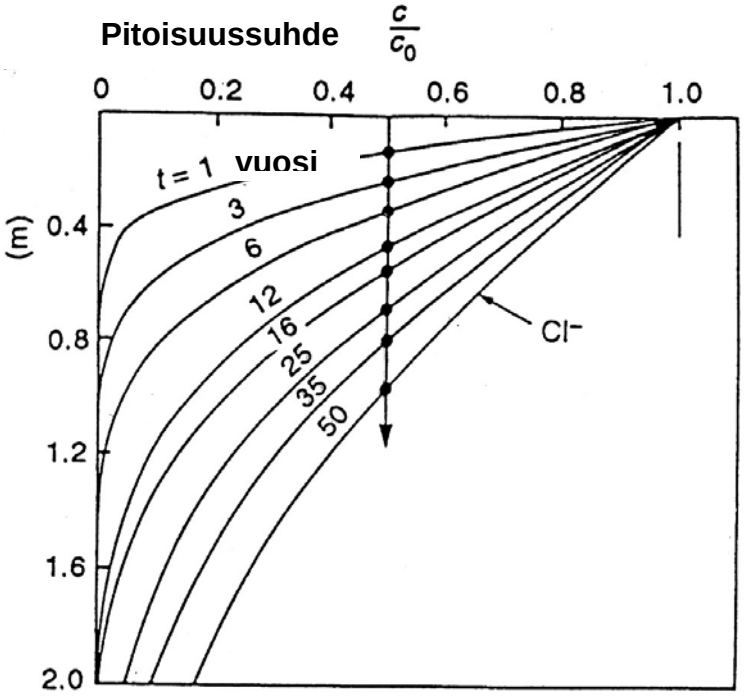
Kuvassa 2.9 on periaatteellinen esitys haitta-aineiden kulkeutumisesta maaperässä. Haitta-aineet voivat kulkeutua pohjaveden tai huokoskaasun mukana, omana faasinaan pohjavesivyöhykkeen alaosassa tai pohjavedenpinnan yläpuolella maassa.



Kuva 2.9. *a) lähtötilanne, pitoisuus c_o, b) päästö on kulkeutunut väliaineen mukana muuttumattomana c) päästö on levinnyt lähiympäristöön myös dispersion välityksellä d) osa päästöstä on pidättynyt maahan (musta viiva) ja osa hajonnut joko kemiallisesti tai biologisesti. Lopputilanteessa pitoisuus on selvästi vähentynyt alkutilanteeseen verrattuna.*

Vettä kevyemmät veteen liukenemattomat aineet, kuten osa öljy-yhdisteistä liikkuvat pohjavedenpinnan yläpuolella kapillaarisessa vyöhykkeessä. Vettä raskaammat yhdisteet, kuten suolat ja raskaat öljyjakeet, painuvat pohjavesivyöhykkeen alaosiin. Siellä ne voivat täyttää maankamaran kerrostuneisuuden muodostamia syvänteitä, joissa veden vaihtuminen on hidasta.

Kuvassa 2.10 on esitetty kloridin diffuusiovirtaus savikerroksen läpi. Diffuusiolla on merkitystä nestemäisten yhdisteiden leviämisessä, kun maaperän vedenläpäisevyys k on pienempi kuin 10^{-9} m/s.



Kuva 2.10. *Kloridin diffuusiovirtaus savikerroksessa. 50 vuoden kuluttua on pitoisuus yhden metrin syvyydellä noin 50 % saven pinnalla olevasta pitoisuudesta.*

Kulkeutumisen aiheuttaman pitoisuuksien vähenemisen lisäksi haitta-aineet voivat maaperässä muuttua tai hajota kemiallisesti ja biologisesti ja pidättyä maahan. Pidättymiseen vaikuttavat monet mekaaniset, fysikaaliset, kemialliset ja biologiset tekijät, joita ei tässä käsitellä tarkemmin. Hienorakeiset maa-ainekset, joiden rakeiden kokonaispinta-ala (ominaispinta-ala) on suuri, pidättävät yleensä eniten haitta-aineita. Karkearakeisissa maa-aineksissa, joissa haitta-aineet liikkuvat paremmin, on pidättyminen usein vähäistä. Taulukossa 2.2 on esitetty eräiden maa-ainesten kyky pidättää kevyttä polttoöljyä ja bensiiniä.

Taulukko 2.2. *Eräiden maa-ainesten kyky pidättää kevyttä polttoöljyä ja bensiiniä.*

Maa-aines	Kevyt polttoöljy (litraa /m^3)	Bensiini (litraa /m^3)
Sora	15	4
Hiekka	30	8
Siltti	80	20

KIRJALLISUUTTA

Haitta-aineiden leviämistä käsittelevää lisätietoa:
http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/Yhd-12.126/oppimateriaali/paa_s.htm

Airaksinen, J. Maa- ja pohjavesihydrologia, 1978..

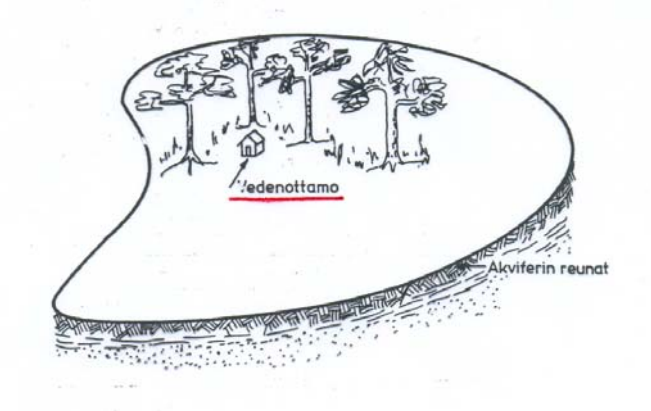
Suomen vesiyhdistys, Pohjavesitutkimusopas. Käytännön ohjeita. 2005. ISBN 952-9606-73-7, ISSN 0782-9612.

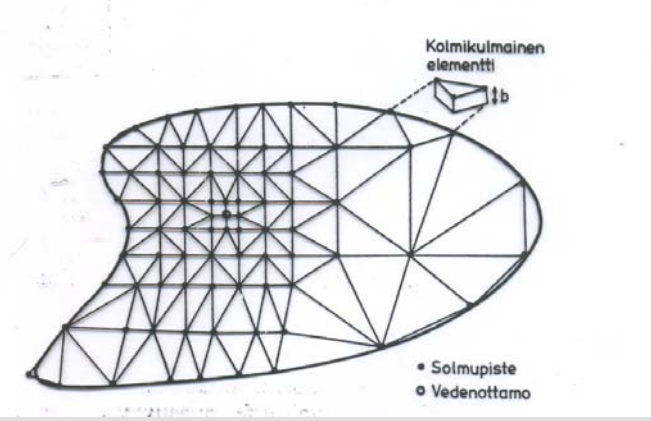
Jari Rintala, Vesa Hyvärinen, Kari Illmer, Esko Nylander, Pekka Pulkkinen, Pasi Rantala ja Petri Siiro, 2007. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmat osana vesienhoidon järjestämistä - taustaselvitys. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7 / 2007, 62 sivua. ISBN:978-952-11-2621-5, ISBN:978-952-11-2621-5 (PDF). Julkaisu on saatavana vain internetistä SYKEra7/2007 Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmat osana vesienhoidon järjestämistä. pdf (4 490 kb)

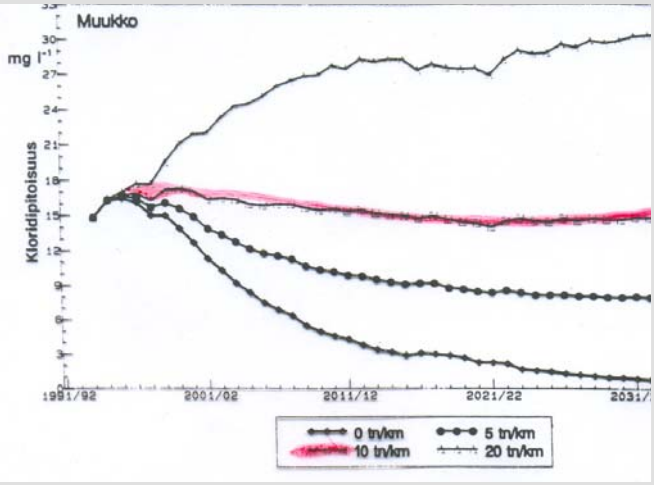
Tidenberg, S., Kosonen, E. ja Gustafsson, G. 2007 Teiden talvikunnossapidon vaikutukset pohjaveteen. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 10/2007. 131 s. ISBN 978-952-11-2664-2, ISBN 978-952-11-2665-9 (pdf) SYKEra10/2007

Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla

Valtatie 6 valmistui 1960-luvun puolivälissä Ensimmäiselle Salpausselälle Joutsenonkankaan pohjavesialueen päälle. Samanaikaisesti aloitettiin tien suolaus. Pohjavedenottamoiden korkeimmat mitatut kloridipitoisuudet olivat 1990-luvulla alle 20 mg/l, kun taustapitoisuus on alle 1 mg/l. Suolausmäärä oli 1990-luvulla noin 10 tonnia kilometriä kohti vuodessa. Pohjavesialue on 12 km pitkä ja 5 km leveä.





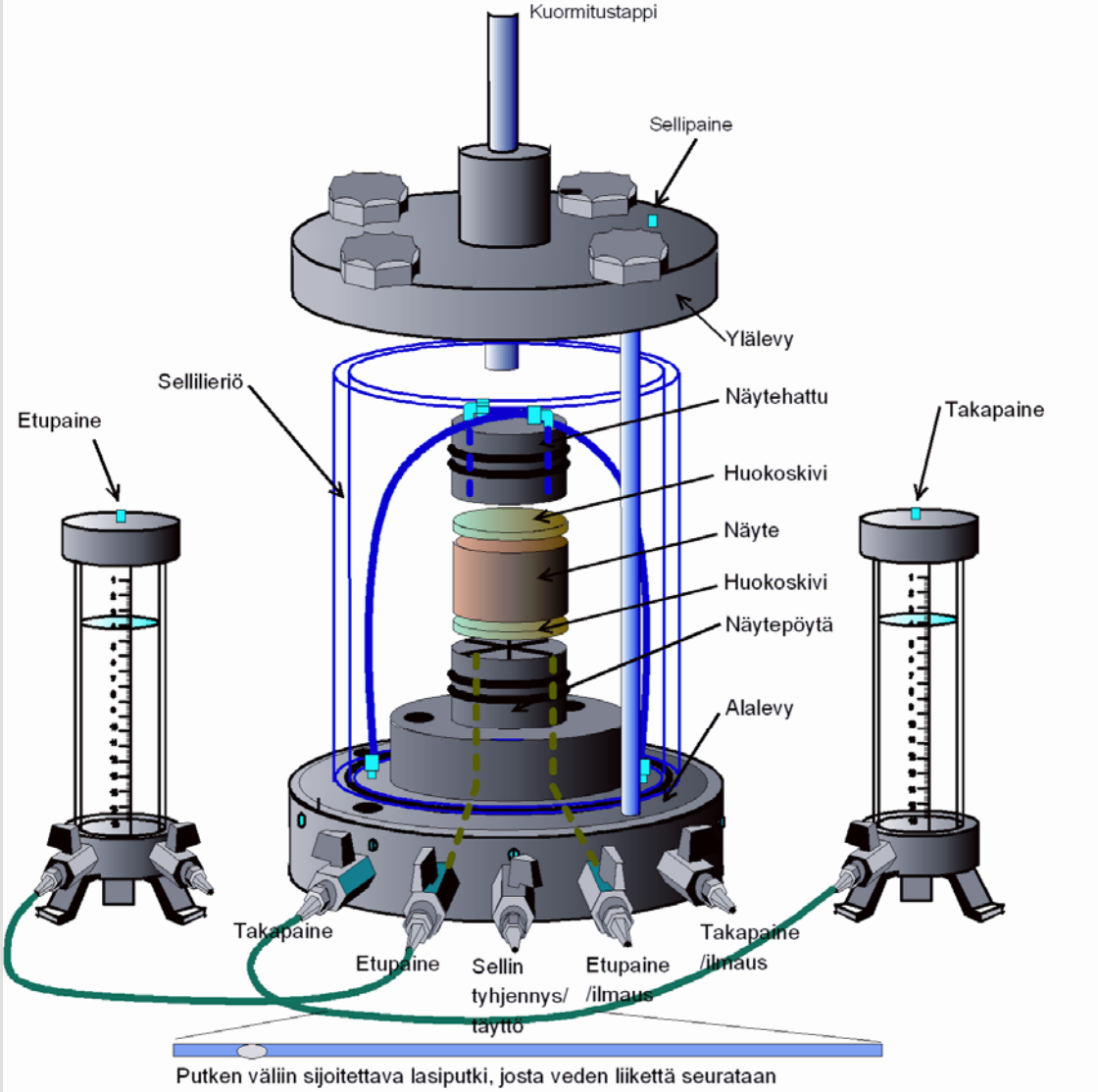


Pohjaveden kloridipitoisuuden muuttumista tulevaisuudessa eri suolausmäärillä pyrittiin arvioimaan numeerisin menetelmin. Analysointia varten pohjavesialue jaettiin elementteihin, joiden koko oli noin 200 x 200 m^2. Laskennan lähtötietona olivat: maan vedenläpäisevyydet ja pohjavedenpinnan korkeudet, joita mitattiin 22 havaintoputkesta ja tien suolausmäärät.

Ensimmäisessä vaiheessa malli kalibroitiin täsmentämällä kertoimia ja lähtötietoja, kunnes lasketut ja havaitut arvot vastasivat toisiaan. Tämän jälkeen mallilla laskettiin ennusteet 50 vuoden aikajaksolle. Käytetyt suolausmäärät olivat 0, 5, 10 ja 20 tonnia tiekilometriä kohden vuodessa. Tulokset osoittivat, että kloridipitoisuus pysyy alhaisena vedenottamoiden lähellä mikäli suolausta ei lisätä. Lääkintöhallituksen pitoisuusraja 100 mg/l voi ylittyä suolattaessa 20 tonnia tiekilometriä kohti vuodessa. Valtatie 6: n perusparannuksen yhteydessä rakennettiin alueelle 2000-luvun alussa pohjavesisuojausrakenteet .

Lähde:
Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla, Tielaitoksen selvityksiä 33/1993.

Joustavaseinäinen vedenläpäisevyyden mittauslaite



Joustavaseinäistä laitteistoa käytetään erityisesti hienorakeisten maa-ainesten vedenläpäisevyyden mittaamisessa. Painekorkeus aikaansaadaan etu- ja takapainesellien ilmanpaine-eron avulla. Tällöin hydraulisen gradientin arvo voidaan valita vapaasti. Yleensä se on mittauksen aikana vedenläpäisevyydestä riippuen 10 - 30 ja sitä nostetaan portaittain kokeen aikana. Näytesellin vedenpaine puristaa näytteen ympärillä olevan kumikalvon näytteeseen kiinni, jolloin estetään seinämävirtaukset. Näytteeseen virtaava ja sieltä ulosvirtaava vesimäärä mitataan lasiputkeen injektoitavien ilmakuplien avulla. Ilmakupla siirtyy veden virtauksen mukana ja sen nopeus voidaan mitata. Nopeudesta saadaan vesimäärä Q, kun tunnetaan putkivirtauksen ala.

Lähde: Huokoisen materiaalin vedenläpäisevyyden mittaaminen joustavaseinäisellä vedenläpäisevyyslaitteistolla muuttuvapainekokeena tai vakiopainekokeena, Suomen Ympäristökeskuksen ohje.

3. RISKIEN HALLINTA

3.1 JOHDANTO

Riski käsitetään usein mahdollisena menetyksenä, uhkana tai vaarana. Mahdollinen kuvaa epävarmuutta – todennäköisyyttä - ja menetys seurauksia. Usein seuraukset pyritään ja joskus voidaankin mitata rahassa. Aina tämä ei ole mahdollista.

Kaikkeen ihmisen toimintaan liittyy epävarmuutta ja samalla riskejä. Riskejä on luultavasti arvioitu niin kauan kuin ihminen on tiedostanut oman toimintansa. Systemaattisemmin riskin arviointi alkoi osakemarkkinoiden kehittyessä 1500- ja 1600-luvuilla. Ensimmäiset tieteellisestikin perusteltavissa olevat riskien arvioinnit ja analysoinnit liittyivät talouteen.

Yhteiskunnan kehittyessä kiinnitetään yhä enemmän huomiota myös työn organisointiin, turvallisuuteen, terveyteen ja erityisesti ympäristöasioihin. Tällöin joudutaan kiinnittämään huomiota myös riskeihin. Teollisuuslaitokset joutuvat arvioimaan energian tuotanto- ja ympäristöriskejä, yritykset taloudellisia ja tietoturvallisuusriskejä, kunnat pelastustoimen riskejä jne. Riskin arviointi voi koskea lähes mitä tahansa toimintaa. Riskin arvioinnista on tullut jokapäiväistä toimintaa. Riskien hallinnalla voidaan organisaatioiden toimintaa tehostaa.

Kehittyneessä yhteiskunnassa ollaan valmiita maksamaan toimintojen varmuudesta. Yhteiskunnan tehokkuus ja korkea elintaso perustuvat pitkälti siihen, että ihmiset ja organisaatiot voivat luottaa toimintojen keskeytymättömyyteen ja turvallisuuteen. Ihmisten ajan kuluminen odotteluun, vaikka liikenneruuhkan tai tietoliikenneyhteyksien katkeamisen seurauksena, maksaa paljon.

Rakennusala on yleensä muuta tuotantotoimintaa riskialttiimpaa. Tästä huolimatta rakentamisessa on riskeihin alettu kiinnittää huomiota muita aloja myöhemmin. Rakentamisen suuri riskialttius – joka on ainakin osittain alakulttuuriominaisuus - on otettava huomioon ja tiedostettava myös ympäristögeotekniikan tehtävissä.

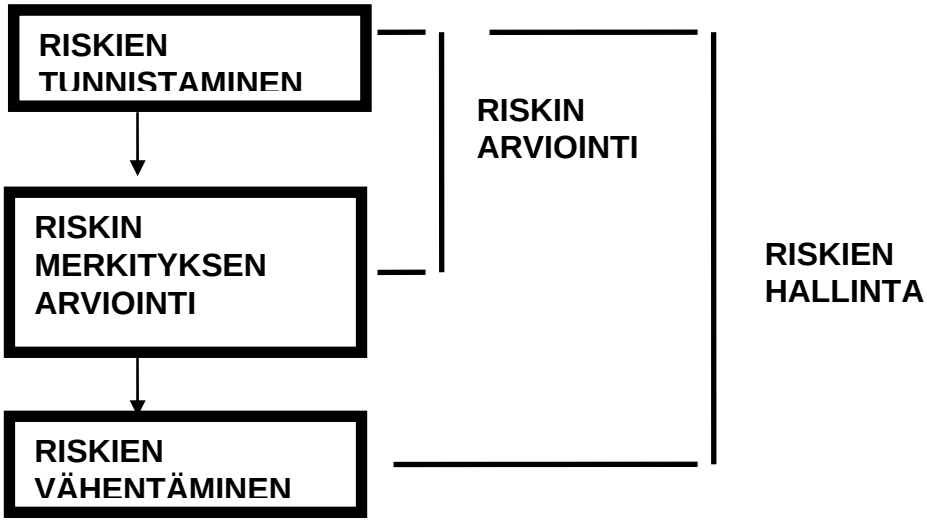
Rakennustuotannossa riskit liittyvät rakenteiden lisäksi muun muassa työturvallisuuteen, säähän, urakkamuotojen valintaan, työmaan logistiikkaan, aikatauluihin, kustannuksiin sekä ympäristön rakenteisiin ja ihmisiin.

Rakentamisessa on riskien analysointi arkipäivän insinöörityössä sisällytetty yleensä normien ja ohjeiden suunnitteluvaatimuksiin; varmuuskertoimiin, sallittuihin muodonmuutoksiin, pitoisuuksien kynnys-, ohje- ja raja-arvoihin jne. Tällöin insinöörin ei tarvitse arvioida riskiä itse jokaisessa erillisessä suunnittelu- tai rakennuskohteessa. Riittää, kun noudattaa ohjeita ja määräyksiä.

Kaikkea toimintaa ei voida ohjeistaa ja normittaa. Tehtävissä, joissa on useita vaikuttavia tekijöitä tai jotka ovat uudenlaisia, joudutaan riskit arvioimaan yksilöllisesti. Näihinkin tehtäviin löytyy usein ohjeita. Ohjeiden puuttuessa tai niitä täydennettäessä on hyödyllistä tuntea riskinarvioinnin periaatteet ja oppia myös aikaisemmin tehdyistä arvioinneista ja tapahtuneista vahingoista ja onnettomuuksista.

Riskitarkasteluilla on suuri merkitys käsiteltäessä ihmisen valmistamien haitallisten aineiden vaikutuksia maa- ja kallioperässä ja siellä erityisesti pohjavedessä. Haitalliset aineet voivat aiheuttaa ekologisia ja terveysriskejä. Terveysriski syntyy esimerkiksi silloin, kun maaperässä on haitallisia aineita, jotka voivat kulkeutua pohjaveden välityksellä ihmisiin. Valtionneuvoston asetuksessa (214/2007) annetaan pilaantuneille maille kynnys- ja ohjearvot, jotka helpottavat riskin arviointia (ks. Pilaantuneet maat).

Riskien hallintaan liittyy riskien tunnistaminen, riskien merkityksen arviointi ja riskien vähentäminen (kuva 3.1).



Kuva 3.1. *Riskien hallinnan vaiheet.*

Riskin arviointi on systemaattista tutkimista ja tutkimustulosten käsittelyä matemaattisin menetelmin. Monesti käsiteltäviin ongelmiin liittyy lukuisia ja lukemattomiakin muuttujia ja riskin arviointi voi olla aikaa vievää ja vaativaa toimintaa. Usein on kuitenkin mahdollista arvioida riskejä yksinkertaistetusti, kun tunnetaan arvioinnin periaatteet. Tuloksia on tietysti tällöin arvioitava varovaisesti. Liialla yksinkertaistamisella ja nyrkkisäännöillä on omat vaaransa.

Tässä kirjoituksessa esitetään riskien hallinnan yleisiä periaatteita. Sovelluskohteet liittyvät rakentamiseen ja ympäristögeotekniikkaan. Riskejä tarkastellaan lähinnä yhteiskunnan tarpeiden näkökulmasta.

Kaikkeen toimintaan liittyy riskejä.

Rakentaminen on yleensä muuta tuotantotoimintaa riskialttiimpaa.

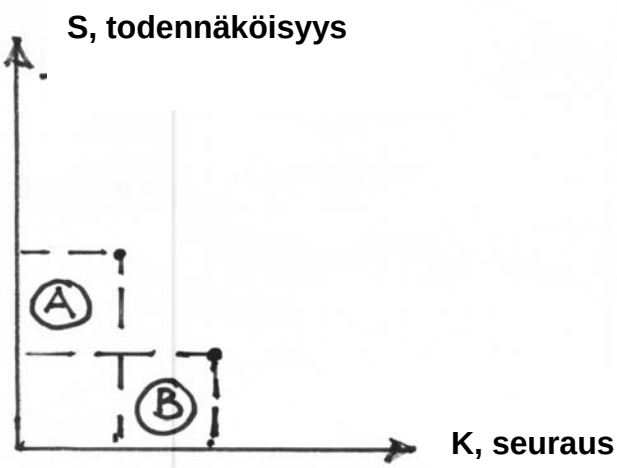
Terveysriski syntyy, kun ihmiset voivat altistuvat haitallisille aineille.

3.2 RISKIN KÄSITTEET

Riski on odotettavissa oleva mahdollinen menetys, epätoivottu tapahtuma. **Riski R** riippuu **todennäköisyydestä S** ja tapahtuman **seurauksesta K** (yhtälö 3.1).

$$R = S \times K \qquad (3.1)$$

Riskin suuruus on matemaattisesti pinta-ala R, S-K -koordinaatistossa (kuva 3.2). Mitä suurempi ala sitä suurempi riski. Tilastollinen riski on harvoin nolla.

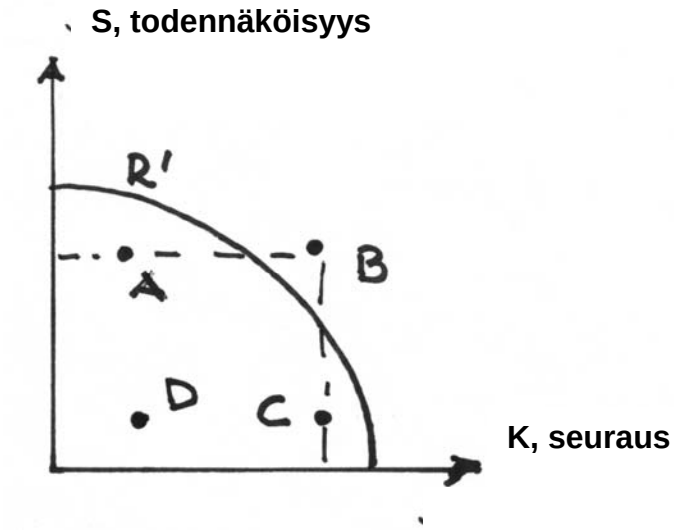


Kuva 3.2. *Riski R. Molemmat riskit A ja B ovat yhtä suuria .*

Kuvassa 3.2 riskit A ja B ovat yhtä suuret. Riski A voisi olla lievä liikennevahinko, jonka todennäköisyys on suuri, mutta seuraukset ovat pienet. Riski B voisi olla liikenneonnettomuus, jossa henkilö loukkaantuu ja joutuu sairaalahoitoon.

Todennäköisyyden ja seurausten kasvaessa kasvavat myös riskit. Harvoin tapahtuvat suuronnettomuudet ovat vaikeammin hyväksyttäviä kuin usein sattuvat pienemmät onnettomuudet, vaikka niiden keskimääräiset seuraukset olisivat samat. Suuronnettomuudet kuten esimerkiksi Nokian vesionnettomuus, Estonia-autolautan uppoaminen, öljyonnettomuudet, lukuisat kattoromahdukset, terroristiiskut, epidemiat ja vakavat pohjavesionnettomuudet ylittävät yhteiskunnan sietokyvyn. Tällöin riskien pienentäminen aiheuttaa poliittisia päätöksiä, joilla pyritään vähentämään tapahtumien seurauksia ja todennäköisyyksiä.

Kuvassa 3.3 riskeillä A ja B on sama mahdollisuus toteutua, mutta riski B on suuri, koska sillä on vakavammat seuraukset ja se ylittää yhteiskunnan hyväksymän riskitason R'. Riskeillä B ja C on samanlaiset seuraukset, mutta keskisuuri riski C voidaan hyväksyä, koska sen tapahtuminen on epätodennäköisempää.



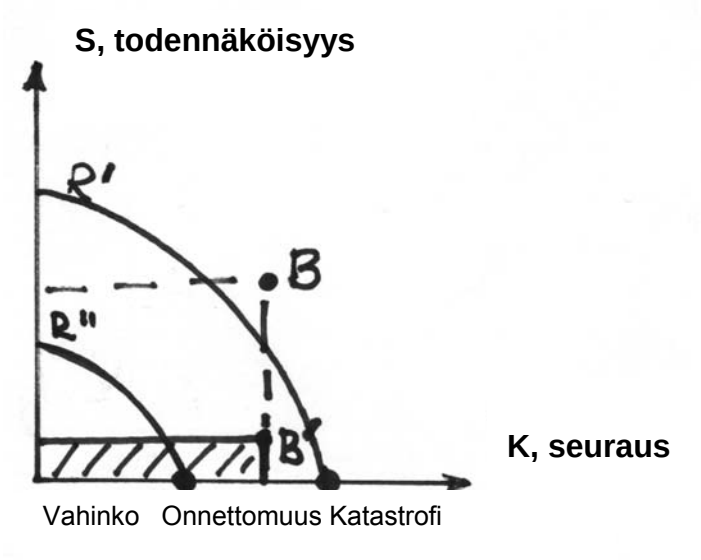
Kuva 3.3. *Riskit ja hyväksytty riskitaso R'.*

Esimerkiksi Estonia-onnettomuuden seurauksena annettiin uusia määräyksiä autolauttojen keulaporttien rakenteista, joilla pienennettiin onnettomuuden todennäköisyyttä (B => C). Samalla lisättiin pelastustoimien, esimerkiksi pelastushelikoptereiden toimintamahdollisuuksia ja vähennettiin mahdollisen uuden onnettomuuden seurauksia (C => D). Riskien pienentämiseksi on myös Suomenlahdella kulkeville öljyaluksilla vaadittu kaksoisrakennetta, parannettu liikenteen ohjausjärjestelmiä ja lisätty öljyonnettomuuksien torjuntavalmiutta. Maanteillä on kemikaalionnettomuuksien riskejä vähennetty pohjavesisuojauksin ja pelastusvalmiuksia parantamalla.

Monet ympäristöriskit voivat kehittyä ajan kuluessa huomaamatta. Tällaisia riskejä liittyy maaperässä liikkuviin haitallisiin aiheisiin, joiden kulkeutumisreitit eivät ole nähtävissä ja joiden pitoisuudet ovat alhaisia ja vaikeasti aistittavissa. Erityisen suureksi nämä riskit voivat kehittyä silloin, kun haitallisten aineiden käyttäytymistä ei tunneta riittävästi tai laajat pohjavesialueet pilaantuvat. Haitalliset aineet voivat liittyä pilaantuneisiin maihin, teollisuuden sivutuotteisiin, laajemminkin kemikaaleihin, sekä esimerkiksi rakentamisessa käytettyihin PCB- ja lyijyyhdisteisiin tai kivihiilitervaan (kreosootti).

On selvää, että yhteiskunta ei voi hyväksyä katastrofeja kuten Estonia-onnettomuus tai rakennusten sortumisia (vrt. kuvat 3.3 ja 3.4). Myös pienemmät onnettomuudet voivat ylittää hyväksymiskynnyksen R'.

Kuvassa 3.3 tapahtuma B on ylittänyt yhteiskunnan hyväksymän riskitason. Vaikka tapahtuma yksittäisenä on vain onnettomuus sitä ei hyväksytä, koska sen todennäköisyys on liian suuri. Tämän tapainen tilanne oli Suomessa 1970-luvun alussa, jolloin liikenteessä kuoli noin 1200 ihmistä vuosittain. Liikenneturvallisuutta parantamalla, erityisesti nopeuksia alentamalla, on onnettomuuksien määrä vähentynyt merkittävästi, ja nykyisin liikenteessä kuolee vuosittain noin 400 ihmistä, vaikka liikenne on kasvanut moninkertaiseksi.



Kuva 3.4. *Hyväksytyn riskitason R´ ylittyminen.*

Riskin ylittäessä yhteiskunnan hyväksymän riskitason sen todennäköisyyttä pienennetään uusilla lailla ja säädöksillä, määräyksillä ja ohjeilla. Tavoitteena voi olla esimerkiksi pienentää liikenneonnettomuuden todennäköisyyttä tasolle B'. Parasta olisi tietysti pienentää tapahtuman todennäköisyyttä vielä tästäkin, mutta kuten tiedetään, kaikilla asioilla on riskinsä ja riskien vähentäminen myös aina maksaa. Liikenneonnettomuuksia ja niiden seurauksia voitaisiin vähentää tehokkaasti alentamalla nopeuksia alle 40 km/h. Nopeuksien alentaminen vähentäisi kuitenkin samalla maantieliikenteen tehokkuutta, joka on nyky-yhteiskunnan välttämätön edellytys. Yhteiskunnan kehittyessä voi hyväksytty riskitaso R' muuttua esimerkiksi tasolle R'' :n. Tällainen muutos on tapahtumassa liikenteessä, jossa on esitetty ns. nollavisio, jolloin ei hyväksytä lainkaan kuolemaan johtavia onnettomuuksia.

Toinen mahdollisuus muuttaa onnettomuuden hyväksymiskynnystä olisi pienentää seurauksia. Näin usein tehdäänkin. Esimerkiksi rakennuksen paloturvallisuutta lisätään poistumisteillä ja osastoinnein. Riskit pienevät, vaikka tulipalojen syttymistodennäköisyys olisikin sama.

Riskien tunnistaminen ja arviointi on asiantuntijoiden tehtävä. Ympäristögeotekniikan tehtävissä tarvitaan tällöin usein laaja-alaisesti erityisasiantuntemusta, mutta myös rakentajien ammattiosaamista. Yhteiskunnan poliittisten päättäjien tehtävänä on arvioida varmuus ja hyväksyä riski tai muuttaa lainsäädäntöä. Poliittisessa päätöksenteossa joudutaan tekemään arvovalintoja ja asettamaan resurssit järjestykseen, kuten edellä esitettiin maantieliikenteen nopeuden alentamisessa 40 km/h.

Henkilökohtainen riskin kokeminen poikkeaa usein tilastollisesti tutkitusta riskistä. Vapaaehtoisesti hyväksytään usein suurempi riski kuin pakotetussa tilanteessa.

Maaperän haitallisten aineiden riskien hallitsemiseksi on viime vuosina annettu lukuisia lakeja, asetuksia ja muita määräyksiä ja ohjeita. Tällaisia ovat mm. val-

tioneuvoston päätökset kaatopaikkarakenteista ja maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista.

Yhteiskunta sietää huonosti suuronnettomuuksia.

Maaperän riskit voivat muhia piilossa.

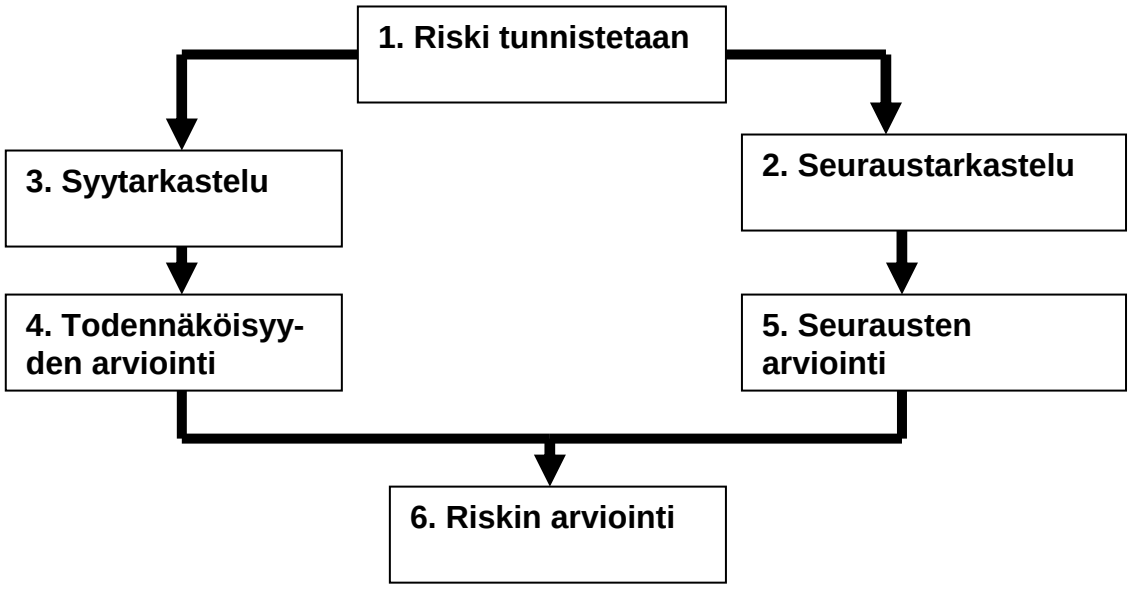
Poliittisten päättäjien tehtävänä on hyväksyä riskitasot ja laatia niiden perusteella säännökset, määräykset, ohjeet ja lait.

Riskin arviointi on asiantuntijoiden tehtävä.

3.3 RISKIN ARVIOINTI

3.3.1 Johdanto

Riskien analysoinnissa riskit tunnistetaan ja niiden merkitys arvioidaan. Riskin arvioinnin avulla voidaan syihin ja seurauksiin vaikuttaa ennakolta ja samalla välttää onnettomuudet ja niiden seurauksena ylimitoitetut toimet. Riskin tunnistamisen ja sen merkityksen arvioinnin jälkeen tehdään riskin arviointi kuvan 3.4 mukaisesti.



Kuva 3.5. *Riskin arviointi. Syytarkastelussa arvioidaan todennäköisyys K (kohta 4) ja seuraustarkastelussa seuraus S (5). Lopputuloksena on Riski R = S x K (6).*

Riskin arviointi alkaa riskin tunnistamisella. Jo tapahtuneiden onnettomuuksien ja vahinkojen perusteella tunnistaminen on yleensä helppoa. Ongelmallisia tilanteita

voi kehittyä silloin, kun ollaan uudenlaisten asioiden kanssa tekemisissä. Tällaisia voivat olla esimerkiksi uusien kemikaalien tuottaminen ja niiden leviäminen ympäristöön, paitsi valmistuksen, myös käytön yhteydessä. Harva lienee ajatellut, että esimerkiksi kosmetiikkatuotteet ja lääkkeet leviävät viemärivesien mukana vesistöihin ja voivat aiheuttaa vesistössä haittaa. Ongelmallista voi olla myös onnettomuuksien havaitseminen. Säiliöonnettomuus maantieliikenteessä havaitaan yleensä helposti. Samanlaista ainetta sisältävän maanalaisen säiliön vuoto varastointialueella voi jäädä pitkäksi aikaa huomaamatta.

Riskin arvioinnissa syiden ja seurausten pohdinta vaatii perusteellista työtä. Käytettävissä on erikoismenetelmiä, jotka pakottavat käymään kohteen läpi suunnitelmallisesti. Useat menetelmät perustuvat asiantuntijoiden ryhmätyöhön (Rossi 1992). Tärkeää on, että eri alojen asiantuntijat löytävät yhteiset tavoitteet ja ymmärtävät toisiaan. Lähteessä http://www.sal.tkk.fi/Opinnot/Mat-2.117/ on kuvattu tarkemmin riskin arviointiin liittyviä käsitteitä ja menetelmiä.

Kun riskin arviointi perustuu laskelmiin, on kyse kvantitatiivisesta riskinarvioinnista ja kun laskelmia ei voida tehdä, esimerkiksi puutteellisten tietojen vuoksi, laadullisesta eli kvalitatiivisesta riskin arvioinnista.

Tarkkoja laskelmia ei aina pystytä tekemään. Olennaista on löytää asioihin vaikuttavat tekijät mahdollisimman todenmukaisesti, jonka jälkeen niiden todennäköisyyksiin ja seurauksiin voidaan tarvittaessa vaikuttaa ja alentaa riskiä. Yksinkertaisesta riskin arvioinnista on esimerkki teemakortissa, säiliöauto-onnettomuus riskin arviointi.

