



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JANI SARANEN  
JAKELUASEMIEN POHJAVEDENSUOJAUSRAKENTEET

Kandidaatintyö

## TIIVISTELMÄ

**Jani Saranen:** Jakeluasemien pohjavedensuojusrakenteet  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Kandidaatintyö, 39 sivua  
Huhtikuu 2018  
Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Yhdyskuntatekniikka  
Tarkastaja: Minna Leppänen

Avainsanat: Jakeluasema, pohjavedensuojaus, haitta-aine

Jakeluasemat toimintoineen ovat suuri pohjaveden pilaantumisriskin aiheuttaja. Jakeluasemien kasvavan määrän ja pohjaveden lisääntyneen käytön vuoksi pohjavedensuojaus on nykypäivänä tärkeää ottaa huomioon. Suomessa jakeluasemarakentamista ohjaa valtioneuvoston asetus nestemäisten polttoaineiden jakeluasemien ympäristönsuojeluväitömuksista (444/2010), Öljy- ja biopolttoaineala ry:n laatimat ohjeet ja standardi *SFS 3352 Palavien nesteiden käsittely ja varastointi jakeluasemalla (ns. jakeluasemastandardi)*.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, miten pohjavedensuojelu otetaan huomioon jakeluasematoiminnassa ja millaisilla rakenteilla ohjeiden mukaan pilaantuminen estetään. Kirjallisuuden perusteella arvioidaan rakenteiden tehokkuutta ja pohditaan, millaisia vaihtoehtoisia materiaaleja rakenteelle olisi. Materiaalien ominaisuuksien perusteella tehdään johtopäätökset nykyiselleen vakiintuneen rakenteen toimivuudesta.

Taustaksi selvitetään haitta-aineet, jotka aiheuttavat jakeluasematoiminnassa riskin pohjaveden pilaantumiselle sekä niiden kulkeutumismekanismia. Haitta-aineet liikkuvat maaperässä muun muassa advektion, diffuusion, dispersion ja haihtumisen vaikutuksesta. Vesiliukoiset haitta-aineet kuten MTBE ja TAME kulkeutuvat maaperässä veden mukana. Hydrofobiset haitta-aineet kulkeutuvat kemiallisen diffuusion vaikutuksesta tai pidentyvät saveen ja/tai orgaanisiin partikkeleihin.

Jakeluasemastandardin mukaan pohjavedensuojusrakenteena toimii pelkkä tiivistyskalvo. Jakeluasemastandardi edellyttää käytettäväksi 1,0 mm paksuista HDPE-kalvoa tai ominaisuuksiltaan vastaavanlaista tiivistyskalvoa. Tehdyn kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että HDPE-kalvo ei ole paras mahdollinen vaihtoehto, sillä se on altis jännityssäröilylle sen korkean kristallisoitumisasteen johdosta. Jännityssäröilyn vuoksi HDPE-kalvo reikiintyy helposti. Jos kalvoon tulee reikä, haitta-aineiden kulkeutuminen riippuu yksinomaan alapuolisen rakenteen tai maaperän vedenjohtavuudesta. Markkinoilla on tarjolla HDPE-kalvon tilalle tarkoitukseen paremmin sopivia materiaaleja, kuten joustavampi LLDPE-kalvo, monikerroskalvot ja ns. EIA-kalvot. Monikerroskalvojen toimintaperiaate perustuu päällekkäisiin polaarisiin ja ei-polaarisiin kal-

voihin. EIA-kalvo eli eteenistä valmistettu polymeeriseoskalvo on joustava ja kemiallisesti kestävä kalvo. Jakeluasemastandardi edellyttää käytettäväksi yhdistelmärakennetta vain pohjavesialueella. Asentamalla mineraalinen vettä läpäisemätön tiivistyskerros tiivistyskalvon alapuolelle voidaan tehokkaammin estää haitta-aineiden kulkeutuminen maaperään ja edelleen pohjaveteen.

Jakeluasematoiminnan aiheuttamat kuormitukset pohjavedensuojusrakenteisiin tunnetaan hyvin ja jakelualue on alueena pieni, joten pohjavedensuojusrakenteissa käytetyt materiaalit voitaisiin valita tapauskohtaisesti.

## **ABSTRACT**

**Jani Saranen:** Ground water protection structures for service stations

Tampere University of Technology

Bachelor of Science Thesis, 39 pages

April 2018

Degree Programme in Civil Engineering

Major: Municipal Technology

Examiner: Minna Leppänen

Keywords: Service station, ground water protection, hazardous substances

## **ALKUSANAT**

Tämä kirjallisuustutkimus on tehty opinnäytteenä osana kandidaatintutkintoa Tampereen teknillisessä yliopistossa. Haluan kiittää työni ohjaajaa Minna Leppästä asiantuntevasta, kannustavasta ja inspiroivasta ohjauksesta.

Tampereella, 20.4.2018

Jani Saranen

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	POLTTONESTEIDEN JAKELUASEMAN TOIMINNOT .....	2
3.	POLTTONESTEIDEN JAKELUASEMAN AIHEUTTAMA POHJAVESIRISKI	5
3.1	Jakelutoiminnan haitta-aineet.....	5
3.2	Päästö lähteet.....	7
3.3	Haitta-aineiden kulkeutumismuodot .....	8
3.3.1	Advektio.....	9
3.3.2	Haihtuminen.....	12
3.3.3	Diffuusio .....	12
3.3.4	Dispersio .....	12
3.4	Pidättyminen ja vaimeneminen maaperässä.....	12
4.	NYKYISET VAATIMUKSET JAKELUASEMIEN RAKENTEILLE.....	14
4.1	Palavien nesteiden säiliöt ja niiden varusteet.....	14
4.1.1	Palavien nesteiden säiliöiden sijoittaminen .....	14
4.1.2	Palavien nesteiden putkistoille asetetut vaatimukset .....	16
4.2	Jakelualueen viemärointi.....	17
4.3	Jakelualueen päällysrakenne .....	18
4.4	Jakelualueen suojausrakenne.....	19
4.5	Jakeluaseman rakenteet pohjavesialueella .....	21
5.	MATERIAALIEN RAKENNETTAVUUS.....	24
5.1	Kalvojen asentaminen .....	24
5.2	Olosuhteiden vaikutukset asennustyöhön .....	27
6.	VAIHTOEHTOISET RAKENTEET .....	30
6.1	LLDPE-kalvo .....	30
6.2	Monikerroskalvot .....	30
6.3	EIA-kalvot.....	32
6.4	Yhdistelmä rakenne.....	36
6.5	Kaksoisyhdistelmä rakenne.....	36
7.	YHTEENVETO .....	38
	LÄHTEET.....	40

## LYHENTEET JA KÄSITTEET

ASTM	eng. American Society for Testing and Materials, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
BTEX	eng. Benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleeni
E	Kimmomoduuli [MPa]
EIA	eng. Ethylene interpolymer alloy, eteenistä valmistettu polymeeri-seos
EN	Eurooppalainen standardi
HDPE	eng. High-density polyethylene, korkeatiheyspolyeteeni
LLDPE	eng. Linear low-density polyethylene, lineaarinen matalatiheyspolyeteeni
MTBE	Metyylitertiäaributyylieetteri
PAH	eng. Polycyclic aromatic hydrocarbons, polysyklinen aromaattinen hiilivety
PCB	Polykloorattu bifenyylä
PE	Polyeteeni
SVK	Sadevesikaivo
SVTK	Sadevesitarkastuskaivo
TAME	Tertiäärinen amyylä-metyylieetteri
TCA	Tolerable Concentration in Air, suurin turvallinen hengitysilman pitoisuus
TDI	Tolerable Daily Intake; suurin turvallinen päiväannos ihmisen painokiloa kohti
VNa	Valtioneuvoston asetus
VOC	eng. Volatile organic compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet
Absorptio	Tapahtuma, jossa aine pidättyy toisen partikkelin rakenteen sisään
Adsorptio	Tapahtuma, jossa aine kiinnittyy kiinteään partikkelin pintaan kemiallisesti tai sähköisten voimien vaikutuksesta
Advectio	Liuenneiden tai suspendoituneiden aineiden liikkumista virtaavan veden mukana
Alifaattinen-yhdiste	Orgaaninen yhdiste, joka ei sisällä bentseenirengasta
Bentoniitti	Luonnon savimineraali, jonka toiminta perustuu sen kykyyn paisua moninkertaiseksi kastuessaan
Diffuusio	Kemiallinen prosessi, jossa aineet kulkeutuvat suuremman pitoisuuden alueelta pienemmän pitoisuuden alueelle.
Dispersio	Dispersio aiheutuu mekaanisesta sekoittumisesta ja diffuusiosta
Geomembraani	Tiivistyskalvo
Haitta-aine	Aine, joka voi aiheuttaa haittoja ympäristölle, ihmisille tai eliöille
Hiekanerotuskaivo	Kaivon tehtävänä on erottaa kiinteä aine nesteestä, kiinteä aine kerätty sakkapesään
HDPE-kalvo	Korkeatiheyspolyeteenistä valmistettu tiivistyskalvo
Hulevesi	Rakennetulta alueelta poisjohdettava sade- ja sulamisvesi
Huokoisuus	Huokosten tilavuuden suhde kokonaistilavuuteen
Jakeluasema	Paikka jakelulaitteineen, nestemäisen polttoaineen säiliöineen ja mahdollisine huolto- ja pesuhalleineen sekä muine rakennuksineen, jossa polttoainetta myydään tai luovutetaan pääasiassa moottoriajoneuvojen tai moottoriveneiden polttoaineeksi

Mineraalinen tiivistyskerros	Mineraalisesta materiaalista rakennettu alhaisen vedenläpäisevyyden omaava tiivistyskerros
Pohjaveden suojausrakenne	Synteettisistä ja/tai mineraalisista tuotteista rakennettu rakenne, jonka tehtävänä on estää haitta-aineiden pääsy maaperään ja tätä kautta edelleen pohjaveteen
Pohjavesi	Sadannasta ja sulamisvesistä maa- ja kallioperään suotautuvaa ja varastoituvaa vettä
Päästö	Ihmistoiminnan aiheuttamaa aineen, energian, melun, säteilyn, valon, lämmön tai hajun päästämistä suoraan tai epäsuorasti maaperään, veteen tai ilmaan
Sorptio	Yleisnimitys kemikaalin pidättymiselle
Suspendoitunut aines	Vedessä sekoittunut hienojakoinen orgaaninen ja/tai mineraalinen aines
Suojageotekstiili	Paksu huopamainen kangas, voidaan käyttää tiivistyskalvon suojarakenteena
Suojakerros	Suojakerroksen tehtävänä tiivistysrakenteessa on suojata tiivistyskalvoa siihen kohdistuvilta kuormilta
Tolueeni	Aromaattinen hiilivety
Tiivistysrakenne	Vähentää haitta-aineiden pääsyä tiivistysrakenteen alapuoliseen maaperään
Tiiviysaste	Rakenteesta mitatun kuivairtotiheyden suhde vakioyö määrällä määritettyyn tiheyteen
Tiiviysuhde	Muodonmuutosmoduulien $E_1$ ja $E_2$ suhde



# 1. JOHDANTO

Tässä työssä käsitellään palavien nesteiden jakeluasemien pohjavedensuojusrakenteita. Pohjaveden suojaaminen on yhteiskuntamme toimimisen kannalta erityisen tärkeää, koska suurin osa käyttämästämme talousvedestä tulee pohjavedestä. Suomen pohjavesimuodostumat ovat kuitenkin pilaantumisherkkiä, koska niitä suojaava maakerros on yleensä ohut ja hyvin vettä johtava. Maaperään ja tätä kautta edelleen pohjaveteen kohdistuvat kuormitukset aiheuttavat riskin pohjaveden pilaantumiselle. Pohjaveden pilaantumisella on haitallisia vaikutuksia eläimistölle, kasvistolle ja ihmisten terveydelle.

Pohjaveden suojelun tarve on lisääntynyt sen kasvavan käytön ja uusien riskien tiedostamisen myötä. Pohjaveden laatua uhkaavat monet tekijät. Jakeluasemat toimintoineen ovat yksi pohjaveden pilaantumisriskin aiheuttaja.

Työn tavoitteena on selvittää ja arvioida rakenteita, joita ohjeissa ja standardeissa esitetään. Kirjallisuustutkimuksen perusteella selvitetään, minkälainen on tehokas ja luotettavasti työmaaoloissa toteutettava pohjavedensuojusrakenne. Lisäksi selvitetään, ovatko nykyiset ohjeistukset ja standardit riittäviä kestävien ja tehokkaiden rakenteiden saavuttamiseksi. Yhtenä työn näkökulmana on selvittää, minkälaisia pilaantumisriskejä jakeluasemat aiheuttavat maaperään ja tätä kautta edelleen pohjaveteen. Suunnittelun kannalta on tärkeää tietää, miten päästöistä aiheutuneet haitta-aineet käyttäytyvät maaperässä ja miten ne kulkeutuvat edelleen pohjaveteen, jotta haitta-aineiden kulkeutuminen voidaan tehokkaasti estää tehokkailla toimenpiteillä ja rakennusteknisillä ratkaisuilla.

Työssä keskitytään Suomen tilanteeseen ja siihen, miten pohjavedensuojelu on otettu huomioon Suomessa sijaitsevilla jakeluasemilla. Suomessa jakeluasematoiminta on hyvin säännösteltyä. Suomessa jakeluasemien rakentamista ja suunnittelua ohjaavat valtioneuvoston asetus nestemäisten polttoaineiden jakeluasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista (444/2010), Öljy- ja biopolttoaineala ry:n laatimat ohjeet ja *standardi SFS 3352 Palavien nesteiden käsittely ja varastointi jakeluasemalla*.

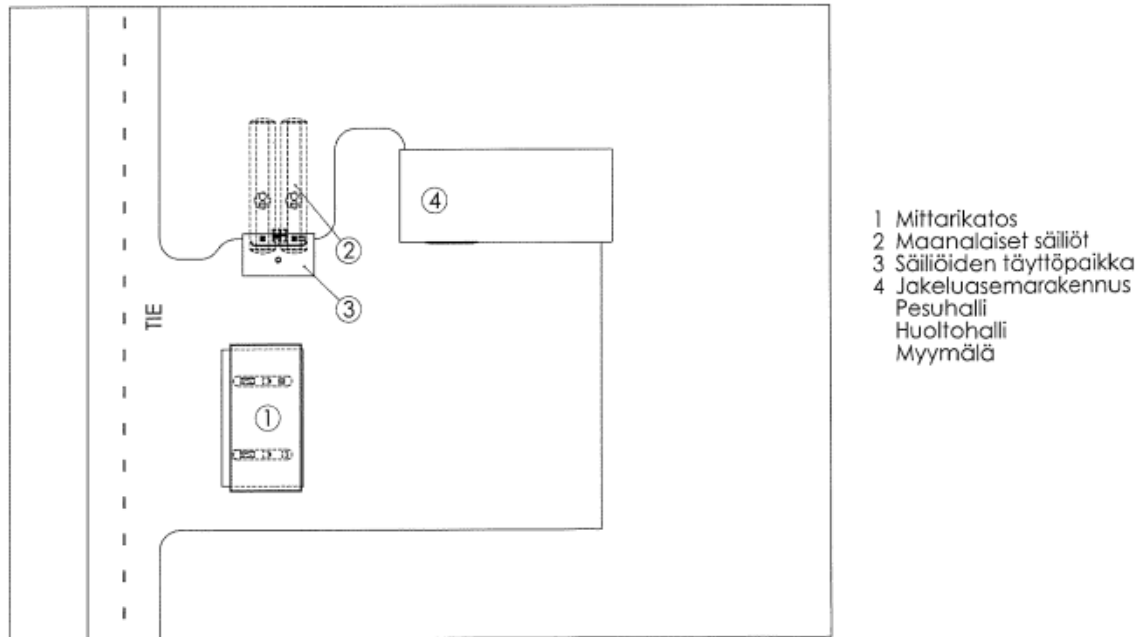
## 2. POLTTONESTEIDEN JAKELUASEMAN TOIMINNOT

Jakeluasemalla tarkoitetaan nestemäisen polttoaineen myyntipistettä. Tässä työssä jakeluasemasta käytetään valtioneuvoston määritelmää: jakeluasemalla tarkoitetaan ”sel-laista paikkaa jakelulaitteineen, nestemäisen polttoaineen säiliöineen ja mahdollisine huolto- ja pesuhalleineen sekä muine rakennuksineen, jossa polttoainetta myydään tai luovutetaan pääasiassa moottoriajoneuvojen tai moottoriveneiden polttoaineeksi” (VNa 444/2010). Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen nykyaikainen jakeluasema.



**Kuva 1.** Tyypillinen nykyaikainen jakeluasema (Aittoniemi 2016)

Palavien nesteiden jakelu aiheuttaa maaperän ja pohjaveden pilaantumisen riskin. Jakeluasemilla voi olla myös muita toimintoja, jotka voivat aiheuttaa riskin pohjaveden pilaantumiselle. Usein jakeluasemien yhteydessä on autonpesua, autonhuoltopalveluja ja nestekaasujen jakelua (Soini 2014, s.15). Kuvassa 2 on jakeluaseman yleissuunnitelma.



