

# MTBE ja TAME pohjavesiriskinä Suomessa

Sanna Tidenberg, Tero Taipale ja Juhani Gustafsson





SUOMEN YMPÄRISTÖ 29 | 2009

# MTBE ja TAME pohjavesiriskinä Suomessa

**Sanna Tidenberg, Tero Taipale ja Juhani Gustafsson**

Helsinki 2009

**SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS**



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 29 | 2009  
Suomen ympäristökeskus  
Asiantuntijapalveluosasto

Taitto: Liisa Lamminpää  
Kansikuva: Mark Einbork/Plug.fi

Julkaisu on saatavana myös internetistä:  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)

Edita Prima Oy, Helsinki 2009

ISBN 978-952-11-3536-1 (nid.)  
ISBN 978-952-11-3537-8 (PDF)  
ISSN 1238-7312 (pain.)  
ISSN 1796-1637 (verkkoj.)

## ESIPUHE

Vuonna 2003 käynnistettiin kehityshanke ”Bensiinin lisäaineiden, MTBE:n ja TAME:n, pohjavesiseurannan suunnittelu ja kehittäminen”, jonka tarkoituksena on ohjeistaa MTBE:n eli metyyli-tertiääri-butyylieetterin tarkkailua jakeluasemilla Suomessa. Ympäristöministeriön rahoittamassa hankkeessa osapuolina olivat Öljyalan palvelukeskus (ÖPK), Suomen ympäristökeskus (SYKE), Öljy- ja Kaasualan Keskusliitto (ÖKKL), Fortum ja Paavo Ristola Oy. Hankkeen taustalla on EY- komission vuonna 2001 antama MTBE:ä koskeva riskinvähennyssuositus. Käytännössä riskinvähennyssuositus tarkoittaa pohjavesialueilla sijaitsevien polttonesteiden jakeluasemien tarkkailua. Hankkeen tavoitteena on luoda EU:n riskinvähentämisstrategian mukainen, toimiva ja taloudellisesti toteutuskelpoinen malli jakeluasemien päästötarkkailulle. Hankkeeseen sisältyi neljä osa-aluetta: pohjavesialueilla sijaitsevien jakeluasemien kartoittaminen, MTBE:n taustapitoisuuden selvittäminen pohjavesissä, päästötarkkailun ja pohjavesiseurannan Pilot -kokeet kahdella jakeluasemalla sekä ohjeiden laatiminen jakeluasemien toiminnan ja tarkkailun toteuttamisesta ja valvonnasta.

SYKE:ssä selvitettiin paikkatietoaineiston perusteella huoltoasemien sijoittumista pohjavesialueille. Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy on toiminut hankkeen ympäristöteknišenä asiantuntijana ja toteutti Pilot -vaiheen, selvitti MTBE:n taustapitoisuuksia pohjavesissä sekä osallistui tulosten tulkintaan ja niiden soveltamiseen tarkkailun ohjeistamisessa. Taustapitoisuustutkimuksessa selvitettiin mahdollisuutta, että MTBE (metyyli-tertiääri-butyylieetteri) tai TAME (tertiäärinen amyli-metyylieetteri) kulkeutuisivat ilmakehän kautta luonnontilaisille pohjavesialueille. Tarkoituksena oli selvittää muun muassa tieliikenteen aiheuttaman taustakuormituksen suuruutta. Pilot -kokeiden tarkoitus oli selvittää parhaat käyttökelpoiset tarkkailumenetelmät ja niiden soveltuminen erityyppisiin olosuhteisiin.

Ympäristöministeriön asettama työryhmä vastasi alueellisille ympäristökeskuksille suunnatun polttonesteiden jakeluasematoimintaa pohjavesialueilla koskevan valvontaohjeen laatimisesta. Ohje on tarkoitettu ensisijaisesti yhdenmukaistamaan polttonesteiden jakeluasemien ympäristölupahakemuksista pohjavesialueilla annettavia alueellisten ympäristökeskusten lausuntoja sekä valitusmenettelyä.