Säiliöauto-onnettomuuden hyvin yleisluonteisella ja vaatimattomalla riskin arvioinnilla saadaan ongelmasta yleiskuva. Se ei tietysti yleensä riitä todellisessa tilanteessa vaan tarvitaan perusteellisempaa tarkastelua. Arvioinnin perusteella nähdään kuitenkin helposti, että vähentämällä säiliöauto-onnettomuuksien todennäköisyyttä, vähenevät mahdolliset riskit vesihuollolle tehokkaasti. Muita mahdollisuuksia alentaa riskiä ovat mm. vaarallisten aineiden kuljetusreittien valinta, pohjavesisuojaukset, pelastuskaluston laadun parantaminen ja tiedonkulun varmistaminen.

Suurille vahingoille ja onnettomuuksille on tyypillistä, että karkeita virheitä on useita ja ne ovat usean yhteensattuman seurausta, (vrt. esimerkkiä säiliöauto-onnettomuudesta). Samantapainen vahinkoketju löytyy yleensä rakennusvirheiden aiheuttamien onnettomuuksien tai vahinkojen kuten kosteusvaurioiden, sisäilmalaatuongelmien tai rakennesortumien taustalta.

Tällaisten onnettomuuksien riskialttiuden voi tunnistaa vähältä piti tapauksista. Onnettomuudet ja vahingot tulevat kello kaulassa, vaikka kansanviisaus sanoo toista. Vähältä piti tapausten perusteella voidaan arvioida riskejä. Suuri pienten onnettomuuksien määrä ja rakentamisessa rakenteiden siirtymät ennakoivat suurta onnettomuutta.

Suuri syy vahinkoihin ja onnettomuuksiin on inhimillinen erehdys. Muita vähäisempiä syitä voi olla puutteellinen tieto tai väärä teknillinen ratkaisu. Vaikka puutteellinen tieto ei olekaan yleensä ratkaiseva onnettomuuksissa, voivat puut-

teellisen tiedon aiheuttamat seuraukset olla suuret. Tällaiset usein ympäristökysymyksiin liittyvät riskit ovat yleensä laaja-alaisia ja niiden vaikutusten kehittyminen voi vaatia vuosia aikaa.

Kun halutaan vähentää virheitä ja onnettomuuksia, on vähennettävä ennen kaikkea inhimillisiä erehdyksiä. Tähän pyritään toimivilla laatujärjestelmillä, vakiintuneilla toimintatavoilla, terveellä työilmapiirillä ja asenteilla, tekemällä työt ammattimaisesti ohjeiden ja tarkistuslistojen mukaisesti, ammatti-ihmisten koulutuksella ja riittävällä valvonnalla. Olennaista ovat selkeästi määritetyt vastuut.

Puutteellista tietoa voidaan vähentää koulutuksella ja opiskelulla, tiedottamisella ja viime kädessä tutkimalla. Tutkiminen korostuu erityisesti silloin, kun asiat ovat uusia ja niiden vaikutukset ovat laajoja ja katastrofaalisia. Monet ympäristögeotekniikan riskit tunnetaan puutteellisesti. Tällöin riskejä käsitellään usein varovaisuusperiaatteen mukaisesti ja vältetään tarpeetonta riskinottoa. Lisätutkimuksilla voidaan riskejä vähentää ja joissakin tapauksissa hyväksyä riskitaso, joissa haitallisia aineita jää ympäristöön. Tällaisia ratkaisuja ovat olleet esimerkiksi Helsingin Arabianrannassa pilaantuneiden maiden ja Myllypuron vanhan kaatopaikan eristäminen.

Tiedottaminen on tärkeää pyrittäessä vaikuttamaan suureen ihmisjoukkoon.

Riskin arvioinnin kahdeksan käskyä

1. Riskin arvioinnin on perustuttava toiminnan perusteelliseen tuntemiseen.
2. Riskin arvioinnin tekeminen vaatii menetelmien tuntemista.
3. Riskin arvioinnin perusteella ei voi todistaa, mikä on hyväksyttävä varmuus.
4. Riskin arviointi ei yksistään lisää varmuutta.
5. Arvioinnin tekeminen vaatii perustietojen kokoamista ja selvittämistä.
6. Koko ajan on työtä arvioitava kokemuksen ja varovaisuuden perusteella.
7. Riskin arvioinnin kohde on selvästi rajattava ja tulokset esitettävä selvästi.
8. Riskin arvioinnin on palveltava päätöksentekoa.

Riskin arvioinnissa riskit tunnistetaan ja arvioidaan.

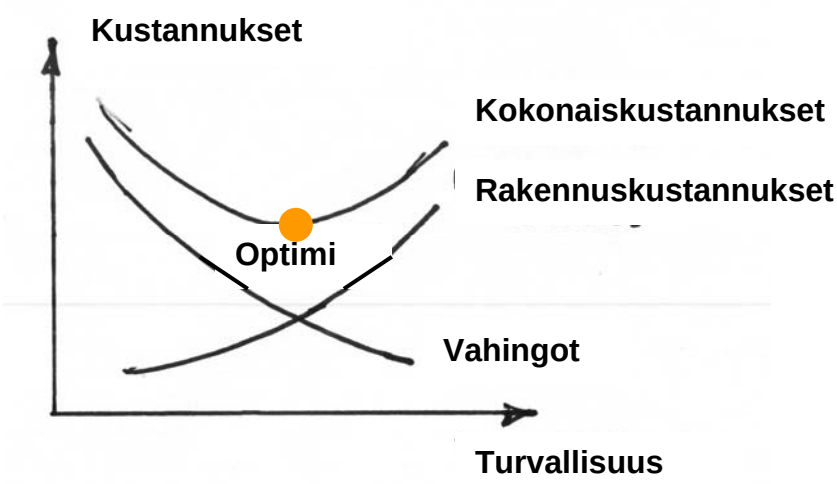
Suuri syy vahinkoihin on yleensä inhimillinen erehdys.

Onnettomuuksia voidaan vähentää poistamalla inhimillisiä erehdyksiä.

Ympäristögeotekniikan riskejä käsitellään usein varovaisuusperiaatteen mukaisesti.

3.3.2 RAKENTEIDEN RISKIT

Tekniikassa taloudellisen ratkaisun etsiminen on tärkeää. Rakentamisessa rakennuskustannusten alentaminen kasvattaa yleensä, mutta ei aina, riskejä ja vahinkoja (kuva 3.6). Lisäämällä turvallisuutta pienennetään vahinkojen todennäköisyyttä ja seurauksia eli riskiä ja riskikustannuksia (vahingot). Turvallisuuden kasvattaminen kohottaa yleensä rakennuskustannuksia. Ainakin teoriassa on löydettävissä optimi, jolloin kokonaiskustannukset ovat pienimmillään.



Kuva 3.6. *Kustannusten ja turvallisuuden vuorovaikutus.*

Seuraavassa arvioidaan kaivannon luiskan varmuuskertoimen suuruuden merkitystä kaivantoriskeihin.

Joskus luiskan murtumisvarmuus on riittävä estämään luiskan sortumisen, vaikka kokonaisvarmuuskerroin olisikin vain hiukan yli yhden esimerkiksi 1.1. Yksittäisen työmaan kokonaiskustannukset voivat tällöin hyvällä tuurilla olla edullisimmillaan, koska riskikustannuksissa on otettu huomioon yleensä ainoastaan luiskan korjauskustannukset. On suuri houkutus ottaa riski, varsinkin jos vakuutus tasaa riskin useammalle saman alan yritykselle ja merkittävä osa vahingoista kohdistuu ulkopuolisiin esimerkiksi kasvaneina työmatka-aikoina.

Varmuuskerrointa ei voida kuitenkaan määräyksissä ja ohjeissa asettaa näin alhaiselle tasolle, koska koko yhteiskunnan vahinkokustannukset ovat työmaan vahinkokustannuksia selvästi suuremmat. Pohjatutkimusten hajonta aiheuttaa tällä varmuustasolla useilla työmailla luiskan sortumisen, jolloin riskikustannuksiin on lisättävä mm. työturvallisuuden, teknillisen turvallisuuden, joka sisältää rakennettavan kohteen ja rakennuskoneet, ja rakennuksen valmistumisen myöhästymisen lisäkustannukset. Lisäkustannukset näkyvät mm. kohonneina vakuutusmaksuina, alan imagohaittoina ja välillisinä kustannuksina. Välilliset kustannukset voivat liittyä esimerkiksi liikennejärjestelyihin ja menetettyyn aikaan. Tästä syystä luiskan kokonaisvarmuudeksi vaaditaan helpoissakin olosuhteissa 1.5. Vaativissa kohteissa, kun kaivannon vaikutuspiirissä on siirtymille alttiita rakenteita, vaaditaan kokonaisvarmuudeksi vähintään 1,8, jolloin estetään palautumattomien plastisten siirtymien aiheuttamat vahingot kaivannon ympäristössä.

Käyttämällä riittävän suurta varmuuskerrointa vältetään suurella todennäköisyydellä ympäristön rakenteiden vauriot sekä mahdolliset tuotanto-, kunnallistekniikka- sekä liikennehäiriöt, ja riskikustannukset voidaan estää. Riskikustannukset eivät kohdistu välttämättä riskinottajalle ja tästä syystä on tarpeen, että yhteiskunta vaatii riittävän suuren varmuuskertoimen käyttöä.

Riskinottaja ei yleensä pysty vastaamaan mahdollisista riskikustannuksista.

3.3.3 Ympäristöriskit

Monet ympäristöön liittyvät riskit ovat laaja-alaisia ja ongelmat niin uusia, että niistä voi olla hyvinkin puutteellisesti tietoa. Varovaisuusperiaatetta käytetään tällöin usein apuna. Ongelmana on kuitenkin, että päätöksiä on tehtävä tilanteissa, jotka ovat keskenään ristiriitaisia. Pitkäaikaisvaikutuksia on vaikea verrata toisiinsa. Mitä tuotantotapaa käytetään energiantuotannossa? Ydinvoima ei aiheuta päästöjä, mutta käytetyn polttoaineen säilytys rasittaa ihmiskuntaa tuhansia vuosia. Maakaasun käytön ongelmana ovat hiilidioksidipäästöt ja niiden vaikutus kasvihuoneilmiöön. Tuulivoimaloiden energiantuotannon ongelmana on energian saatavuus, esimerkiksi tyynenä kireänä pakkaspäivänä, silloin kun sitä eniten tarvitaan. Lisäksi tuulivoimalan rakentaminen on kallista ja rakentamiseen käytetyn energian korvaamiseen kuluu sen energian tuotannossa pitkähkö aika.

Toisaalta riskin arviointi on kehittynyt merkittävästi juuri ympäristövaikutusten arvioinnin mukana. Joissakin tilanteissa voidaan esimerkiksi yksittäisen kemikaalin vaikutuksia arvioida luotettavasti hyvin rajattujen kokeiden ja testien perusteella. Lähteessä http://www.golder.fi/osaaminen1.htm on kuvattu tarkemmin ympäristöriskien tarkastelua pilaantuneiden maiden riskinarvioinnissa. Mielenkiintoisia ajatuksia on esitetty esimerkiksi Erik Wahlströmin kirjassa Ympäristöriskit, kokonaiskuvaa etsimässä (Wahlström 1994).

Ympäristöriskin arvioinnissa arvioidaan usein hankkeesta tai toiminnasta aiheutuvaa terveys- tai ekologista riskiä. Terveysriski voi toteutua, kun haitalliset aineet kulkeutuvat ihmisten ympäristöön ja he voivat altistua aineiden vaikutuksille. Terveysriski edellyttää haitallisia aineita, kulkeutumisreittiä ja ihmisen altistumista. Riskin hallinta toteutetaan haitallisia aineita poistamalla, niiden kulkeutumista vähentämällä tai rajoittamalla niille altistumista esimerkiksi maankäytön suunnittelulla. Maaperän kunnostamisessa ja suojaustoimenpiteissä käytetään parasta käyttökelpoista tekniikkaa (BAT, best available technology) ja ympäristön kannalta parhaita käytäntöjä (BEP, best environmental practise).

Ekologiset riskit voivat olla esimerkiksi mikrobitoimintojen heikentyminen, häiriöt lajien lisääntymisessä tai lajilukumäärien vähenemisessä.

Myös ympäristöön liittyvissä ongelmissa pyritään tekniikassa riskin arviointia yksinkertaistamaan soveltamalla määräyksiä ja säädöksiä. Tällöin insinöörityössä, kuten pilaantuneiden maiden kunnostusta arvioitaessa, radonhaittojen torjumi-

sessa ja sisäilmaongelmien arvioinnissa, noudatetaan kynnys-, ohje- ja raja-arvoja.

Kun riskin arviointia tarvitaan, on esimerkiksi pilaantuneiden maiden kunnostusta arvioitaessa ensisijaisesti otettava huomioon ja tarkasteltava aineiden vaikutusmahdollisuuksia ihmisiin, eläimiin ja kasveihin sekä selvitettävä aineiden leviämisreitit. Altistumismahdollisuuksien ja aineiden leviämisreittien selvittäminen tunnetaan usein puutteellisesti, jolloin näitä joudutaan tarkastelemaan varovaisesti ennen kuin voidaan tutkimuksin varmistua todellisista olosuhteista. Tällä hetkellä riskin arvioinnissa joudutaan usein rajoittumaan riskien tunnistamiseen (Ruuska 2001).

Ympäristöriskien hallintaan liittyy olennaisesti tiedotus ja avoin keskustelu.

Terveysriski edellyttää haitallisia aineita, kulkeutumisreittiä ja ihmisen altistumista.

Monet ympäristöön liittyvät riskit ovat laaja-alaisia ja ongelmat niin uusia, että niistä voi olla hyvinkin puutteellisesti tietoa.

Usein riskin arvioinnissa sovelletaan ohjearvoja.

Riskinarvioinnissa joudutaan usein rajoittumaan riskien tunnistamiseen.

3.4 RISKIEN VÄHENTÄMINEN

Riskien vähentäminen on osa riskien hallintaa (vrt. kuva 3.1.) Riskeihin varaudutaan riskin arvioinnin perusteella. Arvioinnin perusteella pyritään eliminoimaan epäsuotuisat tapahtumat tai tekemään ne mahdollisimman epätodennäköiseksi tai niiden seuraukset riittävän vähäisiksi. Päätöksen tekijöiden on arvioitava hyväksytty riskitaso. Mikäli riskit ylittävät hyväksytyn riskitason on riskejä vähennettävä. Ääritilanteissa pyritään riskien **välttämiseen**. Tämä ei kuitenkaan ole yleensä mahdollista, koska se voi edellyttää toimintojen lopettamista, vaan riskit joudutaan hallitsemaan. Riskit, joita ei voida välttää on **kannettava, siirrettävä, hajautettava tai pienennettävä.**

Usein yhteiskunta, yritys tai muu organisaatio joutuu kantamaan osan riskeistään. Yritystoiminta perustuu riskinottoon, jolloin riskien välttäminen kokonaan ei ole mahdollista.

Suunnittelussa riskit kannetaan ja hallitaan pääsääntöisesti noudattamalla ohjeita, normeja, määräyksiä ja laatujärjestelmiä. Erityisen tärkeää on, että suunnitelmat tarkastetaan, vaikka määräykset eivät sitä vaatisikaan.

Riskejä voidaan hallita siirtämällä, pienentämällä ja hajauttamalla riskejä sopimuksin esimerkiksi vakuutusyhtiölle tai urakoitsijoille. Vakuutusyhtiöille voidaan siirtää riskejä, joiden todennäköisyydet ja seuraukset ovat tilastollisesti hallittavissa ja ennustettavissa. Tällaisia riskejä ovat esimerkiksi tulipalo-, tapaturma-, sää-, onnettomuus- , vahinko- ja varkausriskit.

Urakkamuotoja valittaessa kiinnitetään huomio yleensä myös rakennushankkeen riskeihin, kuten kustannuksiin, aikatauluihin, rakennuksen toimivuuteen, laatuun, tapaturmiin jne. Yleinen käsitys, että urakkamuoto on tilaajalle sitä riskialttiimpi mitä enemmän sillä on vastuuta rakennushankkeessa on kuitenkin suppea. Kokonaishintaurakassa tilaajan vaikutusmahdollisuudet ovat sopimuksen teon jälkeen vähäiset. Tämä korostuu erityisesti silloin, kun hanke on kiireellinen ja suunnitelmat ovat puutteelliset. Tällöin riski lopputuloksen laadusta ja aikataulussa pysymisessä kasvaa ja ainakin ne kasvattavat kokonaiskustannuksia.

Projektinjohtourakassa hanke jaetaan pienempiin osiin, jolloin työ voidaan aloittaa puutteellisillakin suunnitelmilla ja suunnittelua voidaan jatkaa vielä rakentamisaikana ja samalla vaikuttaa haluttuun laatuun. Suunnittelun ohjaaminen ja projektin johtaminen vaatii tällöin enemmän ammattitaitoa ja sisältää omat riskinsä. Rakennushankkeen jakaminen osiin voi puolestaan aiheuttaa riskin, että kokonaisuus ei ole riittävän hyvin kenenkään hallinnassa. Tämä on ollut ainakin osasyynä lukuisiin kattosortumiin.

Laaja-alaisia ympäristöriskejä, jotka liittyvät koko yhteiskunnan toimintaan, hallitaan ennen kaikkea lainsäädännöllä. Joissakin tilanteissa niitä voidaan siirtää vakuutuksin vakuutusyhtiöille tai sopimuksin muille yrityksille. Esimerkiksi ydinvoimalat joutuvat varautumaan vakuutuksin vahinkoihin. Yritykset voivat siirtää esimerkiksi ongelmajätteiden kuljetusriskit sopimusten perusteella alan yrityksille. Usein lait, asetukset ja määräykset ohjaavat välttämään, pienentämään tai hajauttamaan ympäristöriskejä.

Rakenteiden suunnittelussa riskit hallitaan yleensä noudattamalla ohjeita.

Ympäristöriskejä hallitaan ennen kaikkea lainsäädännöllä.

KIRJALLISUUTTA

Golder Associates Oy, http://www.golder.fi/osaaminen1.htm

Suomen ympäristökeskus, Pilaantuneen maaperän ekologinen riskinarviointi, Ympäristöopas 2007. http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=69279&lan=fi

Rossi, E. Indeksimenetelmä ympäristöriskien arviointiin. TEKES, julkaisu 30/92, 1992.

Ruuska, S. Pilaantuneiden alueiden kunnostamista ja riskinarviointia koskeva lainsäädäntö. Suomen Ympäristö 503. Suomen ympäristökeskus. 2001. Saatavilla netistä: http://www.ympäristö.fi/

Teknillinen korkeakoulu systeemianalyysin laboratorio
http://www.sal.tkk.fi/Opinnot/Mat-2.117/

Wahlström, E., Ympäristöriskit, kokonaiskuvaa etsimässä, Schildts, 1994.

Ympäristöministeriö 2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007.
http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=69290&lan=fi

Riskien luokittelu

Kun riskit on tunnistettu voidaan niiden arvioinnissa käyttää oheista taulukkoa, jossa otetaan huomioon todennäköisyydet ja seuraukset. Taulukko soveltuu alustaviin tarkasteluihin, jossa todennäköisyydet ja seuraukset tunnetaan kohtuullisen hyvin.

ESIINTYMINEN			
Todennäköinen	**Kohtalainen**	**Merkittävä**	**Sietämätön**
Mahdollinen	**Vähäinen**	**Kohtalainen**	**Merkittävä**
Epätodennäköinen	**Merkityksetön**	**Vähäinen**	**Kohtalainen**
	Vähäiset	**Haitalliset**	**Vakava**
	SEURAUKSET		

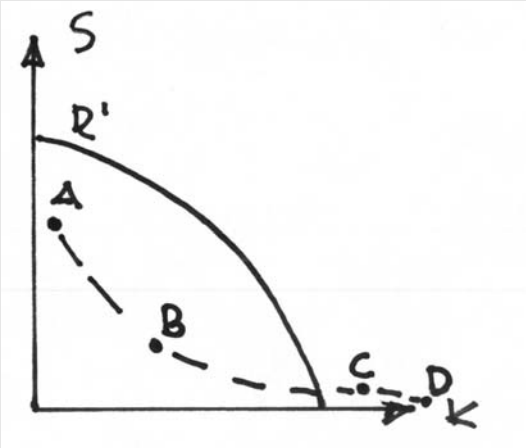
Riskin kasvaessa ryhdytään toimenpiteisiin. Merkityksetöntä riskiä on vaikea pienentää. Vähäistä riskiä pienennetään, kun se kustannusten ja hyötyjen kannalta on järkevää. Yleensä katsotaan, että lainsäätäjän asettama riskitaso ylittyy, kun riski kasvaa kohtalaiseksi tai sitä suuremmaksi. Tällöin riskejä vähennetään lakien, asetusten, määräysten ja ohjeiden edellyttämillä toimilla. Tavoitteena on yleensä riskitason alentaminen vähäiseksi tai merkityksettömäksi.

Toteutunut sietämätön riski aiheuttaa usein poliittisia päätöksiä, joilla vähennetään samantapaisia riskejä, todennäköisyyksiä ja seurauksia pienentämällä.

Esimerkki, Säiliöauto-onnettomuusriskin arviointi

Mikä on pohjavesialueella liikkuvan säiliöauton kemikaalien riski joutua pohjavettä käyttävään kunnan vesijohtojärjestelmään? Pohjavedenvirtaus kulkee tieltä noin 10 metrin syvyydessä pohjavedenottamon suuntaan. Pohjavedenottamo on tiestä noin 200 metrin etäisyydellä. Mikä on ennakkoarvio vedenlaaturiskistä? Arvioi riskin siedettävyyttä teemakortin, Riskien luokittelu, taulukon perusteella.

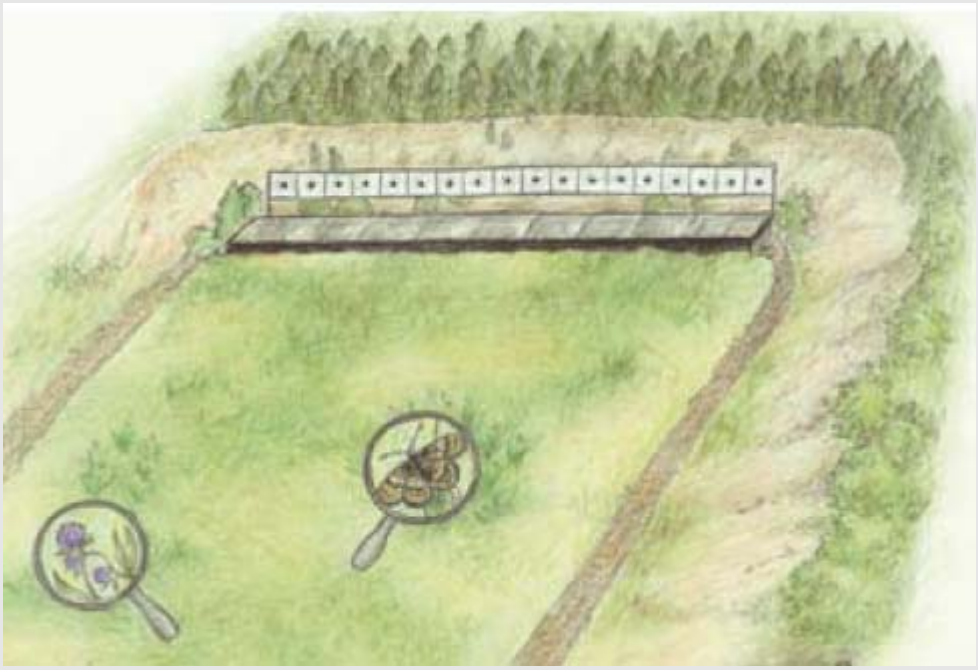
Riski voi toteutua monella tavoin. Tapahtuman voi käynnistää esimerkiksi säiliöauton suistuminen tieltä (kohta A, kuva). Tällaisen tapahtuman todennäköisyys riippuu useasta asiasta, esimerkiksi tien kunnosta ja kuljettajan taidosta ja väsymyksestä. Niin kuin tiedetään tällaiset onnettomuudet eivät ole harvinaisia, eivätkä ne sellaisenaan ylitä yhteiskunnan hyväksymää riskitasoa R' . Kohdassa B kemikaalit ovat päässeet maahan pohjavesialueella. Tapahtuman todennäköisyys on pienempi, mutta se voi tapahtua esimerkiksi säiliön rikkouduttua tai venttiilin auettua. Tämän tyyppisiä seurauksia rajoitetaan osastoimalla säiliöt (n. 5 000 l). Tämäkään tapahtuma tuskin vielä ylittää yhteiskunnan hyväksymisrajaa.



Kuva. *Säiliöauto-onnettomuuden riskin arviointi.*

Kohdassa C kemikaalit ovat päässeet pohjaveteen. Tapahtuman todennäköisyys on pieni, mutta yhteiskunnan hyväksymisraja lienee ylitetty. Ainakin pohjavesien pilaaminen on ympäristönsuojelulain (86/2000) mukaan ehdottomasti kielletty. Kemikaalit voivat joutua pohjaveteen monesta syystä. Tapahtumaa edistää suuresti, mikäli pelastustoimet myöhästyvät ratkaisevasti. Tähän voi olla syynä esimerkiksi puutteellinen tiedonkulku tai asioiden salaaminen. Tässäkään vaiheessa kemikaalit eivät ole vielä vesijohtoverkostossa. Kemikaalien joutuminen kunnan vesijohtoverkostoon edellyttäisi vielä useammankin asian tapahtumista (D). Näistä tärkein olisi ehkä, ettei pohjavedenottamoa ennätettäisi sulkea. Yleensä aikaa on niin paljon käytettävissä, että tällaisen tapahtuman todennäköisyys on pieni. Kemikaalin vaikutuksista riippuvat mitkä olisivat onnettomuuden seuraukset ja riskit väestölle. Vastasiko riskitarkastelun tulos ennakkoarviota?

Esimerkki, Ampumaratojen ekologinen riskin arviointi



Riskitarkastelu tehtiin kolmella pohjavesialueilla sijainneilla ampumaradoilla.

Ympäristössä olevan haulilyijyn määräksi arvioitiin 25 – 44 tonnia. Lisäksi maaperässä oli ampumatoiminnan seurauksena antimonia, arseenia, kuparia, nikkeliä, sinkkiä ja savikiekkojen PAH-yhdisteitä. Sedimenttimääritysten lyijyn pitoisuudet ylittivät 10 – 100 -kertaisesti yleisesti esitetyt ekologiset kynnysarvot.

Riskin arvioinnissa verrattiin pitoisuuksia kynnys- ja tausta-arvoihin. Lisäksi selvitettiin aineiden kulkeutumisreitit ja kerääntyminen ja eliöstöön. Haitallisten aineiden määrittelyssä käytettiin riski-indeksimenettelyä.

Riskinarvioinnissa tarkasteltiin maassa olevien haitallisten aineiden vaikutusta bakteereiden, lieroihin päästäisiin ja kasveihin. Kokonaisbiomassa oli tarkasteltavilla karuilla hiekkakankailla verrattain vähäinen.

Ekologiset riskit olivat pilaantuneimmalla ampumaradalla todennäköisiä ja merkittäviä, mutta paikallisia. Pilaantuneimman kohteen lammen sedimenttien metallipitoisuudet ovat niin suuret, että ekologiset vaikutukset vesieliöihin ovat ilmeisiä. Lyhyt altistustaika ja yksilömäärien vähäisyys rajoittavat vaikutuksia linnuille ja nisäkkäille.

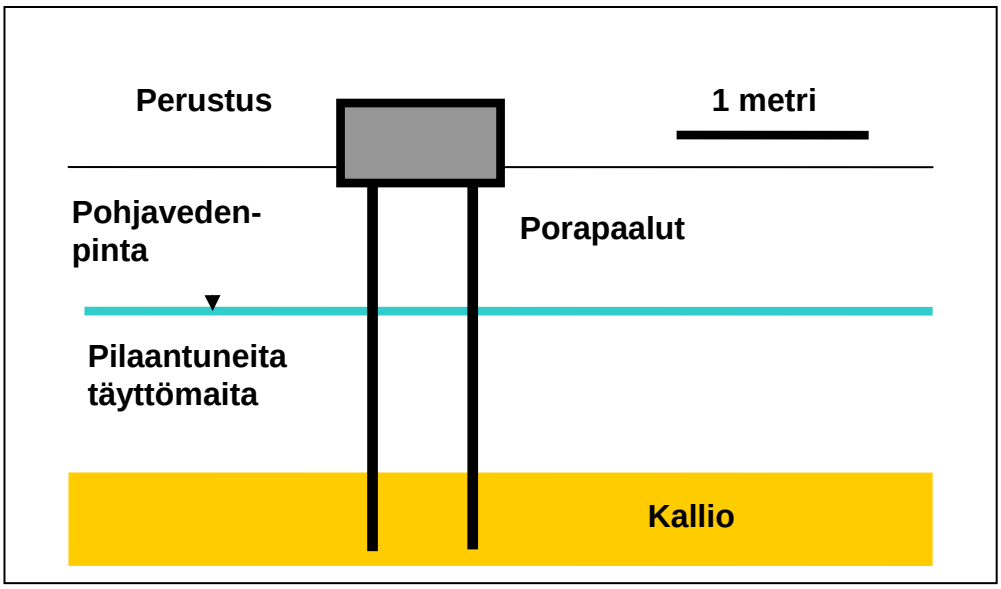
Lähde: Suomen ympäristökeskus, Pilaantuneen maaperän ekologinen riskinarviointi, Ympäristöopas 2007.

4. PILAANTUNEET MAAT

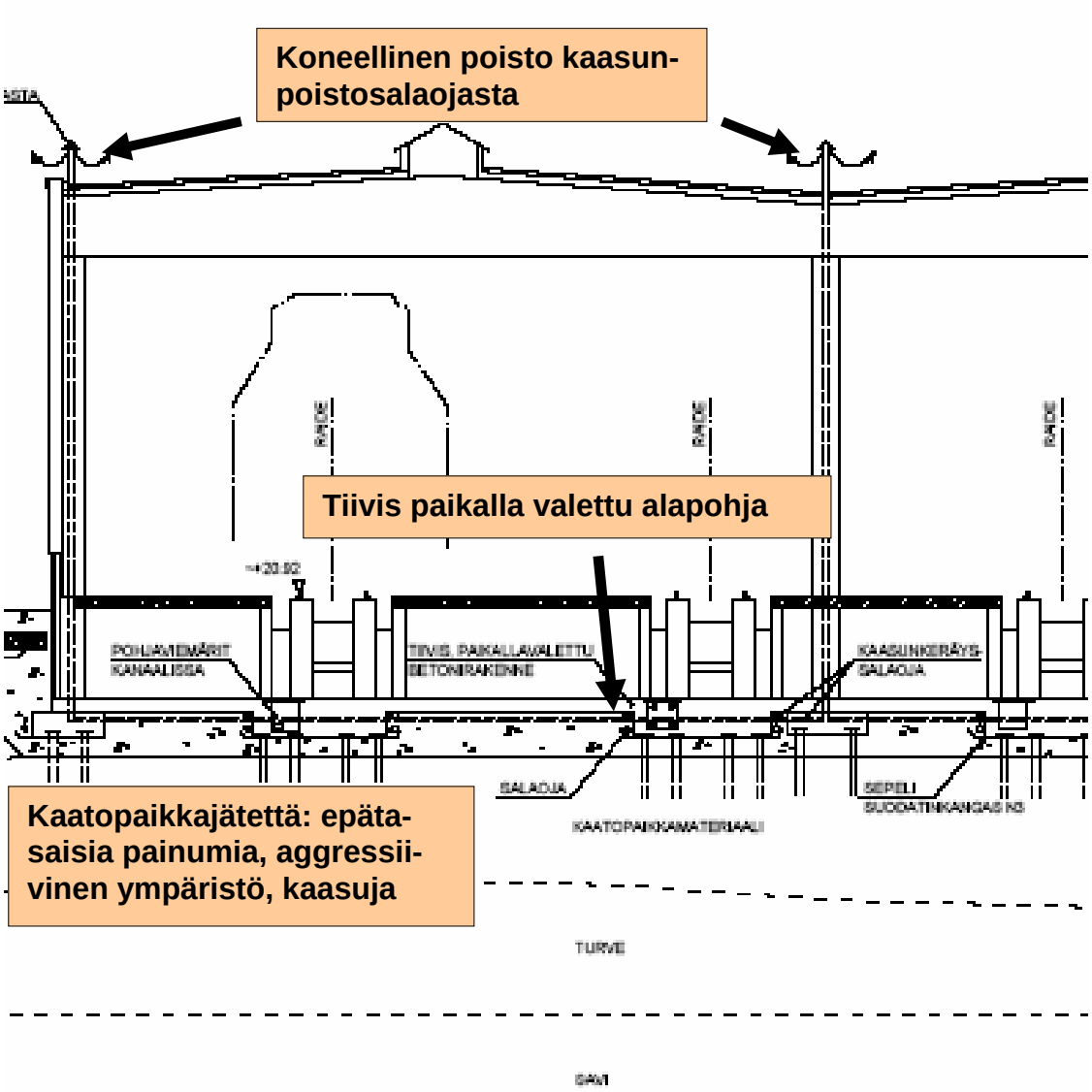
4.1 JOHDANTO

Perustusten ja muiden maanvastaisten rakenteiden tehtävänä on perinteisesti ollut rakennuksen kuormitusten siirto turvallisesti maapohjaan tai kallioon. Yhteiskunnan kehittyessä ja elintason noustessa ovat terveyteen ja rakennusten käyttömukavuuteen liittyvät asiat tulleet yhä tärkeämmäksi. Terveyteen ja käyttömukavuuteen voidaan vaikuttaa ennen kaikkea asuin- ja työpaikkarakennusten maanvastaisten vaipparakenteiden ja niiden alapuolisten maarakenteiden laadukkaalla suunnittelulla ja rakentamisella. Tällöin arvioidaan myös pilaantuneiden maiden aiheuttamaa terveysriskiä.

Pilaantuneiden maiden huomioon ottaminen ei yleensä uudisrakentamisessa muuta sanottavammin talojen rakenteita, koska maan mahdollinen pilaantuneisuus on selvitettävä etukäteen ja tarvittaessa maan pilaantuneisuus poistetaan tai pilaantuneiden maiden vaikutus rakennuksiin estetään esimerkiksi eristysratkaisuin. Pilaantuneiden maiden vaikutusten poistaminen voi kuitenkin joissakin tapauksissa vaikuttaa pohja- ja maarakenneratkaisuihin (kuvat 4.1 ja 4.2). Erityisesti silloin pohjarakennesuunnittelu on tarkoituksenmukaista tehdä yhdessä pilaantuneiden maiden kunnostuksen suunnittelun kanssa.



Kuva 4.1. *Esimerkki: Pilaantuneiden maiden kaivaminen pohjavedenpinnan alapuolella oli tässä tapauksessa kielletty, jolloin kallionvarainen perustaminen – muuten sopiva perustamistapa - vaihdettiin porapaaluille perustamiseen. Maan pilaantuminen oli aiheutunut sahan kloorifenoleista. Porapaalujen korroosiomitoituksessa otettiin huomioon maan pilaantuminen. Periaatteellinen esitys yhden rakennuksen perustuksen osalta.*



***Kuva 4.2**. Esimerkki: Rakennus rakennettiin vanhan kaatopaikan päälle. Kantavien rakenteiden kuormat siirrettiin paaluilla kovaan pohjaan. Teräsbetonipaalut tehtiin rasitusluokan XA3 mukaisesti. Alapohjan alle tehtiin alipaineellinen kaasunpoisto, joka estää mahdollisten kaatopaikkakaasujen kulkeutumisen sisätiloihin. Kun muutetaan rakennuksen painesuhteita, on mm. kosteusriskit otettava huomioon.*

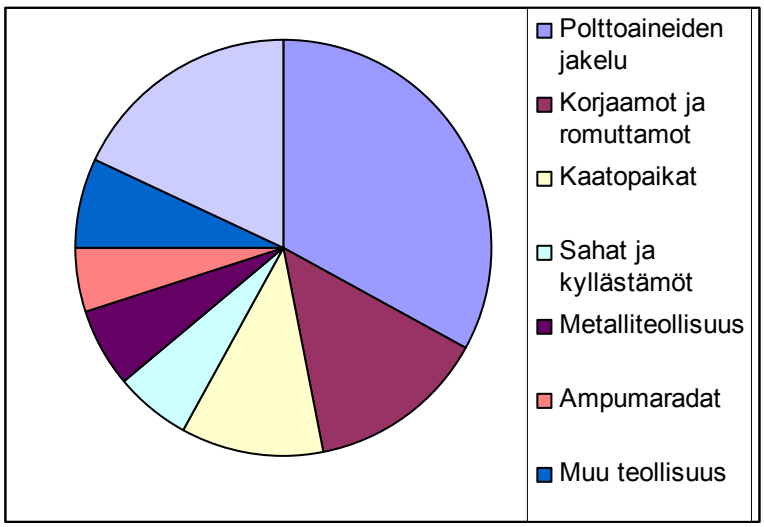
Olemassa olevien rakennusten muutostöissä on vanhojen rakennusmateriaalien, kuten kivihiilitervan (kreosootti) vaikutukset otettava huomioon. Kivihiilitervaa voi olla maassa, mutta sitä löytyy ennen kaikkea vanhojen rakennusten vesieristeistä. Haihtuvana yhdisteenä kivihiiliterva voi merkittävästi huonontaa rakennusten sisäilman laatua. Myös piharakenteita, kuten kuivatus- ja routasuojausrakenteita, kunnostettaessa joudutaan ottamaan huomioon mahdollinen maan pilaantuneisuus. 1970 ja 1980-luvuille asti käytettiin elementtien saumauksessa PCB- ja lyijy-yhdisteitä, joita on voinut siirtyä rakentamisen ja rakennuksen elinkaaren aikana rakennusten lähiympäristöön, lähinnä ulkoseinien vieressä.

Maaperää pilaavien haitta-aineiden ominaisuudet ja käyttäytyminen maaperässä vaihtelevat paljon. Usein maaperää ovat lianneet useat haitta-aineet. Tyypillisiä epäorgaanisia aineita ovat arseeni (As) sekä raskasmetallit, kuten lyijy (Pb), sinkki (Zn), elohopea (Hg), kromi (Cr), kadmium (Cd) ja kupari (Cu). Alkuaineina

raskasmetalleja ei voi hävittää. Kunnostettaessa ne siirretään haitattomaan paikkaan tai eristetään. Kun epäorgaanisia aineita on vain muutamia, on orgaanisia yhdisteitä puolestaan lukemattomia. Tavanomaisia ovat polttonesteiden öljyhiilivedyt, liuottimet ja polyaromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet) ja PCB-yhdisteet. Saha-alueilla tavataan usein orgaanisista aineista kloorifenoleja ja dioksiineja. Kyllästämöjen ympäristössä ovat tyypillisiä haitta-aineita kreoosiittiöljyt arseeni, kromi ja kupari. Tarkemmin haitta-aineita on käsitelty luvussa 4.2.