**Kuva 2.** Jakeluaseman yleissuunnitelma (SFS 3352 2014, s.11)

Suomessa palavia nesteitä jakavien jakeluasemien rakentaminen ja suunnittelu on hyvin ohjattua ja rajattua toimintaa. Sitä säätelevät useat lait ja asetukset. Jakeluasemia koskevilla säädöksillä on pyritty pienentämään niistä aiheutuvia ympäristöllisiä riskejä. Niillä pyritään ensisijaisesti vaikuttamaan jakeluasemien sijaintiin, toimintaan ja teknisiin rakenteisiin.

Jakelulaite tulee sijoittaa yli 5 m päähän tontin tai rakennuspaikan rajasta. Viranomaisten ja naapurikiinteistön omistajan kirjallisella luvalla jakelulaite voidaan sijoittaa myös lähemmäksi rajaa. Jakelulaite tulee sijoittaa niin, että siitä ei ole haittaa jakeluasemalla liikennöiville ajoneuvoille. Kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti jakeluaseman suunnittelussa tulee ottaa huomioon käytettävien materiaalien kierrätettävyys ja huollettavuus. (SFS 3352 2014, s.12)

Valtioneuvoston asetus nestemäisten polttoaineiden jakeluasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista (444/2010) säätelee jakeluaseman toimintaa, rakentamista ja suunnittelua. Asetusta sovelletaan nestemäisiä polttoaineita varastoiviin jakeluasemiin, joiden nesteitä varastoivien säiliöiden koko on vähintään 10 m<sup>3</sup> tai jotka sijaitsevat vedenhankintaa varten tärkeällä pohjavesialueella tai joiden toiminta saattaa aiheuttaa pohjaveden pilaantumisen riskin. Asetuksessa on säädetty jakeluaseman teknisestä rakenteesta seuraavaa: ”Nestemäisten polttoaineiden varastointiin ja käsittelyyn tarkoitettujen laitteiden ja rakennosien on oltava jakeluasemia ja niiden laitteita koskevan standardin SFS 3352 vaatimusten tai muiden vastaavan tasoisten vaatimusten mukaisia. Lisäksi jakeluaseman tekninen rakenne on tarkastettava rakennus- ja kemikaaliturvallisuusmääräysten ja standardisoitujen ohjeiden mukaisesti työvaiheittain ennen aseman käyttöönottoa.” Jakeluase-

man rakenteiden on täytettävä standardin *SFS 3352* vaatimukset. Tarkemmin jakeluaseman teknisistä rakenteista säädetään kauppaja- ja teollisuusministeriön päätöksessä vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista jakeluasemalla (418/1998).

Polttoainesäiliöiden, putkistojen ja muiden polttoaineita liikuttavien rakenteiden ja viemäreiden on oltava tiiviitä ja kestäviä mekaanisia ja kemiallisia rasituksia vastaan (VNa 444/2010 6 §). Pohjavedelle riskin aiheuttavista työvaiheista on laadittava laadunvarmistusselvitys. Näitä työvaiheita ovat esimerkiksi tiivistysrakenteen saumaus, säiliön asennus, ankkurointi ja peittäminen, putkiston asentaminen, tukeminen sekä näiden liitostyöt ja viemäreiden ja kaivojen asentaminen (VNa 444/2010 15 §).

Tämän hetkinen ympäristönsuojelulaki on astunut voimaan 27. kesäkuuta 2014. Lain tarkoituksena on ehkäistä ympäristön pilaantumista sekä vähentää päästöjä ja poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja. Ympäristönsuojelulaki kieltää pohjaveden pilaamisen (Ympäristönsuojelulaki 17 §). Lain mukaan jakeluasema tarvitsee ympäristöluvan, jos jakeluasema sijaitsee tärkeällä tai muulla vedenhankintaan soveltuvalla pohjavesialueella tai toiminnasta voi aiheutua vesistön pilaantumista, vaikutuksia Natura 2000-alueelle tai kohtuutonta räsitusta naapurustolle. Muulloin riittää rekisteröinti ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. Ilmoitus tehdään vähintään 90 päivää ennen toiminnan aloittamista kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle. Muita säädöksiä, jotka vaikuttavat jakeluasemien toimintaan ovat muun muassa:

- laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005)
- Valtioneuvoston asetus bensinihöyryjen talteenotosta jakeluasemilla (198/2016)
- Kauppaja- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä (318/1985)
- Kauppaja- ja teollisuusministeriön päätös vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista jakeluasemilla (415/1998)

### 3. POLTTONESTEIDEN JAKELUASEMAN AIHEUTTAMA POHJAVESIRISKI

Tässä luvussa käsitellään jakeluasematoiminnasta aiheutuvia polttoaineperäisiä päästöjä maaperään ja sitä kautta edelleen pohjaveteen. Pohjavesi on osa veden luonnollista kiertokulkua. Pohjavettä muodostuu sateen ja lumen sulamisvesien imeytyessä maaperään ja edelleen pohjavesivyöhykkeisiin. Pohjavettä muodostuu merkittäviä määriä alueilla, joilla maalaji on hyvin vettä läpäisevää.

#### 3.1 Jakelutoiminnan haitta-aineet

Jakeluasemilla yleisemmin varastoitavia polttonesteitä ovat bensiini, diesel ja polttoöljy. Muita jakeluasematoiminnasta muodostuvia tai käytettyjä haitta-aineita sisältäviä nesteitä ovat akkunesteet, jäteöljy ja pesuliuottimet. Polttonesteiden öljyhiilivetyjen koostumukset ja haitta-aineet vaihtelevat. Taulukossa 1 on esitetty näiden polttonesteiden ja muiden aineiden sisältämät tyypilliset haitta-aineet.

**Taulukko 1.** Polttonesteiden sisältämät tyypilliset haitta-aineet (Muokattu lähteestä Soini 2014, s.20)

Ainesosa	Moottoribensiini	Diesel	Polttoöljy	Jäteöljy	Pesuliuottimet
BTEX-yhdisteet	x		x	x	
PAH-yhdisteet	x	x	x	x	
MTBE	x			x	
TAME	x				
Alifaattiset hiilivedyt C6-C8	x				
Alifaattiset hiilivedyt C8-C12	x	x	x		
Alifaattiset hiilivedyt C12-C16		x	x		
Alifaattiset hiilivedyt C16		x	x	x	
Aromaattiset hiilivedyt C8-C12	x		x		
Aromaattiset hiilivedyt C12-C16			x		
Aromaattiset hiilivedyt C16-C21			x		
Aromaattiset hiilivedyt C21-C28			x	x	
Raskasmetallit (lyijy, kadmium, kromi)				x	
Klooratut hiilivedyt				x	x
Polyklooratut bifenyylit (PCB)				x	

Pohjavedelle haitallisimpia öljytuotteita ovat kevyet öljytuotteet kuten moottoribensiini ja dieselöljy. Ne imeytyvät hyvin vettä läpäisevään maaperään, kuten hiekka- ja soramateriaaleihin. Koska kevyet öljytuotteet ovat vettä kevyempiä, öljyyntymä muodostuu pohjavedenpinnan yläpuolelle. Jos pohjavedenpinnan korkeus vaihtelee, joutuu öljyä myös virtaavaan pohjaveteen. Kevyet polttoöljyt ovat ominaisuuksiltaan dieselöljyn kaltaisia. Kevyen polttoöljyn erottaa dieselöljystä vain kevyeen polttoöljyyn lisättävä punainen väriaine. Väriainetta lisätään verotuksellisista syistä. (Innamaa 1993, s.36; Soini 2014, s.20)

Raskas öljy painuu alaspäin, kunnes se törmää vettä läpäisemättömään maakerrokseen tai pohjaveteen. Törmättyään läpäisemättömään maakerrokseen se alkaa levitä tämän kerroksen suuntaisesti. Raskaat öljytuotteet, kuten raskas polttoöljy ja jäteöljy eivät juuri imeydy maaperään. Raskaat öljytuotteet adsorboituvat helposti eli kiinnittyvät maaperässä olevan orgaanisen aineksen pintaan. Raskaat polttoöljyt sisältävät raskaita aromaattisia C<sub>8</sub>-C<sub>28</sub>-hiilivetyjä. Raskas polttoöljy ei ole biohajoava tai vesiliukoinen yhdiste. (Soini 2014, s.20)

Moottoribensiini koostuu sadoista alifaattisista C<sub>6</sub>-C<sub>12</sub>-yhdisteistä, BTEX-yhdisteistä ja VOC-yhdisteistä. Alifaattisilla yhdisteillä tarkoitetaan suoraketjuisia orgaanisia yhdisteitä, jotka eivät sisällä bentseenirengasta eli eivät ole aromaattisia. Bentseenistä, toluenista, etyylibentseenistä ja ksyleenistä käytetään nimitystä BTEX-yhdisteet. BTEX-yhdisteet ovat herkästi haihtuvia, vesiliukoisia ja maaperässä helposti kulkeutuvia. Moottoribensiinistä tekee haihtuvaa sen sisältämät VOC-yhdisteet eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Moottoribensiini on hydrofobinen eli vettä hylkivä helposti haihtuva neste. Se on ihmisen terveydelle haitallista sen sisältämien helposti haihtuvien VOC-yhdisteiden vuoksi. Moottoribensiini on hitaasti biohajoavaa. (Soini 2014, s.19)

Ennen polttonesteissä on käytetty myös lyijyä, mutta nykyään se on korvattu MTBE:llä eli metyyli-tertiääri-butyylieetterillä ja TAME:lla eli tertiäärisellä amyylimetyylieetterillä, jotta polttonesteistä on saatu ympäristöystävällisempiä. MTBE on yleisesti käytetty bensiiniin lisättävä synteettinen lisäaine. MTBE:tä lisätään bensiiniin oktaaniluvun kasvattamiseksi, mikä tehostaa palamisprosessia. Kun palaminen on tehokkaampaa, pokaasupäästöt ovat pienempiä. Ilmaston kannalta sillä on positiivisia vaikutuksia, mutta pohjavedelle se on erittäin haitallinen. MTBE on vesiliukoinen yhdiste, joten se kulkeutuu maaperässä ja pohjavedessä helposti. Päästyään pohjaveteen se voi kulkeutua virtausten mukana helposti laajallekin alueelle. (Tidenberg et al. 2009, s.20,24)

MTBE:n kynnysarvo valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa (214/2007) on 0,1 mg/kg. Alhaisen haju- (15 µg/l) ja makukynnyksen (40 µg/l) vuoksi MTBE rajoittaa jo alhaisissa pitoisuuksissa pohjaveden käyttöä talousvetenä. (Tidenberg et al. 2009, s.24) Terveysperusteiset viitearvot MTBE:lle ovat: TDI 900 µg/kg/d eli suurin turvallinen päiväannos ihmisen painokiloa kohti ja TCA 3000 µg/m<sup>3</sup>/d eli suurin turvallinen hengitysilman pitoisuus vuorokaudessa (Ympäristöministeriö 2007, s.83). TAME on rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan MTBE:n kaltainen

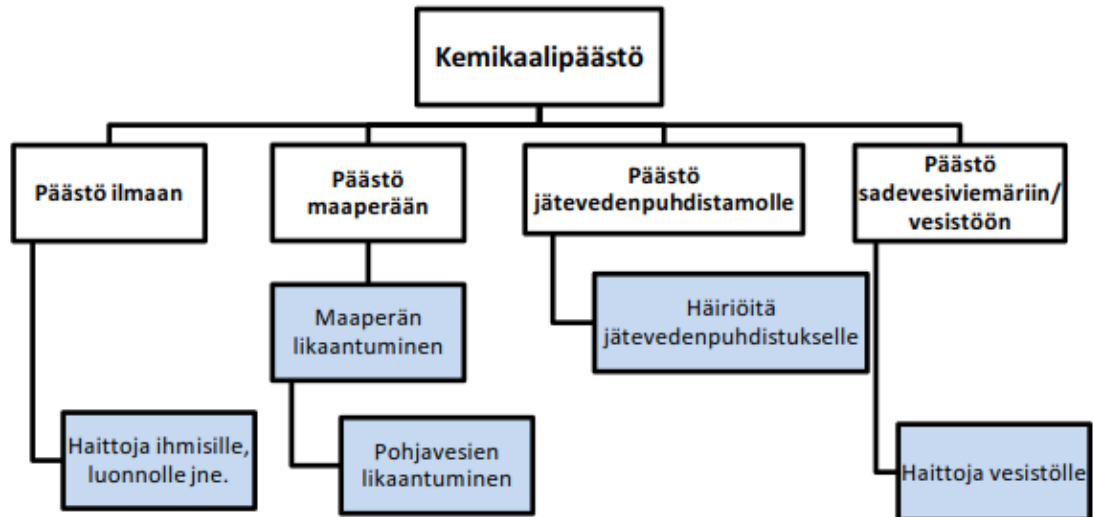
yhdiste. TAME:a käytetään yleisesti MTBE:n rinnalla bensiinin lisäaineena tehostamaan palamisreaktiota (Tidenberg et al. 2009, s.24).

Dieselöljy koostuu alifaattisista C<sub>8</sub>-C<sub>16</sub>-hiilivedyistä ja PAH-yhdisteistä eli polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. PAH-yhdisteet ovat kahdesta tai useammasta bentseenirenkaasta koostuvia hiilivety-yhdisteitä. Dieselöljy on hitaasti haihtuva ja heikosti veteen liukeneva polttoneste sen sisältämien hydrofobisten PAH-yhdisteiden vuoksi. Se ei kulkeudu maaperässä tai pohjavedessä niin helposti kuin moottoribensiini, koska se on tätä raskaampi yhdiste. PAH-yhdisteet sitoutuvat helposti maaperän orgaaniseen ainekseen. Sitoutumiseen vaikuttaa orgaanisten aineiden partikkelien koko ja maaperän happamuus. PAH-yhdisteiden biohajoamiseen vaikuttavat niiden kemiallinen rakenne sekä ympäristön kemialliset ja fysikaaliset olosuhteet. PAH-yhdisteet voivat kulkeutua maaperässä myös haihtumalla. PAH-yhdisteet ovat eliöille ja ihmiselle haitallisia. (Heikkinen 1999, s.39-40; Soini 2014, s.19; Työterveyslaitos 2016, s.4)

Ympäristölle haitallisia ja ihmiselle myrkyllisiä kloorattuja hiilivetyjä ja monikloorattuja hiilivetyjä eli polykloorattuja bifenyylejä esiintyy voiteluöljyissä. PCB-yhdisteet pidättyvät herkästi orgaanisiin partikkeleihin. Orgaanisiin partikkeleihin pidättyneinä PCB-yhdisteet voivat kulkeutua veden mukana. Maaperässä PCB-yhdisteiden kulkeutumiseen vaikuttaa biologinen hajoaminen. Biologisen hajoamisen seurauksena PCB-yhdisteiden vesiliukoisuus voi kasvaa. (Heikkinen 1999, s.65-66)

### 3.2 Päästö lähteet

Jakeluasematoiminnassa polttoaineperäisiä päästöjä ympäristöön aiheuttavat säiliöiden tai ajoneuvojen ylitäytöt, valumat viallisista ajoneuvoista, putkien ja muiden rakenteiden rikkoutumiset, onnettomuustilanteet, polttoainehöyryjen imeytyminen lumeen ja haitta-aineiden kulkeutuminen sulamisvesien mukana pohjavesiin sekä huonosti toimivat öljynerotuskaivot. Putkirikot voivat johtua esimerkiksi maan epätasaisesta painumisesta tai tiivisteiden rikkoutumisesta. Myös muut jakeluaseman toiminnot, kuten pesu- ja huolto-palvelut aiheuttavat kemikaalipäästöjä. Päästö voi aiheutua ilmaan, maaperään, jätevedenpuhdistamolle tai vesistöön, riippuen sen kulkeutumismuodosta. (Soini 2014, s.18; Tidenberg et al. 2009, s.17) Kuvassa 3 on esitetty jakelutoiminnasta aiheutuneet kemikaalipäästöt ja sen aiheuttamat vaikutukset.