Tässä raportissa esitellään hankkeen tuloksia: jakeluasemien sijoittumista pohjavesialueille eli käytännössä MTBE:n mahdollisia päästölähteitä, MTBE:n taustapitoisuutta pohjavesissä sekä pilot-kokeiden tuloksia pohjavesitarkkailun tavoitteista, tarkkailumenetelmien soveltuvuudesta riskinhallintaan ja pohjavesitarkkailun kehittämisestä. Raporttiin on koottu tietoja MTBE:n ominaisuuksista, käyttäytymisestä ja kulkeutumisesta pohjavesissä sekä MTBE:n esiintymisestä ja pilaantumistapauksista muun muassa POVET-rekisterin perusteella. Lisäksi raportissa esitellään joitakin vaihtoehtoja MTBE:lle ja sen puhdistamismahdollisuuksia pohjavedestä.

Raportin laatimiseen ja tietojen keräämiseen ovat osallistuneet kirjoittajien lisäksi myös Hanna Kaasalainen, Emilia Kosonen ja Samppa Mäkelä.

Lämpimät kiitokset kaikille hankkeeseen osallistuneille!

Helsingissä 22.4.2008

Tekijät



## SISÄLLYS

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| Esipuhe .....                                                  | 3         |
| Sisällys .....                                                 | 5         |
| <b>1 Johdanto .....</b>                                        | <b>7</b>  |
| <b>2 Tutkimusaineisto .....</b>                                | <b>9</b>  |
| <b>3 MTBE:n ominaisuudet .....</b>                             | <b>11</b> |
| 3.1 Fysikaalis-kemialliset ominaisuudet .....                  | 11        |
| 3.1.1 Höyrynpaine .....                                        | 11        |
| 3.1.2 Vesiliukoisuus .....                                     | 11        |
| 3.2 Haju- ja makukynnys .....                                  | 12        |
| <b>4 MTBE:n tuotanto ja käyttö .....</b>                       | <b>13</b> |
| 4.1 MTBE:n tuotanto USA:ssa ja EU:n alueella .....             | 13        |
| 4.2 MTBE:n käyttö USA:ssa ja EU:n alueella .....               | 14        |
| 4.3 MTBE:n käyttö Suomessa .....                               | 16        |
| <b>5 MTBE pohjavedessä .....</b>                               | <b>17</b> |
| 5.1 MTBE:n päästöt pohjaveteen .....                           | 17        |
| 5.1.1 Pistemäiset lähteet .....                                | 17        |
| 5.1.2 Ei-pistemäiset lähteet .....                             | 17        |
| 5.2 MTBE:n käyttäytyminen ja kulkeutuminen pohjavedessä .....  | 18        |
| 5.3 MTBE:n hajoaminen pohjavedessä .....                       | 18        |
| 5.3.1 MTBE:n biohajoaminen .....                               | 19        |
| 5.3.2 Abioottinen hajoaminen .....                             | 20        |
| 5.4 MTBE:n aiheuttamat riskit pohjaveden laadulle .....        | 20        |
| 5.5 MTBE:n poistaminen pohjavedestä .....                      | 21        |
| <b>6 Vaihtoehtoja MTBE:lle .....</b>                           | <b>24</b> |
| <b>7 Lainsäädäntö ja raja-arvot .....</b>                      | <b>26</b> |
| 7.1 Vedenlaatua koskevaa EU-lainsäädäntöä .....                | 26        |
| 7.2 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus .....                     | 27        |
| 7.3 Toimintojen sijoittamiseen liittyvä lainsäädäntö .....     | 28        |
| 7.4 Ympäristöluvan tarve .....                                 | 29        |
| 7.4.1 Jakeluasemien lupamenettelyn viimeaikainen kehitys ..... | 30        |
| 7.4.2 Valtion ympäristölupajärjestelmän keventäminen .....     | 30        |
| 7.5 Jakeluasemien suojausrakenteet .....                       | 31        |
| 7.6 MTBE:n raja-arvot .....                                    | 32        |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>8 MTBE:n esiintyminen Suomessa</b>                                           | 33 |
| 8.1 Pilaantumistapauksia                                                        | 33 |
| 8.2 Pohjaveden MTBE- ja TAME-pitoisuuksia POVET-rekisterissä 2007               | 35 |
| 8.2.1 Uudenmaan ympäristökeskus                                                 | 36 |
| 8.2.2 Hämeen ympäristökeskus                                                    | 42 |
| 8.2.3 Pohjois-Karjalan ympäristökeskus                                          | 48 |
| 8.2.4 Tulosten tarkastelu                                                       | 54 |
| <b>9 Pohjavesitarkkailu polttonesteen jakeluasemilla</b>                        | 56 |
| 9.1 Pohjavesitarkkailun tavoitteet                                              | 56 |
| 9.2 Pohjavesitarkkailun soveltuvuus                                             | 57 |
| 9.3 Pohjavesitarkkailumenetelmät                                                | 58 |
| 9.4 Pohjavedestä tarkkailtavat parametrit                                       | 59 |
| 9.5 Polttoaineasemien sijainti pohjavesialueilla                                | 59 |
| 9.6 Taustapitoisuuksia pohjavedessä                                             | 61 |
| <i>Janakkala, Hallakorpi, 0416531</i>                                           | 61 |
| <i>Hollola, Kukkila, 0409809</i>                                                | 61 |
| <i>Lahti, Renkomäki, 0439802</i>                                                | 61 |
| <i>Lahti, Kunnas, 0439851</i>                                                   | 62 |
| <i>Iitti, Tillola, 0514202</i>                                                  | 62 |
| <i>Tuusula, Mätäkiivi A, 0185802 B</i>                                          | 62 |
| <i>Karkkila, pohjavesiasema 0102</i>                                            | 62 |
| <i>Jämijärvi, pohjavesiasema 0302</i>                                           | 63 |
| 9.7 Pilot-hanke                                                                 | 63 |
| 9.7.1 Tarkkailupisteiden sijoitus riskikohteisiin nähden                        | 64 |
| 9.7.2 Pilot-kohteet                                                             | 65 |
| <i>Shell Ojamo, Lohja</i>                                                       | 65 |
| <i>Neste Vuosaari, Helsinki</i>                                                 | 67 |
| 9.7.3 Kohteissa tehdyt tutkimukset                                              | 68 |
| 9.8 Polttonesteiden jakeluasematoimintaa pohjavesialueilla koskeva valvontaohje | 69 |
| <b>10 Johtopäätökset</b>                                                        | 70 |
| <b>Lähteet</b>                                                                  | 74 |
| <b>Liitteet</b>                                                                 |    |
| Liite 1. MTBE:n fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia                       | 81 |
| Liite 2. MTBE-tase                                                              | 82 |
| Liite 3. Polttoaineasemat pohjavesialueilla                                     | 83 |
| Liite 4. MTBE:n taustapitoisuuksia pohjavedessä (µg/l)                          | 84 |
| Liite 5. PILOT-näytteenottotulokset                                             | 85 |
| <b>Kuvailulehdet</b>                                                            |    |
| Kuvailulehti                                                                    | 86 |
| Presentationsblad                                                               | 87 |
| Documentation page                                                              | 88 |