Pilaantuneet maat on otettava huomioon rakentamisessa erityisesti asuin- ja työpaikka-alueilla, missä voi syntyä haitta-aineiden välitön kulkeutumisreitti ihmisiin ja terveysriski. Kaavoitetuilla alueilla rakennettaessa riskiä voivat aiheuttaa maarakeisiin pidättyneiden aineiden liikkuminen maansiirtojen, pölyn, lasten leikkien tai muun vastaavan toiminnan yhteydessä ihmisten, eläinten ja kasvien ulottuville sekä kaasumaisten yhdisteiden tunkeutuminen maanvastaisten rakenteiden läpi rakennuksiin. Pilaantuneet maat voivat olla haitallisia myös elolliselle luonnolle, jolloin kunnostusmenetelmiä joudutaan tarkastelemaan myös ekologisen riskin näkökulmasta. Vesiliukoiset haitta-aineet leviävät maassa yleensä maassa liikkuvan veden välityksellä, jolloin erityisesti pohjavesialueet ovat vaarassa. Asutuksen tai vedenottamoiden läheisyydessä pohjavesialueilla tai vesistön läheisyydessä olevat pilaantuneet maat voivat aiheuttaa terveysriskiä.

Jo keskiaikaisissa kaupungeissa, kuten Turussa ja Viipurissa, metallien työstäminen aiheutti maaperän pilaantumista. Arkeologisten kaivausten yhteydessä otettujen näytteiden metallipitoisuudet ylittävät monin paikoin nykyiset ohjearvot. Noin kahdenkymmenen vuoden ajan on Suomessa kiinnitetty systemaattisesti huomiota maaperän pilaantumiseen. Ensimmäinen valtakunnallinen saastuneiden maiden kartoitus (SAMASE-ohjelma) alkoi 1989. Myöhemmin termi saastunut maa on lainsäädännössä muutettu pilaantuneeksi maaksi. Nykyisin arvioidaan, että mahdollisesti pilaantuneita maa-alueita, jotka ovat pääosin korjaamoja ja romuttamoja, sahoja ja kyllästämöitä, ampumaratoja, kasvihuoneita, huoltoasemia, vanhoja kaatopaikkoja ja teollisuusalueita, on noin 20 000 (kuva 4.3). Näiden lisäksi pilaantuneita sedimenttejä on vesistöissä satamien, telakoiden ja teollisuuslaitosten lähipiirissä.



***Kuva 4.3** . Mahdollisesti pilaantuneiden maiden toiminnan jakautuminen toimialoittain (www.ymparisto.fi)*

Huomattava osa pilaantuneista maista on vanhoilla teollisuusalueilla, joille olisi usein taloudellisesti järkevää ja yhteiskuntien kehittämisen kannalta myös muuten edullista rakentaa uusia asuinrakennuksia. Kestävän kehityksen edistämisessä näiden, usein keskustojen läheisyydessä olevien alueiden rakentaminen on suositeltavaa, koska tällöin voidaan hyödyntää olemassa olevaa kunnallistekniikkaa, liikenteen ympäristövaikutukset ovat pienemmät kuin kauempana asuessa ja keskustojen elävöittämismahdollisuudet paranevat. Vanhojen teollisuusalueiden omistajilla on taloudellista mielenkiintoa pilaantuneiden maa-alueiden rakentamiseen.

Pilaantuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus on verrattain uutta ja kunnostusmenetelmät kehittyvät nopeasti. Tästä huolimatta ei aina ole taloudellisia edellytyksiä ratkaista pilaantuneiden maiden ongelmaa lopullisesti. Usein joudutaan määrittämään miten paljon ja millä edellytyksillä pilaantunutta maata voidaan jättää tulevien rakennusten alla olevaan maapohjaan. Tällöin korostuu riskinarvioinnin merkitys. Tärkeää on löytää ratkaisuille oikea taso, jolla terveys- ja ympäristövaikutukset ovat hallinnassa. Riskinarviointi puolestaan vaatii terveysvaikutusten ja kulkeutumisreittien tutkimista

Maaperän pilaantumisen aiheuttaja on ensisijaisesti velvollinen puhdistamaan maaperän ja pohjaveden. Toissijaisesti vastuu on alueen haltijalla, mikäli pilaajaa ei saada selville. Haltijan kunnostusvastuun arvioinnissa otetaan huomioon kohtuullisuus. Aina maksajaa ei löydy tai kustannukset ovat kohtuuttomia. Tällöin kunnostustöitä on tehty, erityisesti riskialueilla, yhteiskunnan varoilla.

4.2 PILAANTUNEISUUDEN ARVIOINTI

Lainsäädännössä mm. Ympäristönsuojelulaissa sekä Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa kielletään terveyden vaarantuminen rakennuksissa maassa olevien pilaantuneiden maiden vaikutuksesta.

> *”Maahan ei saa jättää tai päästää jätettä eikä muutakaan ainetta siten, että seurauksena on sellainen maaperän laadun huononeminen, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle, viihtyisyyden melkoista vähentymistä tai muu niihin verrattava yleisen tai yksityisen edun loukkaus ” (Ympäristönsuojelulaki, maaperän pilaamiskielto 7 §).*

> *”Rakennuksesta ei saa aiheutua hygienian tai terveyden vaarantumista syistä, jotka liittyvät erityisesti myrkyllisiä kaasuja sisältäviin päästöihin, ilmassa oleviin vaarallisiin hiukkasiin tai kaasuihin, vaaralliseen säteilyyn, veden tai maapohjan saastumiseen tai myrkyttymiseen, jäteveden, savun taikka kiinteän tai nestemäisen jätteen puutteelliseen käsittelyyn taikka rakennuksen osien tai sisäpintojen kosteuteen” (Maankäyttö- ja rakennusasetus 50 §).*

> *Rakennuspaikan maaperän pilaantumattomuus on selvitettävä ennen rakentamista. Haitallisten aineiden pitoisuudet eivät saa ylittää rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan määritettyjä arvoja. Rakentamisessa on varauduttava rakentamisen aikana esiin tulevien terveydelle tai ympäristölle vaarallisten aineiden aiheuttamiin toimenpiteisiin (Suomen Rakentamismääräyskokoelma B3 Pohjarakenteet 2.7.1).*

Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa noudatetaan **valtioneuvoston asetusta 214/2007 Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (ns. PIMA- asetus**). Asetuksen mukaan pilaantuneisuuden arvioinnin on perustuttava arvioon haitallisten aineiden vaarasta tai haitasta terveydelle tai ympäristölle.

Haitan ja riskin arviointi on tehtävä kohdekohtaisesti. Maaperää pidetään pilaantuneena, kun haitat tai riskit eivät ole hyväksyttäviä. Pilaantunut maaperä on puhdistettava haitattomaksi ja vaarattomaksi. Tällöin myös puhdistamisessa arvioidaan haittoja ja riskejä. Arvioinnissa käytetään apuna PIMA-asetuksessa määritettyjä kynnys- ja ohjearvoja.

Maaperän pilaantuneisuus on arvioitava, jos haitta-aineen pitoisuus maassa ylittää kynnysarvon tai alueen taustapitoisuuden. Maaperä on yleensä pilaantunutta, kun pitoisuus ylittää teollisuus- ja varastoalueilla ylemmän ohjearvon ja muualla alemman ohjearvon (liite 4.1).Tarvittaessa on tehtävä tarkempi yksilöllinen riskinarviointi. Pilaantuneisuuden arvioinnin teettää pilaantuneeksi epäillyn alueen haltija, joka rakennushankkeissa on yleensä rakennuttaja (rakennushankkeeseen ryhtyvä). Pilaantuneen maaperän puhdistamisesta ilmoitetaan ympäristöviranomaisille, joka antaa päätöksen ilmoituksen. Viranomaisille ei tarvitse tehdä ilmoitusta, jos maaperä todetaan pilaantumattomaksi. Vaativien kohteiden kunnostuksen haetaan ympäristölupa.

Pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin vaiheet on esitetty kuvassa 4.4. Ympäristöministeriö on antanut maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia käsittelevän ohjeen, jonka tavoitteena on yhtenäistää ja tarkentaa asetuksen soveltamista: **Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi, Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007.**

Arviointitarpeen tunnistaminen

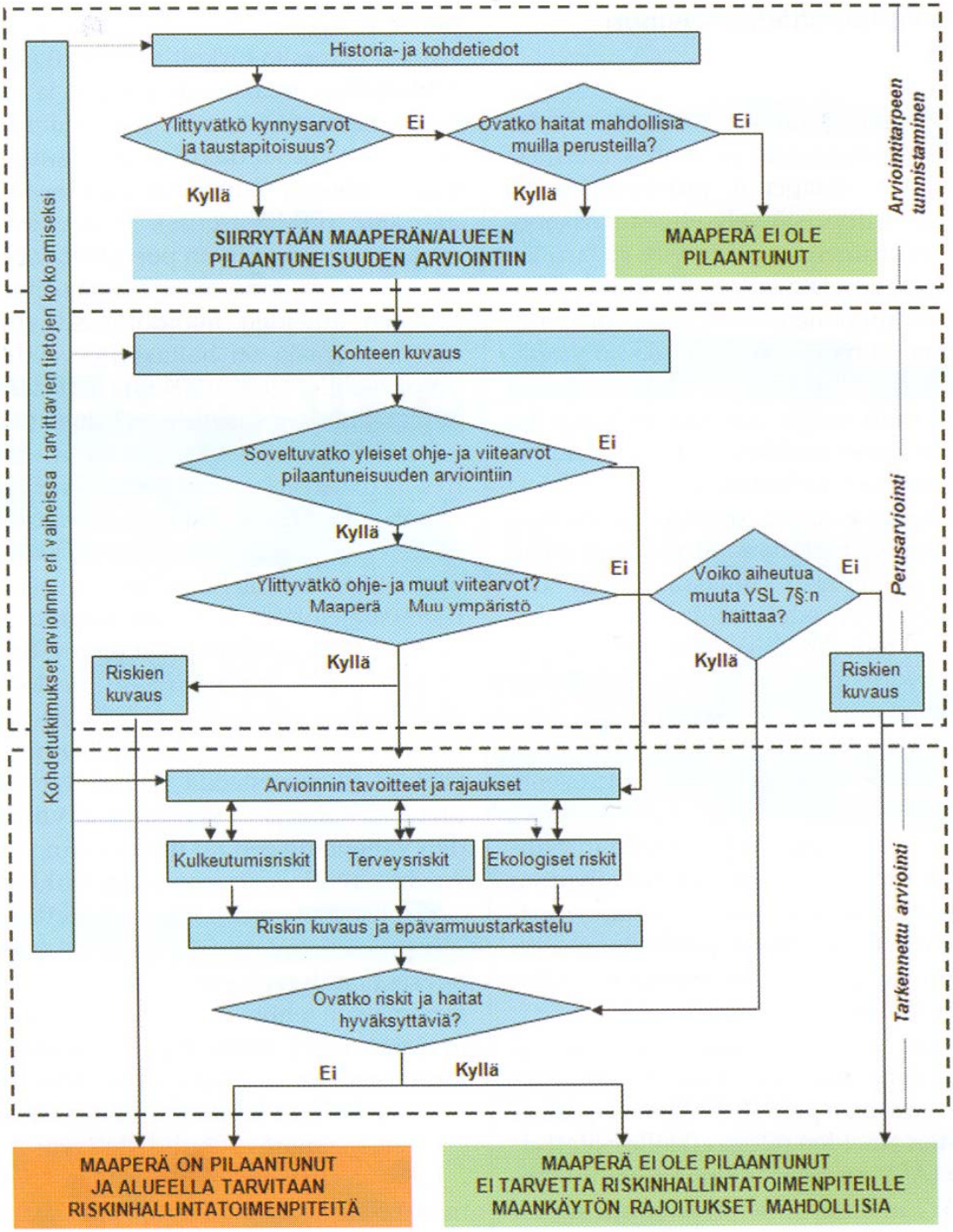
Pilaantuneiden maiden arviointitarpeen tunnistaminen edellyttää aikaisemman toiminnan selvittämistä rakennuspaikalla. Historiatietojen perusteella alustavasti todettu epäily pilaantuneisuudesta varmennetaan vertaamalla maaperän haitta-aineiden pitoisuuksia kynnysarvoihin.

Kaikissa tapauksissa ei välttämättä havaita kynnys- tai ohjearvojen ylityksiä, mutta kohteessa voi silti olla haitallisia aineita rakennusten alla tai pohjavedessä. Tällöin arvioinnin tarve voidaan todeta esimerkiksi pohjavesi- ja huokosilmanäytteiden perusteella.

Perusarviointi

Perusarvioinnissa maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve arvioidaan maankäytön, toimintahistorian ja ympäristöolosuhteiden sekä haitta-aineiden perusteella. Käsiteltäviä asioita ovat mm. haitta-aineiden ominaisuudet ja kulkeutuvuus sekä pitoisuudet, maaperä-, pohjavesi- ja pintavesitiedot ja alueen maankäyttösuunnitelmat.

Tarvittavat tiedot kootaan valmiina olevista aineistoista ja niitä varmennetaan paikalla käynnein sekä tarvittaessa kohdetutkimuksilla kuten maaperän pitoisuuksien määrittämisellä.



Kuva 4.4 . *Pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin vaiheet (Ympäristöministeriö 2007).*

Riskien kuvauksessa esitetään arvio riskien luonteesta, suuruudesta ja hyväksyttävyydestä. Sen pohjana on mm. kulkeutumisreittien tarkastelu ja mahdollinen altistuminen.

Perusarvioinnissa riskejä käsitellään lähinnä PIMA- asetuksen ohjearvojen ja tarvittaessa muiden viitearvojen kuten talousveden ja sisäilman laatuvaatimusten perusteella. Riskitarkastelussa käsitellään myös arvioinnin epävarmuutta, jolloin kiinnitetään huomiota näytteiden edustavuuteen ja lähtötietojen luotettavuuteen. Samalla arvioidaan lisätutkimusten tarve.

Ohjearvojen ylittyessä maaperä kunnostetaan tai tehdään tarkennettu arviointi.

Tarkennettu arviointi

Tavanomaisessa kohteessa ei tarkennettua arviointia tarvita. Tarkennettu arviointi tehdään, kun ohjearvot eivät yksin sovellu pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen määrittämiseen. Tarkennetun arvioinnin tavoitteet, rajaukset ja tehtävät määritetään tapauskohtaisesti. Tehtäviin sisältyy yleensä kulkeutumisriskin, terveysriskin ja ekologisen riskin arviointi.

Tarkennettua arviointia tarvitaan, kun kohteen lähialueella käytetään pohjavettä talousvetenä, kohteessa tuotetaan elintarvikkeita, lähialueella on päiväkoti tai leikkipuisto, lähiympäristöllä on erityinen suojeluarvo, kohteessa on asuinrakennuksia ja maaperässä on merkittävästi haihtuvia yhdisteitä, kohteessa esiintyy haitta-aineita, joilla ei ole kynnys- ja ohjearvoja, tai haitta-aineita kulkeutuu alueen ulkopuolelle, jossa niiden vaikutukset voivat olla merkittäviä jo ohjearvoja pienemmissä pitoisuuksissa.

4.3 MAAPERÄN PILAANTUNEISUUDEN TUTKIMINEN

On edullista tehdä kaikki kohteen tutkimukset yhdellä kertaa. Erilliset tutkimusvaiheet liittyvät yleensä puutteellisen tiedon tarkentamiseen. Käytännössä tutkimuksia tehdään kuitenkin usein vaiheittain, jolloin aluksi selvitetään yleensä pilaantuneisuuden laatu ja myöhemmin pilaantuneisuuden laajuus ja kunnostusedellytykset.

Laajemmin pilaantuneiden maiden kenttätutkimuksia on käsitelty julkaisussa: **Ympäristögeotekninen näytteenotto-opas, maa-, huokoskaasu-, ja pohjavesinäytteet, Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. 2002.**

4.3.1 Esiselvitykset ja kenttätutkimukset

Tutkimusten alussa selvitetään onko kohteen maaperässä haitta-aineita. Ensimmäisenä tutkitaan pilaantuneisuuden arvioinnin lähtötiedoiksi kohteen toimintahistoria. Historiatietojen hankkimisessa ei mielikuvituksella ole rajoja. Viranomaislähteiden lisäksi tietoja voi saada vaikka vanhoista puhelinluetteloista. Paikallisilla asukkailla ja entisillä työntekijöillä on yleensä tietoa, jota ei saa jättää käyttämättä. Vanhoistakin asioista voi olla sukupolvilta toisille siirtyvää perimätietoa. Tiedot voivat olla hataria, mutta niitä yhdistelemällä pääsee usein tunnistamisessa liikkeelle. Kohteissa, joissa ei ole syytä epäillä maaperän pilaantumista, ei muita tutkimuksia yleensä tarvita.

Kun haitta-aineiden olemassaoloa maaperässä epäillään, laajennetaan tutkimuksia. Pohjatutkimuksien, jotka käsittävät ainakin kairauksia, näytteenottoa ja pohjavedenpinnan korkeuden mittaamisen, avulla selvitetään maaperän rakenne ja laatu sekä haitta-aineiden levinneisyys ja mahdollisuus liikkua maaperässä. Maaperän rakenteen ja maalajien ominaisuuksien tutkimusta tukee maakerrosten geologisen syntytavan selvittäminen. Geologisen tutkimuskeskuksen (GTK) verkkosivuilla on maaperäkartan käyttöopas, jossa on havainnollisesti kerrottu Suomen maaperän ominaisuuksista ja syntyhistoriasta (http://www.gtk.fi/aineistot/mp-opas/).

Kairauksin selvitetään maakerrosrajat ja maan rakenteellinen tiiviys. Maanäytteistä tutkitaan vähintään rakeisuus ja haitta-aineiden pitoisuudet. Rakeisuudesta saadaan hyvä käsitys maan läpäisevyydestä. Tarvittaessa tehdään tarkempia vedenläpäisevyyden määrityksiä. Pohjaveden pinta havaitaan ellei se aikaisemman kokemuksen perusteella ole niin syvällä, ettei se vaikuta haitta-aineiden leviämiseen tai maiden kunnostamiseen. Erityisesti pohjavesialueilla voidaan tarvita tarkempia pohjavedenvirtausselvityksiä. Pohjavesinäytteistä tutkitaan haitta-ainepitoisuudet. Kun epäillään, että tutkittavalla paikalla on haihtuvia yhdisteitä otetaan myös huokosilmanäytteitä. Haitta-aineiden tutkimusmenetelmät ja -välineet valitaan historiatutkimusten perusteella.

Tutkimuksia tehdään niin runsaasti, että niiden perusteella voidaan määrittää kunnostusmenetelmät ja kunnostuksen laajuus ja tehdä luotettava riskinarviointi.

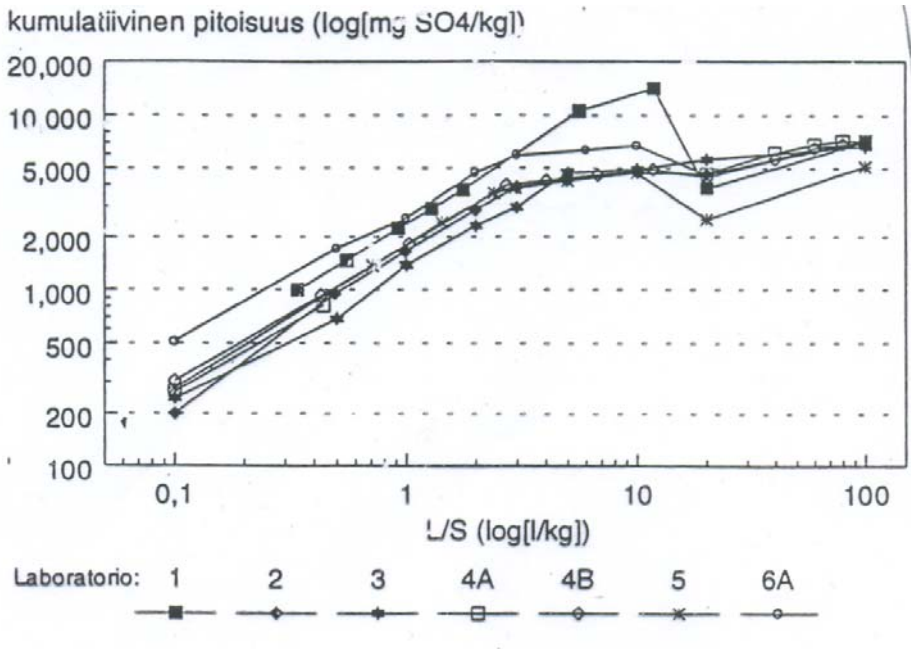
Tutkimustulosten arviointi edellyttää usein alueen luontaisten tai ihmisen toiminnan aiheuttamien taustapitoisuuksien selvittämistä. Suomen maaperä sisältää joitakin alkuaineita jo syntytapansa perusteella huomattavia määriä. Usein paikallisen kallioperän korkeat pitoisuudet näkyvät myös maaperässä kohonneina arvoina. Maa-aines on rapautunutta kalliota, joka on geologisen historiansa aikana siirtynyt kalliosta maaperään. Esimerkiksi fluori-, arseeni- , koboltti-, nikkeli-, vanadini- ja kromipitoisuudet maaperässä ylittävät joillakin alueilla luonnostaan pilaantuneen maan kynnysarvot. Taustapitoisuudet voivat olla kohonneita myös esimerkiksi teollisen toiminnan seurauksena. Yleensä suurimmat pitoisuudet ovat hienorakeisissa savimaissa, joissa rakeiden ominaispinta-ala on suuri. Viitteitä taustapitoisuuksista saadaan Geologisen tutkimuskeskuksen (GTK) geokemiallisista kartoista.

Kunnostuksen aikana tarkennetaan valvontamittauksin maan pilaantuneisuutta ja ohjataan kunnostustoimia. Usein vasta valvontamittauksin voidaan määrittää lopullisesti kunnostuksen laajuus.

4.3.2 Kemialliset tutkimukset

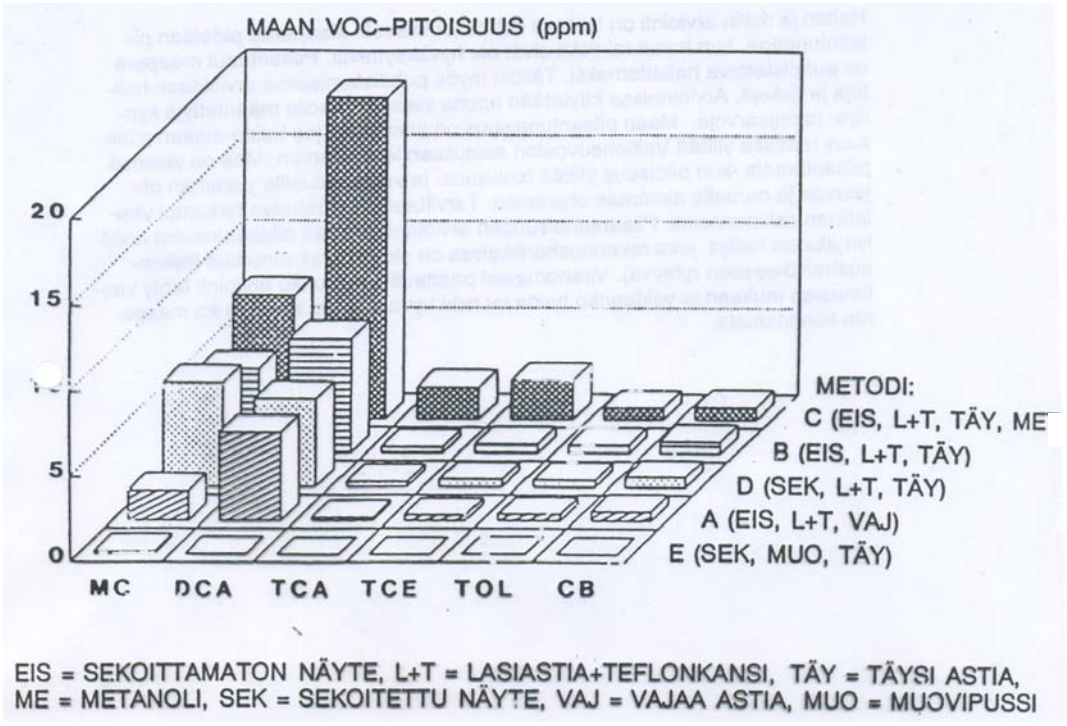
Maahan päästettyjen haitta-aineiden ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Orgaanisia aineita on lukemattomia, mikä asettaa omia vaatimuksia niiden tutkimisessa. Epäorgaanisten aineiden määrä on rajoitetumpi, mutta niiden tutkiminen edellyttää usein ennakkoarviota haitta-aineen esiintymisestä. Haitta-aineiden kemiallisia määrityksiä voidaan tehdä alustavasti kenttämittauksin, mutta tarkemmat määritykset tehdään laboratoriossa.

Laboratorionäytteiden näytteenotto, käsittely, säilöntä ja kuljetus on sovittava laboratorion kanssa. Laboratoriot toimivat standardisoitujen menetelmien mukaisesti ja noudattavat laatujärjestelmiä. Standardimenetelmistä huolimatta laboratoriokokeidenkin tuloksissa on hajontaa (kuva 4.5).



Kuva 4.5. *Erään kivihiilen lentotuhkan sulfaattipitoisuuden tutkimustulokset. Vertailututkimukseen osallistui kuusi laboratoriota. Tutkimukset tehtiin läpivirtaustestillä, jonka suodoksesta analysoitiin sulfaattipitoisuus. Huomaa logaritminen asteikko. L/S-suhde tarkoittaa testissä kerätyn vesimäärän (L) suhdetta testissä käytetyn kiinteän materiaalin (S) määrään.*

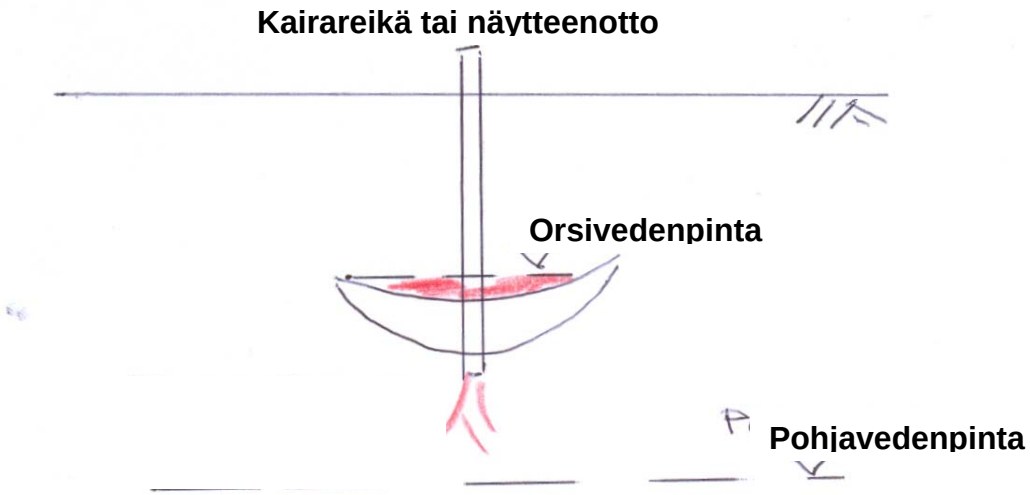
Tärkeää on, että näytettä ei pilata missään vaiheessa. Tämä edellyttää, että näytteenottovälineet ja säilytysastiat ovat puhtaita ja että ne eivät reagoi tutkittavien haitta-aineiden kanssa (kuva 4.6).



Kuva 4.6. *Näytteen säilytystavan merkitys haihtuvien hiilivetyjen (VOC) laboratoriotuloksiin. Sekoittamaton (EIS), lasiastiaan teflonkannella (L+T, TÄY) täyteen suljettu näyte, joka oli säilötty metanolilla (ME) säilyi parhaiten. Näytteen pitoisuudet olivat kauttaaltaan korkeimmat. Muovipussissa kuljetetusta ja sekoitetusta näytteestä hiilivedyt haihtuivat pois (E).*

Näytteen pilaantumisvaaraa (kontaminaatio) vähennetään välttämällä raskasmetallien käsittelyssä metallisia näytteenottimia ja käsittelyvälineitä. Vastaavasti öljypitoisia näytteitä ei käsitellä orgaanisista materiaaleista valmistetuilla välineillä. Näytettä ei myöskään saa poistua säilytyksen aikana ympäristöön esimerkiksi haihtumalla tai diffuusion välityksellä.

Näytteenotossa noudatetaan muun varovaisuuden lisäksi työsuojelumääräyksiä ja varotaan aiheuttamasta haitta-aineiden leviämistä (kuva 4.7).



Kuva 4.7. *Näytteenotto voi levittää haitta-aineita, kun orsiveden alapuolinen vettäläpäisemätön maakerros puhkaistaan.*

4.3.3 Kenttätyöt

Koska haitta-aineet ovat päätyneet maahan yleensä ylhäältä päin, ovat haitta-aineiden korkeimmat pitoisuudet usein lähellä maanpintaa. Syvemmällä pilaantumista voivat aiheuttaa putkijohto- ja säiliövuodot. Maanpinnalta ei voi yleensä ottaa edustavia näytteitä, koska lukuisat tekijät kuten valo, happi ja lämpö, voivat muuttaa haitta-aineiden rakennetta ja määrää. Näytteiden otto koekuopista on hyvä tapa.

Koekuoppia voidaan tehdä yleensä 2…3 metrin syvyyteen. Pohjavesi ja luiskien sortuminen estävät usein syvien kuoppien kaivamisen. Kaivamisen ja näytteenoton aikana on otettava huomioon työturvallisuus, erityisesti maan sortumisvaara, kivien putoaminen ja altistuminen haitta-aineille. Koekuoppia voidaan kaivaa lähes kaikenlaiseen maaperään, kuopasta voidaan ottaa tarvittaessa myös pohjavesinäytteitä, koekuopan teko on usein edullista ja maakerroksista ja näkyvistä haitta-aineista ja niiden levinneisyydestä sekä rakenteista saadaan hyvä käsitys. Koekuopat dokumentoidaan huolellisesti ja valokuvataan. Syvemmältä maanäytteitä voidaan ottaa mm. heijari- ja porakonekairan näytteenottimilla noin 30 metrin syvyyteen asti.

Pohjavesinäytteet otetaan yleensä maahan asennetuista pohjavesiputkista. Putki huuhdellaan ja pumpataan tyhjäksi ennen näytteenottoa. Tämän tarkoituksena on varmistaa se, että vesinäyte edustaa pohjavettä eikä pohjavesiputken vettä. Ennakkohuuhtelua ja pumppausta ei kannata tehdä, jos pohjaveden antoisuus on vähäinen. Pohjavesinäytteen ottamisessa on varottava näytteiden pilaantumista (kontaminaatio). Usein näytteenotin on tehty teflon-materiaalista, josta ei liukene eikä muutenkaan irtoa materiaalia näytteisiin. Orgaanisia aineita käsiteltäessä pohjaveden hapettuminen estetään. Pohjavesinäytteitä voidaan ottaa erikoisjärjestelyin useammasta tasosta. Tällöin useita pohjavesiputkia on samassa suuremmassa asennusputkessa. Putkien siiviläkärjet on asennettu eri tasoihin ja pystyvirtaus on estetty asennusputkiin tehdyillä betoni- tai bentoniittitulpilla.

Huokoskaasunäytteet otetaan yleensä maahan valittuun syvyyteen asennetun imuputken yläpäästä imupumpulla. Imupumpun läpi näyte ohjataan diffuusiotiiviiseen laminaattipussiin tai adsorptioputkeen, jossa on adsorptioainetta johon kaasumolekyylit sitoutuvat. Huokoskaasunäyte voidaan ottaa myös tarkoitukseen valmistetuilla injektioruiskeilla. Lämpötilamuutokset vaikuttavat huomattavasti kaasunäytteeseen. Lämpötilan noustessa kaasu laajenee ja vuotojen mahdollisuus kasvaa.

Geofysikaalisilla menetelmillä voidaan kartoittaa pilaantuneiden maiden esiintymistä tai maaperän rakennetta laajoilla alueilla. Sähköinen ominaisvastusluotaus sopii esimerkiksi kaatopaikkojen suotovesien kulkeutumisen määrittämiseen. Maatutkalla voidaan yleensä määrittää maaperän kerrosrakenne ja pohjavedenpinta. Maatutkatulokset kiinnitetään kairauspisteissä maankerrosrajoihin ja pohjavedenpinnan havaintoihin pohjavesiputkien kohdalla.

4.3.4 Haitta-aineiden analysointi

Haitta-aineita voidaan analysoida sekä laboratoriossa että kentällä kenttämittareilla. Kenttätutkimuslaitteet ovat kehittyneet merkittävästi muutaman vuoden aikana. Kenttämittausten perusteella valitaan usein näytteet laboratoriotutkimuksiin sekä valvotaan kunnostuksen aikana työn laajuutta. Varsinaiset analyysit tehdään laboratorioissa.

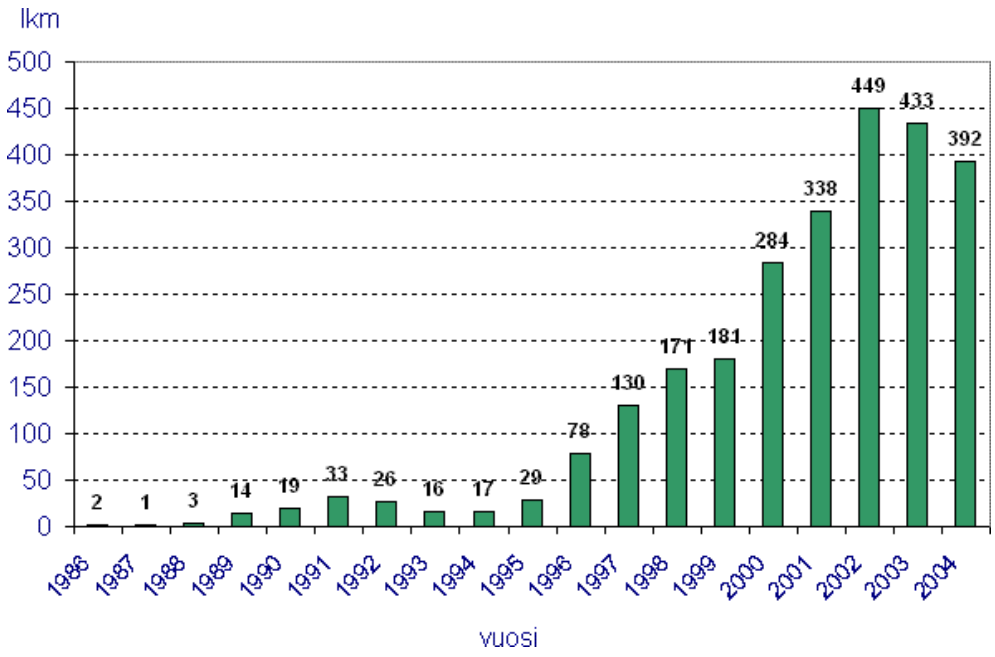
Kannettavilla kenttämittauslaitteilla voidaan määrittää raskasmetalleja ja eräitä orgaanisia yhdisteitä. Orgaanisten yhdisteiden täsmällistä selvitystä ei yleensä voida tehdä. Tulokset ovat heti nähtävissä, jolloin laitteet sopivat hyvin valvontamittauksiin, joissa varmistetaan kunnostuksen aikana pilaantuneisuuden laajuutta. Hollannissa on kehitetty puristinkairaan kemiallinen kärki, jolla voidaan mitata maaperästä kairauksen yhteydessä pH ja sähkönjohtokyky. Näiden perusteella saadaan viitteitä mahdollisesta maaperän pilaantumisesta.

Laboratoriossa metallit analysoidaan tavallisesti ICP-MS- tai ICP-AES- laitteistoilla tai atomiabsorptiospektrometrillä (AAS). Orgaanisia yhdisteitä analysoidaan usein kaasukromatografisesti massaspektrometrillä (GC/MS). Ionikromatografilla määritetään suolapitoisuuksia kuten klorideja, sulfaatteja ja nitraatteja.

4.4 PILAANTUNEIDEN MAIDEN KUNNOSTUS

4.4.1 Kunnostusmäärät ja lupakäytäntö

Viimeisen 20 vuoden aikana on Suomessa kunnostettu noin 3 000 pilaantunutta maa-aluetta. Vuosittain aloitetaan noin 400 puhdistushanketta (kuva 4.9), joissa käsitellään noin 500 000 tonnia maa-aineksia. Määrällisesti huomattava osa kunnostetuista kohteista on ollut vanhoja huoltoasemia. Pilaantuneiden maiden selvittämiseen ja kunnostukseen käytetään noin 100 - 200 miljoonaa euroa vuosittain.



Kuva 4.9 . *Vuosittaiset pilaantuneiden maiden kunnostuspäätökset (www.ymparisto.fi).*

Maaperän kunnostushanke vaatii ympäristöluvan, jonka myöntävät alueelliset ympäristökeskukset. Maaperän puhdistamiseen pilaantuneella alueella tai pilaantuneen maa-aineksen poistamiseen muualla käsiteltäväksi voidaan kuitenkin ryhtyä tekemällä siitä ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle, jos pilaantuneen alueen laajuus ja maaperän pilaantumisen aste on riittävästi selvitetty; puhdistamisessa noudatetaan yleisesti käytössä olevaa hyväksyttävää puhdistusmenetelmää eikä toiminnasta aiheudu ympäristön muuta pilaantumista.

Kun riskinarvioinnin perusteella ei ole tarvetta kunnostamiseen vaikka haitta-aineita esiintyy maaperässä, pyydetään ympäristöviranomaisilta asiasta kannanotto lausuntomenettelyllä. Alueelliset ympäristökeskukset antavat määräyksiä ja ohjeita pilaantuneeksi epäillyn alueen puhdistamistarpeen selvittämisestä ja puhdistamisesta.

4.4.2 Kunnostusmenetelmät

Taulukossa 4.1 on esitetty yleisimpien kunnostusmenetelmien yleispiirteinen soveltuvuus eri haitta-aineille. Julkaisussa: **Maaperän ja pohjaveden kunnostus, Yleisimpien menetelmien esittely, Suomen Ympäristökeskus,(Penttinen 2001)** on kunnostusmenetelmiä esitelty laajasti. Yleisimmät käytössä olevat menetelmät on esitelty tämän luvun teemakorteissa.

Kunnostusmenetelmä valitaan aina kohdekohtaisesti, ympäristölainsäädännön mukaisesti parasta käyttökelpoista tekniikkaa käyttäen ja siten, ettei puhdistamistoiminnasta aiheudu muuta ympäristön pilaantumista.