*Kuva 3. Jakeluaseman aiheuttamat kemikaalipäästöt (Soini 2014, s.19)*

Ilmapäästöjä aiheuttaa etenkin bensiini, sillä se on ominaisuuksiltaan hyvin haihtuvaa. Bensiini ja muut helposti haihtuvat haitta-aineita sisältävät yhdisteet ovat haihtuessaan haitallisia ihmisille, eläimille ja eliöille. Päästö maaperään voi aiheutua esimerkiksi rakenteen rikkoutuessa. Päästön jätevedenpuhdistamolle voivat aiheuttaa haitta-aineet, jotka pääsevät kulkeutumaan viemäriverkostoon. Viemäriverkostoon haitta-aine voi päätyä hulevesien mukana, huonosti toimivien öljynerottimien vuoksi tai jos käytetyt putkimateriaalit ovat vääriä ja kemikaaleja suotautuu maarakenteista viemäriverkostoon. Valunnan mukana haitta-aineet kulkeutuvat sadevesiviemäriin ja vesistöihin. Sadevesien mukana kulkeutuvat haitta-aineet eivät välttämättä aiheuta riskiä ympäristön pilaantumiselle, jos niiden pitoisuudet eivät ole riittävän suuria. (Soini 2014, s.18-19; Tidenberg et al. 2009, s.17-18)

### 3.3 Haitta-aineiden kulkeutumismuodot

Haitta-aineet kulkeutuvat maaperässä eri olomuodoissa: kaasumaisina, partikkeleina, omana faasinaan ja nesteeseen liuenneina. Haitta-aineet kulkeutuvat maaperässä usein veden vaikutuksesta. Haitta-aineen kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat maaperän ominaisuudet, haitta-aineiden ominaisuudet ja ilmaston olosuhteet. Maaperän ominaisuuksista haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavat rakeisuus, vedenläpäisevyys, huokoisuus, huokosten kylläisyys ja saven sekä orgaanisen aineen määrä. Haitta-aineiden kulkeutumista vähentävät savi- ja humuspitoiset maa-ainekset, sillä haitta-aineet pyrkivät sitoutumaan näihin maaperän komponentteihin. Savipitoiset maalajit johtavat myöskin vettä. (Heikkinen 1999, s.12; Reinikainen et al. 2014, s.52)



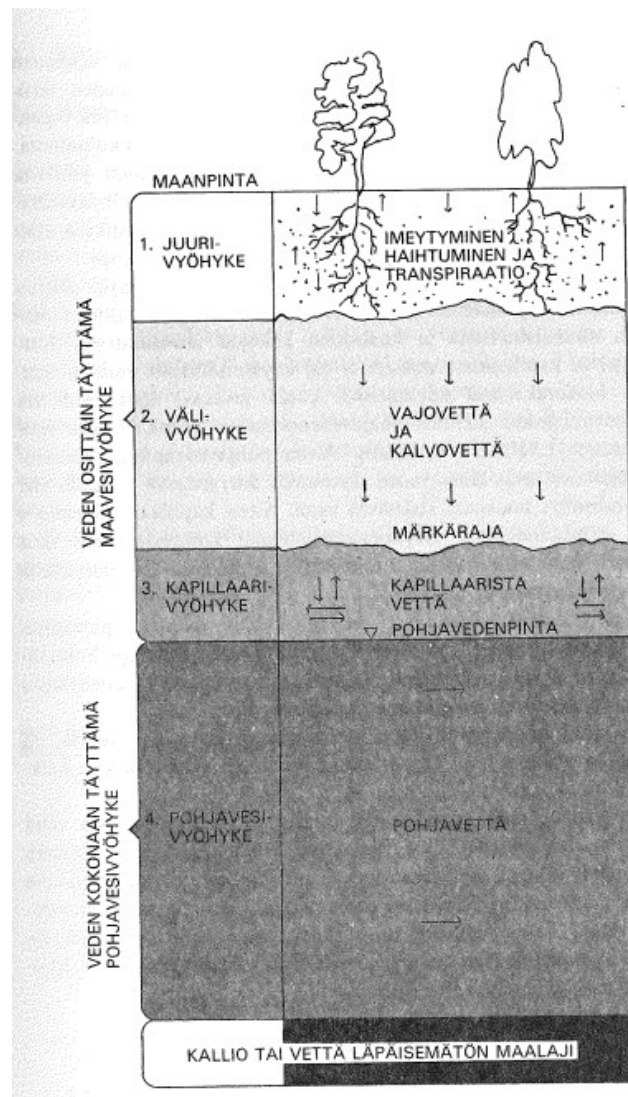
Haitta-aineen ominaisuuksista sen kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat sen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, kuten vesiliukoisuus, haihtuvuus ja tiheys. Ilmasto-olosuhteista lämpötilan vaihtelut, sadanta ja ilmankosteus ovat tärkeimmät tekijät haitta-aineiden kulkeutumiseen maaperässä. (Heikkinen 1999, s.12-13)

Haitta-aineiden kulkeutuminen maaperässä tapahtuu advektiolla, haihtumalla, diffuusiolla tai dispersiolla. Haitta-aineet voivat myös pidäytyä tai vaimeta maaperässä. Vesiliukoiset haitta-aineet liikkuvat veden mukana. Hydrofobiset haitta-aineet pidäytyvät saveen ja/tai orgaanisiin partikkeleihin. Hydrofobiset aineet voivat liikkua vesiliukoisten aineiden tavoin kemiallisen diffuusion vaikutuksesta. (Heikkinen 1999, s.13-14)

### **3.3.1 Advektio**

Advektiolla tarkoitetaan liuenneiden tai suspendoituneiden eli vedessä olevien hienojakoisten orgaanisten ja/tai mineraalisten aineiden liikkumista veden virtausten mukana. Advektio on merkittävä kulkeutumismekanismi hyvin vettä läpäisevissä maa-aineksissa. (Heikkinen 1999, s.13)

Maaperässä oleva vesi voidaan jakaa vesivyöhykkeisiin sen kyllästymisasteen, veden paineen, liikkuvuuden ja sitoutuneisuuden perusteella. Vesivyöhykkeitä ovat juuri-, vajovesi-, kapillaari- ja pohjavesivyöhykkeet. Juurivyöhyke ulottuu maanpinnasta kasvillisuuden pääjuuriston syvyyteen saakka. Maaperään imeytyvä vesi lisää juurivyöhykkeen kosteuspitoisuutta. Maan pintakerroksen eli juurivyöhykkeen vedenpidätyskyvyn ylittävä osa vedestä valuu painovoiman vaikutuksesta väli- eli vajovesivyöhykkeeseen. Vajovesivyöhykkeen paksuus voi vaihdella kymmenistä sentteistä kymmeneen metriin riippuen pohjavedenpinnan syvyydestä. Vajovesivyöhyke voi puuttua myös kokonaan, jos pohjavedenpinta on lähellä maanpintaa. Vajovesivyöhykkeen alapuolella on kapillaarivyöhyke. Kapillaarivyöhykkeessä maaperä on kapillaarivoimien vaikutuksesta osittain vedellä kyllästynyt. Veden pintajännityksen, maa-aineksen ja vesimolekyylien välisten vetovoiman vaikutuksesta vesi pyrkii nousemaan pohjavedenpinnan yläpuolelle. Vesi nousee kapillaarisesti, kunnes gravitaatiovoima ja kapillaarivoimat ovat tasapainossa. Kapillaarikerroksen paksuus riippuu maalajin rakeisuudesta. Alimpana on pohjavesivyöhyke, joka on täysin vedellä kyllästynyt. Täysin vedellä kyllästyneessä tilanteessa koko maaperän huokostila on täyttynyt vedellä. (Airaksinen 1978, s.44-46; Suomen geoteknillinen yhdistys 1987, s.7-8) Kuvassa 4 on esitetty maaperän vesivyöhykkeet.



**Kuva 4.** Vesivyöhykkeet (Airaksinen 1978, s.45)

Kapillaari- ja vajovesivyöhykkeissä veden virtaukseen ja tätä kautta haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavat sademäärä ja maaperän ominaisuudet. Pohjavesivyöhykkeessä advektioon vaikuttavat pohjaveden virtaussuunta ja -nopeus. Virtaussuunta ja -nopeus riippuvat maaperän rakenteesta, sen ominaisuuksista ja hydraulisesta gradientista. Hydraulisella gradientilla tarkoitetaan veden pintojen korkeuseroa suhteessa niiden väliseen etäisyyteen. (Heikkinen 1999, s.13) Vedenvirtausnopeus on Darcyn lain mukaan:

$$v = k \frac{H}{L} = ki \quad (1)$$

$v$  veden virtausnopeus [m/s]

$k$  vedenläpäisevyyskerroin [m/s]

$H$  veden pintojen välinen korkeusero [m]

$L$  suotomatka [m]

$i$  hydraulinen gradientti [-]

Edellä esitetyllä kaavalla saadaan veden keskimääräinen virtausnopeus poikkipinta-alan läpi. Koska maa on huokoista, vesi ei pääse virtaamaan koko poikkipinta-alan läpi. Todellinen veden virtausnopeus huokosissa on täten:

$$v' = \frac{Av}{A_v} = \frac{Av}{nA} = \frac{v}{n} \quad (2)$$

$v'$  tehokas virtausnopeus [m/s]

$A_v$  huokosten poikkipinta-ala [m<sup>2</sup>]

$n$  huokoisuus [%]

$A$  pinta-ala [m<sup>2</sup>]

Vedenjohtavuus riippuu maan huokoskokojakaumasta, joka puolestaan riippuu raekokojakaumasta, maan rakenteesta ja orgaanisen aineen määrästä. Vedenläpäisevyyskertoimella kuvataan, sitä kuinka hyvin maa-aines johtaa vettä. Sen suuruuteen vaikuttavat muun muassa maa-aineksen hienoaineksen määrä ja huokoisuus. Mitä hienorakeisempaa maa-aines on, sitä pienempi on kertoimen arvo. Eri maalajeilla voi olla huomattavat erot vedenläpäisevyyden kannalta. (Heikkinen 1999, s.48) Esimerkiksi soralla kerroin voi olla luokkaa 10<sup>-3</sup>m/s, kun taas savella se voi olla luokkaa 10<sup>-9</sup>m/s (Aalto J. 1985, s.420). Taulukossa 2 on esitetty eri maalajien tyypillisiä vedenläpäisevyyskertoimia.

**Taulukko 2.** Maalajien vedenläpäisevyyskertoimia (Aalto J. 1985, s.420)

Maalaji	Vedenläpäisevyyskerroin (k) [m/s]
Sora	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>-3</sup>
Hiekka	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-6</sup>
Soramoreeni	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-7</sup>
Hiekkamoreeni	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-8</sup>
Silttimoreeni	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-9</sup>
Siltti	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-9</sup>
Savi	<10 <sup>-9</sup>

Vanhat jakeluasemat on tyypillisesti rakennettu rakennuspaikoille, joilla on hyvät rakennustekniset ominaisuudet, eli sora-, hiekka- ja moreeniperäisille maa-alueille. Nämä karkearakeiset maalajit johtavat hyvin vettä, joten vesiliukoiset kemikaalit kuten MTBE ja TAME pääsevät kulkeutumaan helposti maaperässä veden mukana. (Soini 2014, s.19)

### 3.3.2 Haihtuminen

Haihtumista tapahtuu suuren höyrynpaineen omaavilla aineilla ja yhdisteillä. Muita haitta-aineiden ominaisuuksia, jotka vaikuttavat haihtumisen tapahtumiseen, ovat vesiliukoisuus, kiehumispiste, molekyylipaino ja molekyylien polaarisuus. Haihtuminen on kapillaarivyöhykkeessä ja sen yläpuolella merkittävä kulkeutumismuoto, jonka tehokkuus riippuu maaperän kosteudesta, vedenläpäisevyydestä ja lämpötilasta. Lämpötilan laskiessa haihtuminen hidastuu ja lopulta pysähtyy maaperän jäätyessä. Konsentraation kasvaessa riittävän suureksi haitta-aineet muodostavat saostumia. (Heikkinen 1999, s. 14) Haihtumisen tapahtumisen voimakkuutta voidaan arvioida Henryn lain avulla.

### 3.3.3 Diffuusio

Kemiallisella diffuusiolla tarkoitetaan aineen tai yhdisteen kulkeutumista suuremman pitoisuuden alueelta pienemmän pitoisuuden alueelle tasoittaen epätasaista molekyylija-kaumaa väliaineessa. Diffuusio on merkittävä haitta-aineiden kulkeutumismuoto hienorakeisissa, lajittuneissa maalajeissa, joiden vedenläpäisevyyserroin on pienempi kuin  $10^{-9}$  m/s. Diffuusio on kemiallinen reaktio, mutta advektio ja lämpötilaero nopeuttaa sen tapahtumista. Mitä enemmän maaperän huokokset ovat kyllästyneet vedellä, sitä tehokkaampaa diffuusio on vesiliukoisille haitta-aineille. Diffuusion voimakkuutta kuvaa diffuusiokerroin  $D_g$ . (Heikkinen 1999, s.12-14)

### 3.3.4 Dispersio

Suurin osa veteen liuenneista aineista kulkee päävirtaussuunnassa keskimääräisellä virtausnopeudella. Osa veteen liuenneista aineista kuitenkin kulkeutuu keskimääräistä virtausnopeutta nopeammin, mikä levittää liuenneen aineen suuremmalle alueelle kuin pelkästään advektio. Dispersio aiheutuu mekaanisesta dispersiosta ja diffuusiosta. Mekaaninen dispersio johtuu virtausreittien mutkittelevuudesta ja virtausnopeuden muutoksista. Mekaanista dispersiota tapahtuu virtaavan veden kohdatessa maarakeita, jolloin se joutuu muuttamaan suuntaa ja kiertämään maarakeet. Tällöin myös mukana kulkeutuneet aineet leviävät maarakeiden ympärille. Maaperän vedenjohtavuuden vaihtelu on tärkein dispersioon vaikuttava tekijä. Maaperän heterogeenisuudesta johtuva vedenjohtavuuden vaihtelu voidaan ottaa huomioon dispersiokertoimen avulla. (Heikkinen 1999, s.14; Kuusela-Lahtinen et al. 2010, s.38-39)

## 3.4 Pidättyminen ja vaimeneminen maaperässä

Puhuttaessa sorptiosta tarkoitetaan usein kaikkia niitä mekanismeja, joilla haitta-aineet voivat pidättyä nesteestä kiinteisiin partikkeleihin. Maapartikkelien ominaispinta-ala on sitä suurempi mitä pienempiä ne ovat, jolloin pidättyminen on todennäköisempää. Tämän

takia pidättymistä tapahtuu eniten savipitoisilla maa-aineksilla. Muita sorptioon vaikuttavia tekijöitä ovat maaperän sisältämän orgaanisen aineen määrä, rakeisuus, mineraalikoostumus, ioninvaihtokapasiteetti ja happamuus. Karkearakeisissa maa-aineksissa, missä haitta-aineet kulkeutuvat advektion vaikutuksesta, pidättyminen on vähäistä. (Heikkinen 1999, s.16-20)

Haitta-aineet voivat pidäytyä maapartikkeleihin kemiallisesti, biologisesti tai fysikaalisesti muodostamalla komplekseja. Adsorptiossa molekyylit tai hiukkaset kiinnittyvät kemiallisesti ioni-, kovalentti- tai koordinaatiosidoksilla kiinteän partikkelin pintaan. Absorptiossa kiinnittyminen tapahtuu puolestaan toisen aineen rakenteen sisälle. Desorptiolla eli kationinvaihdolla tarkoitetaan tilannetta, jossa nesteessä tai kaasuissa olevat kationit syrjäyttävät maaperän partikkelin pinnoille kiinnittyneet kationit. Kationinvaihto tapahtuu usein negatiivisen pintavarauksen omaavilla savimineraaleilla, humuksilla ja piihapon, raudan ja alumiinin oksideilla. Maaperän happamuus vaikuttaa haitta-aineiden ja niitä sitovien yhdisteiden kemiallisiin ominaisuuksiin. (Heikkinen 1999, s.26)

Muita pidättymisprosesseja ovat saostuminen, biohajoaminen ja kompleksinmuodostus. Haitta-aineet voivat muodostaa saostumia maaperässä, jos liuenneiden aineiden konsentraatio ylittää liukoisuuden rajan. Biohajoamisessa mikrobit hajottavat haitta-aineita kemiallisesti ja fysikaalisesti muiksi, vähemmän haitallisiksi aineiksi. Kun haitta-aine kiinnittyy kiinteän orgaanisen tai epäorgaanisen aineen pinnalla olevaan funktionaaliseen ryhmään, puhutaan kompleksinmuodostuksesta. Kompleksinmuodostumista tapahtuu erityisesti metalli-ioneilla. (Heikkinen 1999, s.12)

## 4. NYKYISET VAATIMUKSET JAKELUASEMIEN RAKENTEILLE

Jakeluasemien tekniset ratkaisut eivät ole aina olleet samaa tasoa kuin nykyään. Tarkkojen vaatimusten ja lainsäädännön puuttumisen vuoksi maaperän ja pohjavesien pilaantumisista on tapahtunut aikaisemmin huomattavasti enemmän. (Soini 2014, s.16)

*Standardia SFS 3352 Palavien nesteiden jakeluasema* sovelletaan uusien nestemäisiä polttoaineita varastoivien jakeluasemien rakentamiseen. Standardissa esitetään rakennemalleja, joilla saavutetaan nykyisen lainsäädännön vaatima ympäristönsuojaustaso.