# 1 Johdanto

Metyyli-tertiääri-butyylieetteri, MTBE, on bensiiniin lisättävä synteettinen yhdiste, joka kehitettiin bensiinin lyijyn korvikkeeksi oktaaniluvun kohottajaksi. Nykyisin MTBE:ä käytetään oksygenaattina lähinnä tehostamaan bensiinin palamista, mikä vähentää bensiinikäyttöisten autojen pakokaasupäästöjä. MTBE on yleisin bensiinissä käytettävistä oksygenaateista (Scholz et al. 1990, Begley ja Rotman 1993, National Science and Technology Council, lyh. NSTC 1997, United States Environmental Protection Agency, lyh. US EPA 1998a, 1998c, 1999b, World Health Organization, lyh. WHO 1998, Nichols et al. 2000, Jacobs et al. 2001, Malm 2001, Suomen ympäristökeskus, lyh. SYKE 2002, The European Fuel Oxygenates Association, lyh. EFOA 2005).

Vaikka MTBE:llä on ilmakehän kannalta suotuisia vaikutuksia, se aiheuttaa riskin pohjavesille. MTBE on erittäin vesiliukoinen ja maaperään päästyään se kulkeutuu helposti pohjaveteen ja saattaa levitä virtauksen mukana (US EPA 1998a, 1999b, SYKE 2002). MTBE liikkuu lähes samalla nopeudella kuin pohjavesi (Squillace et al. 1996, US EPA 1996b, NSTC 1997). Lisäksi sen pitoisuus pohjavedessä alenee erittäin hitaasti luonnollisten prosessien seurauksena (Novak et al. 1985, Jensen ja Arvin 1990, Yeh ja Novak 1991, 1994, 1995, Suflita ja Mormile 1993, Hubbard et al. 1994, Mormile et al. 1994, Salanitro et al. 1994, Horan ja Brown 1995, Squillace et al. 1996, 1997, Borden et al. 1997, Mo et al. 1997, Steffan et al. 1997, Landmeyer et al. 1998, Odencrantz 1998, Schirmer ja Barker 1998, Schirmer et al. 1998, 1999, Bradley et al. 1999, Chapelle 1999, Johnson et al. 2000, Puig-Grajales et al. 2000, Einarson ja MacKay 2001, Enssani 2003).