Kunnostaminen perustuu joko biologisiin, kemiallisiin tai fysikaalisiin reaktioihin. Käsittelytekniikan valintaan vaikuttavat haitta-aineet ja niiden määrät maaperässä sekä maaperän rakenne ja pohjavedenpinnan asema. Orgaanisia haitta-aineita voidaan käsitellä ja hajottaa biologisin menetelmin ja polttamalla. Haihtuvia orgaanisia haitta-aineita voidaan siirtää maasta huokosilmakäsittelyllä tai lämmittämällä desorptio- menetelmällä ja johtaa ne edelleen jatkokäsittelyyn. Pesu ja

kiinteytys perustuvat sekä fysikaalisiin että kemiallisiin reaktioihin. Eristämisessä haitta-aineiden liikkuminen estetään.

Taulukko 4.1. *Yleisimmät kunnostusmenetelmät.*

	Orgaaniset aineet		Epäorgaaniset aineet		Käyttö	Maaperä		
	Haihtuvat	Ei-haihtuvat	Raskasmetallit	Muut	In situ	Karkear.	Mor.	Hienor.
Eristäminen	-	x	x	x	x	x	x	x
Kiinteytys								
- bitumilla	-	x	x	x	-	x	x	o
- sementillä	-	o	x	x	-	x	x	o
Termiset menetelmät								
- desorptio	x	-	-	-	-	x	x	o
- massapoltto	x	x	-	-	-	x	x	o
- tehopoltto	x	x	o	o	-	x	x	o
Pesu	o	x	x	x	-	x	x	-
Huokosilmakäsittely	x	-	-	-	x	x	-	-
Biologiset menetelmät								
- luontainen	x	x	-	-	x	x	x	o
- kompostointi	x	x	-	-	o	x	x	o
- ilmahuuhtelu	x	x	-	-	x	x	o	-

- ei sovellu

x soveltuu

o soveltuu varauksin

Pilaantuneita maita voidaan kunnostaa kohteessa massoja liikuttamatta (in situ), käsittelemällä massat kohteessa niitä pois kuljettamatta (on site) tai kuljettamalla massat pois käsiteltäviksi (off site).

Karkearakeisessa maaperässä, jossa haitta-aineet liikkuvat usein helposti, lähes kaikki kunnostusmenetelmät ovat käyttökelpoisia. Saviaines vaikeuttaa yleensä kunnostamista ja vähentää useiden menetelmien mahdollisuuksia ja tehoa. Onneksi hienorakeiset savimaapohjat ovat huonosti läpäiseviä, joissa haitta-aineet eivät yleensä leviä pintaa syvemmälle.

Kunnostaminen vedenpinnan alapuolella lisää merkittävästi työn vaativuutta. Kaivaminen vedenpinnan alapuolella voi levittää haitta-aineita ja löyhdyttää kaivannon ympäristön maapohjaa. Vesipitoisten kaivumassojen hallinta on hankalaa ja in situ menetelmät eivät yleensä toimi maaperässä pohjavedenpinnan alapuolel-

la. Puhtaista maista tehdyt täytöt on yleensä tehtävä kuivatyönä pohjavedenpinnan tai muun ulkoisen vedenpinnan alentamisen jälkeen.

In situ menetelmien käyttö on tavoiteltavaa, koska silloin vältytään kuljetusten ympäristöhaitoilta, kaivunriskeiltä ja uusiutumattomien kiviainesvarojen käytöltä. Yleensä kunnostamista ei voida kuitenkaan tehdä maaperässä massoja liikuttamatta in situ, lukuun ottamatta huokosilma- ja biologisia käsittelymenetelmiä.

Yleensä kunnostuksen yhteydessä tehdään massanvaihtoja tai eristysrakenteita. Massanvaihdossa pois kaivetut maat kuljetetaan sijoitettavaksi kaatopaikalle tai viedään käsittelyyn (kompostointi, pesu, desorptio, poltto, kiinteytys) ja tilalle tuodaan puhtaita maita. Massanvaihtoja on tehty erityisesti pienialaisissa kunnostuksissa karkearakeisilla maapohjilla, joissa pohjaveden pilaantumisriski on merkittävä. Karkearakeisilla mailla on pilaantuneiden maiden ongelman ratkaiseminen yleensä vaativampaa kuin varsinainen pohjarakentaminen.

Maiden siirto on yleensä yksinkertaista. Kun pilaantuneet maat poistetaan kaivamalla lähellä maanpintaa, on valvonta yleensä helppoa, työ suhteellisen nopeaa ja riskit työn epäonnistumisesta pienet. Massanvaihdon suunnittelussa otetaan huomioon myös tulevan rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset; materiaalin täytyy olla kantavaa ja hyvin tiivistyvää. Kaivu vaikeutuu merkittävästi kaivusyvyyden kasvaessa, erityisesti vedenpinnan alapuolella ja viereisten rakennusten läheisyydessä. Kaivu vedenpinnan alapuolella aiheuttaa veden pilaantumisriskin. Massanvaihdon suuri kuljetustarve ja uusiutumattomien kiviainesten käyttö aiheuttavat merkittävän ympäristörasituksen.

Usein pilaantuneet maat ovat hienorakeisilla maapohjilla suunnittelemattomasti tehtyjä rantatäyttöjä. Nämä alueet ovat yleensä pehmeän pohjamaan vuoksi pohjarakennusteknisesti vaativia. Pilaantuneiden maiden täydellinen poistaminen tai kunnostaminen on usein kustannussyistä tai teknisesti mahdotonta. Jo maiden kaivaminen voi olla ympäristölle riskialtista. Suurten kustannusten vuoksi pyritään usein suuri osa maista eristämään. Hienorakeisten maiden pieni läpäisevyys vähentää tehokkaasti pilaantuneiden aineiden liikkumista ja samalla ympäristöriskejä. Näissä vaativissa kohteissa pohjarakenteiden suunnittelijan ja ympäristöasiantuntijoiden yhteistyötarve korostuu.

Merkittäviä eristyskohteita ovat vanhat kaatopaikat mm. Myllypuro Helsingissä ja Arabianrannan täyttöalueelle rakennettu asuinalue Helsingissä. Eristäminen rajoittaa usein tulevaa maankäyttöä. Usein eristäminen tehdään puistoalueilla tai alueilla, joiden maapohja on riittävän läpäisemätöntä, koska pilaantuneiden maiden alapuolinen eristäminen paikan päällä on käytännössä vaikeaa.

Kunnostusratkaisu voi olla myös osittainen maiden vaihto tai muu kunnostaminen ja osittainen eristäminen. Keskeinen kysymys on miten paljon pilaantuneita maita voidaan jättää eristettynä paikalleen. Päätösten on perustuttava huolellisiin tutkimuksiin ja perusteelliseen riskiarviointiin.

Vaikka maiden vaihtaminen on kallista, se on ollut usein edullisin ja varmin kunnostusmenetelmä. Eristäminen ei ratkaise haitta-aineongelmaa lopullisesti ja eristys jää rasitteeksi tuleville sukupolville. Vaihtoehtoisia menetelmiä, joissa maat kunnostetaan paikan päällä on olemassa ja uusia kehitetään. In situ, maassa tehtävissä kunnostuksissa ongelmina ovat yleensä pitkä käsittelyaika ja se miten varmistetaan riittävä puhdistuminen koko maamassassa. Suomen vaihteleva

maaperä voi rajoittaa paikan päällä tehtävien kunnostusten mahdollisuuksia. Uusien menetelmien käyttöönotto edellyttää panostamista menetelmien tutkimukseen, kohdekohtaisiin tutkimuksiin ja suunnitteluun.

4.4.3 Kunnostuskustannukset

Kuljetuskustannukset ja vastaanottomaksut käsittelylaitoksissa noin 50…120 €/t määräävät pääosin massanvaihdon hinnan. Jäteveroa ei peritä, mikäli kunnostettua maata voidaan käyttää kaatopaikan rakenteisiin. Kun yksi kuutiometri maata painaa noin 1,5…2 tonnia, maksaa yhden metrin paksuisen maakerroksen vaihtaminen noin 100...250 € / m^2. Asuinalueilla kustannuspaine kerrosneliömetriä kohti on kaavan tehokkuudesta riippuen noin 50…500 €.

Kunnostusmenetelmien kustannukset vaihtelevat huomattavasti tapauskohtaisesti. Kustannuksiin vaikuttavat mm. työn laajuus, riskit, yritysten kilpailutilanne ja useissa menetelmissä myös kuljetuskustannukset. Maan pesun ja kiinteytyksen kustannus on suuruusluokaltaan noin 30…100 €/t, massapolton 100 €/t ja tehopolton 400 €/t.

4.4.4 Työturvallisuus

Työturvallisuuslaki (738/2002) määrää työsuojelusta ja siinä on määritelty vaatimukset työpaikoille. Lakien pohjalta on annettu säädöksiä, jotka on otettava huomioon pilaantuneiden maiden tutkimuksissa ja kunnostuksessa. Tutkimusvaiheessa ei vielä tarkkaan tiedetä kemiallisia vaaroja, joten työssä joudutaan varautumaan yllätyksiin. Kunnostusvaiheessa on sattunut melko vähän tapaturmia. Eräiden tutkimusten mukaan vain noin 15 % toimialan tapaturmista aiheutuu haitta-aineista. Tärkeää on suojautua asianmukaisin varustein maaperässä olevien haitta-aineiden varalta.

KIRJALLISUUTTA

Geologinen tutkimuskeskus, Maaperäkartan käyttöopas, (http://www.gtk.fi/aineistot/mp-opas/).

Penttinen, R. Maaperän ja pohjaveden kunnostus, Yleisimpien menetelmien esittely, Suomen Ympäristökeskus 2001.
http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=12461&lan=fi

Reinikainen, J. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointikäytäntö, Ympäristö- ja Terveys-lehti 6:2007.

Sorvari, J. Elementtitalojen PCB-piilevä ympäristöriski? Tekniikka ja kunta 3/2003.

Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. Ympäristögeotekninen näytteenotto-opas Maa-, huokoskaasu- ja pohjavesinäytteet, 2002. http://www.sgy.fi/home/page.asp?sid=497&mid=2&CatId=3029

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007, PIMA- asetus). http://www.finlex.fi/fi/laki/

Ympäristöministeriö 2007, Suomen Rakentamismääräyskokoelma B3 Pohjarakenteet. http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/b3.pdf

Ympäristöministeriö 2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007. http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=69290&lan=fi

Ympäristönsuojelulaki (86/2000) ja Ympäristönsuojeluasetus (169/2000). http://www.finlex.fi/fi/laki/.

Ympäristöministeriö, 2007. Pilaantuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluopas. Ympäristöhallinnon ohjeita 7/2006. http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=60903&lan=fi

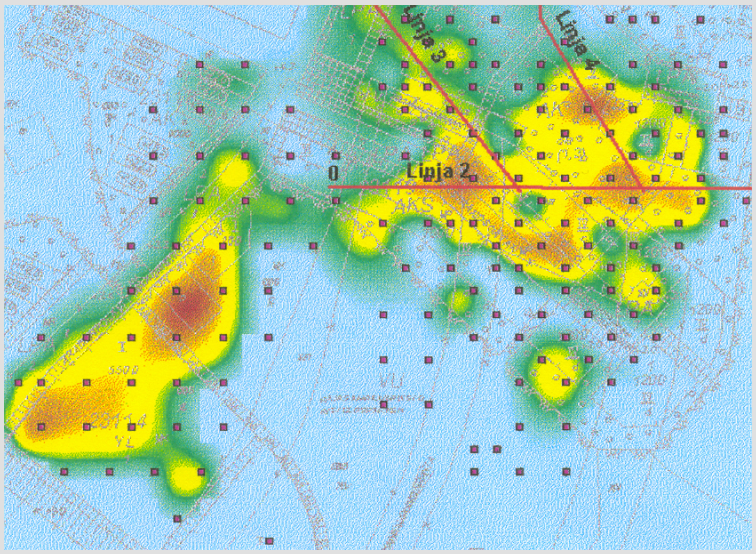
***Liite 4.1a**. Maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot. Ohjearvot on määritelty joko ekologisten riskien (e) tai terveysriskien perusteella (t). (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007).*

Aine (symboli)	Luontainen pitoisuus[1] mg/kg	Kynnysarvo mg/kg	Alempi ohjearvo mg/kg	Ylempi ohjearvo mg/kg
Metallit ja puolimetallit[2]				
Antimoni (Sb) (p)	0,02 (0,01-0,2)	2	10 (t)	50 (e)
Arseeni (As) (p)	1 (0,1-25)	5	50 (e)	100 (e)
Elohopea (Hg)	0,005 (< 0,005-0,05)	0,5	2 (e)	5 (e)
Kadmium (Cd)	0,03 (0,01-0,15)	1	10 (e)	20 (e)
Koboltti (Co) (p)	8 (1-30)	20	100 (e)	250 (e)
Kromi (Cr)	31 (6-170)	100	200 (e)	300 (e)
Kupari (Cu)	22 (5-110)	100	150 (e)	200 (e)
Lyijy (Pb)	5 (0,1-5)	60	200 (t)	750 (e)
Nikkeli (Ni)	17 (3-100)	50	100 (e)	150 (e)
Sinkki (Zn)	31 (8-110)	200	250 (e)	400 (e)
Vanadiini (V)	38 (10-115)	100	150 (e)	250 (e)
Muut epäorgaaniset				
Syanidi (CN)		1	10	50
Aromaattiset hiilivedyt				
Bentseeni (p)		0,02	0,2 (t)	1 (t)
Tolueeni (p)			5 (t)	25 (t)
Etyylibentseeni (p)			10 (t)	50 (t)
Ksyleenit[3] (p)			10 (t)	50 (t)
TEX[4]		1		
Polyaromaattiset hiilivedyt				
Antraseeni		1	5 (e)	15 (e)
Bentso(a)antraseeni		1	5 (e)	15 (e)
Bentso(a)pyreeni		0,2	2 (t)	15 (e)
Bentso(k)fluoranteeni		1	5 (e)	15 (e)
Fenantreeni		1	5 (e)	15 (e)
Fluoranteeni		1	5 (e)	15 (e)
Naftaleeni		1	5 (e)	15 (e)
PAH[5]		15	30 (e)	100 (e)
Polyklooratut bifenyylit (PCB) sekä polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)				
PCB[6]		0,1	0,5 (t)	5 (e)
PCDD-PCDF-PCB[7]		0,00001	0,0001 (t)	0,0015 (e)

***Liite 4.1b**. Maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot. Ohjearvot on määritelty joko ekologisten riskien (e) tai terveysriskien perusteella (t). (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007).*

Aine (symboli)	Kynnysarvo mg/kg	Alempi ohjearvo mg/kg	Ylempi ohjearvo mg/kg
Klooratut alifaattiset hiilivedyt			
Dikloorimetaani (p)	0,01	1 (t)	5 (t,e)
Vinyylikloridi (p)	0,01	0,01 (t)	0,01 (t)
Dikloorieteenit[3] (p)	0,01	0,05 (t)	0,2 (t)
Trikloorieteeni (p)	0,01	1 (e,t)	5 (e)
Tetrakloorieteeni (p)	0,01	0,5 (t)	2 (t)
Klooribentseenit			
Triklooribentseenit[3]	0,1	5 (t)	20 (e)
Tetraklooribentseenit[3]	0,1	1 (t)	5 (e)
Pentakloorbentseeni	0,1	1 (t)	5 (e)
Heksaklooribentseeni	0,01	0,05 (t)	2 (e)
Kloorifenolit			
Monokloorifenolit[3] (p)	0,5	5 (e,t)	10 (e)
Dikloorfenolit[3] (p)	0,5	5 (t)	40 (e)
Trikloorifenolit[3] (p)	0,5	10 (e,t)	40 (e)
Tetrakloorifenolit[4] (p)	0,5	10 (e,t)	40 (e)
Pentakloorifenoli (p)	0,5	10 (e,t)	20 (e)
Torjunta-aineet ja biosidit			
Atratsiini (p)	0,05	1 (e)	2 (e)
DDT-DDD-DDE[8]	0,1	1 (e)	2 (e)
Dieldriini	0,05	1 (e)	2 (e)
Endosulfaani[9] (p)	0,1	1 (e)	2 (e)
Heptakloori	0,01	0,2 (t)	1 (e)
Lindaani (p)	0,01	0,2 (t)	2 (e)
TBT-TPT[10]	0,1	1 (e)	2 (e)
Öljyhiilivetyjakeet ja oksygenaatit			
MTBE-TAME[11]	0,1	5 (t)	50 (t)
Bensiinijakeet (C5-C10[12])		100	500
Keskitisleet (>C10-C21[12])		300	1000
Raskaat öljyjakeet (>C21-C40[12])		600	2000
Öljyjakeet (>C10-C40[12])	300		

Pilaantuneiden maiden kunnostus, Arabianranta



Pilaantuneen maa-alueen laajuus rajattuna vihreällä, syvimmät alueet on esitetty ruskealla.

Arabianrannan savi- ja liejukerrokset ovat paksuudeltaan jopa 25 metriä. Liejun ja saven päällä kelluu paikoitellen 2 – 5 metriä sekalaista täyttöä, joka sisältää yli-jäämämaita, jätepaperia ja keraamisen teollisuuden jätteitä. Ennen rakentamista maamassat siirtyivät vaakasuunnassa noin 20…50 mm ja painuivat noin 20…40 mm vuodessa. Täyttöalueen laajuus on 17 hehtaaria. Pilaantuneiden maiden tutkimisen yhteydessä kaivettiin yli 350 koekuoppaa näytteiden ottoa varten. Näytteet sisälsivät mm. lyijyä ja sinkkiä sekä öljyhiilivetyjä yhdisteitä. Suurin lyijypitoisuus oli noin 12 000 mg/kg, kun sen aikainen SAMASE-ohjearvo oli 60 mg/kg ja raja-arvo 300 mg/kg. Nykyisin lyijyn kynnysarvo on 60 mg/kg, alempi ohjearvo 200 mg/kg ja ylempi ohjearvo 750 mg/kg (PIMA-asetus).

Arabianrannan rakentaminen Helsingissä on ensimmäisiä laajempia rakennusalueita Suomessa, jossa huomattava osa pilaantuneista maista jätettiin eristettynä paikalleen. Tehdyn riskin arvioinnin perusteella päätettiin, että vain noin 10 % pilaantuneista maista, noin 35 000 m^3, kuljetettiin pois ja tilalle tuotiin puhdasta maata. Loput maista, jotka sisältävät lähinnä raskasmetalleja, kuten liukenematonta lyijyä ja sinkkiä, jätettiin eristettynä paikalleen. Pilaantuneiden maiden puhdistamisen kustannukset olivat 3,5 milj.€.

Alueen talot rakennettiin paaluille ja pihat ja kadut paalulaatalle. Paalulaatta eristää pilaantuneet maat. Maamassojen vaakaliike on pysäytetty syvästabilointitekniikalla rakennetulla salpaseinällä. Arabianrantaan on kaavoitettu asuinkerrosalaa 275 000 m^2, 7 000 asukkaalle.

Pilaantuneet maat, PCB-, lyijy-yhdisteet ja kreosootti

Terveydelle haitallista PCB:tä ja lyijyä on käytetty rakentamisessa mm. saumausmassoissa ja maaleissa ja niitä on voinut joutua myös maaperään. Kreosoottia eli kivihiilitervaa on käytetty vanhoissa rakennuksissa vesieristyksissä.

Vuosina 1960 – 1975 betonielementtien saumauksessa käytettiin tyypillisesti massoja, jotka sisälsivät PCB- yhdisteitä eli polykloorattuja bifenyylejä. PCB- yhdisteiden valmistus länsimaissa lopetettiin 1970-luvulla, koska tutkimukset osoittivat niiden kertyvän ympäristössä ja aiheuttavan haitallisia terveysvaikutuksia

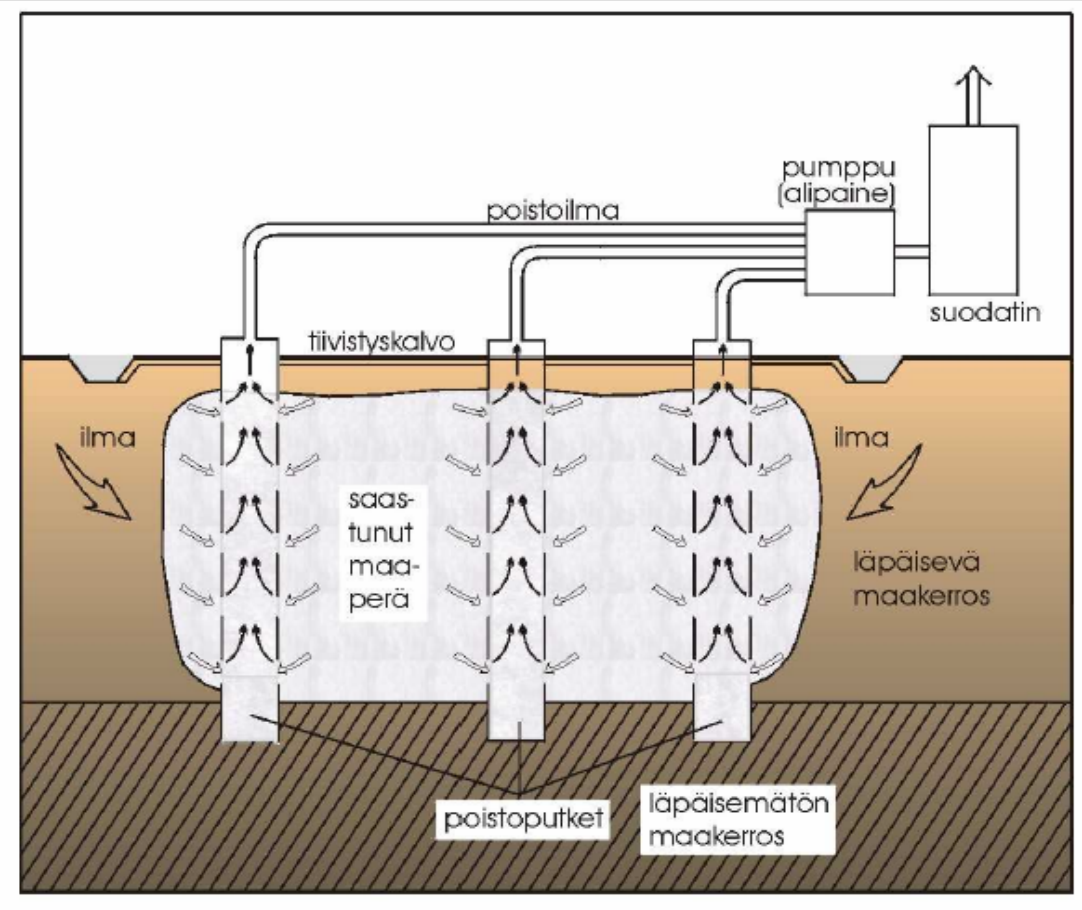
Koska elementtisaumojen elinkaari on noin 20 vuotta, saumoista on lähes kaikki uusittu. Uusimisen yhteydessä PCB:tä on levinnyt lähiympäristöön. Lisäksi sade, tuuli ja auringonvalo kuluttavat saumoja ja edesauttavat PCB:n kulkeutumista pihamaahan. Yksittäisessä kerrostalossa voi olla jopa 100 kg PCB: tä. Tutkimuksissa on todettu 1 - 2 % alkuperäisestä PCB-määrästä siirtyneen maahan. Saumausmassojen ohella PCB:tä on käytetty ikkunoiden tiivisteissä, lämpölaseissa ja lakoissa, lattioiden pinnoitteissa, lämmönvaihtolaitteissa sekä sähkölaitteissa kuten muuntajissa ja kondensaattoreissa.

Elastisten saumausmassojen aiheuttamat PCB-pitoisuudet maaperässä on selvitettävä, mikäli vuonna 1979 tai sitä ennen valmistuneiden rakennusten piha-alueilla tehdään maansiirtotöitä esimerkiksi salaojien ja vesieristeiden korjausta 10 metriä lähempänä rakennusta. Lyijy-yhdisteet maaperässä on selvitettävä, mikäli vuonna 1989 tai sitä ennen valmistuneiden rakennusten piha-alueilla tehdään vastaavia maansiirtotöitä.

Kreosootti on haihtuva yhdiste ja se on aiheuttanut sisäilmaongelmia rakennuksissa. Kreosootille on tyypillistä pistävä haju. Se on terveydelle vaarallista sisältämiensä PAH-yhdisteiden takia. Kreosootin haitallisuus on otettava huomioon vanhoja rakennuksia peruskorjattaessa ja purettaessa.

Lähde: Sorvari, J. Elementtitalojen PCB-piilevä ympäristöriski? Tekniikka ja kunta 3/2003.

Pilaantuneiden maiden kunnostus, Huokosilmakäsittely, in situ- menetelmä

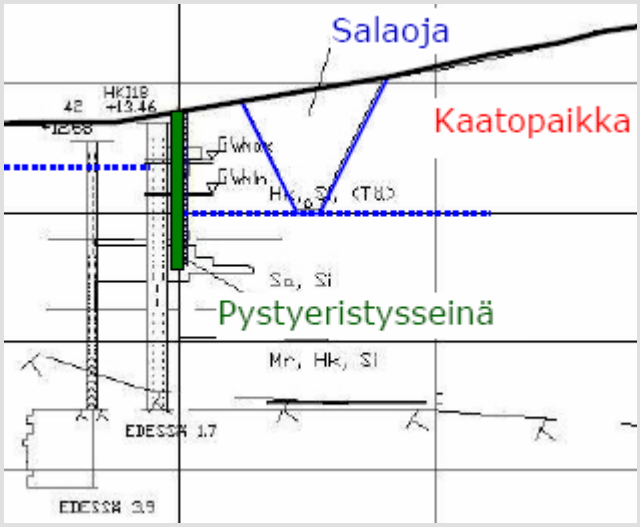


Huokosilmatekniikalla, joka muistuttaa pohjaveden alentamista siiviläkärkiputkilla, poistetaan maasta haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC). Pumpun ja poistoputkien avulla aiheutetaan pohjaveden yläpuolella olevaan huokosilmaan alipaine. Alipaine tehostaa haitallisten aineiden haihtumista ja lisäilman happi biologista hajoamista. Haihtumista voidaan tehostaa tuloilman lämmityksellä. Ilmavirtausten ohjaamiseksi vaakasuuntaan ja ns. oikosulkuvirtausten estämiseksi asennetaan usein maanpinnalle tiivistyskalvo. Poistoilma käsitellään yleensä aktiivihiilisuodattimella, johon haitalliset yhdisteet imeytyvät tai katalyyttisellä polttolaitteella. Menetelmän valinnassa on tärkeää selvittää haitta-aineen siirtymisnopeus kiinteästä tai nestemäisestä olomuodosta kaasuksi.

Menetelmä soveltuu, kun pohjavedenpinta on pilaantuneen maan alapuolella ja maa on hyvin läpäisevää soraa tai karkeaa hiekkaa. Suomessa menetelmää on käytetty useissa kohteessa.

Menetelmä poistaa haitallisia yhdisteitä lopullisesti maasta. Menetelmän teho vähenee aineiden vähentyessä. Kunnostaminen voidaan lopettaa pitoisuuden alittaessa tavoitearvon. Usein huokosilmakäsittelyyn yhdistetään osittainen massanvaihto, jolla poistetaan haihtumattomat raskaat yhdisteet.

Pilaantuneiden maiden kunnostus, Pystyeristys



Eristysseinän rakentamista (kuva Juha Forsman). Oikealla Helsingin Myllypuron vanhan kaatopaikan eristysseinä

Laajat tai vaikeasti poistettavat pilaantuneet maa-alueet kuten, kaatopaikat, voidaan joissakin tapauksissa eristää. Pohjaveden virtauksen katkaiseva pystyeristysseinä voidaan tehdä maabentoniitista. Menetelmässä pitkävartinen kaivinkone kaivaa kaivannon päästä kapeaa uraa maahan, joka välittömästi täytetään kaivannon sortumisen estämiseksi bentoniittilietteellä. Kaivantoura ulotetaan huonosti vettäläpäisemättömään maahan tavallisesti saveen tai moreeniin. Uran syvyys voi olla jopa 20 metriä. Kaivannon toisesta päästä ura täytetään työmaalla maasta ja bentoniitista sekoitetulla massalla, joka valuu painovoimaisesti uran pohjalle. Vaativissa kohteissa voidaan uraan asentaa paksu muovikalvo, jossa on usein ponttilukot ja pontissa paisuva tiivistenauha.

Eristyksen toiminta varmistetaan pitämällä pohjavedenpinta pumppaamalla seinän sisällä alempana kuin sen ulkopuolella, jolloin pohjavesi virtaa mahdollisten epäjatkuvuuskohtien läpi eristettävälle alueelle. Erityisesti eristysseinän ja pohjamaan sauma voi olla mahdollinen vuotokohta. Maabentoniitin vedenläpäisevyyttä valvotaan laboratoriokokein.

Kun pilaantuneet maat eristetään, ne on otettava huomioon maankäytön suunnittelussa ja ne jäävät tulevien sukupolvien rasitteeksi.

Huhmarniemen sahan pilaantuneet maat

Huhmarniemen kunnostustyöt käynnissä kesällä 2003.

Huhmarniemen saha perustettiin vuonna 1891 Saimaan rannalle Lappeenrannan Lauritsalassa. Sahalla käytettiin sinistymisenestoaineita 1930-luvulta lähtien. Kloorifenolipohjainen puunsuoja-aine KY-5 sisälsi terveydelle vaarallisia dioksiineja ja furaaneja. Suoja-aineiden kastelualtaiden pohjasakat tyhjennettiin lautatarha-alueelle. Sahan tuotanto oli suurimmillaan 150 000 m^3 vuodessa. Saha lopetti toimintansa vuonna 1959.

Saha-alue kaavoitettiin asuinalueeksi ja sinne rakennettiin pientaloja vuosina 1992 – 2000. Ennen kaavoitusta tehtiin vuonna 1988 maaperätutkimuksia, joissa kartoitettiin kloorifenolipitoisuuksia. Tutkimusten tuloksena poistettiin noin 1 500 m^3 pilaantuneita maita. Myöhemmin vuonna 1999 tutkittiin alueen dioksiini- ja furaanipitoisuuksia epäillyillä riskialueilla.

Vuonna 2000 tehtiin kunnostustöitä, joiden riittävyyttä arvioitiin riskiarvioinnilla ja tutkittiin asukkaiden altistumista dioksiineille ja furaaneille. Välittömiä terveyshaittoja ei todettu. Dioksiini- ja furaanipitoisuudet ylittivät huomattavasti silloiset SAMASE-ohje- ja raja-arvot. Riskinarvioinneissa todettiin, että yhdisteet eivät aiheuta merkittävää terveysriskiä asukkaille. Merkittävimmiksi altistumisreiteiksi arvioitiin pilaantuneen maan syöminen sekä maa-aineksen pölyyn sitoutuneiden haitta-aineiden joutuminen hengityselimistöön esimerkiksi rakentamisen aikaisen kaivamisen yhteydessä. Asukkaat vaativat kunnostamista mahdollisimman nopeasti, jotta käyttörajoituksilta vältyttäisiin. Lisänäytteiden ja lisätutkimusten perusteella alue päätettiin kunnostaa.

Kunnostus tehtiin vuonna 2003. Menetelmänä oli massanvaihto (18 000 m^3) tonttien alueella, puistoalueiden peittäminen ja riskialttiimpien alueiden poistaminen massanvaihdolla. Rakennusten lattioiden alapuoliset maat jätettiin paikoilleen. Saimaan rantaan rakennettiin rantapenger estämään eroosion mukana kulkeutuvien aineiden pääsy Saimaaseen.

Atomiabsorptiospektrometri

Atomiabsorptiospektrometriaa (AAS) käytetään alkuaineiden kuten metallien määrityksiin. Määrityksessä nestemäinen näyte johdetaan laitteeseen, jossa näyte hajotetaan kuumentamalla se atomeiksi. Tutkittavan alkuaineen atomit viritetään näkyvän valon avulla viritystilaan, jolloin atomi absorboi valoa. Säteilyä absorboituu sitä enemmän, mitä enemmän atomeja näytteessä on. Ilmaisimeen muodostuvan spektrin perusteella määritetään yhdiste tai alkuaine ja sen pitoisuus.

Massaspektroskopia

Massaspektroskopia perustuu tutkittavien molekyylien ionisointiin ja niiden pilkkomiseen kaasukromatografissa (1). Kaasumaiset Ionit ohjataan sähkökenttien (2) avulla magneettikenttään (3), joka lajittelee ionit molekyylipainon perusteella ja ohjaa ne ilmaisimeen (4). Ilmaisimessa syntyvästä spektristä määritetään yhdiste ja sen pitoisuus tietokoneen tietokannan perusteella.

Massaspektrometreja käytetään erityisesti orgaanisen kemian analyyseihin, esimerkiksi dioksiinien tunnistamiseen.

Pilaantuneiden maiden kunnostus, Työsuojelu

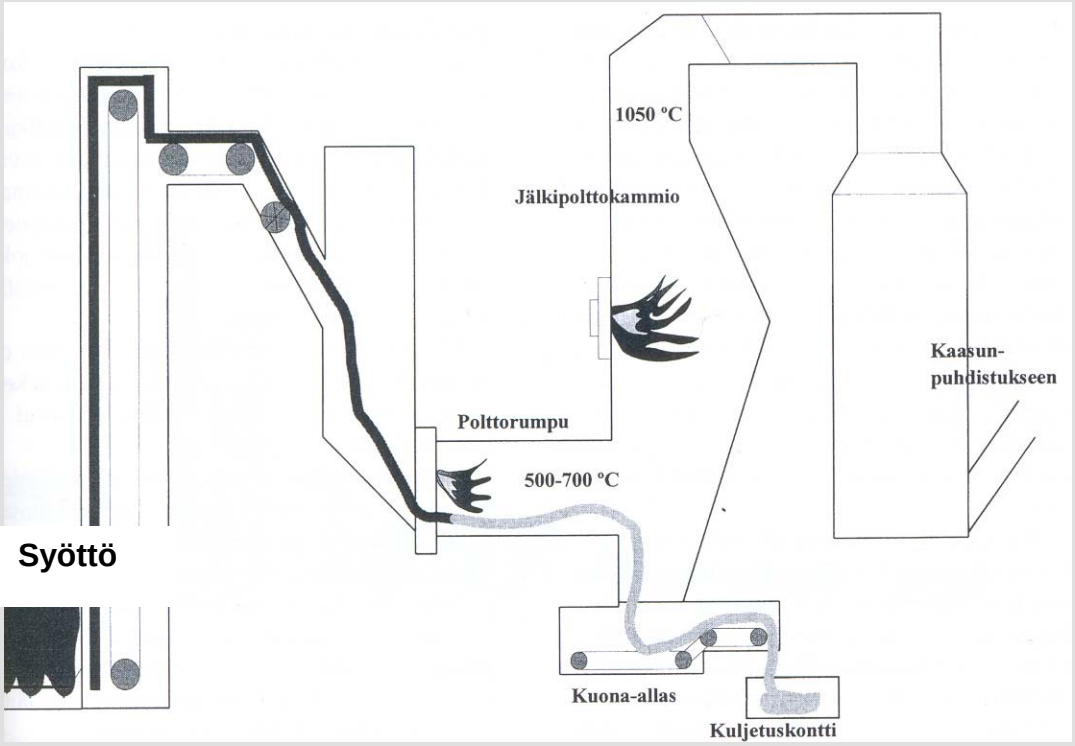
Työturvallisuuslaki (738/2002) määrää työsuojelua ja siinä on määritelty vaatimukset työpaikoille. Lakien pohjalta on annettu säädöksiä, jotka on otettava huomioon pilaantuneiden maiden tutkimuksissa ja kunnostuksessa.

Oheisessa taulukossa on esitetty yleispiirteisesti työsuojelutoimet kunnostushankkeen aikana.

KUNNOSTUSHANKKEEN TYÖVAIHE	TYÖSUOJELUTOIMET
Taustatiedot kohteesta	
Tutkimussuunnitelma	Tutkimuksen työsuojeluohjeet
Koekuopat, kairaus Näytteenotto ja analysointi (kenttä, laboratorio)	Varo- ja suojautumistoimenpiteet
Kunnostussuunnitelma, luvat	Turvallisuusasiakirja
Urakkasopimus	Työmaan turvallisuussuunnitelma Työterveyshuollon ohjeet
Kunnostustyömaan perustaminen	Perehdytys, opastus, tiedotus
Mahdollinen rakenteiden purku	Erityisohjeet
Pilaantuneen maan kaivu, kuljetus, läjitys	Työmaatarkastukset, mittaukset, valvonta
Pilaantuneen maan käsittely, loppusijoitus	Työmaatarkastukset, mittaukset, valvonta
Kaivannon täyttö, tasoitus, maisemointi	Työmaatarkastukset, mittaukset, valvonta
Jälkitarkkailu	Mahdolliset työsuojeluohjeet

Lisätietoa:
Pilaantuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluopas. Ympäristöhallinnon ohjeita 7/2006.
http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=60903&lan=fi

Pilaantuneiden maiden kunnostus, Terminen käsittely



Massapoltto Ekokem Oy:ssä.

Suomessa Ekokem Oy:llä on käytössään kaksi polttomenetelmää: massapoltto ja tehopoltto. Poltto soveltuu savimaita lukuun ottamatta kaikille maalajeille. Savimaa paakkuuntuu helposti kuumennettaessa ja paakut voivat tukkia käsittelylaitteistoa.

Massapoltossa orgaaniset haitta-aineet höyrystetään 500 - 700 ºC:n lämpötilassa, josta ne johdetaan jälkipolttokammioon hajotettavaksi 1050 ºC lämpötilassa. Massapolton kapasiteetti on 3 -10 t/h, riippuen käsiteltävän materiaalin ominaisuuksista ja haitta-ainepitoisuuksista. Massapoltto soveltuu orgaanisilla haitta-aineilla kuten voitelu- tai polttoöljyllä tai kloorifenoleilla pilaantuneille maille. Stabiloinnin esikäsittelynä käytettynä se soveltuu myös maille, jotka ovat pilaantuneet sekä epäorgaanisilla että orgaanisilla haitta-aineilla. Massapolton kustannus on noin 100 € / tonni, lisäksi on otettava huomioon kuljetuskustannukset, jotka voivat olla huomattavat.

Tehopoltossa vaikeasti hajoavat orgaaniset yhdisteet kuten dioksiinit, furaanit, PCB- ja PAH- yhdisteet hajotetaan yli 1300 ºC lämpötilassa. Raskasmetallit sulavat kiinteäksi liukenemattomaksi kuonaksi. Polttolaitteistoissa poistoteho on yli 99,99 % ongelmajätteillä ja yli 99,9999 % PCB:llä ja dioksiineilla. Poistokaasut vaativat korkealuokkaista puhdistustekniikkaa. Tehopolton kustannukset ovat noin 400 € / tonni.

Termisessä desorptiossa haihtuvat haitta-aineet erotetaan käsiteltävästä materiaalista lämmittämällä, jonka jälkeen haitta-aineita sisältävä kaasu puhdistetaan.