Jakeluasemarakentamisessa käytetään kaksoispidätyksen periaatetta. Kaksoispidätyksellä tarkoitetaan rakennetta, jossa varsinaista rakennetta täydennetään toisella pidätysrakenteella. Toisen pidätysrakenteen tehtävänä on estää palavan nesteen vuodot tapauksessa, jossa ensisijainen rakenne on pettänyt. Esimerkiksi säiliöissä ja putkistoissa käytetään kaksoisvaipparakennetta. (SFS 3352 2014, s.44)

### 4.1 Palavien nesteiden säiliöt ja niiden varusteet

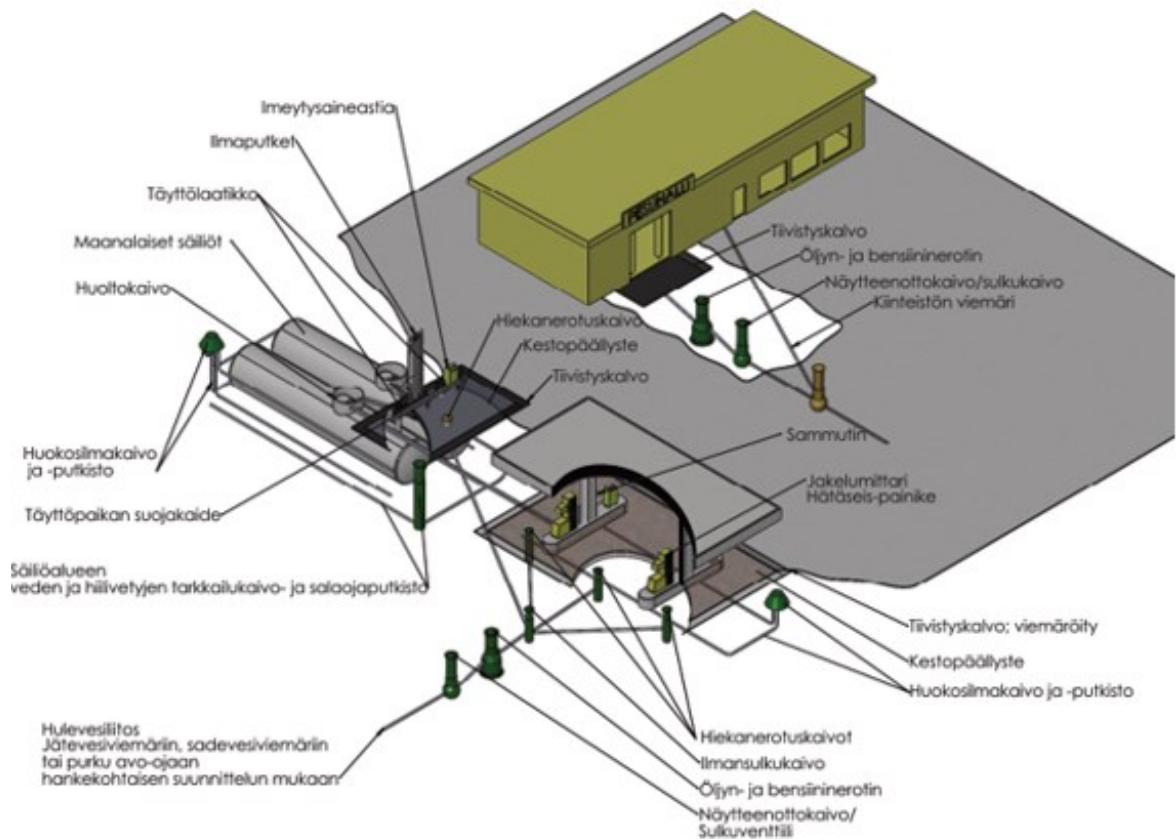
Jakeluasemalla polttoainetta varastoitavien säiliöiden rakenteiden tulee vastata vähintään standardien *SFS-EN 12285-1* ja *SFS-EN 12285-2* vaatimukset täyttävää kaksoisvaipparakennetta. Standardia *SFS-EN 12285-1* sovelletaan maanalaisille ja standardia *SFS-EN 12285-2* maanpäällisille sylinterimäisille, makaaville yksi- ja kaksoisvaippasäiliöille, joissa varastoidaan palavia ja palamattomia vesiä pilaavia nesteitä. (SFS 3352 2014, s.16)

Kaksoisvaippasäiliöllä tarkoitetaan säiliötä, joka koostuu tiiviistä yksivaippaisesta sisäsäiliöstä ja tätä ympäröivästä tiiviistä vaipasta. Yksivaippaisen säiliön ja sitä ympäröivän vaipan välissä on tyhjätila, joka on varustettu vuodonilmaisujärjestelmällä. Jos kaksoisvaippasäiliön sisempi yksivaippainen säiliö vaurioituu ja alkaa vuotaa, se vuotaa tähän vuodonilmaisujärjestelmällä varustettuun välitilaan ja sisäsäiliön vuodosta saadaan hälytys. Vuodonilmaisujärjestelmän tulee täyttää standardin *SFS-EN 13160-1...6* vaatimukset. Kaksoisrakenteen ansiosta sisäsäiliön vuotaessa ei polttoainetta pääse kosketuksiin maarakenteen kanssa. (SFS-EN 12285-1 2003; SFS-EN 12285-2 2005; SFS 3352 2014, s.16)

#### 4.1.1 Palavien nesteiden säiliöiden sijoittaminen

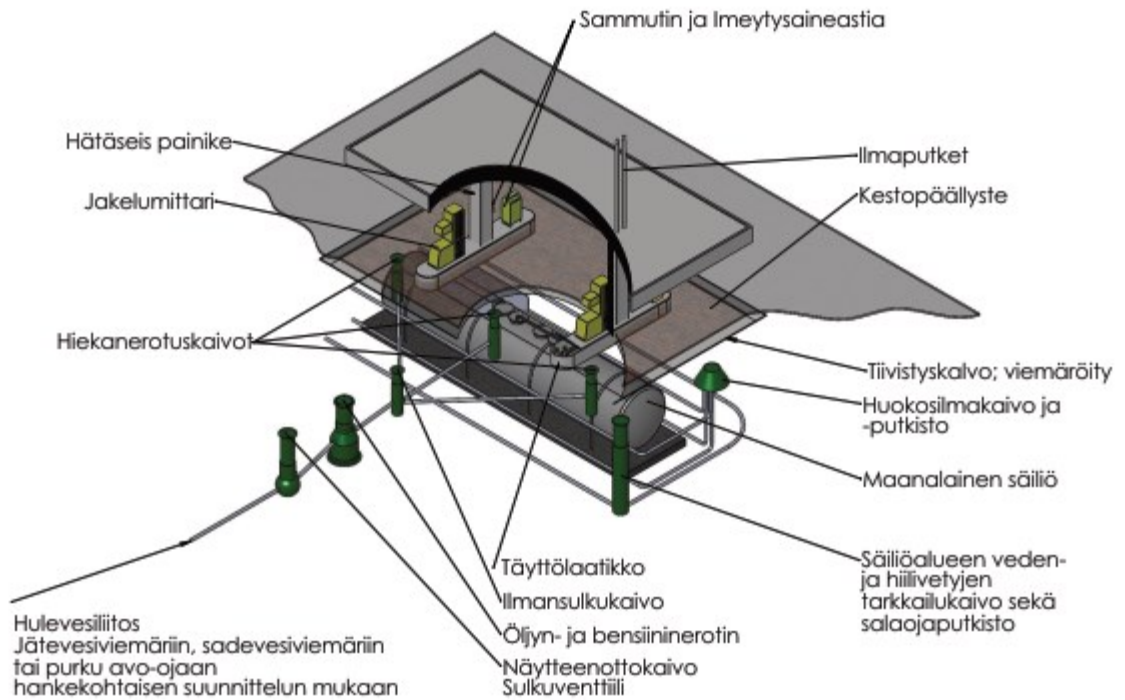
Jakeluaseman palavien nesteiden säiliöt voidaan sijoittaa erilliselle säiliökentälle tai mitarikatoksen alapuolelle. Säiliöiden sijoittamisessa tulee kuitenkin aina huomioida palo-,

ympäristö-, liikenne- ja huoltoturvallisuus. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki jakeluasemarakenteesta, joka sijaitsee erillisellä säiliökentällä. (SFS 3352 2014, s.14)



**Kuva 5.** Jakeluasemarakenne, jossa säiliöt on sijoitettu erilliselle säiliökentällä (SFS 3352 2014, s.15)

Kuvan 6 tapauksessa palavien nesteiden säiliöt on sijoitettu mittarikatoksen alapuolelle. Suunnittelussa tulee huomioida, että katoksesta ei välity kuormia säiliöön. (SFS 3352 2014, s.15)



**Kuva 6.** Jakeluasemarakenne, jossa säiliöt on sijoitettu maan alle (SFS 3352 2014, s.15)

Palavien nesteiden säiliöt voidaan sijoittaa maan päälle tai maan pinnan alapuolelle. Säiliöiden sijaitessa maanpinnan yläpuolella tulee säiliöissä ja putkistoissa kiinnittää huomiota ilkvallan ehkäisemiseen ja riittävien törmäyssuojien suunnitteluun. Kun säiliöt sijoitetaan maan alle, ne tulee varustaa huoltokaivoilla. (SFS 3352 2014, s.16)

#### 4.1.2 Palavien nesteiden putkistoille asetetut vaatimukset

Kaikkien säiliöiden ja niihin liitettävien varusteiden ja putkistojen tulee olla kaasutiiviitä ja niiden tulee kestää säiliöissä varastoitava polttoaine sekä kostean, jäisen ja kylmän asennuspaikan vaatimukset. Jakeluaseman putkistoissa on käytettävä sellaisia materiaaleja, jotka kestävät niihin kohdistuvat mekaaniset, kemialliset ja lämpötilojen muutoksista aiheutuvat rasitukset. Taulukossa 3 on esitetty, mistä materiaaleista järjestelmässä käytettävät putket tulee olla valmistettu. (SFS 3352 2014, s.21)



**Taulukko 3.** *Palavien nesteiden putkistoissa käytettävät materiaalit: o: normaalit polttoaineet, x: biopolttoaine (SFS 3352 2014, s.21)*

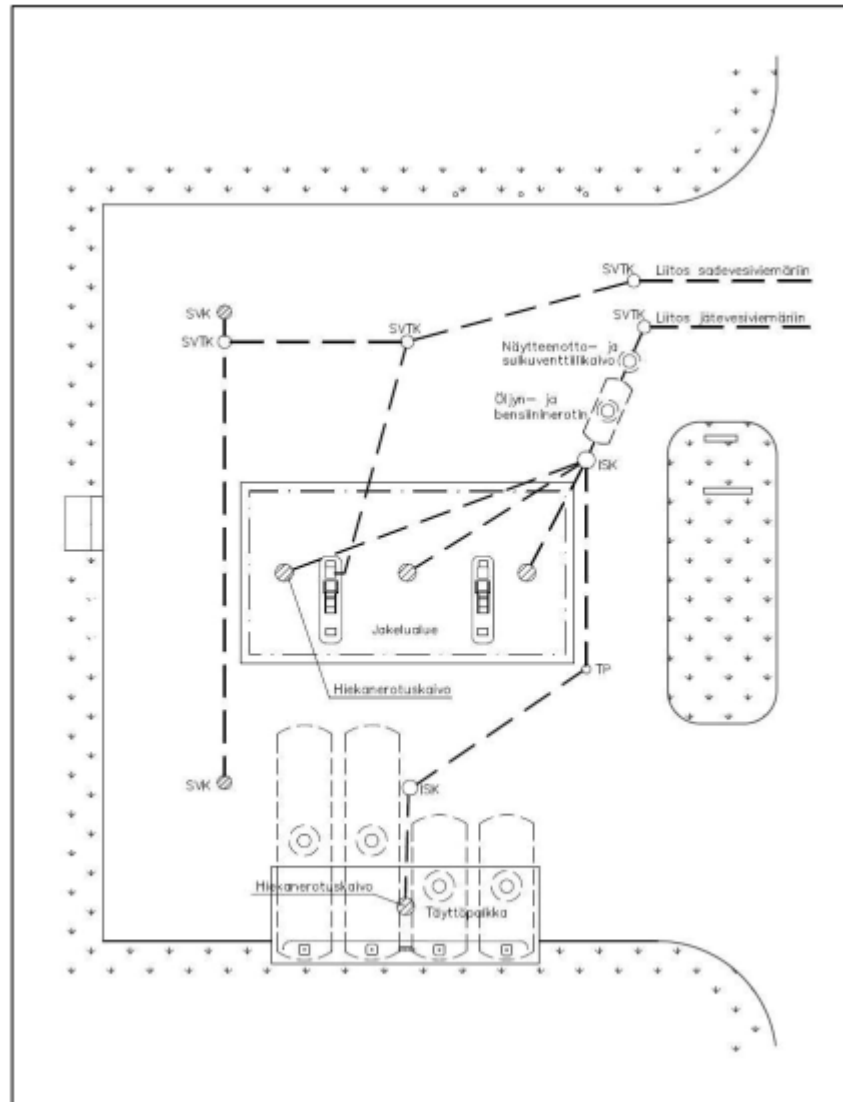
Putkistotyyppi/Materiaali	RST	Teräs	Kupari	Tiivistetyt muovimateriaalit
Säiliöiden täyttöputket, maanalainen	O X	O		O X
Säiliöiden täyttöputket, maanpäällinen	O X	O		
Ilmaputket, maanalainen	O X	O X		O X
Ilmaputket, maanpäällinen	O X	O X		
Polttoainehöyryjen siirtoputket, maanalainen	O X	O		O X
Polttoainehöyryjen siirtoputket, maanpäällinen	O X	O		
Polttoaineiden imuputket, maanalainen	O X	O		O X
Polttoaineiden imuputket, maanpäällinen	O X	O		
Polttoaineiden paluuputket, maanalainen	O X	O	O	O X
Polttoaineiden paluuputket, maanpäällinen	O X	O	O	

Putkistotyyppien materiaaleista voidaan poiketa korvaamalla ne ominaisuuksiltaan vastaavilla materiaaleilla (SFS 3352 2014, s.21). Maanalaisissa polttoaineputkistoissa tulee aina käyttää kaksoisrakennetta materiaalista riippumatta. Toisin sanoen polttoaineputkistojen yhteyteen tulee asentaa kaasutiiviit suojaputket. Polttoaineputkien ja suojaputkien väliin jää tyhjätila, joka varustetaan vuodonilmaisujärjestelmällä. (SFS 3352 2014, s.27) Jotta polttoainetta ei jäisi seisomaan putkistoihin, tulee maanalaiset putket asentaa säiliöihin päin kalteviksi. Maanalaiset putkistot tulee asentaa siten, että ne kestävät liikenteestä ja maaperän liikkeistä aiheutuvat kuormitukset. On tärkeää käyttää rakeisuudeltaan ja muilta ominaisuuksiltaan oikeanlaisia täyttömateriaaleja maarakenteessa, jotta maarakenne pystytään saattamaan riittävään tiiveyteen. Näin vältetään epätasaisilta painumilta, mitkä voivat johtaa putkirikkoihin. Maanpäälliset putket tulee valmistaa palamattomista materiaaleista, joten materiaali on terästä tai ruostumatonta terästä. Maanpäälliset putkistot tulee myös sijoittaa siten, että ne ovat suojattu ilkvallalta. (SFS 3352 2014, s.21-22)

## 4.2 Jakelualueen viemäröinti

Jakeluaseman viemäröinti voidaan standardin *SFS 3352 (2014)* mukaisesti jakaa toiminnallisiin osiin seuraavasti: jakelualue, muu piha-alue, pesuhalli, huoltohalli ja kiinteistön talousvedet. Viemäröinnin periaatteena on käsitellä erikseen jätevedet, jotka ovat peräisin alueilta, joilla käsitellään haitta-aineita sisältäviä nesteitä. Kaikkien toiminnallisten osien tulee täyttää niille asetetut vaatimukset ja tavoitteet.

Poltonesteitä käsiteltävällä alueella tulee hulevedet johtaa erikseen öljyn- ja bensiini-nerottimien kautta muuhun viemäriverkoston. Öljynerottimen jälkeinen viemäri tulee varustaa näytteenottokaivolla ja sulkuventtiilillä. Poltonesteitä käsiteltävillä alueilla vedet johdetaan ensisijaisesti kunnalliseen jätevesiviemäriin. (SFS 3352 2014, s.35; Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016, s.54) Kuvassa 7 on esitetty jakeluasema-alueen hulevesien viemäröinnin periaate, kun säiliöt on sijoitettu erilliselle säiliökentälle.