Pilaantuneiden maiden kunnostus, Kiinteytys ja stabilointi

Kiinteytyksen asemasekoitus (on site), Lemminkäinen Päällystysyksikkö.

Kiinteytysmenetelmissä haitta-aineiden haitallisuutta vähennetään sitomalla ne maa-ainekseen. Menetelmät voivat perustua sekä fysikaalisiin että kemiallisiin ilmiöihin. Kiinteytyksessä sideaine kapseloi haitta-aineet estäen niiden kulkeutumisen. Stabiloinnissa haitta-aineiden riskiä pienennetään muuntamalla ne vähemmän liukoiseen, kulkeutuvaan tai myrkylliseen tilaan. Menetelmissä pilaantuneeseen maahan lisätään sideainetta, yleensä sementtiä tai bitumia. Ennen kiinteytystä tai stabilointia on tehtävä maamassalle sopiva sideaineiden reseptöinti. Massalle tehdään liukoisuustesti, jolla varmistetaan, että haitta-aineita ei liukene yli sallitun määrän. Ennakkokokeet vaativat aikaa yleensä useita kuukausia.

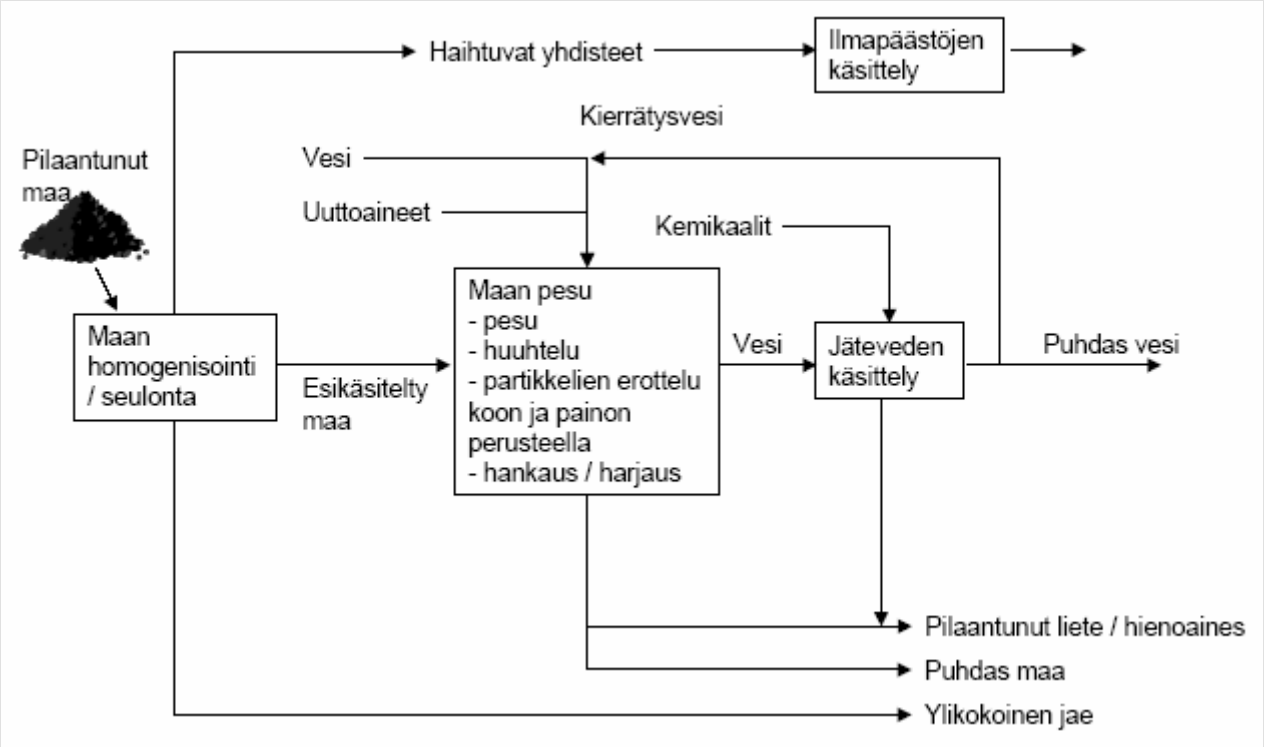
Kiinteytettyä/stabiloitua materiaalia voidaan usein käyttää esimerkiksi tie- tai kaatopaikkarakenteissa. Työhön vaaditaan yleensä ympäristölupa. Sementtikiinteytys/stabilointi soveltuu parhaiten epäorgaanisia haitta-aineita kuten raskasmetalleja, asbestia ja epäorgaanisia syanideja sisältäville hiekka- tai soramaille. Sementin korkea pH vähentää erityisesti useimpien metallien liukenemista. Bitumistabilointi soveltuu myös haihtumattomille orgaanisille haitta-aineille. Kiinteytys ja stabilointi ei sovellu haihtuville yhdisteille.

Menetelmät sopivat parhaiten karkearakeisille maa-aineksille, mutta myös moreenille sekä siltille ja joissakin tapauksissa myös saville. Humusmaat vaativat esikäsittelyä.

Käsittelykustannus on noin 30 – 80 € / tonni. Kiinteytys ja stabilointi tehdään yleensä siirrettävän laitteiston avulla kunnostettavassa kohteessa (on site) tai sen läheisyydessä.

Pilaantuneiden maiden kunnostus, Pesu - märkäerotusmenetelmä

Maapartikkeleihin sitoutuneet haitta-aineet erotetaan maa-aineksesta veden avulla. Pesua voidaan tehostaa uuttoliuosten, pinta-aktiivisten aineiden ja pH:n säätäjien avulla.



Maan pesun prosessikaavio (Penttinen 2001).

Useimmat orgaaniset ja epäorgaaniset haitta-aineet sitoutuvat maaperän hienorakeisiin savi- ja silttihiukkasiin sekä orgaaniseen ainekseen. Pesussa erotellaan hienot maarakeet ja niiden mukana haitta-aineet suuremmista rakeista. Tuloksena on haitta-aineet sisältävä likainen jae eli pesurejekti ja puhdas karkearakeinen jae.

Pilaantuneen maan pesu tapahtuu erillisillä pesulaitteistoilla, jotka voivat olla siirrettäviä tai kiinteitä. Maan pesu soveltuu parhaiten hiekkaisille maille. Suuri savi- tai silttipitoisuus vaikeuttaa käsittelyä. Pesemistä voidaan tehostaa kuumentamalla pesuvesi. Tällöin haihtuvat yhdisteet irtoavat tehokkaasti maaperästä. Höyrystynyt vesi ja haitta-aineet vaativat jälkikäsittelyä. Pestyä maata voidaan käyttää esim. kaatopaikoilla jätteiden peittämiseen.

Pilaantuneen maan pesu tapahtuu yleensä laitteistoissa, jotka voivat olla siirrettäviä tai kiinteitä. Laitteistojen kapasiteetit ovat noin 5 - 20 t/h. Siirrettävää käsittelylaitteistoa käytettäessä tulee käsittelyalueella olla tiivis asfaltti- tai vastaava kerros, jolla estetään pesuvesien kulkeutuminen ympäristöön. Pesurejekti ja -vesi vaativat yleensä jatkokäsittelyä.

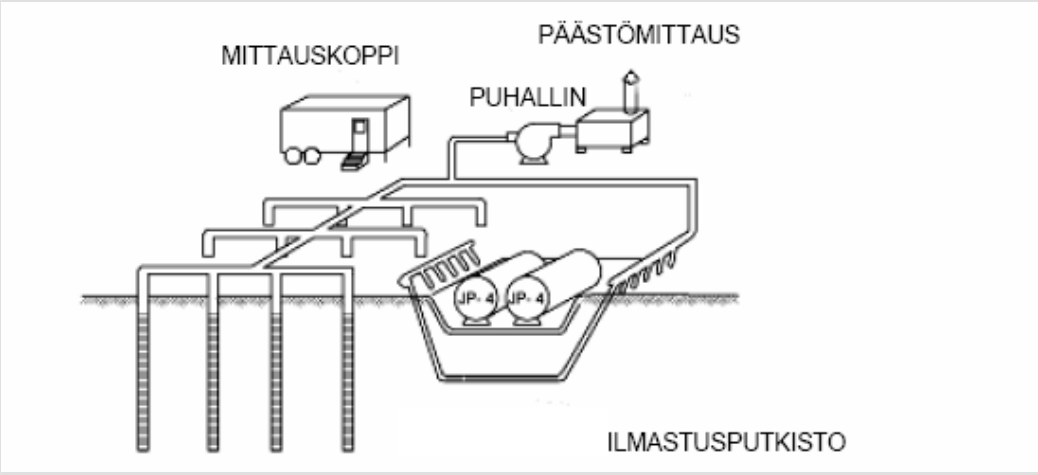
Käsittelykustannukset ovat noin 40 – 80 € / tonni.

Pilaantuneiden maiden kunnostus, Biologiset menetelmät

Biologisissa menetelmissä mikrobit hajottavat orgaaniset haitta-aineet vedeksi ja hiilidioksidiksi. Yleensä haitta-aineet ovat helposti hajoava öljyhiilivetyjä tai kloorattuja liuottimia. Tehokas hajoaminen vaatii sopivan lämpötilan, pH:n, kosteuden, happea ja ravinteita. Biologisten menetelmien soveltaminen edellyttää huolellista seurantaa ja prosessin hallintaa.

Yksinkertaisimmillaan menetelmällä kunnostetaan pilaantuneita maita tai pilaantunutta pohjavettä **luontaisessa biohajoamisessa,** in situ. Haitta-aineet eivät saa levitä tai kulkeutua eikä ihmisten tai ympäristön altistumista tapahtua. Suurimolekyyliset orgaaniset yhdisteet sitoutuvat yleensä maarakeisiin ja ovat usein vaikeasti hajoavia. Suomen kylmä ilmasto hidastaa biohajoamista. Syvemmällä maaperässä ja pohjavedessä tasainen lämpötila, noin + 5 - 10 ºC läpi vuoden, edistää hajoamista.

Kompostoinnissa pilaantunut maa-aines sijoitetaan kompostointiaumoihin tai bioreaktoreihin. Hapen saannin lisäämiseksi kompostoitavaan massaan sekoitetaan kuohkeuttavia aineita, esimerkiksi puun kuorta, kääntämällä aumat säännöllisesti tai asentamalla kompostiin ilmastointiputkia, joiden avulla kompostia voidaan myös lämmittää. Kompostimassaan voidaan lisätä ravinteita prosessin nopeuttamiseksi. Pienimolekyylisimmät, haihtuvimmat, yhdisteet hajoavat aumoissa nopeasti noin 2 - 4 viikossa. Tavanomainen aumakompostointi kestää ulkona Suomen oloissa usein vuosia. Öljytuotteista hitaimmin hajoavia ovat öljypiki (bitumi) ja vastaavat suurimolekyylisiä yhdisteitä sisältävät aineet. Bioreaktoreissa prosessi on tehokkaampi ja käsittelyaika lyhyempi.



Biologinen ilmahuuhtelu (Penttinen 2001).

Biologisessa ilmahuuhtelussa maaperään johdetaan happea tai ilmaa, jolloin hajoaminen nopeutuu ja luontainen biohajoaminen tehostuu in situ. Menetelmä eroaa huokosilmakäsittelystä siten, että ilma johdetaan maahan alhaisella paineella, jotta mikrobiaktiivisuus lisääntyisi.

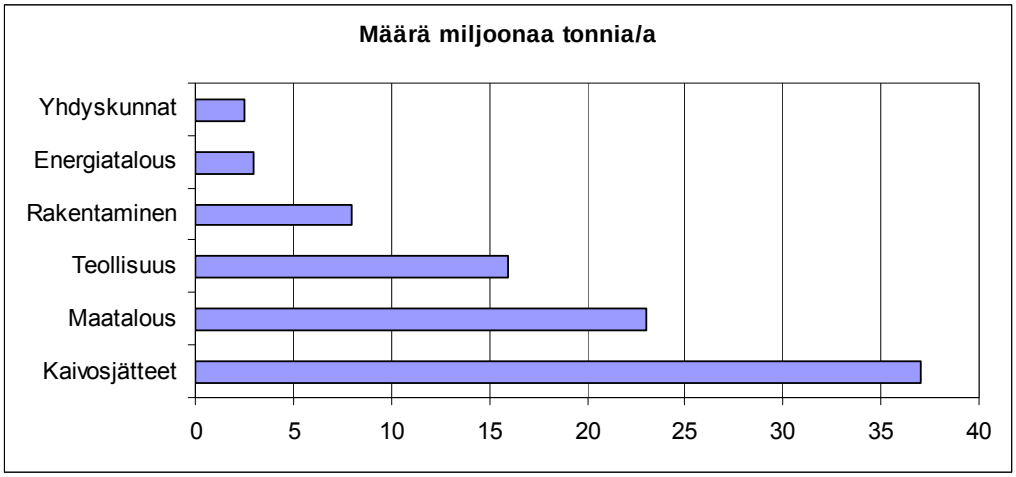
Tehostetussa biologisessa puhdistuksessa maahan tai pohjaveteen syötetään mikrobeja ja ravinteita injektointikaivojen kautta. Parhaiten menetelmä soveltuu suhteellisten alhaisten haitta-ainepitoisuuksien käsittelyyn.

5. KAATOPAIKKARAKENTAMINEN

5.1 JOHDANTO

Jätehuolto kehittyi pitkään muuta ympäristösuojelua hitaammin. Ennen 1990- lukua merkittävä osa jätteistä sijoitettiin lähes suunnittelemattomasti rakennetuille kaatopaikoille. Huomattava osa kaatopaikoista oli pohjavesialueiden sorakuopissa tai soiden reunoilla. Ongelmajätelaitos valmistui 1980-alussa Riihimäelle, jolloin ongelmajätteiden keräys voitiin järjestää asianmukaisesti. Tätä ennen ongelmajätteitä vietiin kaatopaikoille. Ongelmia vähensi se, että aikaisemmin jätteitä – erityisesti ongelmajätteitä - syntyi vähemmän. Laajemmin kemikaalien käyttö alkoi 1960- ja 1970-luvuilla, jolloin kaatopaikkojen rakentaminen tehtiin vielä lähes suunnittelemattomasti. Tämän ajan kaatopaikoilla lienevät suurimmat riskit. Tätä vanhemmat kaatopaikat ovat lähinnä vanhoja komposteja, jotka sisältävät hajoavaa orgaanista ainesta. Suomessa oli vuonna 1996 vielä noin 500 käytössä olevaa ja noin 1200 käytöstä poistettua kaatopaikkaa. Käytöstä poistettu kaatopaikka on kunnostettunakin aina päästölähde ja mahdollinen ympäristöriski.

1990-luvun alkupuolen jätemäärät, jotka vastaavat likimain myös nykyisiä määriä, on esitetty kuvassa 5.1. Jätteitä syntyi kaikkiaan noin 90 miljoonaa tonnia, eli noin 20 tonnia asukasta kohden vuodessa. Yhdyskuntajätteiden määrä oli vain noin 3 %. Pääosa jätteistä syntyi tuotannollisesta toiminnasta.



Kuva 5.1. *Jätekertymät.(Ympäristöministeriö 1996)*

1990-luvulla jätehuolto kehittyi merkittävästi. Tähän vaikutti Suomen liittyminen Euroopan Unioniin ja kaiken kaikkiaan muutokset yhteiskunnassa ja sen myötä myös lainsäädännössä. Entinen meno ei enää voinut jatkua.

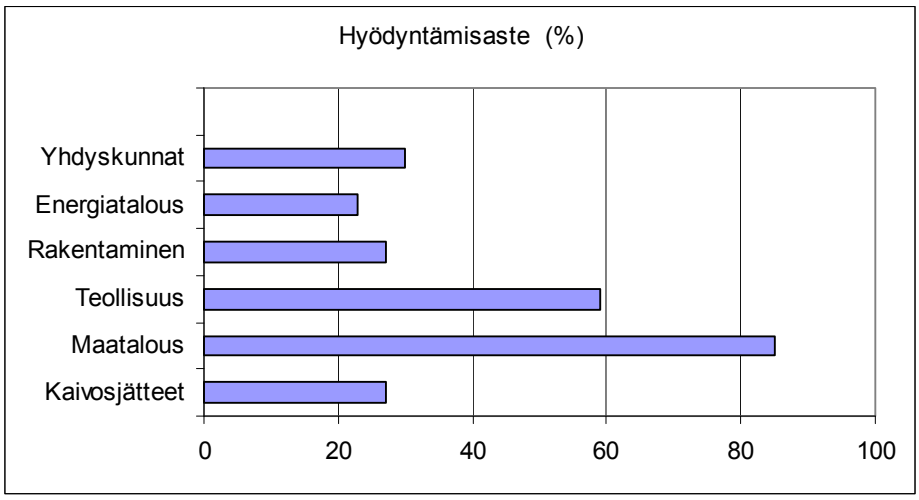
Vuonna 1993 uusittiin **Jätelaki** (1993/1072). Se korostaa huolehtimaan siitä, että jätteitä syntyy mahdollisimman vähän. Toiseksi korostetaan sitä, että tuotannossa käytetään säästeliäästi raaka-ainetta ja että materiaaleja kierrätetään ja raaka-aineita korvataan jätteillä. Taloudellisesti käyttökelpoista tekniikkaa ei ole kuitenkaan vielä olemassa kaiken jätteen kierrättämiseksi materiaalina tai energiana; tarvitaan jätteen turvallista sijoittamista kaatopaikoille.

Lain mukaan jätteen haltijan on pääsääntöisesti huolehdittava jätehuollon järjestämisestä. Yhdyskuntajätehuollon järjestävät kuitenkin kunnat, jotka ovat usein perustaneet tätä varten alueellisia jätehuoltoyhtiöitä. Jäte on hyödynnettävä, jos se on teknisesti mahdollista ja jos siitä ei aiheudu kohtuuttomia lisäkustannuksia. Ensisijaisesti on pyrittävä hyödyntämään jätteen sisältämä aine ja toissijaisesti sen sisältämä energia.

Jäteverolla halutaan vaikuttaa siihen, että jätteiden hyödyntäminen lisääntyy ja kaatopaikalle sijoittaminen vähenee. Jäteverollista on jätteen lopullinen sijoittaminen kaatopaikalle. Veroa ei kanneta jätteistä, joita toimitetaan yksityisille, lähinnä teollisuuden, omille kaatopaikoille. Veroa ei myöskään kanneta jätteestä, joka hyödynnetään kaatopaikalla. Kaatopaikasta erilliselle maan ja kallioperän ainesten sijoitusalueelle sijoitettavat ainekset ovat myös verottomia. Vero määräytyy jätteen painon perusteella ja se on 30 euroa tonnilta jätteen laadusta riippumatta.

Jätteiden hyötykäyttö kasvaa, joskin verrattain hitaasti. Kuvassa 5.2 on esitetty jätteiden hyödyntämisasteet 1990-luvun puolivälissä. Valtakunnallisessa jätehuoltosuunnitelmassa esitettyjen tavoitteiden mukaan yhdyskunta-, talonrakennus- ja teollisuusjätteistä olisi ollut hyödynnettävä vähintään 70 prosenttia vuonna 2005. Tavoitteeseen ei kaikilta osin päästy.

Yhdyskuntajätteiden hyödyntäminen on lisääntynyt muun muassa paperinkeräyksen tehostuessa. Merkittävä muutos on ollut biojätteen erilliskeräys ja sen käsittely kompostoimalla tai mädättämällä. Biojätteen käsittelyllä on vähennetty hallitsemattomasti syntyvää metaanikaasua, joka on merkittävä kasvihuonekaasu. Valitettavasti kompostituotteiden kysyntä on liian vähäistä ja osa tuotteista joudutaan sijoittamaan kaatopaikoille. On luultavaa, että tulevaisuudessa suurempi osa orgaanisesta aineksesta käytetään energiana hyödyksi.



Kuva 5.2. *Jätteiden hyödyntämisasteet 1995 .(Ympäristöministeriö 1996)*

Yhdyskuntajätteiden hyödyntämiseksi energiana on Suomessa rakenteilla ja suunnitteilla useita jätteiden polttolaitoksia. Jätepolttoaineen usein sisältämät kloori-, natrium-, kalium- ja alumiinipitoisuudet sekä polttoaineen laatuvaihtelut saattavat aiheuttaa polttokattilassa teknisiä ongelmia, mm. kuumakorroosiota, kattilan likaantumista ja jopa kattilan tukkeutumista. Uusien jätteiden polttolaitos-

ten savukaasujen tiukat puhdistusvaatimukset ja käyttöongelmat vaativat usein erillisiä jätteidenpolttokattiloita. Taloudellisista syistä johtuen niitä voidaan rakentaa vain suurten asutuskeskusten läheisyyteen, jossa jätteitä syntyy riittävästi.

Koska jätteitä ei jätelain mukaan saa hylätä tai käsitellä hallitsemattomasti, on rakennettava turvallisia ja pitkäikäisiä kaatopaikkoja. Rakentamisessa on käytettävä parasta taloudellisesti käyttökelpoista tekniikkaa sekä mahdollisimman hyviä terveys- ja ympäristöhaittojen torjuntamenetelmiä. Jätteet on kerättävä ja pidettävä yleensä toisistaan erillään. Jätteet on käsiteltävä jossakin lähimmistä asianmukaisista jätteen käsittelypaikoista, jätehuolto on pyrittävä suunnittelemaan, järjestämään ja rahoittamaan siten, että maahan saadaan sopivasti erilaista käsittelyä edellyttäviä jätteiden käsittelypaikkoja. Nämä vaatimukset ovat johtaneet alueellisten, usein kuntien omistamien kaatopaikkojen rakentamiseen.

Kaatopaikkoja koskeva **valtioneuvoston päätös** (VNp861/97) myöhemmin tehtyine täydennyksineen täsmentää jätelain ja –asetuksen kaatopaikkoja, muun muassa rakentamista, koskevia säännöksiä ja määräyksiä.

5.2 PÄÄSTÖT YMPÄRISTÖÖN JA KAATOPAIKAN SIJOITTAMINEN

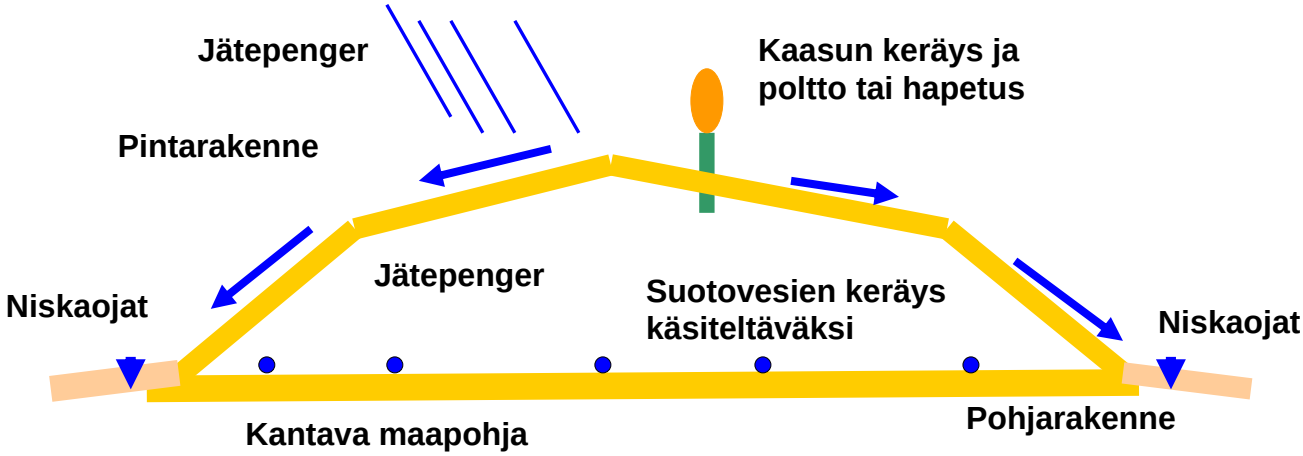
Kaikki materia on kaiken aikaa mukana luonnon kiertokulussa. Kierto voi olla hidasta, mutta vuosien, vuosikymmenten ja vuosisatojen aikana materiaalivirrat kasvavat usein merkittäviksi. Kiertoon vaikuttavat monet tekijät, kuten sadevedet ja niiden aiheuttamat pintavirtaukset. Kun kaatopaikka on suunnittelemattomasti rakennettu, sinne sijoitetuista jätteistä vapautuvia haitta-aineita siirtyy pikku hiljaa ympäristöön ja aiheuttavat ympäristön pilaantumista ja riskin sekä ihmisille että luonnonympäristölle.

Materiaalia siirtyy hallitsemattomasti rakennetuilta kaatopaikoilta erityisesti sadevesien mukana. Vettä sataa Suomessa vuosittain keskimäärin 600 mm eli 6 000 m^3 hehtaaria kohti ja päivässäkin lähes 20 m^3. Osa vedestä haihtuu välittömästi tai myöhemmin muun muassa kasvien välityksellä, mutta noin puolet jatkaa valumista maanpinnalla tai syvemmällä maassa tai kaatopaikalla myös jätepenkereessä. Vedet liuottavat ja huuhtovat jätteistä aineita, myös haitta-aineita, mukaansa jolloin suoranaisia haitallisia vaikutuksia kohdistuu pinta- ja pohjavesiin ja välillisesti myös muuhun ympäristöön kuten eläimiin ja kasvillisuuteen.

Kaatopaikkojen orgaanisen aineksen hajoaminen kestää useita vuosikymmeniä. Orgaaninen aines hajoaa vedeksi ja kaasuiksi, lähinnä metaaniksi ja hiilidioksidiksi sekä ravinteiksi: fosfori- ja typpiyhdisteiksi. Suuret kaasumäärät purkautuvat ilmakehään ja ravinteet siirtyvät vesien mukana ympäristöön. Myös kaatopaikkapalot, roskaantuminen ja haittaeläimet voivat aiheuttaa terveys- ja ympäristöhaittaa. Liikenteen suuri määrä voi vähentää kaatopaikan lähialueen turvallisuutta ja viihtyisyyttä. Luonnonympäristöstä poikkeava rakentaminen voi vaikuttaa maisemaan ja välillisesti viihtyisyyteen.

Uudet kaatopaikat on rakennettava turvallisesti niin, että sinne sijoitetut materiaalit pysyvät kaatopaikalla tai niiden annetaan poistua sieltä hallitusti veden ja kaasujen mukana. Kaatopaikan rakenne muistuttaa tällöin yleensä kalakukkoa, jossa

on tiivis käytännössä vettäläpäisemätön pohjarakenne, jonka päältä vesi kerätään yleensä tasausaltaaseen ja johdetaan edelleen vesienkäsittelyyn (kuva 5.3). Vettä tulee jätteiden mukana, kaatopaikan käytön aikana sadevesistä ja myös jonkun verran käytön jälkeen rakennettavan pintakerroksen läpi suotautuvista vesistä. Veden mukana kulkeutuvat yhdisteet poistetaan kaatopaikkavedenkäsittelyssä.



Kuva 5.3 . *Kaatopaikan periaatteellinen rakenne.*

Kaatopaikkavedet johdetaan usein yhdyskuntien tai teollisuuden jätevesien käsittelylaitokseen. Käsittelyssä on otettava huomioon kaatopaikkaveden erityispiirteet: matala lämpötila, orgaanisen aineksen heikko biohajoavuus, veden määrän ja laadun vaihtelu ja mahdolliset myrkylliset aineet. Kaatopaikan typpikuorma vastaa usean tuhannen asukkaan aiheuttamaa typpikuormaa yhdyskuntajätevedessä.

Suotautuvaa vesimäärää vähennetään kaatopaikan sulkemisen jälkeen pintarakenteella. Pintarakenteeseen rakennetaan kaasunkeräysrakenne, joka kerää kaasut käsiteltäviksi. Kaatopaikan pohja- ja pintarakenteista on kerrottu tarkemmin luvussa Tiivistysrakenteet.

Suurin osa kaatopaikkakaasuista – hiilidioksidi ja metaani - syntyvät orgaanisen aineen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Metaanin ilmastoa lämmittävä vaikutus on 23-kertainen hiilidioksidiin verrattuna. Muita kaasuja ovat typpi, happi ja vety, joita syntyy orgaanisen aineksen hajoamisen alkuvaiheessa, vesihöyry, haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja rikkivety.

Vaikka nykyaikainen kaatopaikka on turvallinen, vähennetään ympäristöriskejä myös kaatopaikan sijoituspaikan valinnalla. Kaatopaikkaa ei saa sijoittaa pohjavesialueelle, suolle, tulvavaaran alaiselle maalle tai kallioperän ruhjealueelle. Kaatopaikkaa ei saa rakentaa myöskään vedenhankintaan tai virkistyskäyttöön tarkoitetun vesistön läheisyyteen. Koska kaatopaikan pohja- ja pintarakenteet sekä vedenkeräysrakenteet vaurioituvat pohjamaan painuessa, ei kaatopaikkaa saa rakentaa pehmeikköalueelle.

Aikaisemmin kaatopaikoille vietiin lajittelemattomia jätteitä. Nykyisin kaikki jätteet on esikäsiteltävä. Tämä vähentää merkittävästi suotovesiin liukenevia aineita ja jätteistä kehittyvän kaasun määrää.

5.3 KAATOPAIKKAKELPOISUUS JA KAATOPAIKKALUOKAT

Jäte on aine tai esine, jonka sen haltija on poistanut, aikoo poistaa taikka on velvollinen poistamaan käytöstä.

Jätteen ominaisuudet määrittävät sen kaatopaikkakelpoisuuden, jätteiden käsittelytavan ja sen minkälaiselle kaatopaikalle jäte voidaan sijoittaa. Luokituksen perusteella kaatopaikat jaetaan kolmeen ryhmään:

- ongelmajätteiden kaatopaikat
- tavanomaisten jätteiden kaatopaikat
- pysyvien jätteiden kaatopaikat

Jäte, joka ei ole ongelmajätettä tai pysyvää jätettä, on tavanomaista jätettä.

Ongelmajäte on jäte, joka kemiallisen tai muun ominaisuutensa takia voi aiheuttaa erityistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Luokittelu tehdään jäteluettelon perusteella (**Yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelo, asetus 1129/2001**). Jäte on ongelmajäte, jos se on räjähtävä, hapettava, helposti syttyvä, syttyvä, ärsyttävä, haitallinen, myrkyllinen, syöpää aiheuttava, syövyttävä, tartuntavaarallinen, lisääntymiselle vaarallinen, perimää vaurioittava tai ympäristölle vaarallinen ja haittaa aiheuttavien aineiden pitoisuudet ylittävät ongelmajätteen raja-arvot. Ongelmajätteiksi katsotaan muun muassa maalit, öljyt, akut, paristot, loisteputket, lääkkeet, kylmälaitteet, sähkö- ja elektroniikkaromu, asbesti-pitoinen jäte, romuautot ja kestopuu. Monet kunnat ovat laatineet omia ongelmajäteoppaita.

Jätteen kaatopaikkakelpoisuuden selvittämisvelvollisuus on jätteen haltijalla. Kaatopaikkakelpoisuuden arviointi perustuu kaatopaikkakelpoisuustestiin tai asiantuntija-arvioon. Jäte, joka on asumisessa syntynyttä, ei vaadi kaatopaikkakelpoisuusselvitystä. Jätettä ei saa laimentaa kaatopaikkakelpoisuuden täyttämiseksi. Sen sijaan kiinteytys tai stabilointi on sallittua.

Jätteen arvioinnissa tarkastellaan jätteen koostumusta ja alkuperää, jätteen orgaanisen aineksen määrää ja hajoavuutta, jätteen haitallisten aineiden määrää ja niiden liukoisuutta sekä jätteestä muodostuvan kaatopaikkaveden ominaisuuksia.

Pysyväksi (inertti) jäte määritetään liukoisuustestin perusteella. Pysyvästä jätteestä ei liukene merkittäviä määriä materiaalia suotovesiin.

5.4 KAATOPAIKAN SEURANTA

Kaatopaikan ympäristövaikutusten selvittämiseksi tehdään perustilaselvitys, joka on myöhemmän tarkkailun vertailukohta. Perustilaselvityksessä kuvataan alkutilanne ennen kaatopaikkatoiminnan aloittamista (luonnontila) tai vanhoilla kaatopaikoilla ennen tarkkailun aloittamista tai ennen sulkemista. Selvitykseen sisältyy muun muassa pinta- ja pohjavesitutkimukset. Sekä olemassa olevilla kaatopaikoilla jätetäytön hajoamistilan ja jätetäytön kaasunmuodostusselvitys. Kaatopaikan käytön ja jälkihoidon aikana tarkkailu tehdään lupaehtojen perusteella. Tarkkailu kohdistuu lähinnä pohja- ja pintavesiin, kaatopaikan sisäisiin vesiin, kaasun muodostukseen ja jätetäytön tilaan.

5.5 KAATOPAIKAN LOPETTAMINEN

Viime vuosina on kaatopaikkoja poistettu käytöstä runsaasti. Siihen ovat vaikuttaneet lainsäädännön muutokset muun muassa valtioneuvoston päätös (861/97) kaatopaikoista täydennyksineen ja valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005 (1998), joka asettaa kaatopaikkojen lukumäärän tavoitteeksi 50-80 kpl.

Kuva 5.4 . *Vanhan kaatopaikan, jossa on pilaantuneita maita, pintarakenteiden: bentoniittimaton, tiivistyskalvon ja suojageotekstiilin asentamista, (kuva Minna Leppänen).*

Lopettamiseen liittyvä hallinnollinen menettely on ollut horjuvaa ja vaatimustaso kirjava. Syynä ovat olleet sekä määräysten ja ohjeiden puute että kaatopaikkojen pitäjien kiire päästä eroon epämiellyttäviä yllätyksiä mahdollisesti tuottavista alueista. Tuloksena on koko joukko kaatopaikkoja, jotka on lopetettu tavalla, jota ei enää nykyisin hyväksyttäisi. Käytöstä poistetuista kaatopaikoista on myös aiheutunut haittoja, joita on jälkikäteen jouduttu korjaamaan suurin kustannuksin, kuten

Helsingin Myllypurossa (katso erillinen teemakortti, Myllypuron kaatopaikan kunnostus). On luultavaa, että moni puutteellisesti lopetetuista kaatopaikoista kunnostetaan ja lopetetaan uudelleen asianmukaisesti.

Kaatopaikan lopettamisessa kaatopaikka saatetaan sellaiseen tilaan, että sen päästöt ovat hallinnassa, jolloin niitä on rajoitettu mahdollisuuksien mukaan. Lopettamisen yhteydessä kiinnitetään yleensä erityistä huomiota pintavesikuormituksen vähentämiseen pintarakenteilla ja haitallisten metaanikaasujen hävittämiseen. Päästöt vanhoilta kaatopaikoilta voivat jatkua vuosikymmeniä. Orgaanisen aineen hajoaminen ja samalla kaatopaikan jälkihoito eri vaiheineen kestää tavallisesti 30-50 vuotta. Raskasmetalli- ja kloridipäästöt voivat jatkua huomattavasti kauemminkin. Seurantaa jatketaan kunnes ympäristöriskit todetaan merkityksettömäksi.

KIRJALLISUUTTA

Jätelaki 1993/1072. http://www.finlex.fi/fi/laki/.

Suomen ympäristökeskus, 2001. Kaatopaikkojen lopettamisopas. Ympäristöopas; 89. http://www.environment.fi/download.asp?contentid=12458&lan=fi

Suomen ympäristökeskus, 1998. Kaatopaikan tiivistysrakenteet / Minna Leppänen (toim.).Ympäristöopas; 36.
http://www.environment.fi/download.asp?contentid=12513&lan=fi

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/97) täydennyksineen.
http://www.finlex.fi/fi/laki/.

Ympäristöministeriö, 1996, Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005.

Ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta, asetus 1129/2001. http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072

Kaasunkeräys

Kaatopaikkakaasua syntyy orgaanisen jätteen hajotessa lähinnä metaaniksi, hiilidioksidiksi ja vesihöyryksi. Metaanin poltossa tai muulla tavalla hapetettaessa sen kasvihuonevaikutus vähenee jopa 95 %. Samalla vähenevät kaatopaikkakaasuista aiheutuvat hajuhaitat, joilla on suuri merkitys kaatopaikan lähialueella.

Kaasunkeräyskaivon poraus Koukkujärven jätteenkäsittelykeskuksessa.

Ennen kaatopaikkakaasun keräilyn aloittamista selvitetään kaatopaikan kaasuntuottomäärät, kaasun ympäristövaikutukset, kaasun käsittelytarve ja hyödyntämismahdollisuudet. Kaasupäästöjä ja kaatopaikkarakenteiden toimivuutta voidaan seurata jatkuvilla päästömittauksilla.

Kaatopaikkakaasut kerätään kaasunkeräyskerroksesta keräilyputkiston tai jätepenkereestä imukaivojen avulla ja johdetaan edelleen kaasun käsittelyyn. Yleisimmin käytetään pystyimukaivoja, koska niiden kaasunkeräysteho on suurin. Pystyimukaivoina käytetään Ø160…200 mm muovisia (PE) siiviläputkia. Pystykaivojen etäisyys on tyypillisesti 20…60 m. Vaakasalaojien etäisyys on 0…25 m.

Kaasu voidaan käyttää hyödyksi ja polttaa energiaksi tai paikallisesti soihtupolttimissa noin 1200º C lämpötilassa. Kaasua hyödynnettäessä se kuivataan. Keräyksessä on valvottava, että kaasun joukkoon ei pääse ympäristöstä räjähdysvaaraa aiheuttavaa happea. Hapen siirtymiseen vaikuttavat pintarakenteiden kaasunläpäisevyys- ja pumppauksen alipaine.

Jätekeskuksen toiminta

Jätteenkäsittelykeskukseen tuotavat jätekuormat punnitaan. Vastaanottohintaan vaikuttavat sekä jätteen määrä että sen laatu. Lajitellun ja hyötyjätteen hinta on edullisempi kuin lajittelemattoman ja sekajätteen.

Vaakatoiminnot on suurimmaksi osaksi automatisoitu. Ammattikuljettajilla on jäteautossaan kaukotunnistin, joka kertoo vaa'alle auton laskutus- ja muut tiedot. Kuormasta kirjataan tietoja muun muassa jätteen alkuperästä.

Jätekuormat tarkastetaan lastia purettaessa ja tarkastajat laativat tarkastuspöytäkirjat kuormista. Pöytäkirjoista lähetetään kopiot kuntien ympäristötarkastajille, joiden vastuulla on valvoa, että yrityksissä ja kiinteistöillä noudatetaan jätehuollosta annettuja määräyksiä. Kuormien tarkastukset, hintakannustimet ja huomautukset ovat parantaneet lajittelua merkittävästi. Nykyisin lähes kaikki kuormat on lajiteltu asianmukaisesti.

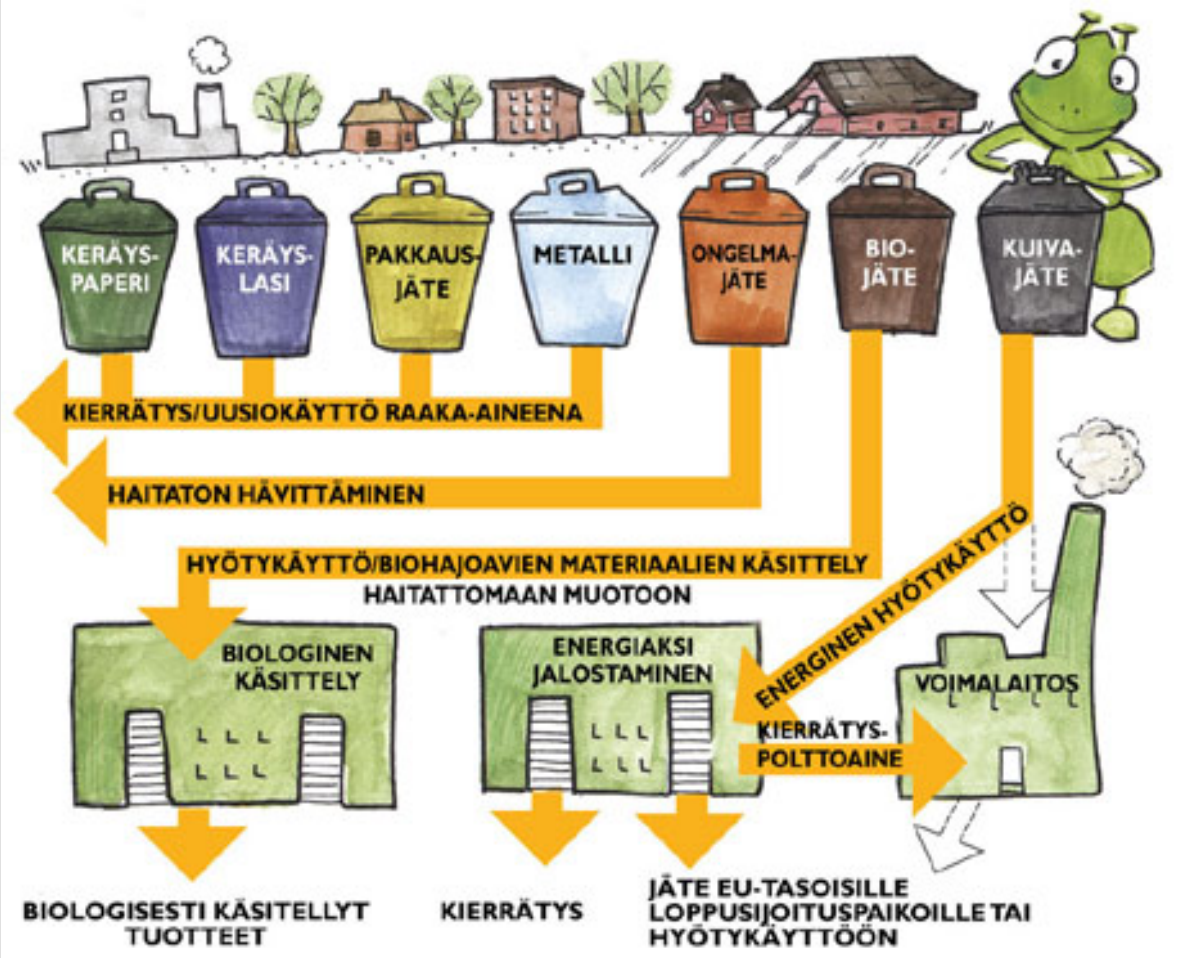
Jätekuormat ohjataan vaa'alta niiden ominaisuuksien mukaisille käsittelyalueille. Ongelmajätteet pidetään erillään kaikissa käsittelyn vaiheissa ja toimitetaan merkittyinä ongelmajätteiden hyväksyttyyn vastaanottoon.

Hyödyntämiseen kelpaamaton sekajäte sijoitetaan sille varatulle kaatopaikka-alueelle. Täyttöalueet jyrätään tiiviiksi kaatopaikkajyrillä ja peitetään päivittäin. Kun alue täyttyy, se peitetään tiiviisti määräysten mukaisilla maarakenteilla ja maisemoidaan.

Yhdyskuntajätteiden käsittely

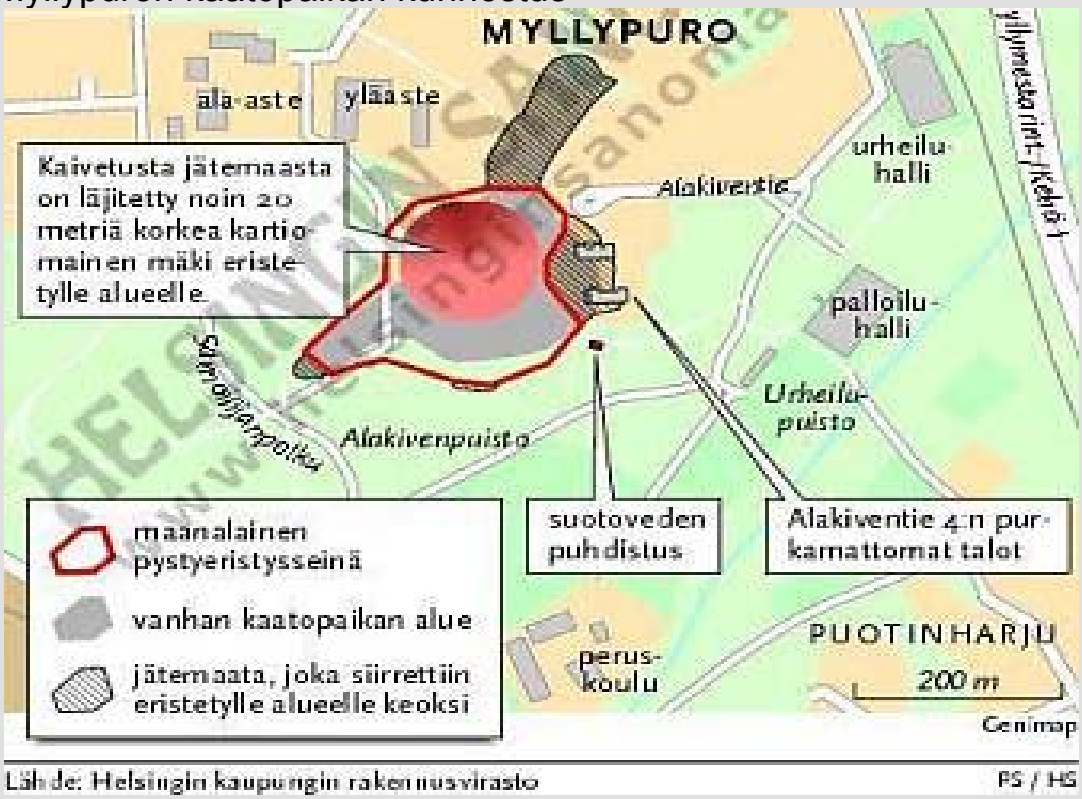
Jätteiden käsittelyssä noudatetaan Jätelain jätehierarkiaa, jonka mukaan jätteiden synnyn ennaltaehkäiseminen kuuluu kaikille. Toinen periaate on jätteiden ohjaaminen materiaalina hyötykäytettäviksi. Osa hyötykäyttöön ohjaamisesta tapahtuu tuottajavastuun nojalla kuten esimerkiksi sähkö- ja elektroniikkaromun, paperin, romurenkaiden, romuajoneuvojen ja pakkausten kohdalla.

Keskeistä jätehuollossa on syntypaikkalajittelu. Jätekeskukseen toimitettavasta loppusijoitettavasta jätteestä tulee hyötykäyttöön kelpaava jäte olla lajiteltuna pois jo syntypaikoilla. Mikäli lajittelu syntypaikalla on vaikeaa tai mahdotonta, lajittelupalvelua voi ostaa jätekeskuksesta.



Lähde: http://www.ekjh.fi/index.shtml

Myllypuron kaatopaikan kunnostus



Myllypuron Alakiventien alueella vuosina 1954-62 toimineen teollisuus- ja kotitalousjätteen kaatopaikan päälle rakennettiin 1970-luvulla 11 kerrostaloa, päiväkoti ja liikerakennus. Rakennuksissa asui yhteensä lähes 2000 henkilöä vuosina 1976-97. 1990-luvun lopulla tehtyjen tutkimusten perusteella osoittautui, että vanha kaatopaikka-alue oli soveltumaton asumiskäyttöön. Kaatopaikka päätettiin kunnostaa ja osa rakennuksista purkaa. Kaatopaikkamassoja arvioitiin olevan 165 000 m^3.

Kunnostuksessa siirrettiin alueen reunoilla ollut pilaantunut maa-aines keskelle kartion muotoiseksi noin parikymmentä metriä korkeasi mäeksi ja eristettiin pystyeristysseinällä ja pintarakenteella. Eristysseinän pituus on 850 metriä ja syvyys enimmillään 12 metriä. Seinän 0,6 metriä paksu tiivistyskerros on sementtibentoniittilietettä ja seinän keskellä on lukkoponteilla varustettu 2,5 mm paksu HDPE-kalvo. Pintarakenne on ongelmajätekaatopaikan vaatimusten mukainen ja siinä on kaasunkeräyskerros, bentoniittimatto, kalvo, kuivatuskerros ja pintakerros.

Paikalle rakennettaan puisto vuosina 2009–2011 Arkkitehtikilpailun voittaneen suunnitelman mukaisesti puistoon tulee led-valot, joiden valaisu muuttuu kävelijöiden mukaan. Lisäksi mäelle tehdään 20 teräsrakenteista huvimajaa. Lopulliset kunnostuskustannukset ovat lähes 30 miljoonaa euroa.

Myllypuron kaatopaikan aiheuttamat mahdolliset terveysvaikutukset on tutkittu Tutkimuksen mukaan kaatopaikka ei ole aiheuttanut asukkaille terveyshaittoja.

Lähde: http://www.hs.fi/asuminen/

6. TIIVISTYSRAKENTEET

6.1 JOHDANTO

Ympäristönsuojelulaki (86/2000) kieltää pohjaveden ja maaperän pilaamisen.

Yhteiskunnan tehtävänä on turvata sekä puhtaan juomaveden että rakentamismateriaalien saanti. Suunnittelemattomassa sora- ja hiekkavarojen käytössä on vaarana, että uusiutumattomat sora- ja hiekkavarat kulutetaan loppuun. Samalla menetetään mahdollisuus hyödyntää harjumuodostumissa syntyvää, uusiutuvaa luonnonvaraa, pohjavettä. Rannikkoseuduilla on paikoin jo pulaa sekä pohjavedestä että rakentamiseen soveltuvasta sorasta. Monin paikoin myös hiekka- ja soramuodostumien luonnon- ja maisemansuojelulliset arvot ovat hävinneet maa-ainesten oton seurauksena. Järkevällä maankäytön ohjauksella ja pohjaveden suojelulla turvataan pohjaveden hyvä laatu ja vähennetään vedenkäsittelytarvetta, ja sitä kautta säästetään kustannuksia sekä pienennetään terveysriskejä.

Pohjaveden ja maaperän pilaantumista voidaan estää ja rajoittaa tiivistysrakentein. Tiivistysrakenteita tehdään maanteiden varsille pohjavesialueilla suojaamaan pohjavettä tiesuolaukselta ja vaarallisten aineiden onnettomuusriskeiltä. Huoltoasemien tiivistysrakenteilla estetään haitta-aineiden leviäminen ympäristöön polttoaineita varastoitaessa ja käsiteltäessä. Jakeluasemista on annettu määräyksiä **kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista jakeluasemilla (415/1998).**

Pohjavesialueilla olevien ratojen lähiympäristössä on tehty myös pohjavesisuojauksia. Suurin riski on tällöin yleensä ratapihojen ympäristössä, joissa vaunut pysähtyvät ja junia järjestellään. Teollisuus- ja kaivosalueilla tiivistysrakenteita tarvitaan estämään tuotannossa syntyvien haitta-aineiden pääsy ympäristöön. Kaatopaikoilla tarvitaan pohja- ja pintarakenteita ohjaamaan suotovedet vedenkäsittelyyn ja pintavedet pois jätepenkereestä. Lisäksi pintarakenne varmistaa kaatopaikkakaasujen hallitun keräämisen ja hävittämisen. Kaatopaikkoja koskeva **valtioneuvoston päätös (VNp861/97)** myöhemmin tehtyine täydennyksineen ohjaa kaatopaikkojen tiivistysrakenteiden rakentamista.

Tiivistysrakenteet hyväksytetään ympäristöviranomaisilla.

6.2 POHJAVESIEN SUOJAUS TIEN KOHDALLA

Maanteiden pohjaveden pilaantumisriskit liittyvät tiesuolaukseen ja vaarallisten aineiden ja polttoaineiden kuljetukseen. Vaarallisia aineita kuljetetaan vuosittain maanteitse noin 12 - 14 milj. t. Pääosa kuljetuksista on palavien nesteiden (67 %) ja syövyttävien aineiden (15 %) kuljetuksia.

Tiesuolan käyttö liukkauden torjunnassa on lisääntynyt 1960-luvulta. Eniten suolaa käytettiin vuonna 1990, jolloin sitä levitettiin yli 150 000 tonnia. Nyttemmin määrät ovat vähentyneet n. 70 000 –100 000 tonniin vuodessa. Suolasta pääosa

on natriumkloridia ja pieni osa kalsiumkloridia. Suolaa käytetään pääosin vilkkaimmilla teillä lämpötilan ollessa lähellä nollaa ja pakkasta alle neljä astetta. Näitä teitä on noin 6300 km, lähinnä Etelä-Suomessa. Linjan Imatra–Kokkola eteläpuolella suolasta käytetään noin 85 – 90 %.

Pohjavesiriskejä voidaan pienentää suolausta vähentämällä, tieympäristöä pehmentämällä sekä suojakaiteita ja tiivistysrakenteita rakentamalla. Perinteisen suolauksen vaihtoehdoksi on kehitteillä uusia liukkauden poisto menetelmiä ja -aineita.

Uusien suolattavien teiden rakentamista pohjaveden muodostumisalueille vältetään ja jos uusi tie sijoitetaan pohjavesialueelle, toteutetaan suojaustoimet. Olemassa olevaa tietä parannettaessa tutkitaan tien siirtämistä pois riskialueelta. Suunnittelun aikana tehdään riskin arviointi sekä arvioidaan suojaustarve ja muut keinot vähentää riskejä. Tienpidon riskinarviointimenetelmä on hyvä apuväline suunnittelussa (Tiehallinto 2004).

Tiesuunnitelmassa esitetään suojauksen laajuus, vaativuusluokka ja kuivatuksen purkupaikat. Suojausmateriaaleja ei päätetä tiesuunnitelman yhteydessä. Suunnitelmasta pyydetään alueellisen ympäristökeskuksen lausunto. Suojauksen rakennussuunnitelman teettää Tiehallinto tai urakoitsija, kun vaadittuun suojausluokkaan kelpaava suojausmateriaali on valittu. Materiaalien laatuvaatimukset ja paksuudet saadaan ohjeista*:* **Tiehallinto, 2004. Pohjaveden suojaus tien kohdalla, Suunnitteluvaiheen ohjaus, Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset tai InfraRYL 2006, Osa I, Väylät ja alueet.** Suunnitelmassa varmistetaan mm. suojauksen pysyminen luiskissa ja läpivientien toteuttamiskelpoisuus.

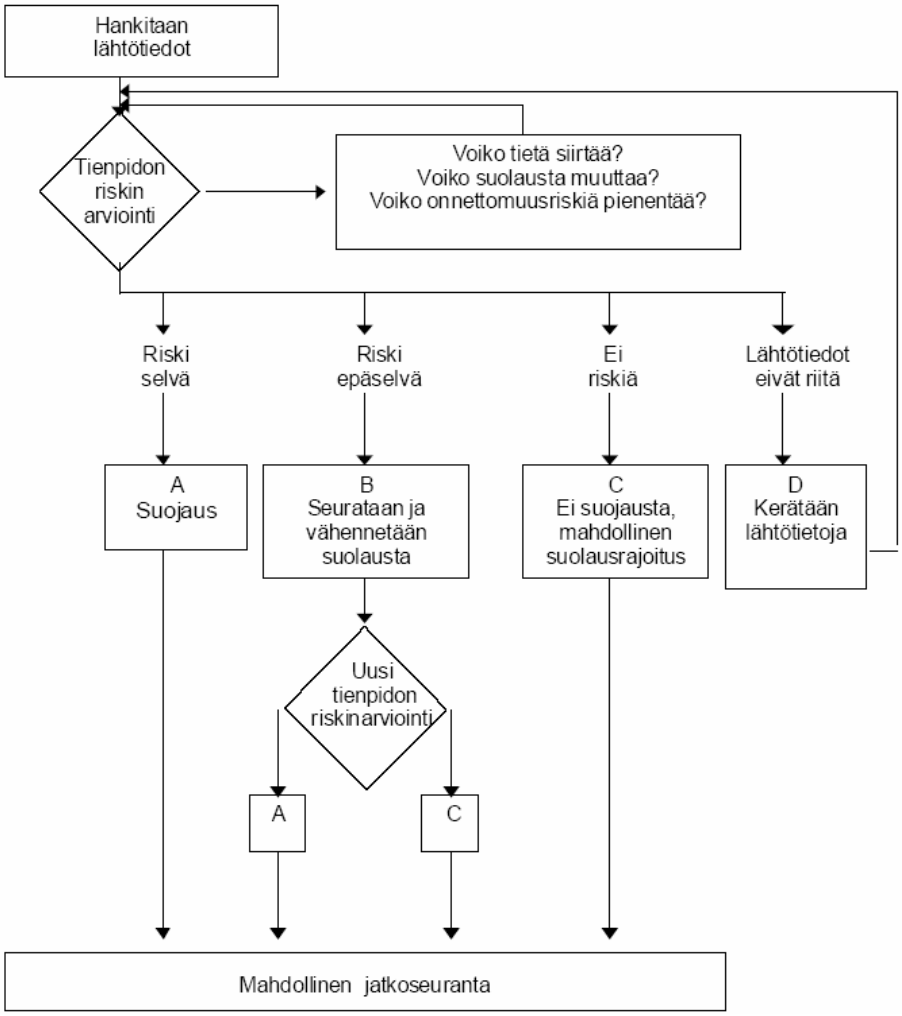
Rakentamisen aikana havaitut poikkeamat voivat edellyttää suunnitelmien muuttamista. Urakoitsijan on neuvoteltava muutoksista tilaajan kanssa ja tarvittaessa myös alueellisen ympäristökeskuksen kanssa. Urakoitsija mittaa ja raportoi rakentamisensa laadun sekä laatii kunnossapitoa ja pelastusviranomaisia varten toteutumapiirustukset. Rakennuttaja selvittää pistokokein raportoinnin oikeellisuuden.

6.2.1 Suojaustarpeen arviointi

Luiskasuojauksen tarpeeseen vaikuttavat: tien aiheuttama riski, pohjavesialueen merkitys ja pohjavesialueen herkkyys.

Pohjaveden laadulle on määritelty tavoitearvoja terveydellisin perustein ja korroosion vuoksi. Talousveden laatuvaatimusten mukaan kloridin enimmäisarvon tulisi olla 100 mg/l. Putkijohtojen korroosion vuoksi on Suomessa käytössä tavoitearvo 25 mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 2000). Suuri suolamäärä on haitallista myös kasvien kasteluvedessä.

Suojaustarpeen arviointi tehdään kuvan 6.1 mukaisesti. Suojaustarpeen arvioinnin yhteydessä on suunniteltava valumavesien purkupaikat pohjavesialueen ulkopuolelle.



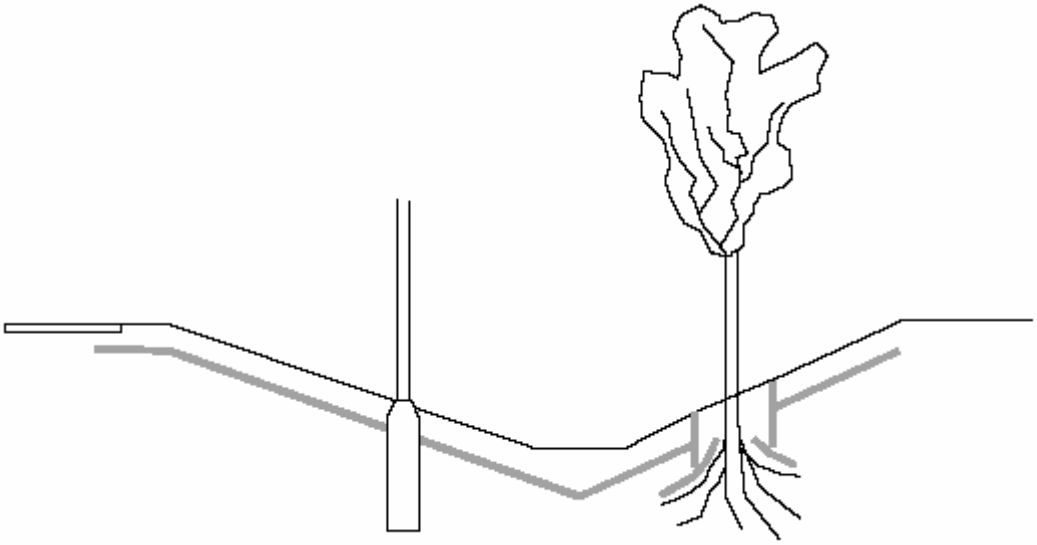
Kuva 6.1. *Pohjaveden suojaustarpeen arviointi tien rakentamisen yhteydessä (Tiehallinto 2004).*

Suojaus rakennetaan yleensä, kun pohjavesialuetta käytetään vedenhankintaan tai tien suolaus tulee olemaan yli 8 t/km/v tai vaarallisten aineiden kuljetuksia tulee olemaan yli 100 000 t/v. Lisäksi suojaus rakennetaan, mikäli riskit vedenottamolla tai suunnitellulla vedenottamolla ovat merkittäviä, esimerkiksi kloridipitoisuus on yli 25 mg/l. Suojauksen rakentamisen sijaan harkitaan kloridipitoisuuden seurantaa, suolauksen vähentämistä tai ojien kunnostusta pintavesien poisjohtamisen nopeuttamiseksi. Rakennetut luiskasuojaukset merkitään maastoon ja niiden toimivuutta seurataan pohjavesitutkimuksin.

6.2.2 Suojauksen rakenne

Autojen kaatumisen vähentämiseksi sisäluiskan tulisi olla loiva (1:4) ja taitteet pyöristettyjä ja ojan pohjassa vähintään 1 m levyinen tasanne. Tällöin suojaus on kohtuullisen helppo rakentaa. Tiivistyskerroksen materiaalin valumisen estämiseksi kaltevuuden tulisi olla enintään 1:3. Bentoniittimaton tai muovin yläreuna on ankkuroitava. Ulkoluiskissa voidaan sallia jyrkempiä kaltevuuksia. Suojauksen leveys on yleensä noin 10 metriä. Tällöin aurauslumi ei lennä suojauksen ulkopuolelle ja suurin osa säiliöautoista jää suojauksen sisään onnettomuustilanteissa.

Tarkemmin suojauksen rakenteet ja laajuudet on esitetty Tiehallinnon ohjeissa (Tiehallinto 2004).



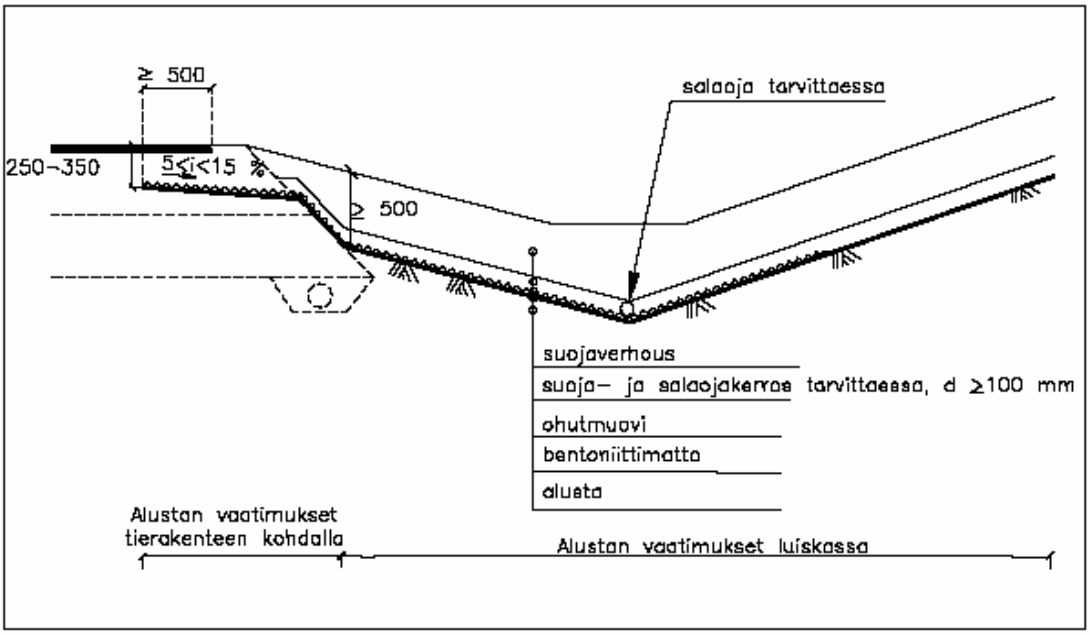
Kuva 6.2. *Opastustauluja ja muita laitteita ei sijoiteta ojan pohjan alueelle. Päällysteen ja suojauksen sauma ja läpiviennit vaativat huolellista toteutusta (Tiehallinto 2004, InfraRYL 2006).*

Kloridisuojausta käytetään, kun halutaan estää kloridipitoisten vesien pääsy pohjaveteen. Kloridisuojauksen vaatimukset ovat tiukemmat kuin onnettomuussuojausten ja ne suojaavat pohjavesiä myös onnettomuustapauksissa. Vaativa kloridisuojaus on toimintavarmin ja se voi olla tarpeen tärkeän vedenottamon lähialueella.

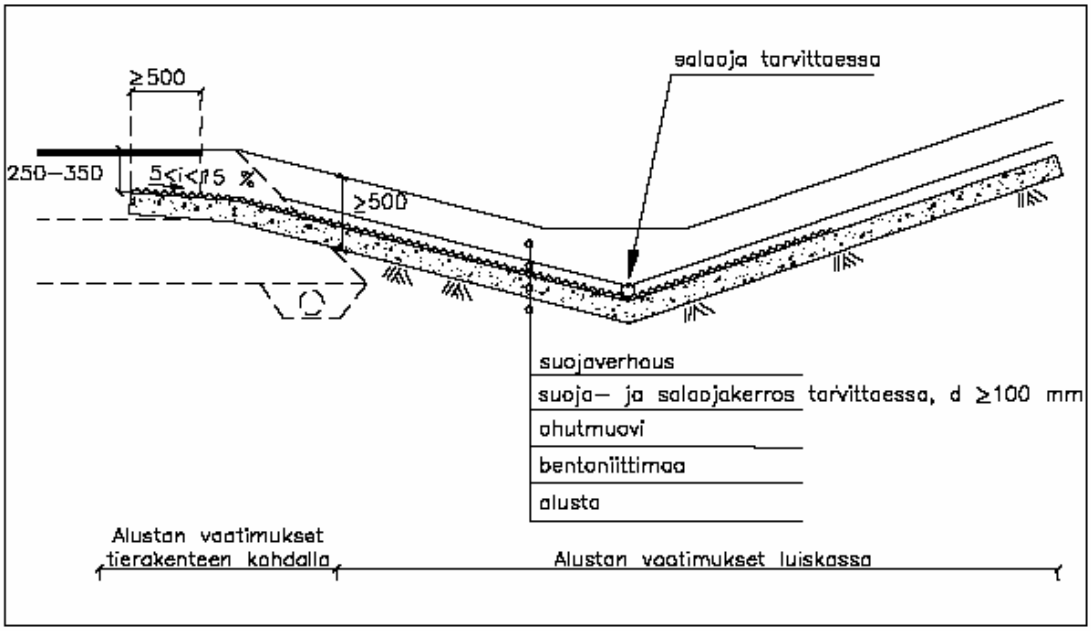
Suojauksen mitoituksen lähtökohtana on kloridisuojauksessa läpäisevä vesimäärä. Uutena rakenteista tehdään 10…100 kertaa laskennallista mitoitusta huonommin vettäläpäiseviä, koska routa ja kuivuminen löyhdyttävät rakennetta ja lisäävät läpäisevyyttä. Ojan pohjassa ja erityisesti valuma-alueen alapäässä käytetään normaalia varmempaa rakennetta, koska ojan pohjassa oleva reikä voi pilata koko suojauksen hyödyn.

Säiliöauto-onnettomuuden sattuessa vaaralliset aineet eivät saa tunkeutua alle 12 tunnissa tiivistyskerroksen läpi. Yleensä aineet imeytyvät suojaverhoukseen. Vaarallisimpia aineita ovat liuottimet. Polttoöljy etenee melko hitaasti silttisessä hiekassakin.

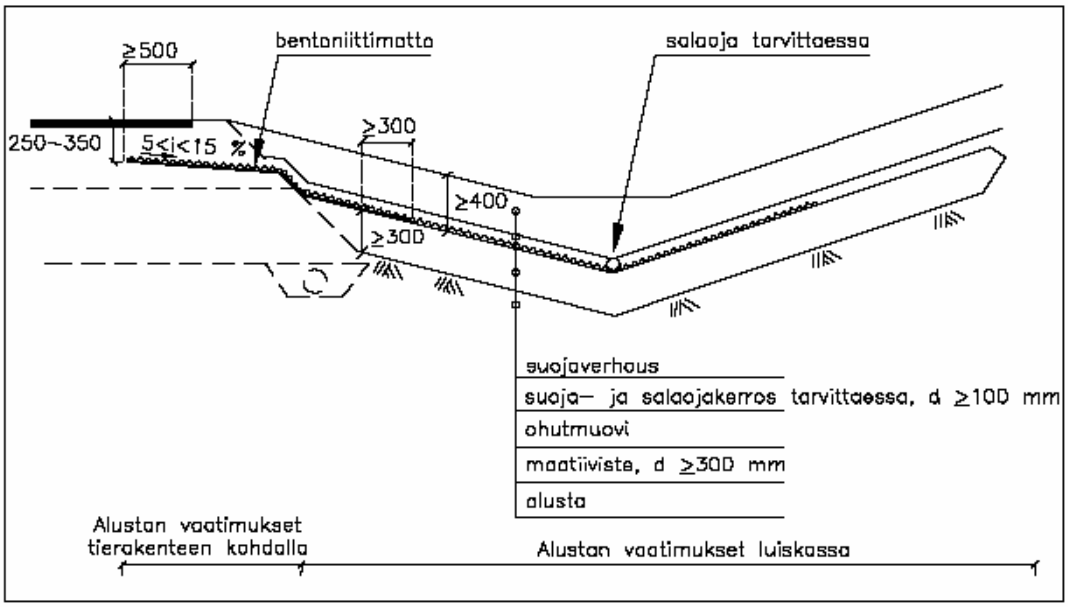
Suojarakenteiden on kestettävä yli ajavan kuorma-auton paino ilman, että tiivistyskerros vahingoittuu. Tiivistyskerrokset saavat jäätyä, mutta veden kapillaarista nousua märästä pohjamaasta rajoitetaan tiivistyskerroksen routimisen vähentämiseksi. Kuvissa 6.3 – 6.5 on esimerkkejä pohjavesisuojauksista.



Kuva 6.3. *Vaativa kloridisuojaus ja kloridisuojaus, suojaus bentoniittimatolla (Tiehallinto 2004, InfraRYL 2006).*



Kuva 6.4 . *Vaativa kloridisuojaus ja kloridisuojaus, suojaus bentoniittimaalla toteutusta (Tiehallinto 2004, InfraRYL 2006).*



Kuva 6.5. *Kloridisuojaus, suojaus maatiivistyskerroksella toteutusta (Tiehallinto 2004, InfraRYL 2006).*

Tiivistyskerroksen materiaalina käytetään yleensä bentoniittimattoa, bentoniittimaata tai maata. Suojaverhous suojaa tiivistyskerrosta kuormilta ja eroosiolta. Sen paksuus on yleensä noin 0,25 – 0,5 metriä. Paksuuteen vaikuttavat verhouksen sijainti ja suojattava materiaali.

Muovi ei ole varsinainen tiiviste, se vähentää tiivistyskerroksen kosteusvaihtelua, estää suojaverhouksen varisemisen tiivistysmateriaalin mahdollisiin halkeamiin sekä estää kasvien juurten tunkeutumista. Pohjavesisuojausalueilla kloridisuojauksissa, käytetään normaalia huonommin vettäläpäisevää päällystettä.

Tiivistysrakenteiden vedenläpäisevyys saa rakenteesta riippuen keskimäärin olla korkeintaan 1,0...5,0 x 10^{-9} m/s. Yksittäisen koetuloksen vedenläpäisevyys voi olla yleensä jonkin verran suurempi.

Tarkemmin rakenteet ja laatuvaatimukset on määritetty Tienrakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa ja työselityksissä (TYLT) osassa Pohjaveden suojausrakenteet.

6.3 KAATOPAIKKOJEN TIIVISTYSRAKENTEET

Kuva 6.6. *Kaatopaikan pohjarakenteita: tiivistyskalvo, kalvon suojakerros, kuivatuskerros salaojaputkineen ja päällimmäisenä liikennöintikerros (kuva Minna Leppänen).*

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (VNp 861/97) sisältää määräyksiä kaatopaikan pohja- ja pintarakenteista. Niiden suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon ne fysikaaliset, kemialliset ja biologiset rasitukset, jotka kohdistuvat rakenteisiin koko niiden pitkän elinkaaren aikana. Mineraaliset materiaalit, kuten savi ja siltti kestävät yleensä hyvin kemiallisia ja biologisia rasituksia. Mineraalisista materiaaleista tehdyt rakenteet voivat painua, kutistua, routia tai kestää huonosti eroosiota. Keinotekoisten materiaalien, jotka ovat yleensä muovia, ongelmallisia fysikaalisia rasituksia voivat olla UV-säteily ja lämpö.

Rakentaminen on tehtävä niin, että rasitukset eivät vaaranna rakenteiden pitkäaikaista toimintaa, koska rakenteiden korjaaminen on hankalaa tai mahdotonta.

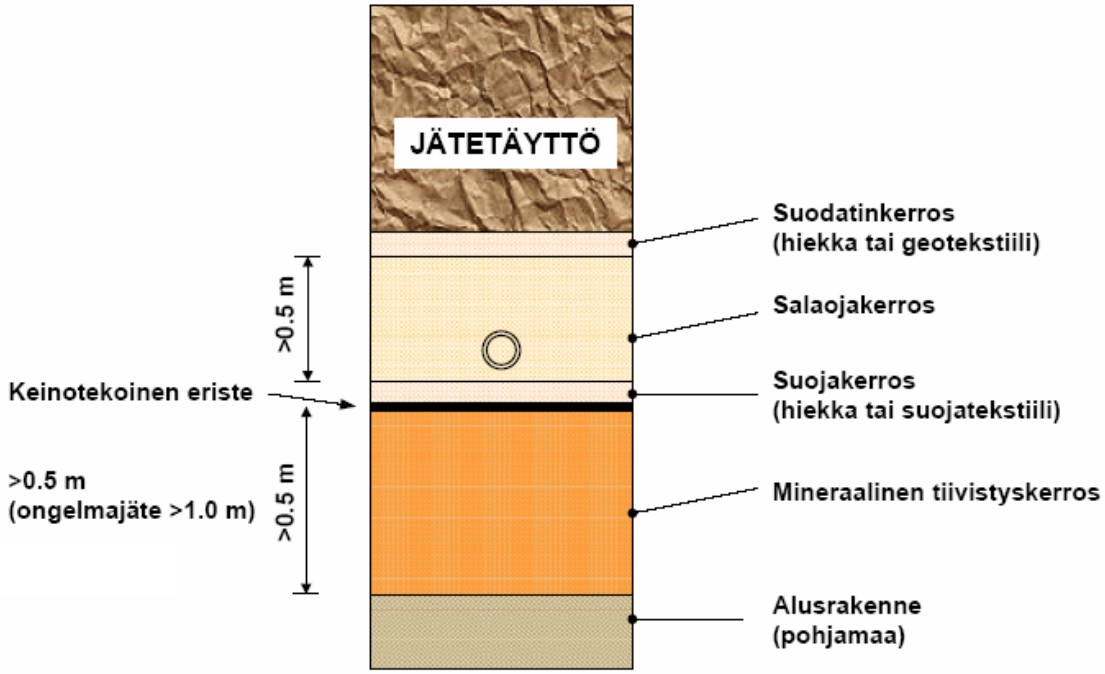
Kaatopaikkojen tiivistysrakenteiden suunnittelua, rakentamista ja laadunvalvontaa on yksityiskohtaisesti käsitelty **Suomen ympäristökeskuksen Ympäristöoppaassa 36; Kaatopaikan tiivistysrakenteet** (Leppänen 1998).

6.3.1 Kaatopaikan pohjarakenteet

Kantavan pohjamaan vedenläpäisevyyden ja paksuuden yhdistetyn vaikutuksen on vastattava kaatopaikoilla vaatimuksia:

- *Ongelmajätteen kaatopaikalla $k < 1{,}0 * 10^{-9}$ m/s, paksuus > 5 m*
- *Tavanomaisen jätteen kaatopaikalla $k < 1{,}0 * 10^{-9}$ m/s, paksuus > 1 m*
- *Pysyvän jätteen kaatopaikalla $k < 1{,}0 * 10^{-7}$ m/s, paksuus > 1 m*

Jos maaperän tiiviys ei luonnostaan vastaa vaatimuksia, on sitä parannettava rakennetulla tiivistyskerroksella. Käytännössä lähes aina joudutaan rakentamaan tiivistyskerros, koska huonosti vettä läpäisevät maapohjat eivät yleensä ole kantavia ja toisaalta taas sinänsä kantavien ja huonosti vettäläpäisevien silttimoreenien vedenläpäisevyys voi vaihdella liikaa. Tiivistyskerroksen paksuuden on oltava vähintään 0,5 m tavanomaisen jätteen ja pysyvän jätteen kaatopaikalla ja 1,0 m ongelmajätteen kaatopaikalla. Tavanomaisen jätteen ja ongelmajätteen kaatopaikan maaperän tai tiivistyskerroksen päälle on asennettava keinotekoinen eriste ja tämän päälle kuivatuskerros (salaojakerros), jonka paksuuden oltava vähintään 0,5 m (Kuva 6.7).