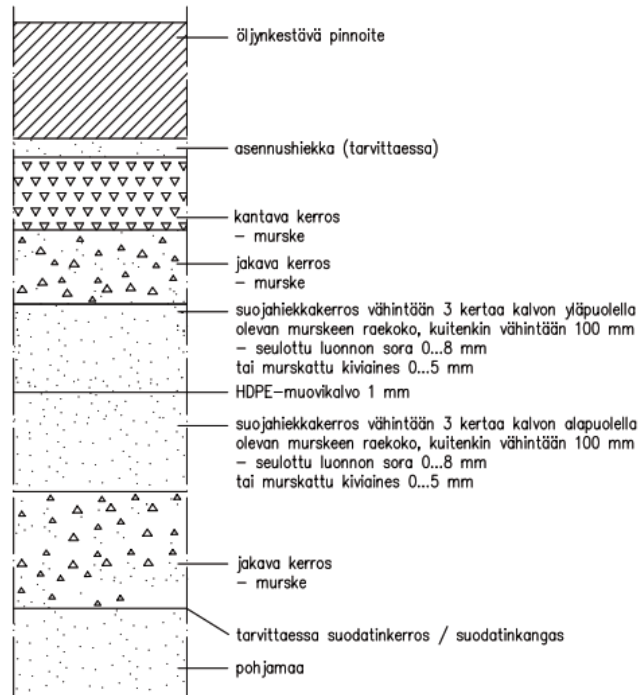
**Kuva 7.** Jakeluaseman jakelualueen viemäröinnin periaate (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016, s.53)

Viemäröinnissä käytetyt putki- ja kaivotyypit määritetään hankekohtaisesti. Jakeluasemien kaivotyyppejä ovat muun muassa hiekkanerotuskäivot, sadevesikäivot, sadevesitarkastuskäivot ja öljyn- ja bensiininerotinkäivot. (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016, s.55)

### 4.3 Jakelualueen päällysrakenne

Mittarikentän päällysteenä voidaan käyttää kulutuksen ja öljyn kestävästä materiaalia, kuten esimerkiksi asfalttibetonia, betonia tai kivetystä. Jakeluaseman päällysrakenteen tulee kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Päällysrakenne tulee mitoittaa siten, että se kestävä koko suunnitellun käyttöiän. Kantavan kerroksen tiivysasteen tulee olla vähintään 92 %, kantavuusmoduulin  $E_2$  vähintään 120 MPa ja kantavuusmoduulien  $E_2$  ja  $E_1$  suhteen eli tiiviyssuhteen maksimissaan 2,0. Tiivistysasteella tarkoitetaan tiivistetyn rakenteen

kuivavirtotiheyden suhdetta parannetulla Proctor kokeella saatuun maksimikuivavirtotiheyteen. Rakenteen alusrakenteeseen noin 700 mm päällysteen alapuolelle asennetaan tiivistysrakenteen. (SFS 3352 2014, s.30) Tiivistysrakenteesta kerrotaan tarkemmin luvussa 4.4. Jakelualueen rakenteen tulee ylettyä vähintään kolmen metrin etäisyydelle mittarikentän jakelulaitteista. (SFS 3352 2014, s.31) Kuvassa 8 on esitetty jakelualueen päällysrakenteen periaatteellinen rakenneleikkaus.

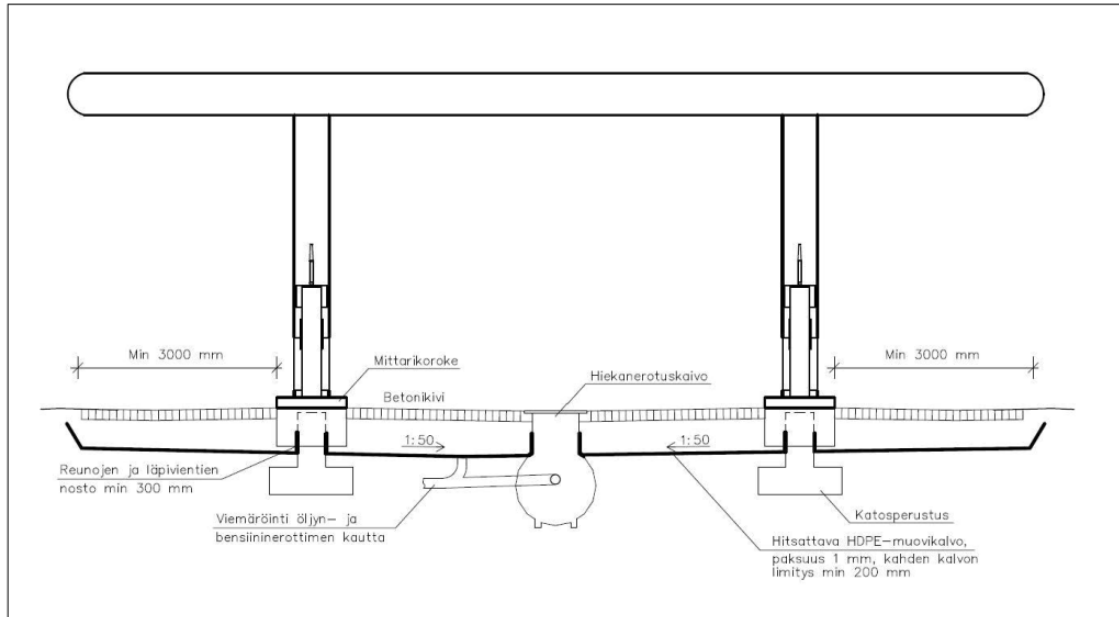


**Kuva 8.** Esimerkki jakelualueen päällysrakenteesta (SFS 3352 2014, s.31)

#### 4.4 Jakelualueen suojausrakenne

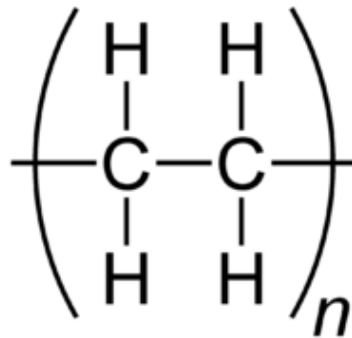
Jakelualueen suojausrakenteen tehtävänä on estää polttonesteen pääsy maaperään ja tätä kautta edelleen pohjaveteen. Tiivistysrakenteen asennetaan noin 700 mm syvyyteen päällysrakenteen alle. Tiivistysrakenteen asennetaan vähintään kaltevuuteen 1:50 viemärointia kohti. Tiivistysrakenteen ulotetaan vähintään 400 mm kallistusalueen ulkopuolelle. (SFS 3352 2014, s.31)

Päällysrakenteeseen tulee asentaa erillinen kemikaaleja kestävä tiivistysrakenteen. Vaatimuksena tälle tiivistysrakenteelle on standardin *SFS 3352 (2014)* mukaan 1,0 mm paksuinen hitsattava HDPE-tiivistyskalvo tai ominaisuuksiltaan vastaava kalvo. Kuvassa 9 on esitetty periaatteellinen poikkileikkaus tiivistyskalvon sijoittamisesta jakelualueelle.



**Kuva 9.** Periaatteellinen poikkileikkaus jakelualueen tiivistysrakenteesta (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016, s.25)

Polyeteeni-kalvot luokitellaan niiden tiheyden mukaan eri luokkiin. HDPE eli High Density Polyethylene on yleisimmin käytetty polyteenikalvo tiivistysrakenteissa. HDPE:n tiheys on vähintään  $0,941 \text{ g/cm}^3$ . Polyteenimolekyylit sisältävät ainoastaan hiili- ja vetyatomeja. Erot polyteenien välillä johtuvat kristallisoitumisasteen eli ketjun sivuhaarojen eroista. Sivuhaarojen määrän kasvaessa polyteenin tiheys alenee. (Kolev; SYKE 2002, s.84) Polyteenin rakennekaava on esitetty kuvassa 10.



**Kuva 10.** Polyteenin rakennekaava (New World Encyclopedia 2015)

Polyeteeni saa sille ominaiset ominaisuudet sen valmistustavasta. Sen valmistaminen tapahtuu polymeroimalla käyttäen katalyyttejä. HDPE:llä on hyvä kemiallinen kestävyys useita kemiallisia aineita vastaan, kuten happoja, emäksiä ja orgaanisia liuottimia vastaan. Sillä on matala veden absorptio eli matala veden imeytyskyky. Lisäksi se ei päästä lävitseen kaasuja tai vesihöyryjä suurissa määrin. (Kolev, s.1-7)

HDPE-kalvo on jäykkää, joka tekee siitä vaikeasti käsiteltävän. HDPE-kalvo on altis jännityssäröilylle korkean kristallisoitumisasteensa vuoksi. Jännityssäröilyllä tarkoitetaan

vetojännitysten aiheuttamia muovin sisäisiä ja ulkoisia murtumia. Mitä korkeampi on käytettävän polyeteenin kristalloitumisaste ja tiheys, sitä alttiimpi se on haitalliselle jännityssäröilylle. (SYKE 2002, s.83-87) Taittamalla jäykkää HDPE-kalvoa jyrkkiin kulmiin, aiheutuu kalvoon jo asennusvaiheessa jännityssäröilyä.

Polaarisesta materiaalista valmistettu kalvo päästää lävitseen polaarisia aineita ja ei-polaarinen päästää lävitseen ei-polaarisia aineita. Polaarinen puolestaan pidättää ei-polaarisia aineita ja toisin päin. HDPE-kalvo ei ole polaarinen ja päästää näin ollen lävitseen ei-polaarisia hiilivetyjä diffuusion vaikutuksesta. Diffuusion voimakkuuteen vaikuttaa aineen tai väliaineen diffuusiokerroin. (Leppänen 2015, McWatters 2010, s.19)

Suojakerroksen tehtävä on suojata tiivistysrakenteena käytettävää kalvoa. Käytettävä kalvo ei saa vahingoittua työn aikana tai siihen kohdistuneista pysyvistä kuormista. Standardi *SFS 3352 (2014)* ohjeistaa rakentamaan suojahiekkakerroksen tiivistysrakenteena toimivan HDPE-kalvon molemmin puolin (kuva 8). Suojakerroksen tekeminen hiekasta kalvon alapuolelle on kuitenkin huono ratkaisu, sillä se on hyvin vettä johtavaa. Kuvassa 11 on näkyvissä suojakerroksen rakentaminen hiekasta.



*Kuva 11. Suojakerroksen rakentaminen hiekasta ©Saranen*

Suojahiekkakerroksen paksuuden tulee olla vähintään kolme kertaa kalvon yläpuolella olevan murskeen raekoko, kuitenkin vähintään 100 mm. Seulotulla luonnon soralla rakeisuusvaatimus on 0-8 mm ja murskatulla kiviaineksella 0-5 mm. (SFS 3352 2014, s.30)

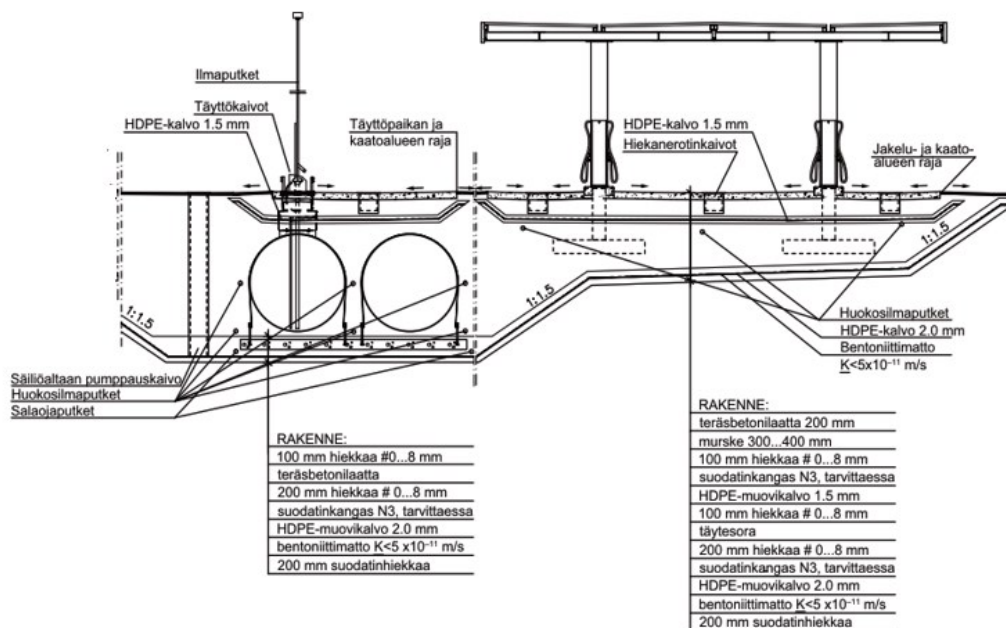
#### **4.5 Jakeluaseman rakenteet pohjavesialueella**

Jakeluasema pyritään ensisijaisesti sijoittamaan pohjavesialueen ulkopuolelle. Kuitenkin jos polttoaineen jakaminen sitä edellyttää ja jakeluaseman sijoittamiselle pohjavesialueelle on saatu ympäristölupa, jakeluasema voidaan sijoittaa myös pohjavesialueelle.

Tämä edellyttää kuitenkin erityistä varovaisuutta ja huolellisuutta rakentamisen suhteen. Lisäksi jakeluaseman rakenteelle asetetaan erityisvaatimuksia. Pohjavesien pilaantumisen riskiä pyritään pienentämään kaksoispidätyksen periaatetta. Polttoaineputkistot, viemärointi ja säiliöt tulee varustaa kaksoisrakenteella ja hälyttävillä valvontalaitteilla. Kaksoispidätyksellä tarkoitetaan rakenneratkaisua, jossa on varsinaisen pidätysrakenteen lisäksi toinen pidätysrakenne. (SFS 3352 2014, s.43-44)

Kun jakeluasema sijaitsee pohjavesialueella, tulee standardin *SFS 3352 (2014)* mukaan jakelualueen primäärisenä tiivistysrakenteena käyttää vähintään 1,5 mm hitsattavaa HDPE-kalvoa tai ominaisuuksiltaan vastaavaa kalvoa.

Mittarikentän ja jakeluasemalaitteiden kattamat alueet varustetaan yläpuolisen tiivistysrakenteen lisäksi myös niiden alapuolisella tiivistysrakenteella eli niin sanotulla toissijaisella suojajärjestelmällä. Standardin *SFS 3352 (2014)* mukainen toissijaisen suojausjärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 12.



**Kuva 12.** Toissijainen suojausjärjestelmä (Muokattu lähteestä *SFS 3352 2014, s.46*)

Standardi *SFS 3352 (2014)* ohjeistaa käytettäväksi toissijaisena suojausrakenteena niin sanottua yhdistelmärakennetta (*SFS 3352 2014, s.45*). Yhdistelmä rakenne koostuu tiivistyskalvosta, jonka alle on asennettu mineraalinen tiivistysmateriaali. Jos kalvoon tulee

reikä, mineraalinen kerros estää haitta-aineiden pääsyn alapuoliseen maaperään. Mineraalisen kerroksen tarkoituksena on toimia vettä läpäisemättömänä tiivistyskerroksena. Yhdistelmä rakenteen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 13.



**Kuva 13.** Yhdistelmä rakenteen toimintaperiaate (Leppänen 2016)

Yhdistelmä rakenteen rakentamisessa tärkeä huomioon otettava asia on, että kalvon ja mineraalisen kerroksen, esim. bentoniittimaton välinen kontaktipinta on tiivis. Kontaktipintojen ollessa tiiviit haitta-aineet leviävät pienemmälle alueelle kalvon reikiintyessä. (Leppänen 2015)

Standardin mukaan alapuolisen tiivistysrakenteen riittävä suojaustaso saavutetaan käyttämällä 2,0 mm hitsattavaa HDPE-kalvoa ja mineraalista tiivistysmateriaalia, esimerkiksi bentoniittimattoa (SFS 3352 2014, s.45). Bentoniittimatto on geokomposiitti, joka koostuu geotekstiilistä ja mineraalisesta bentoniittisavesta. Bentoniittimaton toiminta perustuu sen sisältämän bentoniittisaven montmorilloniittipartikkelien kykyyn sitoa sähköisillä voimilla ympärilleen suuri määrä vettä ja paisua moninkertaiseksi. Paineen alla se muodostaa nestettä läpäisemättömän rakenteen. Bentoniitin pitkäaikaiskestävyyden vaarantaa bentoniitissa tapahtuva ioninvaihto. Ioninvaihdon tapahtuessa esimerkiksi natriumbentoniitin natriumionien ja magnesiumionin väleillä on paisuminen enää kolmasosa alkuperäisestä tilanteesta. (SYKE 2008, s.56-62)

Jäätyminen ja sulaminen sekä kuivuminen ja kastuminen heikentävät bentoniittisaven ominaisuuksia. Bentoniittimaton kuivuessa se halkeilee ja sen vedenläpäisevyys kasvaa. Vedenläpäisevyys pienenee kuitenkin nopeasti takaisin entiselleen bentoniitin kastuessa. Bentoniittimatto kestää hyvin vetoa. Bentoniittimatto kestää 10-15 %:n venymän. (SYKE 2008, s.56-62)



## 5. MATERIAALIEN RAKENNETTAVUUS

### 5.1 Kalvojen asentaminen

Ennen työn aloittamista laaditaan asennussuunnitelma, josta selviävät kalvokaistojen sijainnit, saumat ja työtavat. Asennussuunnitelman laatimisesta on säädetty valtioneuvoston asetuksessa nestemäisten polttoaineiden jakeluasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista (444/2010).