***Kuva 6.7**. Kaatopaikan pohjarakenteet (Kujala 2003).*

Alusrakenteen suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon jätetäytön kuormituksen aiheuttamat painumat ja vakavuus sekä suotovesien poisjohtamisen vaatimat kallistukset. Alusrakenteen riittävä kantavuus todetaan yleensä levykuormituskokeilla.

Mineraalisen tiivistyskerroksen tehtävänä on tehostaa suotovesien keräilyä ja vähentää haitta-aineiden kulkeutumista ympäristöön. Haitta-aineiden kulkeutumisen vaikuttavat suotautuminen, diffuusio ja materiaalin kyky sitoa esimerkiksi raskasmetalleja. Tiivistyskerros tehdään yleensä luonnon savesta, bentoniittimaasta tai trisoplastista tai niiden yhdistelmistä. Trisoplast ® on mineraalinen materiaali, joka sisältää hiekkaa ja bentoniittipolymeerigeeliä.

Keinotekoinen eriste täydentää mineraalista tiivistyskerrosta ja tehostaa suotovesien kokoamista. Kaksi erilaista tiivistyskerrosta varmistavat myös pohjarakenteen läpäisemättömyyttä; jos esimerkiksi mineraalisessa eristekerroksessa on paikoittain heikkouksia, on epätodennäköistä, että kalvo olisi rikki juuri samassa kohdassa ja päinvastoin. Keinotekoinen eriste on yleensä 2 mm paksu HDPE-kalvo tai tiivis asvaltti. Tiivis asvaltti rakennetaan kahtena kerroksena, joiden saumat ovat eri kohdissa.

Suunnittelussa, rakentamisessa ja materiaalin valinnassa on otettava huomioon: asennusaikainen kalvon lämpölaajeneminen tai kutistuminen, kalvon ankkurointi luiskissa, pitkäaikainen kemiallinen ja mekaaninen kestävyys. Läpivientien, kuten putkijohtojen, suunnittelun ja rakentamisen on oltava huolellista, koska yksittäinenkin huonosti tehty läpivienti voi pilata koko rakenteen.

Suojakerroksen tehtävänä on suojata keinotekoista eristettä ja tasata salaojituskerroksen aiheuttamia pistekuormia. Suojarakenteen valinnassa otettava huomioon rakentaminen ja sen vaatimat liikennekuormat.

Salaojitus kokoaa ja poistaa jätetäytöstä kertyvät suotovedet ja vähentää tiivistysrakenteen päälle muodostuvaa vesipainetta. Vedenpaine vaikuttaa suotovesien määrään, koska vedenvirtausnopeus tiivistyskerroksen läpi on kyllästyneessä maassa suoraan verrannollinen painekorkeuteen. Vedenpaine saa kohota enintään 1 metrin tiivistysrakenteen yläpinnan yläpuolelle. **Salaojakerroksen** vähimmäispaksuus on 500 mm ja vedenläpäisevyys $k > 10^{-3}$ m/s.

Suodatinkerros estää salaojakerroksen biologista, kemiallista ja mekaanista tukkeutumista.

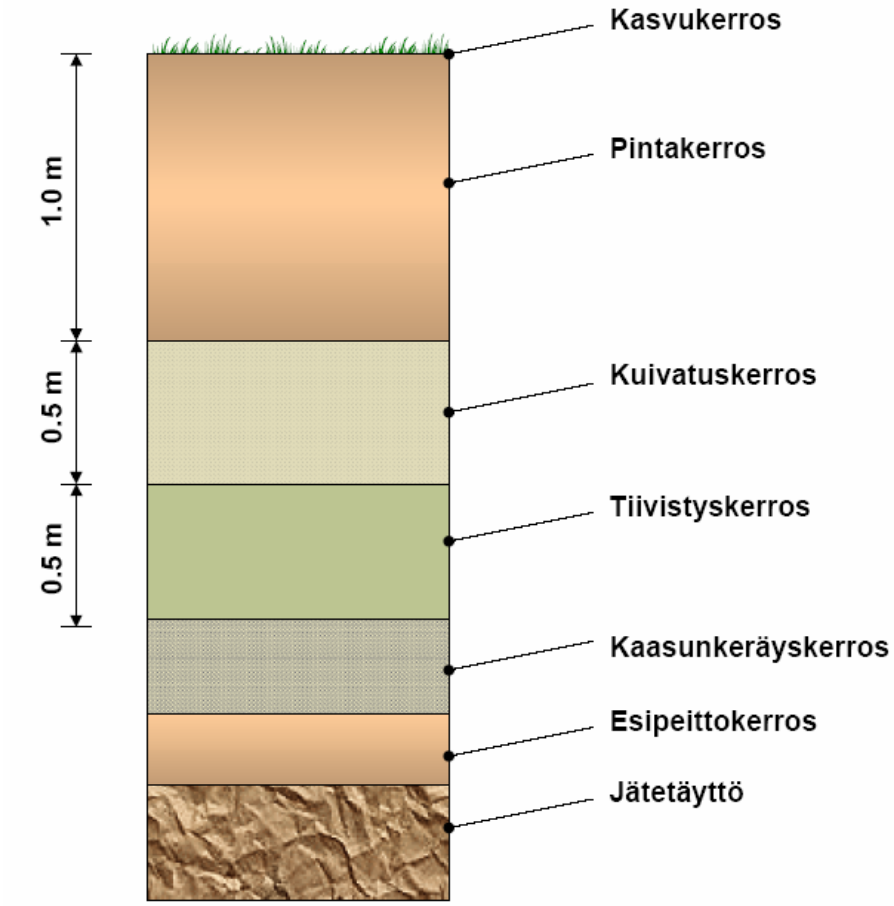
6.3.2 Kaatopaikan pintarakenteet

Kaatopaikan pintarakenteen tehtävänä on vähentää sadevesien imeytymistä jätteisiin ja samalla vähentää likaantuneiden suotovesien muodostumista ja riskiä haitta-aineen kulkeutumisesta ympäristöön (kuva 6.8). Pintarakenne varmistaa kaasun talteenoton ja vähentää haju-, pöly-, lintu- ja maisemahaittoja.

Jätetäytön pinnan muotoilussa on otettava huomioon, että painumat huomioon ottaen pintakaltevuudet ovat riittäviä kuivatusta ja rakenteen luiskan vakavuutta silmällä pitäen.

Esipeittokerroksen tehtävänä on estää kaasunkeräyskerrosmateriaalin ja jätteen sekoittuminen, muodostaa alusta ylempien kerrosten tiivistämiselle ja johtaa

kaasu kaasunkeräyskerrokseen. Esipeittokerros tehdään yleensä ylijäämämaista. Suositeltava minimipaksuus 0,3 m ja minimikaltevuus 5 %.



***Kuva 6.8**. Kaatopaikan pintarakenteet (Kujala 2003).*

Kaasunkeräyskerroksen tehtävänä on johtaa jätteestä vapautuva kaasu käsittelyä tai talteenottoa varten. Suositeltava minimipaksuus on 0,3 m. Kaasunkeräyskerros tehdään yleensä karkeasta lajittuneesta aineksesta. Kaasun keräyskerros vaaditaan tavanomaisen jätteen kaatopaikoilla. Muilla kaatopaikoilla sitä ei yleensä tarvita, jollei kaasua muodostu.

Tiivistyskerroksen tehtävänä on estää sadeveden imeytyminen jätetäyttöön. Sen paksuun on vähintään 500 mm. Suositeltava vedenläpäisevyys on $k < 10^{-9}$ m/s. Tällöin pintakerroksen läpi suotautuva vesimäärä on noin 5 % sadannasta. Usein tyydytään suurempaan vedenläpäisevyyteen $k < 10^{-8}$ m/s. Kaatopaikan pintakerroksesta on vaikea tehdä täysin tiivistä, koska jätepenger painuu ja voi heikentää tiivistyskerroksen toimivuutta. Toisaalta, jos kaatopaikan pohjarakenne on huolellisesti rakennettu, eivät vähäiset pintarakenteen läpi suotautuvat vedet aiheuta suurta riskiä, kun vedet kerätään ja käsitellään asianmukaisesti. Sopiva kosteus nopeuttaa myös kaatopaikan orgaanisten aineiden hajoamista.

Tiivistyskerros vaaditaan sekä tavanomaisen että ongelmajätteen kaatopaikan päälle. Kerros tehdään yleensä laihasta savesta, savisesta siltistä, silttimoreenista, maabentoniitista tai soveltuvasta teollisuusjätteestä. Teollisuusjätteiden käyttö tiivistyskerroksen rakenteissa on lisääntynyt, vaikka näiden rakenteiden pitkäai-

kaisesta käyttäytymisestä on vähän kokemuksia. Tiivistyskerroksena voidaan käyttää myös bentoniittimattoa.

Tiivistyskerroksen päälle vaaditaan ongelmajätteen kaatopaikoilla **keinotekoinen eriste.** Sen tehtävänä on varmistaa mineraalisen tiivistyskerroksen toiminta. Koska jätetäyttö voi painua runsaastikin, vaaditaan keinotekoiselta eristeeltä hyvää mekaanista kestävyyttä ja muodonmuutoskykyä. Käyttökelpoisia ovat muun muassa LDPE - ja PPE- muovikalvot.

Kuivatuskerroksen tehtävänä on alentaa tiivistysrakenteeseen kohdistuvaa vedenpainetta ja johtaa kasvu- ja pintakerroksen läpi suotautuva sadevesi pois tiivistyskerroksen päältä. Kuivatuskerroksen minimipaksuus on 0,5 m ja suositeltava vedenläpäisevyys $k > 10^{-3}$ m/s. Kuivatuskerros vaaditaan sekä tavanomaisenjätteen että ongelmajätteen kaatopaikoilla.

Kun kaasujen keräystä ei ole muuten järjestetty, kuivatuskerroksen kautta voidaan kaasut jakaa tasaisesti pintakerroksen läpi siten, että metaanin ja hajukaasujen biologinen hapettuminen tapahtuu mahdollisimman tehokkaasti.

Pintakerroksen tehtävänä on tiivistyskerroksen routasuojaus ja sen kuivumisen estäminen, sadevesien imeytymisen vähentäminen ja pintavalunnan edistäminen, kasvillisuuden vedensaannin turvaaminen, alempien kerrosten suojaaminen kasvien juurilta ja metaanin ja hajukaasujen biologinen hapettaminen, jos kaatopaikalla ei ole käytössä kaasun talteenottojärjestelmää. Pintakerros tehdään yleensä vettäpidättävästä ja eroosiota kestävästä maa-aineksesta. Kerrospaksuus on vähintään 1,0 m.

Kasvukerros on pintakerroksen yläosa ja se tehdään humusmaasta tai muusta sopivasta kasvualustasta. Kasvien juurien tunkeutuminen tiivistyskerrokseen voidaan estää juurimatolla.

KIRJALLISUUTTA

InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 1 Väylät ja alueet, Rakennustieto

Kauppa- ja teollisuusministeriö, Jakeluasemapäätös (415/1998)

Kujala, K.2003. Geoympäristötekniikan peruskurssi, opetusmoniste.

Sosiaali- ja terveysministeriö, asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (461/2000), http://151.105.98.46/poljavok/sivusto/talvedenlaatuvaat.htm

Suomen ympäristökeskus, 1998. Kaatopaikan tiivistysrakenteet / Minna Leppänen (toim.).Ympäristöopas; 36.
http://www.environment.fi/download.asp?contentid=12513&lan=fi

Tiehallinto, 2004. Pohjaveden suojaus tien kohdalla, Suunnitteluvaiheen ohjaus, http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ohjeluettelot/2008-1_tiehteknisetohjeet.pdf

Tiehallinto, 2004. Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset, Pohjaveden suojausrakenteet 4840, http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ohjeluettelot/2008-1_tiehteknisetohjeet.pdf

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/97) täydennyksineen.
http://www.finlex.fi/fi/laki/.

Ympäristönsuojelulaki (86/2000) ja Ympäristönsuojeluasetus (169/2000).
http://www.finlex.fi/fi/laki/.

Asvaltit tiivistysrakenteissa

Kaatopaikkojen pohjarakenteissa käytetään tiiviin asvaltin ja sen alapuolisen mineraalisen materiaalin muodostamaa yhdistelmärakennetta. Asvalttirakenteita ovat: eriste- ja kulutuskerroksena käytettävä tiivis asfalttibetoni tai tiivis valuasfaltti, jonka sideaineena käytetään kumibitumia.

Tyyppi	Asfalttityyppi	Vedenläpäisevyys (m/s)	Tyhjätila
Vettä ohjaavat asfalttitiivisteet	Tiivis asfalttibetoni, ABT[1)]	$< 10^{-9}$	≤ 5
Vettä eristävät asfalttieristeet	Tiivis asfalttibetoni, ABT[1)]	tiivis[2)]	≤ 3
	Kumibitumivaluasfaltti, KBVA	tiivis[2)]	≤ 2
	Eristysmastiksi	tiivis[2)]	≤ 2
	Sivelymastiksi[3)]	tiivis[2)]	

1) Tiiviin asfalttibetonin, ABT, tiiveyteen (ja rakennetyyppiin) voidaan vaikuttaa sekä suhteituksen (reseptin) että tiivistyksen avulla.

2) Vedenläpäisevyyskerrointa ei voida määrittää luotettavasti kun $k < 10^{-11}$ m/s

3) Ohut eristetyyppi, jolle ei voida määrittää sen tyhjätilaa.

Tiiviillä asfalttibetonilla on samat yleiset ominaisuudet kuin tavanomaisillakin asfalttipäällysteillä. Se on sidottu rakennekerros, joka on kantava ja joka kestää mekaanista kulutusta. Asvaltin päällä voi liikennöidä eikä sitä tarvitse suojata kulutukselta. Tiiviin asfalttibetonin tyhjätila on erittäin pieni (< 3 %). Päällyste on tällöin käytännössä vesitiivis. Asfalttipäällysteet kestävät rajallisesti kemiallista rasitusta. Kohteissa, joissa tarvitaan parempaa polttonesteiden kestävyyttä, kuten jakeluasemilla, voidaan käyttää erikoispäällysteitä.

Lähde: www.lemminkainen.fi/paallystys

HDPE- tiivistyskalvo

Kaatopaikan pohjan keinotekoinen eriste on yleensä 2,0 mm paksu HDPE-kalvo (High Density Polyethylene). HDPE-kalvo kestää hyvin kemiallista rasitusta.

Kalvot suojataan huolellisesti pistekuormia vastaan. Kalvon suojarakenne valitaan salaojakerroksen materiaalin perusteella. Yleensä käytetään neliöpainoltaan 1200 g/m^2 geotekstiiliä suojarakenteena.

Muovikalvot asentaa sertifioitu hitsaaja. Hitsaustyön laatu dokumentoidaan ennalta tehdyn laatusuunnitelman mukaisesti. Työnaikainen laadunvarmennus käsittää mm. hitsaussaumojen koestukset. Kalvojen hitsausaumojen laatu varmistetaan kaksoissaumojen painekokeella.

Kalvojen läpiviennit on suunniteltava ja tehtävä huolellisesti.

Lähde: http://www.viapipe.fi/pohjavedensuojaus.html

Tiivistysrakenteiden laadunvarmistus

Rakenteiden laadunvarmistuksessa esiintyy usein puutteita: laatusuunnitelmat, mittaustulosten sallitut vaihtelurajat ja poikkeamien korjaukset ovat epäselviä, korjausten hyväksyttämisen dokumentointi on puutteellista ja osapuolten valtuudet ja vastuut selkiintymättömiä, tulokset on usein raportoitu puutteellisesti ilman kokoavaa yhteenvetoa.

Ongelmia voidaan vähentää osapuolten selkeillä vastuilla ja osaamisella. Päävastuu laadunvarmistuksesta on rakennuttajalla.

Kuivunut savirakenteen pinta (kuva Juha Forsman)

Suunnittelija laatii työselostuksen, jossa esitetään rakenteiden ja materiaalien laatuvaatimukset, laadunvalvontamenetelmät ja mittaustiheydet.

Rakennuttaja ja **viranomainen** hyväksyvät suunnitelman ja rakennuttaja valitsee urakoitsijan.

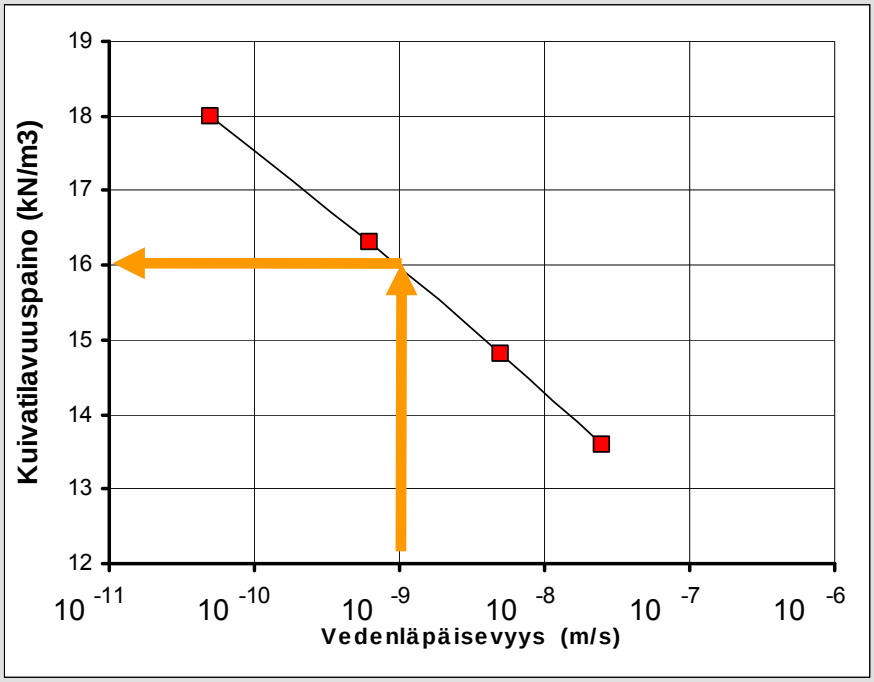
Urakoitsija laatii ennen työn aloitusta laadunvalvontasuunnitelman ja työtapakuvauksen, jotka hyväksytetään rakennuttajalla ja riippumattomalla laadunvalvojalla. Urakoitsijan on esitettävä käyttämiensä materiaalien soveltuvuus ennakkokokeilla ja osoitettava rakenteen vastaavan suunnitelma-asiakirjoja rakennustyön aikaisilla laadunvalvontamittauksilla. Tiivistysrakenteiden rakentaminen aloitetaan yleensä koetiivistyspenkereellä, jossa osoitetaan muun muassa materiaalin ja kaluston soveltuvuus rakennusolosuhteisiin ja kalibroidaan laadunvalvontalaitteet. Työn lopussa urakoitsija laatii tarkepiirustukset ja laadunvalvontaraportin, joissa esitetään yksityiskohtaisesti toimitettujen materiaalien sijoittuminen rakenteisiin, jotta mahdolliset korjaustoimenpiteet voidaan helpommin rajoittaa vain tarvittaville alueille

Riippumaton valvoja tarkistaa urakoitsijan suunnitelmat, raportit ja laadunvalvontatulokset ja tekee tarvittaessa rinnakkaisia mittauksia ja valvoo työtä työmaakäynnein. Työn lopussa valvoja laatii urakoitsijan loppuraportin ja omien havaintojensa perusteella raportin rakennuttajalle ja ympäristöviranomaisille ja esittää käyttöönottosuosituksen.

Lisätietoa: Suomen ympäristökeskus, 1998. Kaatopaikan tiivistysrakenteet / Minna Leppänen (toim.).Ympäristöopas; 36.

Mineraalisen tiivistysrakenteen laadunvalvonta

Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen on erittäin vaativaa. Vaativuus korostuu, kun materiaali on luonnon kiviainesta: savea, savista silttiä tai moreenia. Tällöin ongelmana ovat usein materiaalin rakeisuuden ja vesipitoisuuden vaihtelu maanottopaikalla. Vaihtelua on erityisesti syvyyssuunnassa, koska maakerrokset ovat syntyneet kerroksittain. Välittömästi maanpinnalla hienorakeinen aines on usein liian hiekkaista. Ongelmia voidaan vähentää riittävillä ennakkotutkimuksilla. Luonnonmateriaalit voivat olla käyttökelpoisia erityisesti Kaakkois-Suomessa, jossa Baltian jääjärven laihat savet ulottuvat maanpintaan. Lihavien savien ongelmana on niiden huono käsiteltävyys ja tiivistettävyys.



Kuvassa on esitetty saven vedenläpäisevyyden ja kuivatilavuuspainon välinen yhteys. Vedenläpäisevyyden vaatimus < 10^{-9} m/s edellyttää kuivatilavuuspainoa noin 16,0 kN/m^3.

Rakenteen riittävä läpäisemättömyys määritetään ennakkokokein, jossa materiaalin vedenläpäisevyys ja tiiviyden eli kuivatilavuuspainon yhteys selvitetään (ks. kuva). Käytännössä vaaditut tiiviysastevaatimukset aiheuttavat usein sekaannusta ja tarpeettomia tulkintaongelmia. Koerakentamisen perusteella saadaan lisätietoa ja kokemusta tiivistysmenetelmistä, kerrospaksuuksista ja materiaalin käsiteltävyydestä. Koerakentamisessa seurataan rakenteen ja materiaalin tasalaatuisuutta.

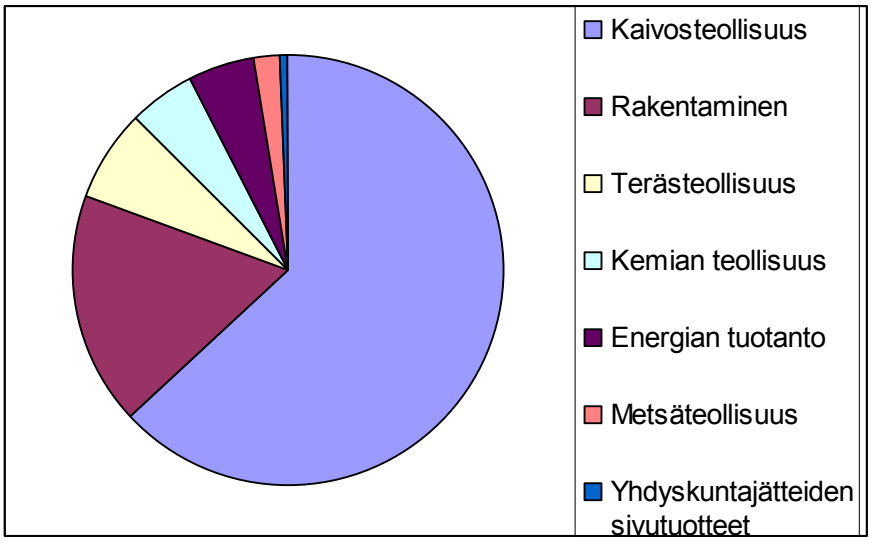
Koska tiivistysrakenteen vedenläpäisevyyden on oltava hyvin pieni, on vedenläpäisevyyden mittaaminen valmiista rakenteesta ongelmallista. Käyttökelpoiset menetelmät odottavat vielä kehittäjiään. Käytännössä vedenläpäisevyys joudutaan arvioimaan usein välillisesti kuivatilavuuspainon perusteella (kuva). Kun kuivatilavuuspaino mitataan perinteisin menetelmin volymetriä ja punnitusta käyttäen, se on varsin hidasta, jolloin mittauksia tehdään yleensä liian vähän tilastollista tarkastelua varten. Kuivatilavuuspaino voidaan määrittää myös säteilymittauksella (Troxler). Tällöin on otettava huomioon, että menetelmä on kalibroitava materiaalikohtaisesti. Kuivatilavuuspainon määritys säteilymittauksella ei välttämättä sovellu kaikille materiaaleille, kuten kuitusaville.

7. SIVUTUOTTEIDEN HYÖTYKÄYTTÖ MAARAKENTEISSA

7.1 JOHDANTO

Luonnon materiaalien saatavuuden heikkeneminen lisää kiinnostusta korvaavien materiaalien käyttöön. Luonnon kiviaineksia käytetään Suomessa noin 100 milj. t/vuosi, josta noin 40 % on kalliokiviaineksia. Määrästä noin 20 % saadaan rakentamisalueelta ja 80 % tuodaan maa-aineksen ottopaikoilta. Käytöstä lähes 50 % liittyy väylärakentamiseen. Luonnonmateriaalien saatavuutta on heikentänyt myös luonnon ympäristöarvojen korostuminen päätöksenteossa. Uusien materiaalinottopaikkojen ympäristölupien saanti on vaikeutunut suurten asutuskeskusten läheisyydessä, missä kiviainesten käyttö on suurinta. Tämä on johtanut kiviainesten kuljetusmatkojen pitenemiseen ja kiviainesten hinnan nousuun. Käyttökelpoisten soravarojen loppuessa on varsinkin Etelä- ja Länsi-Suomessa siirrytty käyttämään yhä enemmän kalliomurskeita. Kalliovarat ovat käytännössä rajattomat, mutta niiden käyttöä esimerkiksi päällysteissä ja kantavan kerroksen rakenteissa voi joillakin alueilla rajoittaa materiaalin riittämätön lujuus.

Teollisuuden sivutuotteiden käytöllä voidaan vähentää luonnon materiaalien tarvetta maarakentamisessa. Kuvassa 7.1 on esitetty sivutuotteiden vuosituotanto teollisuusaloittain.



Sivutuoteryhmä	**Määrä t/a**
Kaivosteollisuus	15 000 000
Rakentaminen	4 200 000
Terästeollisuus	1 600 000
Kemian teollisuus	1 200 000
Energian tuotanto	1 200 000
Metsäteollisuus	500 000
Yhdyskuntajätteiden sivutuotteet	100 000

Kuva 7.1. *Sivutuotteiden vuosituotanto teollisuusaloittain (VTT 1999).*

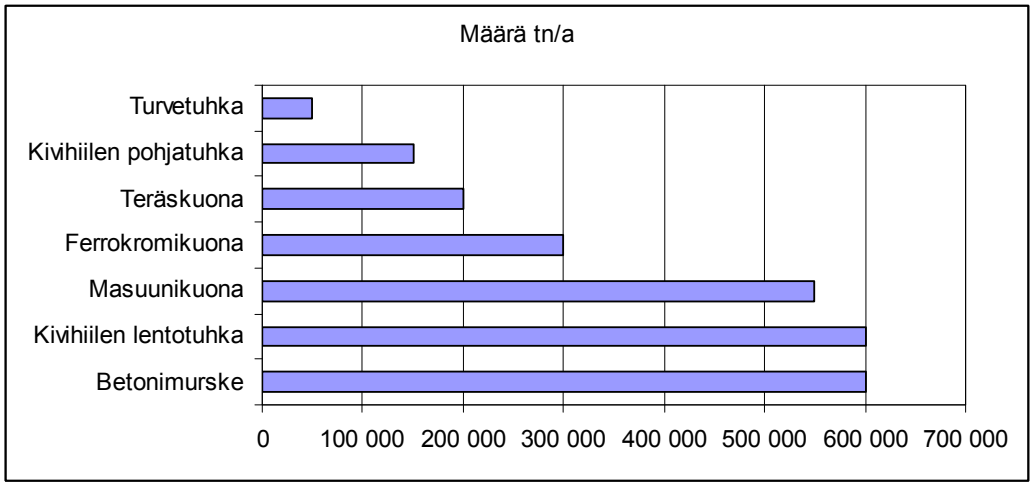
Ensisijaisesti sivutuotteiden käytöllä voidaan vähentää uusiutumattomien kiviainesvarojen kulutusta maarakentamisessa ja toisaalta jätteiden tilantarvetta

kaatopaikoilla. Välillisesti voidaan rakenteellisin ratkaisuin joissakin tapauksissa ehkäistä myös ylijäämämaiden syntyä (vrt. kuva 7.5).

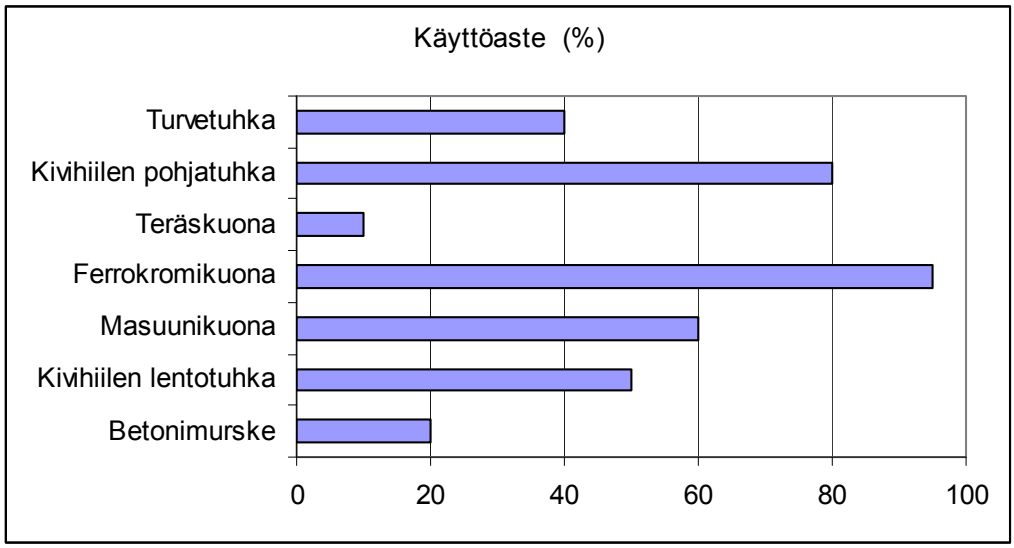
Useat teollisuuden sivutuotteet ovat raekoostumukseltaan maarakentamisessa käytettävien luonnonmateriaalien kaltaisia. On luontevaa hyödyntää näitä sivutuotteita rakentamisessa, mikäli rakenteiden, ympäristön, lainsäädännön ja taloudellisuuden vaatimukset täyttyvät. Luonnollisesti myös muussa rakentamisessa on samat vaatimukset, mutta koska sivutuotteiden käyttö on verrattain uutta ja sivutuotteet ovat jätettä, vaatimusten täyttyminen on ollut epäselvää ja haitannut tuotteiden käyttöä. Maarakenteiden tekniset vaatimukset määräytyvät lähinnä raekoostumuksen perusteella, mutta joissakin tapauksissa myös kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Maa-ainesten kustannukset määräytyvät suurelta osin kuljetuskustannusten perusteella. Taloudellisten, teknisten ja ympäristöön liittyvien rajoitteiden johdosta vain osa, ehkä noin 5 – 20 %, luonnon kiviaineksista voidaan tulevaisuudessa korvata sivutuotteilla.

Teollisuuden sivutuotteita syntyy vuosittain arviolta 15…25 milj. tonnia. Määrällisesti on eniten kaivosteollisuuden sivukiveä, noin 15 milj. tonnia. Uusien perustettavien kaivosten myötä määrä tullee kasvamaan. Kaivosten sivukivien hyötykäytössä on usein ongelmana niiden suuri kiisu- tai karbonaattipitoisuus ja pitkät kuljetusmatkat hyötykäyttökohteeseen. Myös tuhkien tuotanto kasvaa merkittävästi lähitulevaisuudessa, kun jätteiden poltto ja voimalaitosten biopolttoaineiden käyttö lisääntyvät.

Sivutuotteiden kilpailukykyyn vaikuttavat ratkaisevasti niiden tekniset ja ympäristöominaisuudet. Osa sivutuotteista on teknisiltä ominaisuuksiltaan erittäin hyviä. Esimerkiksi laadukkaat betonimurskeet ja masuunikuonatuotteet soveltuvat sellaisinaan käytettäviksi tien kantavassa tai jakavassa kerroksessa. Jäterenkaista valmistettu rengasrouhe tai rengaspaalit ovat hyviä kevennysmateriaaleja. Jotkut sivutuotteet ovat hienorakeisia ja herkkiä veden vaikutukselle, minkä vuoksi niiden käyttö on vaikeaa. Myös ympäristöominaisuuksiltaan sivutuotteet poikkeavat huomattavasti toisistaan. Kuvassa 7.2 on esitetty eniten käytettyjen sivutuotteiden tuotantomääriä ja kuvassa 7.3 hyödyntämisasteet.



Kuva 7.2. *Maarakentamisessa eniten käytettyjen sivutuotteiden vuosittaiset tuotantomäärät (VTT 1999).*



Kuva 7.3. *Vakiintuneiden sivutuotteiden käyttöasteet (VTT 1999)*

Muita sivutuotteita ovat esimerkiksi muut tuhkat, tiilijäte, kaivosteollisuuden rikastushiekat, kemianteollisuuden kipsijäte, puunjalostusteollisuuden kuituliete ja viherlipeäsakka, metalliteollisuuden nikkelikuona ja kuparirikastushiekka, rengas jäte, lasi, kaivosten sivukivi ja rakennusteollisuuden jätekivi.

Kaivosteollisuuden sivukivet ovat yleensä niin kaukana rakennuskohteista, että niiden käyttö ei ole kannattavaa. Rakennuskivilouhimoiden sivukivistä osa sen sijaan on hyödyntämisalueiden läheisyydessä, mm. Kaakkois-Suomessa, jossa niitä jo hyödynnetään. Sivutuotteiden käyttö on edullista siellä missä ne syntyvätkin, teollisuuden ja suurten asutuskeskusten läheisyydessä, jossa myös luonnon kiviainesten kustannukset ovat suurimmat. Kuljetuskustannusten ja eräiden muidenkin syiden vuoksi sivutuotteiden käyttö on tällöin kannattavinta kuntien yhdyskuntarakentamisessa sekä teollisuuden omassa rakentamisessa. Kun sivutuotteilla voidaan parantaa maarakenteita esimerkiksi stabiloinnissa sideaineominaisuuksien perusteella, niiden taloudellinen käyttöalue laajenee.

Sivutuotteiden käyttö edellyttää pääsääntöisesti ympäristölupaa. Osaa sivutuotteista voidaan **valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden maarakennuskäyttöä koskevan asetuksen (591/2006)** perusteella käyttää ilman ympäristölupaa pelkän ilmoitusmenettelyn avulla. Ferrokromi- tai masuunikuonasta valmistetut tuotteet on tuotteistettu, jolloin niiden käyttö ei enää tarvitse ympäristölupaa tai ilmoitusta.

Sivutuotteiden lisääntyvä käyttö edellyttää materiaalien tutkimista, tuotteistamista, koerakentamista, uusia ohjeita ja tiedottamista. Olennaista on, että tilaajilla on halua tähän työhön. Tästä on hyvänä esimerkkinä Tiehallinnon ympäristöohjelma, jonka mukaan korvaavien materiaalien käyttö otetaan huomioon jo hankkeita suunniteltaessa.

7.2 LAINSÄÄDÄNNÖN VAATIMUKSET

Lainsäädäntö ei tunne sellaisenaan käsitettä sivutuote. Sivutuotteella tarkoitetaan yleensä käytöstä poistettua hyödyntämiskelpoista materiaalia, pois lukien luonnonmateriaalit, tai teollisuuden sivutuotteena syntyvää materiaalia.

Lainsäädännössä jäte on aine tai esine, jonka sen haltija on poistanut, aikoo poistaa taikka on velvollinen poistamaan käytöstä. Sivutuotteet ovat näin ollen lainsäädännön jätteen määritelmän mukaan jätettä.

Merkittävimpiä lakeja ja säädöksiä, jotka on otettava huomioon sivutuotteiden hyötykäytössä, ovat:

- ***jätelaki (1072/1993) ja jäteasetus (1390/1993****), joissa esitetään jätteiden vähentämisen, kierrätyksen ja uudelleenkäytön edistämisvelvoite sekä jätteen määritelmä: jätteellä tarkoitetaan ”ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä”.*

- ***ympäristönsuojelulaki (86/2000) ja ympäristönsuojeluasetus (169/2000),*** *joissa säädetään muun muassa jätteen hyödyntämisen ympäristölupavelvollisuudesta, lupamenettelystä ja lupahakemuksen sisällöstä*

- ***valtioneuvoston asetuksessa eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (591/2006)*** *määritellään perusteet, joiden täyttyessä eräiden jätteiden hyödyntäminen voidaan hyväksyä ympäristöluvan sijaan ilmoitusmenettelyssä.*

Korkeimman hallinto-oikeuden päätöksen (23.12.2005/3502) mukaan Outokummun Tornion tehtaan ferrokromikuonia ja niistä valmistettuja tuotteita ei ole pidettävä jätelaissa tarkoitettuina jätteinä. Ferrokromikuona on siten tuotevastuulain (694/1990) alainen tuote.

7.2.1 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakennuksessa

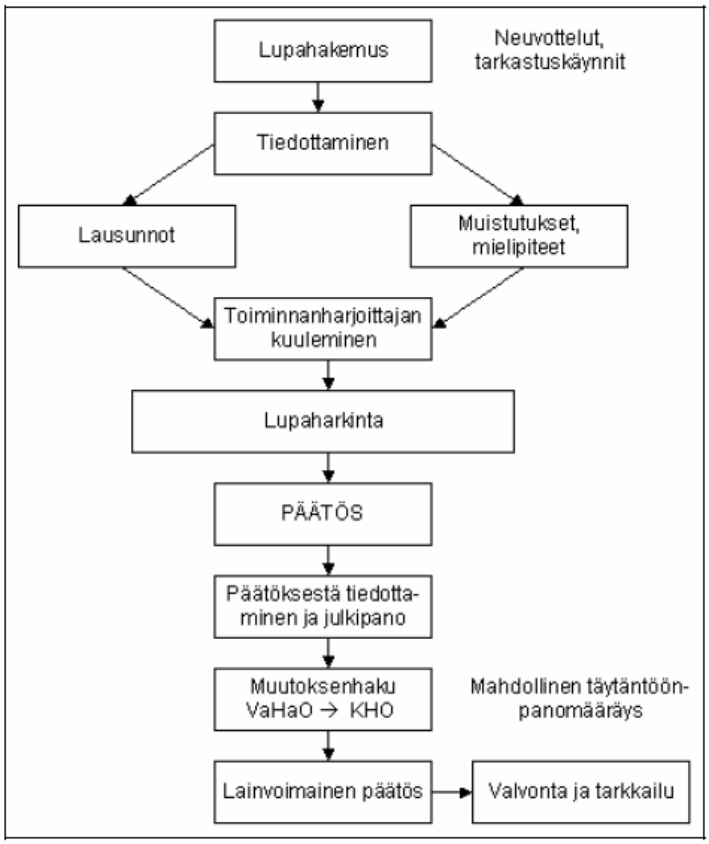
Jätteen maarakennuskäyttöön tarvitaan eräitä poikkeuksia lukuun ottamatta ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa. Lupavelvollisuus ei kuitenkaan koske jätteitä, joiden käyttö on valtioneuvoston eräiden jätteiden maarakennuskäyttöä koskevan asetuksen (591/2006) mukaista. Asetuksen soveltamisalaan kuuluvat betonimurske sekä kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat ja pohjatuhkat. Lupavelvollisuus ei myöskään koske jätteen koeluontoista, lyhytaikaista hyödyntämistä maarakentamisessa. Hyödyntämisestä tai koerakentamisesta on kuitenkin tehtävä ilmoitus ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. Jatkossa voidaan myös muita jätteitä liittää asetukseen. Edellytyksenä on, että voidaan osoittaa, että jäte on jätehuollollisesti merkittävä ja että materiaalin hyödyntämiskelpoisuudesta on riittävästi tutkimustietoa ja käyttökokemuksia. Asetuksen liitteissä esitetään jätteille materiaalikohtaiset pitoisuus- ja liukoisuusrajaarvot (liite 7.1).