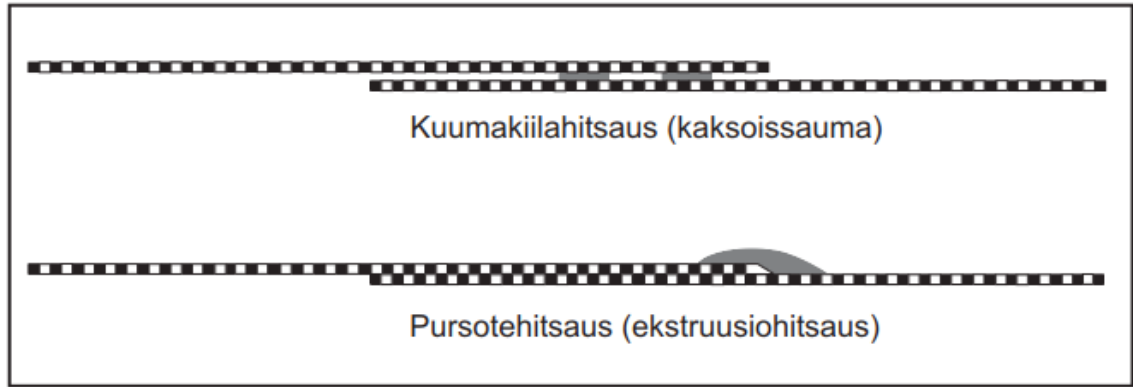
HDPE-kalvot levitetään tasaiselle alustalle kaivinkoneeseen kiinnitetyn kalvorullan läpi yltävän asennuspuomin avulla kalvokaistan vierestä. Kalvon oikeaoppinen asennustapa on esitetty kuvassa 14.



*Kuva 14. HDPE-kalvon levitystä (Stallion Coatings & Construction Company 2017)*

Levityksen jälkeen saumat liitetään hitsaamalla. Hitsaustapoja on useita, esimerkiksi kuumakiilahitsaus ja pursotehitsaus eli niin sanottu ekstruusiohitsaus. Eri hitsaustavoilla saadaan erilaiset saumat. Kuvassa 15 on esitetty kuumakiilahitsauksen ja pursotehitsauksen toimintaperiaatteet. (SYKE 2002, s.104)





**Kuva 15.** Kalvojen saumat (SYKE 2002, s.104)

Kuumakiilahitsausta käytetään yleisesti tiivistyskalvojen saumojen hitsauksessa. Kuumakiilahitsauksella kalvosta saadaan varmemmin vesitiivis ja tiiviys on luotettavasti testattavissa ilmakanavan avulla paineistamalla. (SYKE 2002, s.104-105) Kalvojen saumat ovat tiivistysrakenteen yleisin mahdollinen vuoto- ja riskikohta. Kuvassa 16 on esitetty kuumakiilahitsauksen laite ja sillä tehty sauma.



**Kuva 16.** Kuumakiilahitsaus (Taretek Oy)

Pursotehitsausta käytetään silloin, kun kuumakiilahitsaus ei sovellu tarkoitukseen. Tyyppisiä kohteita ovat muun muassa läpiviennit, liitokset ja paikat. (SYKE 2002, s.105) Kuvassa 17 on pursotehitsauksella tehdyn läpiviennin sauma.



**Kuva 17.** Pursotehitsuksella tehty sauma (Ölly- ja biopolttoaineala ry 2016, s.30)

Mittarikentän tekniikka edellyttää paljon läpivientejä tiivistysrakenteena toimivaan HDPE-kalvoon. Mitä enemmän läpivientejä ja pienempiä palasia käytetään tiivistyskalvon tekemisessä, sitä enemmän on saumoja ja tätä kautta riskejä.

Hitsaustavasta riippumatta saumojen laadusta täytyy varmistua. On olemassa useita eri kokeita visuaalisen laadunvarmistuksen tueksi. Visuaalisen tarkastelun lisäksi tulee aina tehdä riittävät kokeet, sillä visuaalinen tarkastelu ei ole virallisesti hyväksytty tapa.

Tiivistyskalvojen saumaustyötä tekevällä henkilöllä tulee olla standardin *SFS-EN 13067* mukainen pätevyys. Usein muovikalvojen hitsaajalta edellytetään sertifikaattia tai vastaavaa todistusta. Ennen hitsaustöiden aloittamista asentajan tulee tehdä työnäyte, jota voidaan pitää vertailusaumana työn jäljelle. (SYKE 2002, s. 106-107)

Kaksoissaumojen laatu testataan paineistamalla saumojen väliin jäävä ilmanava standardin *ASTM D5820* mukaisesti. Koeponnistus tehdään 1,5-2,0 baarin ylipaineella. Sauman todetaan olevan tiivis, mikäli paine ei laske enempää kuin 10 % alkuperäisestä arvostaan 10 minuutin aikana. Saumoista otetaan koepaloja, joille tehdään lujuuskokeita. Turhien paikkojen välttämiseksi koepalat pyritään ottamaan saumojen päistä. Koepalojen ottaminen ja testaaminen tehdään standardin *ASTM D6392* mukaisesti. Pursotehitsuksella tehdyt saumat testataan kipinäkokeella (*ASTM D6365*) tai vakuunikuppikokeella (*ASTM D5641*). (SYKE 2002, s. 106-107; Ölly- ja biopolttoaineala ry 2016, s.64-65) Kuvassa 18 on esitetty pursotehitsuksella tehdyn sauman kipinäkokeen periaate.



**Kuva 18.** Kipinäkoekäyttö (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016, s.32)

Saumojen risteyskohdat ja kohdat, joiden tiiveyttä epäillään, tarkastetaan standardin *ASTM D5641* mukaisesti käyttäen vakuumikuppimenetelmää. Asennuksen jälkeen kalvon ehjyys voidaan varmistaa lisäksi sähköisillä mittauksilla.

Kaikista käytetyistä materiaaleista tulee olla materiaalitodistukset, mukaan lukien suoritustasoilmoitus. Muita asennustyön laadunvarmistuksen asiakirjoja on:

- levityssuunnitelma,
- asennuspöytäkirjat,
- ja saumojen ja kalvon tiiviiden koestusraportti. (SYKE 2002, s.107)

Tiivistyskalvojen ominaisuuksien vaatimustenmukaisuus varmistetaan suoritustasoilmoituksesta ja valmistuksen aikaisista laadunvarmistustuloksista.

Suojausrakenteiden asennuksissa on käytettävä kokenutta ja pätevää urakoitsijaa. Rakennustöiden valvojan on oltava puolueeton ja riittävästi asiaa tunteva. Valvojan tehtävä on vastata siitä, että asennuksien yhteydessä tehtävät laadunvalvontatestit tehdään ja dokumentoidaan huolellisesti. (VNa 444/2010 15 §)

## 5.2 Olosuhteiden vaikutukset asennustyöhön

HDPE-kalvon asennuksessa on otettava huomioon ilmaston asettamat rajoitukset. Saumauksen laatuun vaikuttavat epäpuhtaudet ja kosteus. Siksi kalvoa ei saa hitsata vesi- tai lumisateella tai kosteissa olosuhteissa, jos saumaa ei voida pitää kuivana. Saumattavien

alueiden on oltava huolellisesti puhdistettuja ennen saumausta. (Leppänen 2016, Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016, s.27)

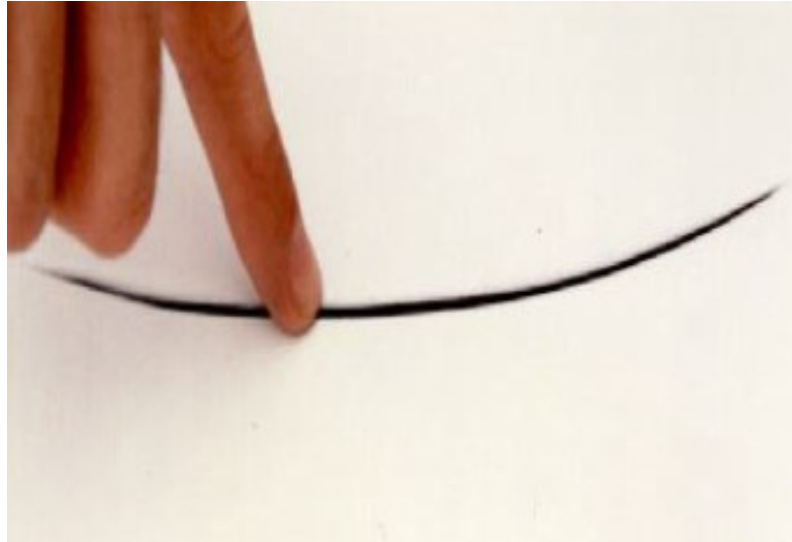
Saumausasetukset kuten saumauslämpötila, puristusvoima ja etenemisnopeus pitää säätää olosuhteita vastaaviksi. Alhainen lämpötila edellyttää erityistä huolellisuutta saumauksessa. Kalvon asennusta ei saa tehdä alle +5°C asteen lämpötilassa. Tarvittaessa voidaan tehdä tapauskohtaisia ratkaisuja lämpötilan ja kosteuden säätämiseksi asennuspaikalla, esimerkiksi sääsuojan rakentaminen voi tulla kyseeseen. (Leppänen 2016; SYKE 2002 s.101; Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016, s.27)

Alhaisessa lämpötilassa kalvot ovat jäykkiä ja siten hankalia käsitellä. Korkeassa lämpötilassa HDPE-kalvo lämpölaajenee runsaasti jolloin kalvoon muodostuu ryppyjä, joista jännityssäröily voi käynnistyä. Lämpölaajenemista voidaan vähentää käyttämällä vaaleaa kalvoa, suojaamalla kalvo vaalealla suojatekstiilillä ja/tai tekemällä peittotyö viileään aikaan vuorokaudesta. (Leppänen 2016; SYKE 2002 s.101)

Jotta tuuli ei aiheuta taitoksia asennettuun kalvoon, voidaan kalvot painottaa. Painot vähentävät myös lämpölaajenemista pitäen kalvot kireänä. Soveltuvia painoja ovat esimerkiksi hiekkasäkit. (Leppänen 2016; SYKE 2002 s.101; Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016 s.27)

Kalvoa ei saa jättää pitkäksi aikaa paljaaksi, vaan se on peitettävä tai suojattava esimerkiksi suojatekstiilillä. Suojatekstiili suojaa kalvoa myös pisteuormituksilta ja korvaa hiekasta rakennetun suojakerroksen. (Leppänen 2016)

UV-säteily nopeuttaa kalvon vanhenemista. Kalvo haurastuu ja sen mekaaniset ominaisuudet heikkenevät. Kalvojen UV-kestävyyttä parannetaan lisäämällä niihin hiilimustaa. Paljaiksi jäävissä kalvoissa voidaan käyttää esimerkiksi valkoista pinnoitetta, jolloin kalvon lämpötila ei nouse yhtä korkeaksi. Vaalean kalvon etuna on myös, että siihen syntyvät mahdolliset vauriot on helpompi havaita silmämääräisesti kuin tummasta kalvosta. (Juntunen 2016, Leppänen 2016)



**Kuva 19.** Vaurion havaitseminen vaaleasta kalvosta (Juntunen 2016)

Kalvon asennusalustan on oltava kantava, sileä, tasainen ja oikeaan suuntaan kallistettu. Asennusalustan pinnalla ei saa olla irtonaisia maarakeita. Liitokset rakenteisiin tulee suunnitella siten, ettei kalvoon muodostu vetoa. HDPE-kalvo on ominaisuuksiltaan jäykkää eikä helposti taivu tiukkoihin kulmiin. Jyrkissä luiskissa sileän kalvon ja suojakerroksen väliin ei muodostu riittävää kitkaa. Ankkuroinnilla voidaan varmistaa työn aikainen pysyminen. Kitkapinnoitetuilla kalvoilla voidaan parantaa työturvallisuutta sekä kalvon ja maan rajapinnan välistä kitkaa. Työvaiheet on suunniteltava siten, että kalvopinnoitetut luiskat tulee voida peittää mahdollisimman nopeasti saumauksen jälkeen. Kalvon päällä liikkumista tulee välttää, jotta kalvo ei vaurioitu. Kalvon päällä on oltava vähintään 500 mm kerros maata, ennen kuin sen päällä voidaan liikkua edes kevyellä työkooneella. (Leppänen 2016)

## 6. VAIHTOEHTOISET RAKENTEET

Nykyisellään jakeluasemarakentamisessa on vakiinnuttu käyttämään HDPE-kalvoa, vaikka markkinoilla olisi muitakin vaihtoehtoja. HDPE-kalvolla on sekä hyviä että huonoja ominaisuuksia. HDPE-kalvon tärkein ja valintaan eniten vaikuttava ominaisuus on sen hyvä kemiallinen kestävyys. HDPE-kalvo läpäisee kuitenkin polaarisia yhdisteitä diffuusion vaikutuksesta (McWatters 2010, s.19). Toinen merkittävä HDPE-kalvon huomiioon otettava ominaisuus on sen vaurioitumisherkyys. Vaurioitumisherkyys johtuu sen korkeasta kristallisoitumisasteesta, joka altistaa jännityssäröilylle (Kolev; SYKE 2002, s.84).

### 6.1 LLDPE-kalvo

Käyttämällä pienempiheyksistä polyeteenikalvoa voitaisiin välttyä haitalliselta jännityssäröilyltä. LLDPE-kalvon kristallisoitumisaste on huomattavasti alhaisempi kuin HDPE-kalvon, ja se on siten vähemmän altis haitalliselle jännityssäröilylle. LLDPE:stä valmistetulla kalvolla on lisäksi paremmat muodonmuutosominaisuudet, joten se on notkeampaa ja kestää taitoksia ja muodonmuutoksia HDPE-kalvoa paremmin. (SYKE 2002, s.83-87)

LLDPE:n kemiallinen kestävyys on lähes samaa tasoa kuin HDPE-kalvon, joten se on parempi vaihtoehto nykyisin jakeluasemarakentamisessa käytetylle HDPE-kalvolle. LLDPE-kalvo on kuitenkin HDPE-kalvon tapaan ei-polaarinen kalvo ja läpäisee diffuusion vaikutuksesta ei-polaarisia hiilivetyjä. (Leppänen 2015, McWatters 2010, s.19)

### 6.2 Monikerroskalvot

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet voivat kulkeutua molekylaarisen diffuusion avulla ehjänkin kalvon läpi. Geosynteettiala on kehittänyt tiivistyskalvoja, jotka pidättävät HDPE-kalvoa paremmin haihtuvia orgaanisia hiilivety-yhdisteitä eli VOC-yhdisteitä. Esimerkiksi lisäämällä HDPE-kalvoon fluoria saavutetaan pienempi VOC-yhdisteiden läpäisevyys. Markkinoilla on tarjolla monikerroskalvoja, joiden toiminta perustuu useaan päällekkäiseen kalvoon. (McWatters 2010, s.56-57)

McWatters & Rowe ovat tutkineet haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kulkeutumista eri geomembraanien lävitse. Tutkimustulosten mukaan VOC-yhdisteiden kulkeutuminen on vähäisempää kerroksellisissa kalvoissa. Tutkitussa Nylon VB 15-kalvossa on viisi kerrosta, joista uloimmat ovat erityyppisiä LLDPE-kalvoja ja keskimmäisenä kalvona on polyamidi- eli nylonkalvo. Toisessa tutkitussa kerroksellisessa kalvossa oli myös viisi kerrosta. Uloimmat olivat erityyppisiä LLDPE-kalvoja ja keskellä EVOH- eli etyyliivi-

nyyialkoholikalvo. EVOH-kalvo on polaarinen kalvo, joka estää-ei polaaristen yhdisteiden kulkeutumisen diffuusion vaikutuksesta. EVOH-kalvolla on huonot mekaaniset ominaisuudet, joten se pitää suojata kestävämmillä LLDPE-kalvokerroksilla. Tutkimuksessa kerroksellisia kalvoja vertailtiin PVC-, LLDPE- ja HDPE-kalvoihin. Taulukossa 4 on esitetty tutkimuksessa tutkitut kalvot ja näiden paksuudet sekä diffuusiokertoimet eri aineille. (McWatters 2010 s.68-70)

**Taulukko 4.** PVC-, LLDPE-, HDPE- ja kerroksellisten kalvojen vesifaasin diffuusiokertoimien  $D_g$  ( $10^{13}m^2s^{-1}$ ) vertailu (McWatters 2010 s.87)

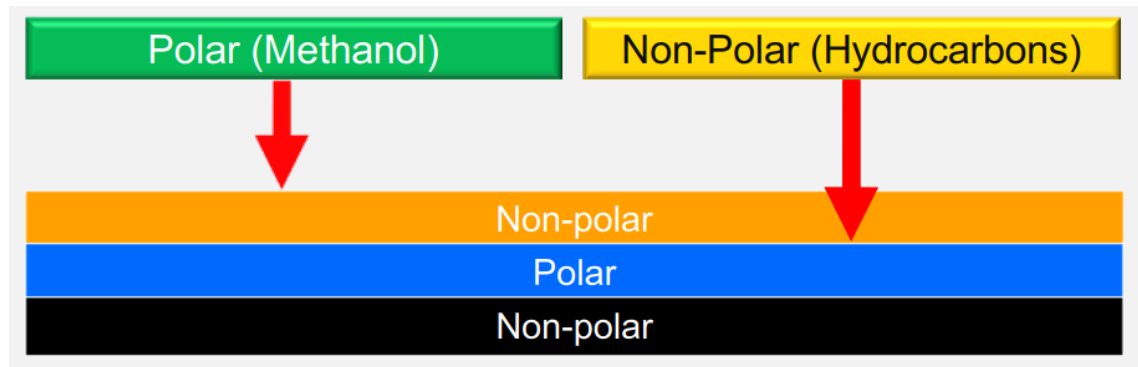
	PVC	LLDPE	LLDPE	HDPE	Nylon VBP 15	LLDPE+EVOH
Kalvon paksuus	0,76 mm	0,76 mm	0,53 mm	2,0 mm	0,38 mm	0,53 mm
Haikka-aine						
bentseeni	10,00	5,00	4,00	3,50	0,07-0,10	0,09
tolueeni	9,30	4,50	3,00	3,00	0,11-0,14	0,085
etylibentseeni	8,00	3,50	2,00	1,80	0,21	0,085
m- ja p-ksyleeni	7,00	3,00	2,00	1,70	0,22	0,08
o-ksyleeni	5,00	2,50	2,00	1,50	0,2	0,075

Taulukossa 5 on esitetty tutkimuksessa tutkitut kalvot ja näiden paksuudet sekä tutkimustulosten läpäisykertoimien arvot.

**Taulukko 5.** PVC-, LLDPE-, HDPE- ja kerroksellisten kalvojen vesifaasin läpäisykertoimien  $P_g$  ( $10^{13}m^2s^{-1}$ ) vertailu (McWatters 2010, s.87)

	PVC	LLDPE	LLDPE	HDPE	Nylon VBP 15	LLDPE+EVOH
Kalvon paksuus	0,76 mm	0,76 mm	0,53 mm	2,0 mm	0,38 mm	0,53 mm
Haikka-aine						
bentseeni	1,3	1,0	0,7	0,1	0,6-0,8	0,018
tolueeni	3,6	1,8	1,1	0,3	0,6-0,8	0,030
etylibentseeni	7,8	1,6	0,8	0,5	0,5	0,056
m- ja p-ksyleeni	7,5	1,4	0,9	0,6	0,5	0,048
o-ksyleeni	4,7	1,1	0,8	0,4	0,5	0,041

Tutkimus osoittaa, että LLDPE- ja EVOH-kalvojen monikerroskalvo pidättää BTEX-yhdisteitä 10-200-kertaa paremmin kuin tavanomaiset kalvot. LLDPE ja EVOH-kalvon läpäisykerroin osoittautuu 5-12 kertaa pienemmäksi kuin HDPE-kalvon. (McWatters 2010, s. ii) Monikerroskalvon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 20.



*Kuva 20. Monikerroskalvon toimintaperiaate (Sara 2013)*

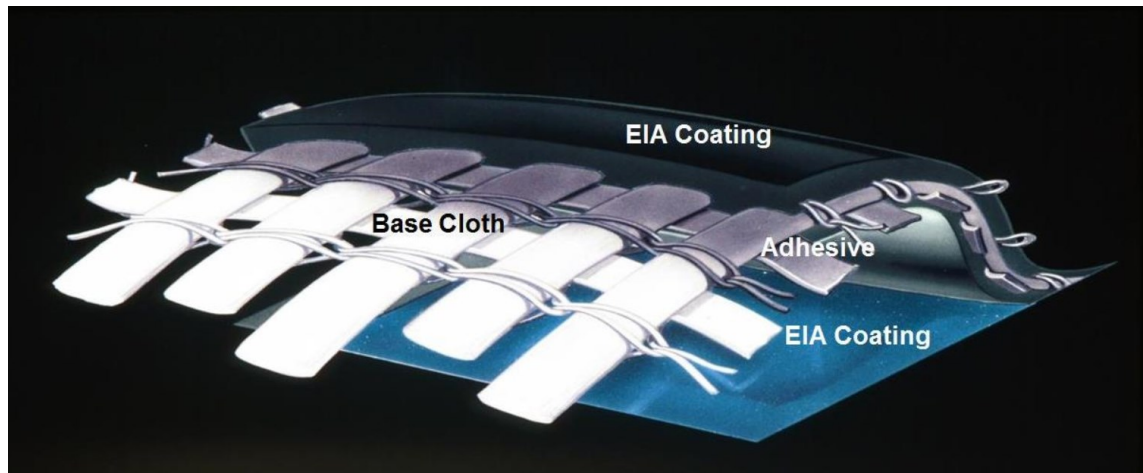
Monikerroskalvojen toimintaperiaate perustuu päällekkäisiin polaarisiin ja ei-polaarisiin kalvoihin. Monikerroskalvoja Suomen markkinoilla on tarjolla ainakin Puraflex tuotenimellä.

### 6.3 EIA-kalvot

PVC eli polyvinyylikloridi valmistetaan polymeroimalla vinyylidikloridia. PVC-kalvolla on erinomaiset joustavuus- ja jännityssäroilyominaisuudet. Pelkällä PVC-kalvolla on kuitenkin heikko vetolujuus sekä kemiallinen kestävyys, joten se ei sovellu pelkästään jake-luaseman tiivistysrakenteeseen. PVC-kalvon ominaisuuksia voidaan parantaa erilaisilla polymeereillä. Yhtenä esimerkkinä ovat niin sanotut EIA-kalvot, joissa PVC:n ominai-suuksia on parannettu Dupontin valmistamalla lisäaineella. PVC:n ja Elvaloyn polymeeri-t sulatetaan ja sekoitetaan yhteen muodostaen niin sanotun EIA-kalvon. (Scheirs 2009, s.139-143)

EIA-kalvoja eli eteenistä valmistettuja polymeeriseoskalvoja ei ole käytetty Suomessa laajemmassa mittakaavassa. EIA-kalvoja valmistaa Yhdysvaltojen markkinoilla ainakin Coolguard, Ultratech ja Seaman Corporation. Seaman Corporationin valmistama tuote XR-5 on ollut käytössä Yhdysvalloissa jo vuodesta 1976. EIA-kalvo on geomembraani, joka sisältää PVC:n ja Dupontin valmistaman Elvaloy polymeeriseoksen. Maarakentami- sessa kalvoon yhdistetään kudottu pohjakangas antamaan mekaanista kestävyyttä. (Scheirs 2009, s.139-143) Kuvassa 21 on esitetty EIA-kalvon rakenne.





**Kuva 21.** EIA-kalvon rakenne (XR technology)

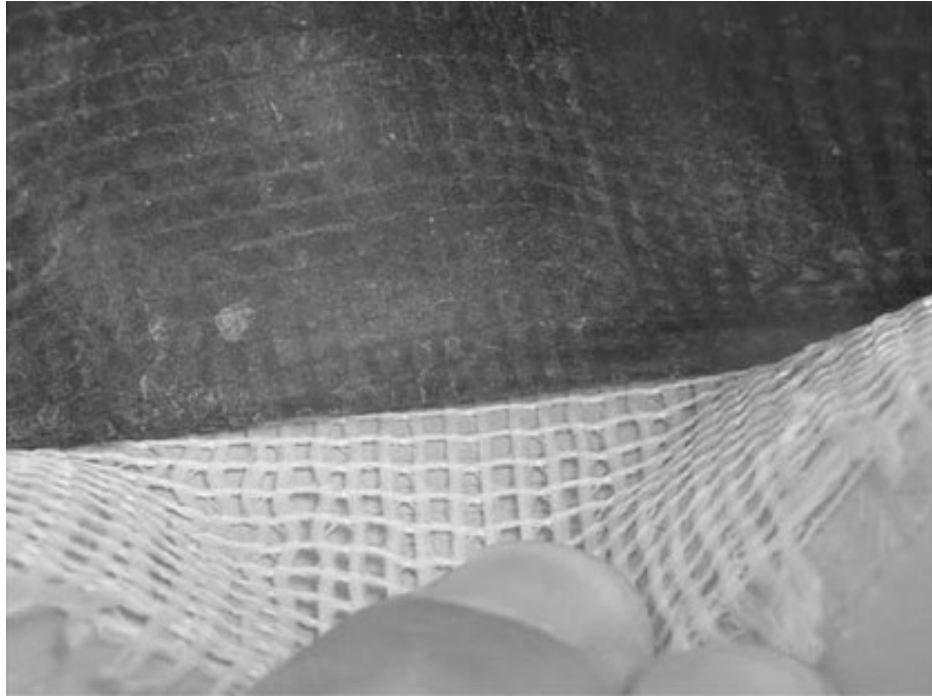
Dupont Elvaloy on polymeeriseos, jota käytetään monissa eri sovelluksissa parantamaan ominaisuuksia. Dupont Elvaloy seoksen ansiosta EIA-kalvolla on hyvä kemiallinen kestävyys, pidempi käyttöikä sekä hyvä UV-kestävyys. Kalvo soveltuu myös tiivistysrakenteisiin, jotka altistuvat auringon valolle. (Scheirs 2009, s.139-143)

Valmistajan mukaan EIA-kalvon kemiallinen kestävyys on HDPE-kalvoa parempi. Eri-tyisesti sen kestävyys hiilivetyjä vastaan on erinomainen. Taulukkoon 6 on kuvattu XR-5 ja HDPE-kalvojen kestävyys eri aineita vastaan. (Seaman Corporation)

**Taulukko 6.** XR-5<sup>®</sup> ja HDPE-kalvojen kemiallinen kestävyys (Seaman Corporation)

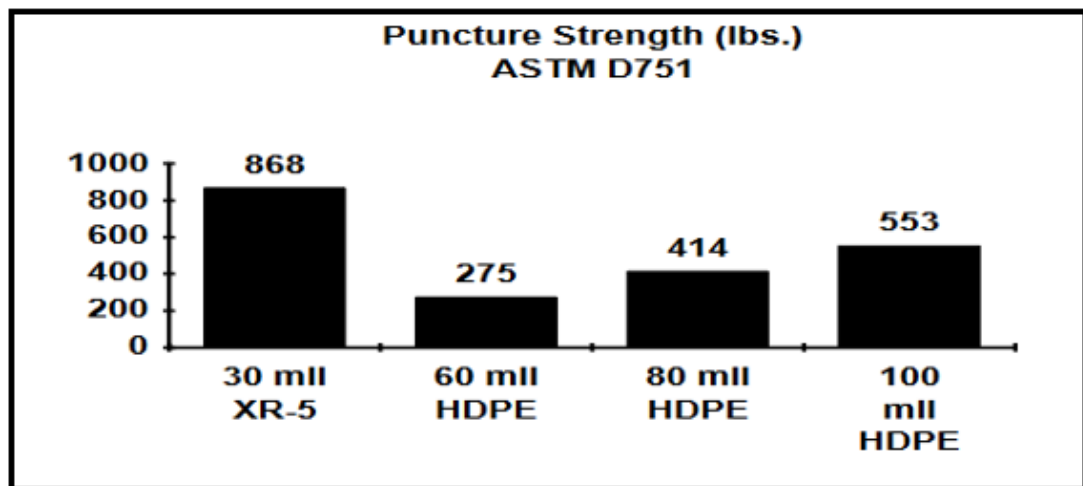
	XR-5 <sup>®</sup>	HDPE
Kerosiini	Erinomainen	Keskinkertainen
Diesel	Erinomainen	Erinomainen
Hapot (yleisesti)	Erinomainen	Erinomainen
Lentopetroli	Erinomainen	Erinomainen
Merivesi	Erinomainen	Erinomainen
Raakaöljy	Erinomainen	Keskinkertainen
Bensiini	Keskinkertainen	Keskinkertainen

Kalvoon yhdistetty kudottu pohjakangas valmistetaan usein polyeteenistä. Se antaa kalvolle hyvän puhkaisulujuuden ja vetolujuuden. Kuvassa 22 on esitetty kudottu pohjakangas.



**Kuva 22.** Kudottu pohjakangas polyeteenistä (Scheirs 2009, s.141)

EIA-kalvon puhkaisulujuus testataan standardin *ASTM D751* mukaan. EIA-kalvon puhkaisulujuus on HDPE-kalvoa parempi. Kuvan 23 pylväsdiagrammissa on esitetty XR-5 ja HDPE-kalvojen puhkaisulujuuksien arvoja. (Seaman Corporation)



**Kuva 23.** XR-5® ja HDPE-kalvojen lävistyslujuus (Seaman Corporation) 1 mil = 0,0254 mm, 1 lb = 0,454 kg

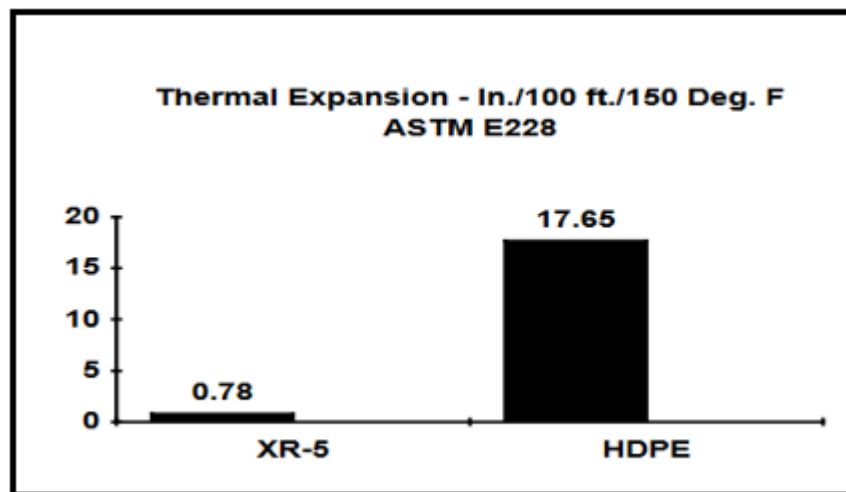
Hyvän muodonmuutoskestävyyden ja joustavuuden takia EIA-kalvot voidaan saumata etukäteen tehtaalla ja taitella pieneen kasaan, jolloin työmaalla tehtävien saumojen määrä vähenee. HDPE-kalvoja ei voida saumata etukäteen, koska ne ovat jäykkiä ja hankalia käsitellä. Työmaalla tehtävät saumat ovat alttiita muun muassa ilmastollisille tekijöille,

jolloin saumaustyö on vaikeampaa ja virheiden todennäköisyys kasvaa. (Leppänen 2015; Seaman Corporation) Kuvassa 24 on esimerkki EIA-kalvojen asentamisesta.



**Kuva 24.** EIA-kalvon asennusta (Leppänen 2015)

EIA-kalvo on joustavaa, joten se asettuu HDPE-kalvoa paremmin asennusalustaa vasten. Valmistajan mukaan myös XR-5 kalvon lämpölaajeneminen on merkittävässä osin vähäisempää kuin HDPE-kalvon. Kuvassa 25 on vertailu standardin *ASTM E228* mukaan testattujen kalvojen lämpölaajenemisesta. (Seaman Corporation)



**Kuva 25.** XR-5 ja HDPE-kalvojen lämpölaajeneminen (Seaman Corporation) 1 In = 25,4 mm, 1 ft = 304,8 mm, 150 F = 65,6 °C

Voidaan todeta, että HDPE-kalvo on moninkertaisesti alttiimpi haitalliselle lämpölaajenemiselle kuin XR-5 kalvo. Suuri lämpölaajeneminen vaikeuttaa kalvojen asentamista työmaalla. Lämpölaajenemisen seurauksesta kalvoihin aiheutuu ryppyjä ja turhia venymiä. (Leppänen 2016; Seaman Corporation; SYKE 2002, s.101)

EIA-kalvot ovat HDPE-kalvoja monta kertaa kalliimpia. EIA-kalvojen asentaminen puolestaan on huomattavasti nopeampaa kuin HDPE-kalvojen. EIA-kalvon helpon asennettavuuden vuoksi kokonaiskustannukset kyseisellä kalvolla etenkin pienissä kohteissa alhaisemmiksi.

Koska suurin osa EIA-kalvojen saumoista voidaan tehdä tehtaalla, aiheutuu kalvon asennuksesta vähemmän riskejä. Laadunvalvonta on myös helpompaa, kun työmaalla tehtäviä saumoja on vähemmän. Kalvo ei ole yhtä altis työnaikaisille virheille.