Ilmoitusmenettely koskee ainoastaan asetuksen soveltamisalassa määriteltyjä käyttökohteita, joita ovat maantiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät; pysäköintialueet, ratapihat, urheilukentät, kevyen liikenteen väylät sekä varastointikentät ja tiet teollisuusalueilla. Käyttökohde ei voi olla vedenhankintaan soveltuvalla pohjavesialueella. Jätettä sisältävän rakenteen enimmäispaksuus voi olla 150 cm ja jätettä sisältävä rakenne on joko peitettävä tai päällystettävä. Päällystetyille rakenteille on esitetty väljemmät liukoisuuden raja-arvot kuin peitetyille.

Jos materiaalin käyttö täyttää asetuksen ehdot, tehdään käytöstä ilmoitus ympäristökeskukselle ympäristönsuojelun tietojärjestelmään merkitsemistä varten. Alueellinen ympäristökeskus on velvollinen tarkastamaan ilmoituksen viipymättä. Ympäristökeskus voi kieltää jätteen hyödyntämisen, jos asetuksen ehdot eivät täyty.

7.2.2 Ympäristölupa

Jos ilmoitusmenettelyn edellytykset eivät täyty, jätteen hyötykäyttöön tarvitaan ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa. Ympäristölupakäsittelyn vaiheet on esitetty kuvassa 7.4.



Kuva 7.4. *Ympäristölupakäsittelyn päävaiheet (www.ymparisto.fi).*

Ympäristölupaa haetaan mm. seuraavissa tapauksissa:

- Sivutuote tai suunniteltu käyttökohde ei kuulu asetuksen soveltamisalaan

- Tuottajalla ei ole asetuksen mukaista laadunhallintajärjestelmää
- Sivutuotetta ei ole tutkittu asetuksen vaatimusten mukaisesti
- Haitta-aineiden liukoisuus tai pitoisuus ylittää asetuksen raja-arvon (liite 1a)
- Sivutuoterakenteen kerrospaksuus on yli 150 cm

Ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristölupaviranomaiselta, jos vuosittain käsiteltävä tai hyödynnettävä määrä on alle 5000 tonnia ja alueelliselta ympäristökeskukselta, jos määrä on 5000 tonnia tai sen yli. Yleiset lupahakemuslomakkeet ja niiden täyttöohjeet löytyvät ympäristöhallinnon verkkosivuilta www.ymparisto.fi/lupa-asiat/lomakkeet. Lupahakemukseen liitettävistä tiedoista kannattaa keskustella etukäteen luvan myöntävän viranomaisen kanssa. Luvan käsittelyaika on yleensä useita kuukausia. Rakentaminen voidaan aloittaa, kun lupahakemuksesta on lainvoimainen päätös. Lupaviranomaiset ovat useimmiten määränneet seurantavelvoitteita sivutuotteiden hyötykäyttökohteille.

Vastuu jätteestä on jätelain mukaan aina kohteen haltijalla. Jätteen haltijan kannalta on tärkeää varmistua sopimuskumppanin ja sivutuotteen toimittajan, vakavaraisuudesta, jos tämän halutaan ottavan vastuun jätteen haltijalle tulevaisuudessa aiheutuvista kustannuksista.

7.3 YMPÄRISTÖN VAATIMUKSET

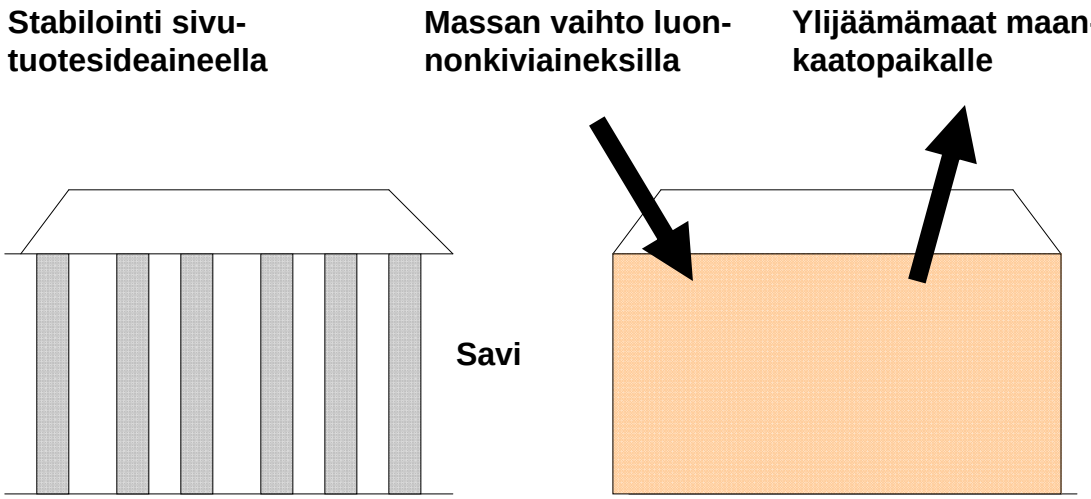
7.3.1 Ympäristöturvallisuus

Sivutuotteista voi kulkeutua ympäristöön haitta-aineita rakenteen käytön aikana lähinnä veteen liuenneina ja rakennusaikana pölyn mukana. Sivutuotteiden haitta-aineista merkittävimpiä ovat eräät metallit sekä liukenevat suolat. Usein metalli on eliöille välttämätön hivenaine, mutta liian suurena annoksena haitallinen. Joissakin sivutuotteissa on myös orgaanisia haitta-aineita. Tavallisimmista sivutuotteiden sisältämistä haitta-aineista kloridi on hyvin herkkäliukoinen. Suhteellisen helposti liukenevia ovat muut suolat, kuten sulfaatti, sekä mm. molybdeeni. Monet metallit pidättyvät orgaaniseen ainekseen ja savimineraaleihin. Yksityiskohtaisemmin mahdollisia altistumisreittejä ja haitta-aineiden ominaisuuksia on kuvattu lähteessä (Tiehallinto 2007).

Sivutuoterakenteiden mahdollisia ympäristöriskejä voidaan tarvittaessa vähentää sijoituskohteen ja rakenteen suunnittelulla sekä riskinhallintatoimenpiteillä. Sijoituskohteen maaperä pitäisi pääsääntöisesti olla enintään kohtalaisesti vettä läpäisevää moreenia tai silttiä. Sivutuotteita sisältävät rakenteet olisi mahdollisimman nopeasti peitettävä tai päällystettävä. Haitta-aineiden liukoisuutta voidaan pienentää stabiloinnilla. Rakentamisen aikana riskejä pienentää erityisesti pölyämisen hallinta.

Tien rakentaminen aiheuttaa myös muita ympäristövaikutuksia. Näitä ovat muun muassa kuljetusten energian kulutus ja niistä aiheutuvat päästöt ilmaan, ylijäämämaiden loppusijoituksen vaikutukset maankäytölle ja luonnon monimuotoisuudelle. Sivutuotteiden käyttö voi vähentää näitä vaikutuksia, mutta voi myös lisätä esimerkiksi kuljetusten ympäristövaikutuksia. Parhaiten luonnonmateriaalien kulutusta ja päästöjä voidaan vähentää, jos sivutuotteita pystytään hyödyntämään

siten, että rakenteita voidaan ohentaa tai muuten vähentää rakenteeseen tulevia materiaalimääriä. Eräs mahdollisuus tähän on sivutuotteiden käyttäminen hienorakeisen maapohjan stabilointiin ja jopa rakennekerrosten stabilointiin, jolloin voidaan vähentää väylärakenteiden alusrakenteen rakentamista massanvaihtona (kuva 7.5).

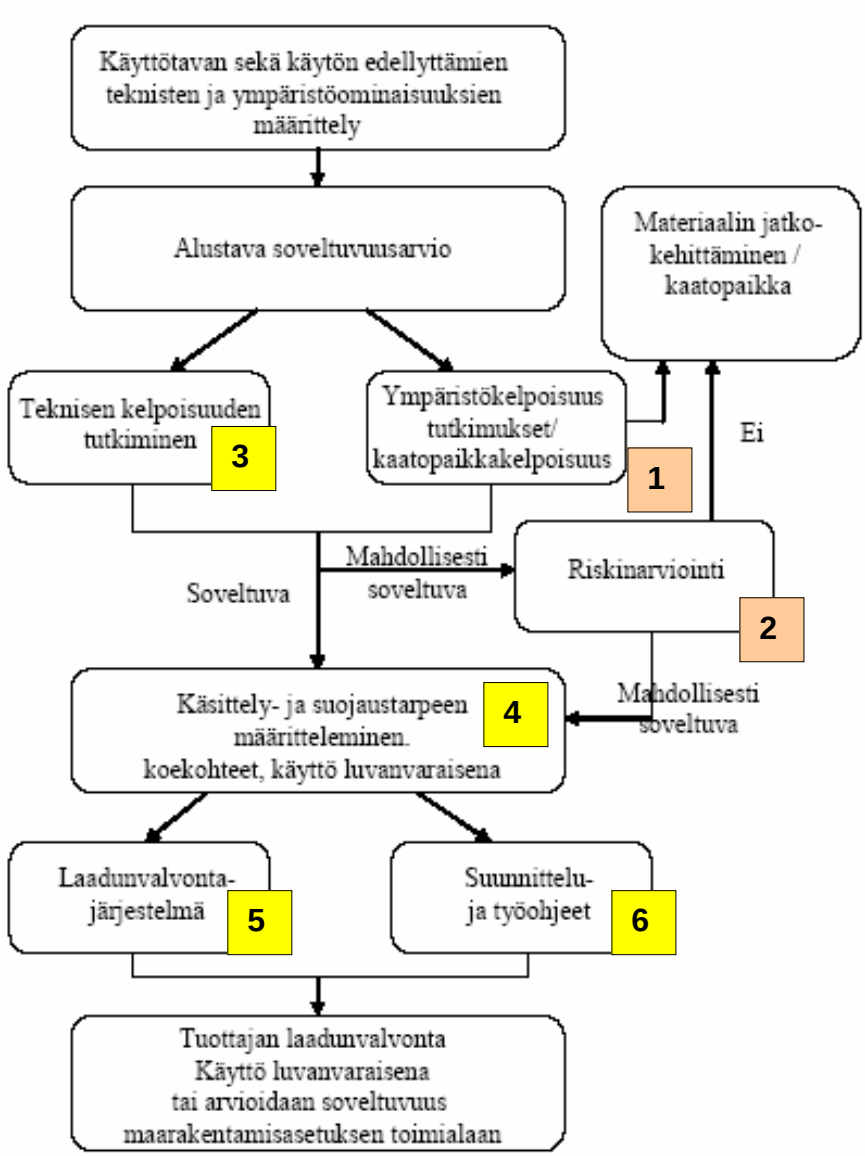


Kuva 7.5. *Massanvaihdon korvaaminen stabiloinnilla.*

7.3.2 Ympäristökelpoisuuden arviointi ja tutkimukset

Kuvassa 7.6 on esitetty sivutuotteiden rakenteiden ja ympäristökelpoisuuden tutkimisen päävaiheet.

Jätteenä käsiteltävien sivutuotteiden ympäristökelpoisuus varmistetaan edustavista näytteistä tehtävillä tutkimuksilla (kohta 1, kuva 7.6). Laadunvarmistustutkimuksin osoitetaan, että materiaali täyttää jatkuvasti ympäristökelpoisuusvaatimukset. Lisäksi arvioidaan muut mahdolliset jätteen hyödyntämiseen liittyvät ympäristöominaisuudet, kuten pölyävyys. Suomessa ei ole virallisia raja-arvoja luvanvaraisesti käytettävien sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden arviointiin. Liukoisuutta arvioitaessa voidaan yleensä soveltaa valtioneuvoston asetuksen (591/2006) raja-arvoja (liite 7.1). Jos haitta-aineiden pitoisuudet ylittävät raja-arvot, arvioidaan soveltuvuus yksityiskohtaisemman riskinarvioinnin perusteella (2). Riskinarviointi sisältää terveys- ja ympäristöriskin arvioinnin.



***Kuva 7.6**. Sivutuotteiden ympäristö- ja teknisen kelpoisuuden tutkimisen päävaiheet. (Tiehallinto 2007).*

7.4 RAKENTEIDEN VAATIMUKSET

Materiaalin teknisen kelpoisuuden tutkimiseen (3) sisältyvät maarakennustekniset laboratoriokokeet, kuten esimerkiksi rakeisuuden, routivuuden, maksimi kuivatilavuuspainon, vedenläpäisevyyden, lujuus- ja muodonmuutosparametrien määritys. Kun sivutuote on tuotteistettu ja tuotanto tasalaatuista, laboratoriokokeita tarvitaan vähemmän. Tarvittaessa tehdään myös stabiloitavuustutkimukset. Laboratoriotutkimusmenetelmien tarpeeseen ja määrään vaikuttavat ennen kaikkea maarakenteen käyttötarkoitus ja aikaisemmat kokemukset vastaavan kaltaisista rakenteista.

Kohtaan koekohteet (4) sisältyvät rakenteiden teoreettiset tarkastelut, kuten esimerkiksi kantavuuden määritys tai suotovesimäärien arviointi sekä mahdollinen koerakentaminen. Koerakenteen perusteella saadaan kokemusta rakennustyöstä

ja siihen vaikuttavista tekijöistä kuten sään vaikutuksesta sekä todellisista kustannuksista. Koerakenteen käyttäytymistä on seurattava riittävän pitkän aikaa, näin erityisesti silloin kun rakennettavan kohteen, kuten kaatopaikkarakenteen, elinkaari on pitkä. Koerakenne voi olla esimerkiksi tie, kenttä tai kaatopaikan tiivistysrakenne. Koerakentamisen kokemukset otetaan huomioon suunnitteluohjeissa.

Ennen varsinaista rakentamista laaditaan suunnitelmat laatuvaatimuksineen sekä työselostukset (5). Suunnittelussa käytetään hyväksi tuotekohtaisia ohjeita. Laatuvaatimusten perusteella rakentaja tekee työ- ja laatusuunnitelman, jossa selvitetään miten rakenteen laatu varmistetaan (6). Tiehallinto on ohjeistanut sivutuoterakenteiden tyyppihyväksynnän (Tiehallinto 2007).

7.4.1 Sivutuotteiden teknisiä ominaisuuksia

Sivutuotteet ovat syntytavaltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia. Yleensä sivutuotteen käyttäytyminen muistuttaa vastaavan rakeisuuden omaavan luonnonmateriaalin käyttäytymistä. Tällöin eräs sivutuotteiden käyttömahdollisuuksien tarkastelu voi perustua rakeisuuteen ja sen vertaaminen vastaaviin luonnon kiviaineksiin: runkomateriaaleihin, täyttömateriaaleihin ja sideaineisiin.

Luonnonkiviainesten runkomateriaalit, sora, karkea hiekka, murskeet ja louhe, ovat routimattomia, kantavia ja vettäläpäiseviä. Niitä on yleensä helppo käsitellä ja tiivistää maarakennustöissä. Runkomateriaaleja käytetään erityisesti kantavuutta vaativissa maarakenteissa, kuten väylien rakennekerroksissa. Runkomateriaaleja lähes vastaavia sivutuotteita ovat yleensä: pohjatuhka, betonimurske, lasimurske, rakennus- ja kaivosjätekivi sekä terästeollisuuden murskatut kuonat.

Luonnonkiviainesten täyttömateriaaleja ovat hienohiekka, karkea siltti ja yleensä moreenit. Näillä on runkomateriaaleja lievemmät vaatimukset maarakentamisessa. Täyttömateriaaleja käytetään esimerkiksi penkereissä rakennekerrosten alapuolella. Sivutuotteista täyttömateriaalien kaltaisia ovat: tiilimurske, rikastushiekka, lentotuhka ja masuunihiekka. Osalla näistä on myös sideaineominaisuuksia.

Luonnonmateriaaleista jalostettuja sideaineita ovat sementti, kalkki ja bitumi. Sivutuotteista on sideaineominaisuuksia esimerkiksi betonimurskeella, rikastushiekalla, kivihiilen lentotuhkalla, masuunihiekalla ja rikinpoistotuotteella. Betonimurskeelle, masuunikuonalle ja rikastehiekalle on ominaista karkeus ja sitoutumiskyky, minkä johdosta materiaalin lujuudet ja rakenteen moduulit kasvavat ajan myötä sitomattomia materiaaleja korkeammiksi. Sideaineita voidaan käyttää stabilointiin ja näin parantaa runko- ja täyttömateriaalien käyttökelpoisuutta. Stabiloidun maan lujuusvaatimus on yleensä verrattain alhainen, jolloin sideaineominaisuuden ei tarvitse vastata sementtiä.

Sivutuotteiden käyttökelpoisuus ei kuitenkaan yleensä perustu pelkästään rakeisuuteen. Useat sivutuotteet eroavat luonnonmateriaaleista keveytensä ja lämmöneristyskykynsä ansiosta. Huokoisilla materiaaleilla voi olla taipumusta hienontua voimakkaan kuormituksen alaisena. Asfalttirouhe- ja asfalttimurske ovat

materiaaleina verrattavissa luonnonkiviainekseen. Etuna on häiriintymisen väheneminen hienoaineksen ollessa sitoutuneena bitumiin.

Masuunikuonat ovat luonnonmateriaaleja kevyempiä. Huokoisina materiaaleina ne toimivat myös lämmöneristeenä ja vähentävät siten routamitoituksessa vaadittavaa rakennepaksuutta.

Myös lentotuhkalla on luonnonmateriaaleja parempi lämmöneristyskyky. Hienorakeisena materiaalina tuhka voi imeä itseensä runsaasti kosteutta ja liettyä. Raekokojakaumasta riippuen se voi olla myös routivaa. Kivihiilituhkaa käytetään mm. asfaltin täyteaineena. Raaka-aineen laadun vaihtelu ja polttotapa vaikuttavat lentotuhkan laatuun.

Kuitulieteen kuitujen oletetaan lisäävän materiaalin sitkeyttä, samalla ne yleensä lisäävät materiaalin kykyä sitoa vettä.

Rengasrouhe ja rengaspaalit ovat käyttökelpoisia routimattomia kevennysmateriaaleja. Perinteiseen kevytsoraan verrattuna niiden etuna on että ne ovat kyllästyneinä hieman vettä painavampia. Niiden kantavuudet ovat alhaisia, joten päällä on oltava paksu kantava rakenne.

Sivutuotteita voidaan käyttää useissa maarakenteissa:

Väylät, putkijohtokaivannot ja kentät:

- kantavassa ja jakavassa kerroksessa
- suodatinkerroksessa: lämmöneristeenä ja salaojituskerroksena
- päällysteessä: kiviaineksena, uusiopäällysteenä ja täyteaineena
- pengertäytteenä
- kaivannon täytöissä
- meluvalleissa
- maisemointitäytöissä
- kevennysmateriaalina
- tiivistemateriaalina
- sideaineena

7.4.2 Sivutuotteiden käyttöön vaikuttavia tekijöitä

Osa sivutuotteista on käyttöominaisuuksiltaan lähellä luonnonmateriaaleja, eikä niiden käyttö poikkea merkittävästi luonnonmateriaalien käytöstä. Osa sivutuotteista sen sijaan on käyttöominaisuuksiltaan erittäin vaativia ja vaativat huolellisuutta niiden hyödyntämisen eri vaiheissa. Sivutuotemateriaalin laatuvaihteluun vaikuttaa raakamateriaalin laatuvaihtelu, vaihtelu materiaalin tuotantoprosessissa sekä sivutuotteen käsittely- ja varastoimistapa. Tasalaatuisuus on edellytys tuotteen ominaisuuksien hyödyntämiselle. Esimerkiksi tuhkia tuotetaan pääasiassa talvella, jolloin niille on vähän maarakennuskäyttöä ja lentotuhkan mahdollinen sitoutumiskyky voi kadota ulkovarastoinnissa kesää odotellessa. Hienojakoisilla materiaaleilla ulkovarastointi lisää myös materiaalien vettymis- ja liettymisriskiä sekä pölyämisriskiä. Suurimmat tekniset riskit ovat yleensä materiaalien laadunvaihtelu sekä heikko tiivistyminen.

Tiivistämisen onnistuminen riippuu materiaalin laadun lisäksi alustan kantavuudesta. Hauras materiaali voi rikkoontua liikaa tiivistettäessä. Joidenkin materiaalien, kuten rengasmateriaalien, suuri kokoonpuristuvuus voi yllättää kokemattoman rakentajan. Eräät materiaalit turpoavat uutena, kuten kipsi ja osa teräskuonista, jotka vaativat siten vanhentamista ennen käyttöä. Hienorakeisten ainesten, kuten tuhkien, rakentaminen voidaan joutua keskeyttämään sateiden ajaksi. On myös selvitettävä, estääkö materiaalin suuri lujuus myöhemmän auki kaivun esimerkiksi putkijohtokaivannoissa.

Sideaineilla stabiloidut rakenteet käyttäytyvät samantapaisesti kuin betoni. Myöhään syksyllä sideaineilla stabiloiduissa rakenteissa tai itsestään sitoutuvissa materiaaleissa alhainen lämpötila heikentää puristuslujuutta samoin kuin ylimääräinen kosteus, liika kuivuminen ja myös alhainen tiiviys. Hydraulisesti sidotut rakenteet halkeilevat usein kuivuessaan. Sidottujen rakenteiden laboratoriokokeet tulee tehdä samassa tiiveydessä ja lämpötilassa kuin todellisessa kohteessa on mahdollista saavuttaa. Optimiolosuhteiden käyttö voi johtaa virheellisiin odotuksiin.

KIRJALLISUUTTA

Eskola, Paula ym. 1999. Maarakentamisen elinkaariarviointi, VTT. http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1962.pdf

Mäkelä, H. ja Höynälä, H. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa. Materiaalit ja käyttökohteet. TEKES Teknologiakatsaus 91/2000.

Tammirinne, M. ym., 1995. Uusiotuotteiden maarakennuskäytön edellyttämät tutkimukset laboratoriossa ja koerakenteilla. VTT, yhdyskuntatekniikka, Tutkimusraportti 278.

Tiehallinto, 2007. Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa., http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ohjeluettelot/2007-1_tiehteknisetohjeet.pdf

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (591/2006), http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591

Jätelaki 1993/1072 ja jäteasetus (1390/1993), http://www.finlex.fi/fi/laki/.

Ympäristönsuojelulaki (86/2000) ja Ympäristönsuojeluasetus (169/2000). http://www.finlex.fi/fi/laki/.

Liite 7.1a. Valtioneuvoston asetuksessa 59/2006 annetut raja-arvot

Tässä liitteessä määritellään asetuksen soveltamisalaan kuuluvat jätteet sekä niiden sisältämien haitallisten aineiden pitoisuuden ja liukoisuuden raja-arvot.

1. Betonimurske (jätenimikkeet[1] 10 13 14, 17 01 01 ja 19 12 12)

Betonimurskeella tarkoitetaan jätettä, joka on valmistettu puretuista betonirakenteista tai uudisrakentamisen ja betoniteollisuuden betonijätteistä murskaamalla enintään 150 millimetrin kappalekokoon.

Haitallinen aine	**Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta** Perustutkimukset[1]			**Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta** Laadunvalvontatutkimukset[1]		
	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l//kg) Päällystetty rakenne
PCB[2]	1,0			1,0		
PAH[3]	20					
TOC[4]	30 000					
DOC[5]		500	500			
Antimoni (Sb)		0,06	0,06			
Arseeni (As)	50	0,5	0,5	50		
Barium (Ba)		20	20			
Kadmium (Cd)	10	0,02	0,02	10	0,02	0,02
Kromi (Cr)	400	0,5	0,5	400	0,5	0,5
Kupari (Cu)	400	2,0	2,0	400	2,0	2,0
Elohopea (Hg)		0,01	0,01			
Lyijy (Pb)	300	0,5	0,5	300	0,5	0,5
Molybdeeni (Mo)		0,5	0,5			
Nikkeli (Ni)		0,4	0,4			
Vanadiini (V)		2,0	2,0			
Sinkki (Zn)	700	4,0	4,0	700		
Seleeni (Se)		0,1	0,1			
Fluoridi (F^-)		10	10			
Sulfaatti (SO_4^{2-})		1 000	3 000		1 000	3 000
Kloridi(Cl^-)		800	800			

[1] Katso asetuksen liitteessä 2 oleva kohta 2 (Tutkimukset).

[2] Polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 kokonaismäärä.

[3] Polyaromaattiset hiilivedyt, yhdisteiden (antraseeni, asenafteeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, naftaleeni, pyreeni, kryseeni) kokonaismäärä.

[4] Orgaanisen hiilen kokonaismäärä.

[5] Liuennut orgaaninen hiili.

---

[1] Yleisempien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta annetun ympäristöministeriön asetuksen (1129/2001) mukainen jätenimike.

Liite 7.1b. Valtioneuvoston asetuksessa 59/2006 annetut raja-arvot

2. Kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat (jätenimikkeet[1] 10 01 02, 10 01 03 ja 10 01 17) ja pohjatuhkat (jätenimikkeet[1] 10 01 01, 10 01 15)

Kivihiilen polton lento- ja pohjatuhkalla tarkoitetaan jätettä, joka on eroteltu kivihiilen poltossa syntyvistä savukaasuista mekaanisesti tai sähköisesti tai joka on poistettu kivihiilen polttolaitoksen polttokammion pohjalta.

Turpeen ja puuperäisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkalla tarkoitetaan jätettä, joka on eroteltu mekaanisesti tai sähköisesti turpeen, puuhakkeen, kuorijätteen, ensiömassan tuotannon tai massasta valmistettavan paperin tuotannon yhteydessä syntyvän kuituainetta sisältävän kasviperäisen jätteen, käsittelemättömän puujätteen tai muun näihin rinnastettavan puuperäisen aineksen taikka niiden seoksen poltossa syntyvistä savukaasuista tai poistettu polttolaitoksen polttokammion pohjalta.

Haitallinen aine	**Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta** Perustutkimukset[1]			**Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta** Laadunvalvontatutkimukset[1]		
	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l//kg) Päällystetty rakenne
PCB[2]	1,0					
PAH[3]	20/40[4]					
DOC[5]		500	500			
Antimoni (Sb)		0,06	0,18			
Arseeni (As)	50	0,5	1,5	50		
Barium (Ba)	3 000	20	60	3 000		
Kadmium (Cd)	15	0,04	0,04	15		
Kromi (Cr)	400	0,5	3,0	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	400	2,0	6,0	400		
Elohopea (Hg)		0,01	0,01			
Lyijy (Pb)	300	0,5	1,5	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	50	0,5	6,0	50	0,5	6,0
Nikkeli (Ni)		0,4	1,2			
Vanadiini (V)	400	2,0	3,0	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	2 000	4,0	12	2 000		
Seleeni (Se)		0,1	0,5		0,1	0,5
Fluoridi (F^-)		10	50		10	50
Sulfaatti (SO_4^{2-})		1 000	10 000		1 000	10 000
Kloridi(Cl^-)		800	2 400		800	2 400

[1] Katso liitteessä 2 oleva kohta 2.

[2] Polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 kokonaismäärä.

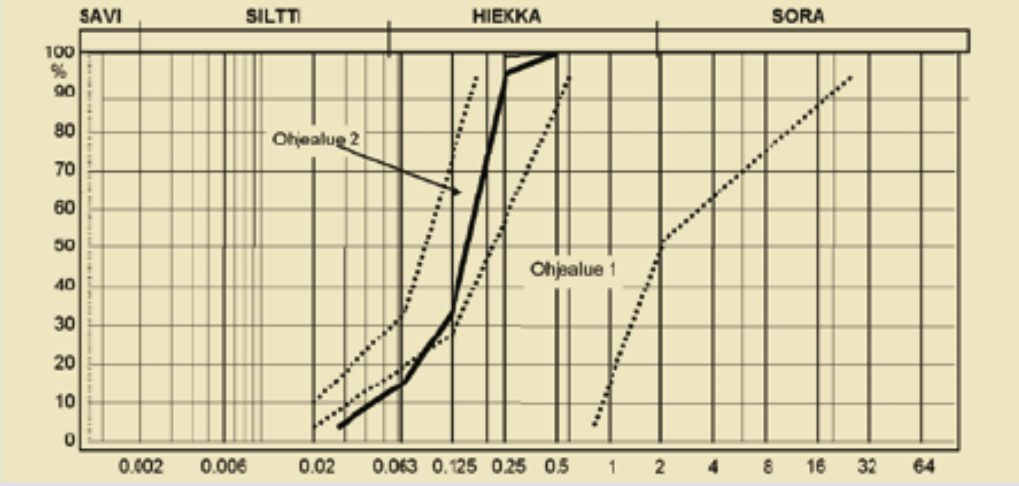
[3] Polyaromaattiset hiilivedyt, yhdisteiden (antraseeni, asenafteeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, naftaleeni, pyreeni, kryseeni) kokonaismäärä.

[4] Peitetty rakenne/päällystetty rakenne.

[5] Liuennut orgaaninen hiili.

Rikastushiekka, Nordkalk FS

Nordkalk Oyj:n Lappeenrannan kaivoksen kalsiitin rikastuksessa syntyy vuosittain rikastushiekkaa noin 100 000 tonnia. Tuote Nordkalk FS suodatinhiekka täyttää Tiehallinnon laadunvalvontaohjeiden suodatinkerroksen materiaalivaatimukset (kuva). Materiaali on routimatonta, eikä se sisällä ympäristölle haitallisia aineita. Suodatinhiekkaa on käytetty maarakenteissa suodatin- ja täyttömateriaalina. Tuotteesta on tehty mitoitusohje: Nordkalk FS:n käyttö tie- ja kenttärakenteissa.



Raekoko	0 - 0,5 mm	Kitkakulma	44 - 45°
Maksimikuivatilavuuspaino	17,6 kN / m³	CBR-arvo	42 - 51 %
Optimivesipitoisuus	13 %	Lämmönjohtavuus	1,1 - 1,5 W / Km
Kapillaarisuus <- 0,9 m		Routivuus SP <-0,5 mm²/ Kh (routimaton materiaali)	
Vedenläpäisevyys	10^{-5} m/s		

Lähde: Vallius, P. Selvitys Etelä-Karjalasta: Tienrakentamiseen soveltuvat sivutuotteet, Tiennäyttäjä 5, 2006.

Betonimurske

Yleensä betonijäte kuljetetaan vastaanottoalueille. Betonimurskeen valmistusprosessi voidaan toteuttaa eräissä tapauksissa myös purkukohteessa paikan päällä. Betonimurskeella voidaan korvata sora- ja kalliomurskeita esimerkiksi teiden ja katujen kantavissa ja jakavissa kerroksissa, putkikaivannoissa sekä talojen perustuksissa. Rakentaminen ei poikkea sora- tai kalliomurskeilla rakentamisesta. Betonimurske kuuluu valtioneuvoston eräiden jätteiden maarakennuskäyttöä koskevan asetuksen (591/2006) soveltamisalaan.

Rudus Oy:n Betoroc-murskeelle on laadittu suunnittelu- ja työohjeet: ***Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa, Tieliikelaitoksen selvityksiä 5/2000 tai Betoroc-murskeohje, Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun 1/2008,Rudus Oy.*** Betorocin tekniset ominaisuudet selvitetään säännöllisin testein ja mittauksin. Ympäristöominaisuudet varmistetaan VTT:n laatiman laadunvarmistusjärjestelmän mukaisesti.

BETOROC- murskeiden laatuluokitus:

	Rakeisuus	E- mod. [MPa]	Lujittuminen	Routivuus	Liukoisuuskokeet
BETOROC I	0/45	700	Lujittuu	Routimaton	Ei tarvita
BETOROC II	0/45	500	Lujittuu	Routimaton	Tehtävä
BETOROC III	0/45	300/280	Epävarmaa	Routimaton	Tehtävä
BETOROC IV	Vaihtelee	-	Ei lujitu	Vaihtelee	Tehtävä

Lähde: http://www.rudus.fi/kierratys/

Kivihiilen lentotuhka

Lentotuhkaa muodostuu voimalaitosten sivutuotteena. Tuhkan osuus on kivihiilen alkuperäisestä painosta 10-15%. Tuhkan määrä riippuu polttotekniikasta ja poltettavan kivihiilen ominaisuuksista. Savukaasuista sähköisten ja mekaanisten erottimien avulla talteen otettavan lentotuhkan määrä on 5 – 40 % koko tuhkasta, loppuosa on raskaampaa pohjatuhkaa. Lentotuhka vastaa rakeisuudeltaan yleensä silttiä ja koostuu pääasiassa lasimaisista palloista, joista useimmat ovat onttoja. Lentotuhka kuuluu valtioneuvoston eräiden jätteiden maarakennuskäyttöä koskevan asetuksen (591/2006) soveltamisalaan. Lentotuhkaa käytetään maarakentamisen lisäksi betoni- ja asfalttiteollisuudessa. Lentotuhkan haitta-aineiden liukenevat pitoisuudet eivät ole suuria, asetetut raja-arvot ylittyvät harvoin.

Lentotuhkaohje, Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun, 1/2008, Rudus Oy.

Ominaisuuksia

Irtotilavuuspaino	7-10 kN/m^3
Maksimikuivatilavuuspaino	12-15 kN/m^3
Lämmönjohtavuus	0,4-1,0 W/mK
Segregaatiopotentiaali	<0,2 mm^2/Kh
Kapillaarinen nousu	1,8-2,2 m
Vedenläpäisevyys	10^{-6} - 10^{-8} m/s
Optimivesipitoisuus	18-25%
Kitkakulma	50-55°
Puristuslujuus	0,5 - 4,5 MPa
E-moduuli	150-700 MPa

Lähde: http://www.rudus.fi/kierratys/

Rengasjäte

Käytettyjen renkaiden järjestelmällinen kierrätys aloitettiin Suomessa vuonna 1996. Taustalla on valtioneuvoston päätös, joka velvoittaa renkaan tuottajan huolehtimaan siitä, että käytöstä poistetut renkaat päätyvät hyötykäyttöön. Lisäksi päätöksessä asetettiin velvoite, että vuoteen 2 000 mennessä 90 % käytöstä poistetuista renkaista on kierrätettävä - tämä tavoite on toteutunut. Kierrätysvelvoitteen hoitamiseksi joukko rengasalan toimijoita perustivat syksyllä 1995 Suomen Rengaskierrätys Oy:n. Yhtiön tavoitteena ei ole tuottaa voittoa omistajilleen, vaan keskitetysti hoitaa renkaiden keräys ja hyötykäyttö valtakunnallisesti - kokonaistaloudellisesti ja kustannustehokkaasti.

Rengasjätettä käytetään maanrakentamisessa lähinnä kevennysmateriaalina ja meluvalleissa. Rengasrouhetta voidaan käyttää myös kenttien kuivatusrakenteissa. Sitä on käytetty myös vanhojen kaatopaikkojen kaasunkeräysrakenteissa. Rengasrouhe vähentää maarakenteissa myös roudan tunkeutumista.

Lähde: http://www.rengaskierratys.com/

OKTO- eriste ja masuunihiekka

Terästeollisuuden sivutuotteet ovat lähinnä kuonia. Eri kuonalajien syntyminen ja ominaisuudet riippuvat kuonan jäähdytystavasta. Vesijäähdytyksen seurauksena syntyy masuunihiekkaa (Raahe) ja OKTO-eristettä (Tornio). Masuunihiekka ja OKTO-eriste ovat raekoostumukseltaan hiekan kaltaisia. Ne ovat huokoisten rakeittensa ansioista lämpöä eristävämpiä kuin luonnon hiekka. Tämä mahdollistaa näistä materiaaleista tehdyt selvästi ohuemmat rakennekerrokset routivilla mailla. Masuunihiekka soveltuu hyvin talvirakentamiseen. Masuunihiekka ja OKTO-eriste ovat tuotevastuulain (694/1990) alaisia tuotteita.

Masuunihiekan hyvä kantavuus saavutetaan sillä, että materiaalilla on sideaineominaisuuksia. Sementtiin verrattuna masuunihiekan sitoutuminen on hitaampaa. Lujuuden kehittyminen tapahtuu pääosin kolmen kuukauden aikana. Alhainen kapillaarisuus, noin 100…200 mm, tekee materiaalista routimattoman. Tutkimusten mukaan masuunihiekasta ei liukene ympäristöön haitallisia aineita. OKTO-eristeellä ei ole sideaineominaisuuksia.

Ominaisuuksia

	Masuunihiekka	**OKTO-eriste**
Irtotilavuuspaino	11-12 kN/m^3	11-12 kN/m^3
Rakenneteoreettinen tilavuuspaino	14-16 kN/m^3	14-19 kN/m^3
Kitkakulma	n. 45º	n. 39 – 42º
Vesipitoisuus	n. 10 %	
Kapillaarisuus	100…200 mm	100 mm
Vedenläpäisevyys	10^{-4} m/s	10^{-3}…10^{-4} m/s
Lämmönjohtavuus	0,35 – 0,70 W/mK	
E-moduuli	600 – 1000 MPa	

Lähde: http://www.morenia.fi/

Teräskuona- ja OKTO-murske

Teräskuonamurske (Raahe) ja OKTO-murskeet (Tornio) valmistetaan ilmajäähdytetystä terästeollisuuden sivutuotteista. Materiaalin jäähdyttyä ne murskataan halutun kokoisiksi lajitteiksi. Tuotteiden lasimaisen rakenteen vuoksi haitallisten aineiden liukenevuus on pientä.

Ominaisuus	Teräs-kuonamurske	OKTO-murske
Irtotilavuuspaino kN / m^3	16…18	13…17
Kiintotilavuuspaino kN / m^3	33	30
Haurausarvo	13…15	15…17
Hioutuvuusarvo	1,4…1,7	1,0
LA-luku	16…20	12…15
Muotoarvo P/L	1,8/1,2…1,4	2,1/1,2…1,4

OKTO-murskeet vastaavat lujuudeltaan I- tai II-luokan kiviainesta eli niitä voidaan käyttää vaativissakin päällysteissä. Hyvän vedenläpäisevyytensä ansiosta niitä voidaan käyttää myös vaativissa suodatinkerrosrakenteissa. Ne ovat kantavia, kevyitä ja eristäviä. Teräskuona- ja OKTO-murskeita voidaan käyttää asfalttipäällysteissä muun kiviaineksen joukossa.

Lähde: http://www.morenia.fi/