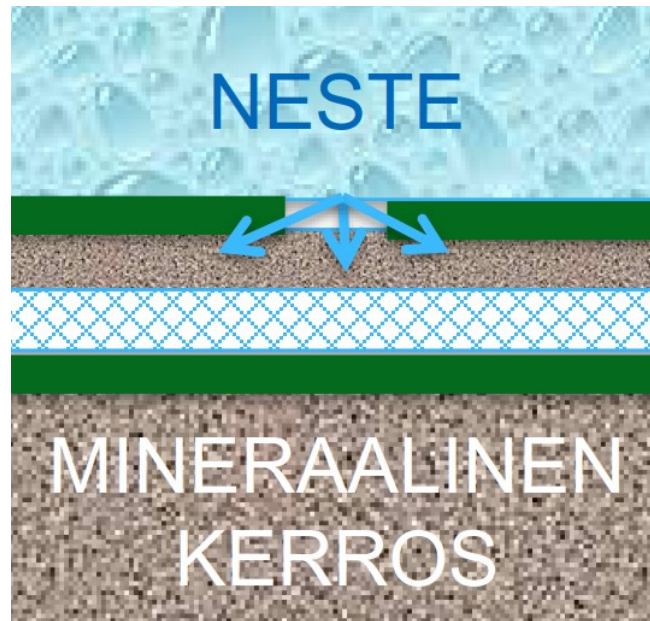
EIA-kalvoa ei ole käytetty Suomessa, mutta se soveltuisi erinomaisesti etenkin jakeluasemien pohjaveden suojaukseen. Jakeluasemarakenteessa käytettävä toissijaisen suojausrakenteen tiivistyskalvo voitaisiin asentaa jopa ilman työmaalla tehtäviä saumoja. Koska kalvo on joustavaa, soveltuu se myös alueille, joilla on odotettavissa painumia.

## **6.4 Yhdistelmä rakenne**

Nykyisellään jakeluasemarakentamisessa edellytetään yhdistelmä rakenteen käyttämistä vain toissijaisessa suojausjärjestelmässä pohjavesialueilla. Pääasiallinen ratkaisu on pelkkä tiivistyskalvo. Yhdistelmä rakenteen käyttöön olisi kuitenkin paljon perusteita, etenkin kun käytetään HDPE-kalvoa. Esimerkiksi bentoniittimaton käyttäminen mineraalisenä tiivistyskerroksena kalvon kanssa olisi enemmän kuin suotavaa. Yhdistelmä rakenne on tehokkaampi, joten maaperän pilaantumisen riski on huomattavasti pienempi. Jakelualueen kokonaisala on pieni, joten kokonaiskustannuksiin bentoniittimaton käyttäminen ei juuri vaikuta. Bentoniittimatto antaisi myös tasaisen asennusalueen kalvolle.

## **6.5 Kaksoisyhdistelmä rakenne**

Nykyisellään jakeluasemarakentamisessa ei edellytetä missään tilanteissa käytettäväksi kaksoisyhdistelmä rakennetta eli rakennetta, jossa on kaksi yhdistelmä rakennetta päällekkäin. Yhdistelmä rakenteiden väli on mahdollista varustaa vuodontarkkailujärjestelmällä. Kuvassa 26 on esitetty kaksoisyhdistelmä rakenteen periaate. (Leppänen 2016)



**Kuva 26.** Kaksoisyhdistelmä rakenne (Leppänen 2016)

Kun päällimmäiseen kalvoon tulee reikä haitta-aineet pääsevät kulkeutumaan alapuoliseen mineraaliseen materiaaliin, jossa haitta-aineiden kulkeutuminen hidastuu. Jos kaksoisyhdistelmä rakenne varustetaan vuodontarkkailujärjestelmällä, mahdollisesta vuodosta saadaan tieto.

## 7. YHTEENVETO

Jakeluasemat aiheuttavat riskin pohjaveden pilaantumiselle. Jakeluasematoiminnassa on monia päästö lähteitä, joista haitta-aineet voivat päästä ympäristöön. Haitta-aineilla on vaikutuksia kasvistoon, eliöstöön ja ihmisten terveyteen.

Haitta-aineiden kulkeutumista maaperässä säätelevät muun muassa diffuusio, advektio, dispersio, haihtuminen ja pidäytyminen. Niiden tapahtumiseen vaikuttavat maaperän ja haitta-aineiden ominaisuudet sekä ilmastolliset tekijät. Merkittävin haitta-aineiden liikumiseen vaikuttava tekijä on vesi. Haitta-aineiden ominaisuuksista merkittävin tekijä onkin sen vesiliukoisuus. Veden kulkeutumiseen maaperässä vaikuttaa maaperän vedenjohtavuus. Ilmastollisista tekijöistä kulkeutumiseen vaikuttavat sadanta, lämpötila ja il-  
mankosteus.

Jakeluasemarakentamista säätelevät monet lait, asetukset ja standardit. Standardissa SFS 3352 (2014) esitetään esimerkkejä rakenneteknisistä, joilla saavutetaan riittävä pohjavedensuojautus. Yleisesti käytetty HDPE-kalvo on jäykkää eikä taipu helposti jyrkkiin kulmiin. HDPE-kalvon ongelma on sen alttius jännityssäröilylle. Epätasainen painuminen tai kalvoon syntyneet pistekuormat aiheuttavat kalvoon vetoa, jolloin venymän kasvaessa riittävän suureksi kalvo hajoaa ja siihen syntyy reikä.

HDPE-kalvo on jäykkä, minkä vuoksi se on saumattava työmaalla. HDPE-kalvon kemiallinen kestävyys on hyvä, mutta se läpäisee hiilivetyjä diffuusion vaikutuksesta. LLDPE-kalvo on joustavampi ja vähemmän altis jännityssäröilylle kuin HDPE-kalvo, joten se on HDPE-kalvoa parempi vaihtoehto. LLDPE-kalvo läpäisee kuitenkin hiilivetyjä diffuusion vaikutuksesta, minkä vuoksi esimerkiksi EVOH-kalvon sisältävä monikerroskalvo tai EIA-kalvo olisivat polaarisisäisistä kalvoista parempia vaihtoehtoja.

Standardi SFS 3352 (2014) ohjeistaa tiivistysrakenteena käytettäväksi jakeluaseman pohjavedensuojusrakenteena yhtä 1,0 mm paksuista hitsattavaa HDPE-kalvoa, jonka molemmilla puolilla rakennetaan suojahiekkakerrosta. Jos asennettuun kalvoon tulee reikä jakeluaseman elinkaaren aikana, pääsevät haitta-aineet hyvin vettä johtavassa hiekassa kulkeutumaan laajalle alalle maaperään. Haitta-aineiden kulkeutuminen riippuu tällöin täysin kalvon alapuolisen rakenteen ja maaperän vedenjohtavuudesta. Hiekan tai muun hyvin vettä johtavan materiaalin käyttäminen tiivistyskalvon alapuolella on huono ratkaisu. Kalvon alle tulisi asentaa huonosti vettä johtava mineraalinen tiivistyskerros, esimerkiksi bentoniittimatto.

Yhdistelmä rakenne on pelkkää geomembraania parempi vaihtoehto. Geomembraanin vaurioitessa haitta-aineet pääsevät siitä lävitse, mutta haitta-aineiden kulkeutuminen hidastuu huomattavasti mineraaliseen kerrokseen. Jakeluasemarakentamisessa tulisi aina

käyttää vähintään yhdistelmärakennetta pohjaveden suojausrakenteena. Pohjavesialueella edellytetyn kaksoisrakenteen sijasta tulisi käyttää kaksoisyhdistelmärakennetta eli rakennetta, jossa on kaksi yhdistelmärakennetta. Jakeluasematoiminnasta aiheutuvien päästöjen haitta-aineet ja ympäristölliset olosuhteet tunnetaan erinomaisesti ja suojattava pinta-ala on pieni, joten tiivistysrakenteen materiaalit voitaisiin valita paremmin ja tapauskohtaisemmin.

## LÄHTEET

Aalto J. (1985). Veden virtaus maassa. RIL 157-I Geomekaniikka 1. Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto.

Airaksinen J. (1978). Maa- ja pohjavesihydrologia

Aittoniemi M. (2016). Nummolan Neste-aseman on lopetettava, lehtiartikkeli. Vihdin Uutiset [Viitattu 20.9.2017]. Saatavissa: <http://www.vihdinuutiset.fi/artikkeli/455673-nummolan-neste-aseman-on-lopetettava>

ASTM D5641, (2016). Standard Practice for Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber

ASTM D5820, (2018). Standard Practice for Pressurized Air Channel Evaluation of Dual-Seamed Geomembranes

ASTM D6392, (2018). Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods

ASTM D751, (2016). Standard Test Methods for Coated Fabrics

ASTM E228, (2017). Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials With a Push-Rod Dilatometer

Heikkinen P. (1999). Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Saatavissa: [http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/s44\\_0000\\_2\\_1999.pdf](http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/s44_0000_2_1999.pdf)

Innamaa M., Molarius R., Vesi- ja ympäristöhallitus (1993). Ylöjärven harjun pohjavesialueen suojelusuunnitelma.

Juntunen P. (2016). Allasrakenteet – Erilaiset kalvot ja niiden uudet mahdollisuudet, diaesitys. IGS-FIN Allasseminaari 11.10.2016. [Viitattu 21.9.2017]. Saatavissa: [https://geosynt.files.wordpress.com/2016/10/161011\\_erityiset-kalvot-allasrakenteissa.pdf](https://geosynt.files.wordpress.com/2016/10/161011_erityiset-kalvot-allasrakenteissa.pdf)

Kolev M. Polyeteeni (PE). Tecnical University of Gabrovo. [Viitattu 3.6.2017]. Saatavissa: [http://valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics\\_PE\\_FI.pdf](http://valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PE_FI.pdf)

Kuusela-Lahtinen A. et al. (2010). Ympäristö- ja terveysriskien arviointimenetelmien vertailu. VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2551.pdf>



Leppänen M. (2015). Uudistunut jakeluasemastandardi, diaesitys [Viitattu 11.10.2017]. Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/files/12656758/jakeluasemastandardi\\_esitys.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/12656758/jakeluasemastandardi_esitys.pdf)

Leppänen M. (2016). Allasrakenteiden mitoitus, diaesitys. IGS-FIN Allasseminaari 11.10.2016. [Viitattu 20.9.2017]. Saatavissa: <https://geosynt.files.wordpress.com/2016/10/altaiden-kuormitukset.pdf>

McWatters R. (2010). Diffusive transport of volatile organic compounds through geomembranes. Queen's University. Kingston, Canada. Saatavissa: [http://qspace.library.queensu.ca/bitstream/handle/1974/13895/McWatters\\_Rebecca\\_S\\_201004\\_PhD.pdf?sequence=1](http://qspace.library.queensu.ca/bitstream/handle/1974/13895/McWatters_Rebecca_S_201004_PhD.pdf?sequence=1)

Mittarihuolto Mäkelä Oy. Yrityksen kotisivut. [Viitattu 3.5.2017]. Saatavissa: <http://mittarihuoltomakela.fi/asetat/>

New World Encyclopedia (2015). Polyethylene. [Viitattu 11.10.2017] Saatavissa: <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Polyethylene>

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista jakeluasemalla, L 9.6.1998/415, 1998. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1998/19980415>

Sara H., Oy ViaPipe Ab (2013). Puraflex. diaesitys. IGS-FIN Allasseminaari 11.10.2016. Viitattu [11.10.2017] Saatavissa: <https://geosynt.files.wordpress.com/2013/04/puraflex-suomi.pdf>

Scheirs J. (2009). Guide to Polymeric Geomembranes: A Practical Approach

Seaman Corporation. Geomembrane Chemical Resistance Comparison. Yrityksen kotisivut. [Viitattu 27.10.2017] Saatavissa: <http://www.xrgeomembranes.com/geomembrane-chemical-resistance-comparison>

Seaman Corporation. Why XR-5 and not high-density polyethylene. Yrityksen kotisivut. [Viitattu 27.10.2017] Saatavissa: <http://cdn2.hubspot.net/hubfs/481889/PDFs/Comparisons/WhyXR5vsHDPE.pdf?t=1508159819880>

SFS 3352, (2014). Palavien nesteiden jakeluasema. Suomen standardisoimisliitto. 6. painos. Helsinki

SFS-EN 12285-1, (2003). Tehdasvalmisteiset terässäiliöt. Osa 1: Maanalaiset, sylinterimäiset, makaavat yksi- ja kaksoisvaippasäiliöt palaville ja palamattomille vesiä pilaaville nesteille. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

SFS-EN 12285-2, (2005). Tehdasvalmisteiset terässäiliöt. Osa 2: Maanpäälliset, sylinterimäiset, makaavat yksi- ja kaksoisvaippasäiliöt palaville ja palamattomille vesiä pilaa-ville nesteille. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

SFS-EN 13067, (2013). Plastics welding personnel. Qualification testing of welders. Thermoplastics welded assemblies. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

SFS-EN 13160-1, (2016). Vuodonilmaisujärjestelmät. Osa 1. Yleiset periaatteet. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

SFS-EN 13160-1, (2016). Vuodonilmaisujärjestelmät. Osa 2. Paine- ja alipainejärjestelmien vaatimukset ja testaus- ja arviointimenetelmät. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

SFS-EN 13160-1, (2016). Vuodonilmaisujärjestelmät. Osa 3. Säiliöiden nestejärjestelmien vaatimukset ja testaus- ja arviointimenetelmät. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

SFS-EN 13160-1, (2016). Vuodonilmaisujärjestelmät. Osa 4. Tunnistimen käyttöön perustuvien vuodonilmaisujärjestelmien vaatimukset ja testaus- ja arviointimenetelmät. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

SFS-EN 13160-1, (2016). Vuodonilmaisujärjestelmät. Osa 5. Requirements and test/assessment methods for in-tank gauge systems and pressurised pipework systems. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

SFS-EN 13160-1, (2016). Vuodonilmaisujärjestelmät. Osa 6. Sensors in monitoring wells. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki

Suomen geoteknillinen yhdistys (1987). Kairausopas IV. Pohjavedenpinnan ja huokosvedenpaineen mittaaminen

Suomen ympäristökeskus (SYKE). (2002). toim. Leppänen M. Ympäristöhallinnon ohjeita 36. Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Helsinki. ISBN 952-11-0232-2. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41085/Ymp%C3%A4rist%C3%B6opas\\_36.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41085/Ymp%C3%A4rist%C3%B6opas_36.pdf?sequence=1)

Suomen Ympäristökeskus (SYKE). (2008). Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. Ympäristöhallinnon ohjeita 1. Helsinki. ISBN 978-952-11-3151-6. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41544/SYKE\\_OH\\_1\\_2008.pdf?sequence=2](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41544/SYKE_OH_1_2008.pdf?sequence=2)

Soini T. (2014). Öljysuojarahaston tutkimus- ja kunnostustoiminta. TTY. Diplomityö. Saatavissa: [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95874/Raportteja\\_8\\_2014.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95874/Raportteja_8_2014.pdf?sequence=2)

Stallion Coatings & Construction Company (2017). Yrityksen kotisivut. Saatavissa: <http://www.stallioncoatings.co.uk/scc/hdpe-installation-contractors.html>

Taretek Oy. Yrityksen kotisivut. [Viitattu 11.10.2017] Saatavissa: <http://taretek.fi/wp-content/uploads/2014/03/hitsaus.jpg>

Tidenberg S. et al. (2009). MTBE ja TAME pohjavesiriskinä Suomessa. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38015/SY29\\_2009\\_MTBE\\_ja\\_TAME\\_pohjavesiriskina\\_Suomessa.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38015/SY29_2009_MTBE_ja_TAME_pohjavesiriskina_Suomessa.pdf?sequence=1)

Työterveyslaitos (2016). PAH-yhdisteiden tavoitetasoperustelumuuistio. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/12/pah-yhdisteet-tavoitetaso.pdf>

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007), Liite: Maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjeavot. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/5382.pdf>

Valtioneuvoston asetus nestemäisten polttoaineiden jakeluasemien ympäristönsuojeluväatimuksista, L 27.5.2010/444, 2010. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100444#Pidp3606048>

XR-Technology. Nettisivut. [Viitattu 27.10.2017] Saatavissa: <https://xrtechnology.wordpress.com/>

Ympäristönsuojelulaki, L 27.6.2014/527, 2014. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527>

Ympäristöministeriö (2007). Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Ympäristöhallinnon ohjeita 2. Helsinki. ISBN 978-952-11-2726-7. Saatavissa: [www.ymparisto.fi/download/noname/%7B10B8A9E3-C9CE-41AF-91D9.../37541](http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B10B8A9E3-C9CE-41AF-91D9.../37541)

Ympäristöministeriö (2014). Ympäristöhallinnon ohjeita 6. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Helsinki. ISBN 978-952-11-4327-4. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH\\_6\\_2014.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf)

Ölly- ja biopolttoaineala ry (2016). Ympäristörakentamisen laadunvarmistus jakeluasemilla, 4. sähköinen julkaisu. Saatavissa: [http://www.oil.fi/sites/default/files/ymparistorakentamisen\\_laadunvarmistus\\_jakeluasemilla\\_4painos\\_2016\\_0.pdf](http://www.oil.fi/sites/default/files/ymparistorakentamisen_laadunvarmistus_jakeluasemilla_4painos_2016_0.pdf)