MTBE:n suuri vesiliukoisuus yhdistettynä korkeisiin pitoisuuksiin bensiinissä aiheuttaa herkästi laaja-alaisia saastumisvyöhykkeitä ja huomattavan korkeita pitoisuuksia pohjavedessä. Alhaisen haju- (15 µg/l) ja makukynnyksen (40 µg/l) takia MTBE rajoittaa jo hyvin alhaisissa pitoisuuksissa pohjaveden käyttöä talousvetenä. Suomessa vuonna 2001 valmistuneen MTBE:ä koskevan EU:n riskinarvioinnin mukaan altistuminen terveydelle haitallisille pitoisuuksille on kuitenkin hyvin epätodennäköistä johtuen MTBE:n alhaisesta haju- ja makukynnyksestä (Malm 2001, SYKE 2002).

Vuonna 1998 Yhdysvalloissa MTBE:ä käytettiin yli 14,5 miljoonaa tonnia (Johnson et al. 2000) ja EU:n alueella yhteensä noin 2,3 miljoonaa tonnia (Dewitt & Company Inc. 1998). Myös MTBE-pitoisuudet bensiinissä ovat EU:n alueella keskimäärin alhaisempia kuin Yhdysvalloissa. EU-direktiivin 98/70/ETY mukaan bensiinin sisältämän MTBE:n enimmäismäärä saa olla 15 prosenttia tilavuudesta. EU:n alueella MTBE:n keskipitoisuus bensiinissä on noin 2,5 tilavuusprosenttia. Pitoisuus vaihtelee kuitenkin eri maiden välillä (SYKE 2002). Yhdysvalloissa yli 10 prosentin pitoisuudet bensiinissä ovat tavallisia.

Verrattuna muuhun Eurooppaan, Suomessa MTBE:n suhteellinen osuus bensiinissä on ollut ajoittain korkea johtuen meillä käytössä olevasta bensiinin happipitoisuutta edistävästä veroporrastuksesta, mikä on johtanut amerikkalaistyyppisen reformuloidun bensiinin käyttöön. Suomessa oli vuonna 1997 EU:n korkein MTBE:n

keskipitoisuus bensiinissä, 8,5 tilavuusprosenttia. Vuoden 2007 biopolttoainelvelvoite on kuitenkin muuttanut polttoaineiden tuotantomalleja olennaisesti, mikä on laskenut MTBE:n keskipitoisuuksia bensiinissä myös Suomessa. Kokonaisuudessaan ja myös henkeä kohden kulutetun MTBE:n määrä on Suomessa myös huomattavasti vähäisempi kuin USA:ssa, koska Suomessa on huomattavasti vähemmän (0,433) autoja henkilöä kohden kuin USA:ssa (0,765).

MTBE-pitoisuuksia on havaittu pohjavesissä monin paikoin Yhdysvalloissa ja Euroopassa. Yhdysvalloissa, jossa MTBE:ä käytetään Eurooppaa enemmän ja sen aiheuttama ongelma on toistaiseksi suurempi, on löydetty yli 250 000 MTBE:llä pilaantunutta aluetta (Jacobs et al. 2001). Kalifornian osavaltiossa on jouduttu sulkemaan monia julkisia vedenottamoja. Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto suositteli MTBE:n käytön lopettamista sen aiheuttamien pohjaveden pilaantumistapausten vuoksi (US EPA 2000). Korvaavaksi aineeksi on esitetty etanolia. MTBE:n käyttö bensiinin lisäaineena kiellettiin Kaliforniassa vuonna 2004. Huoltamoiden suojausrakenteilla ja rakennustyön aikaisella valvonnalla on merkittävä vaikutus päästöihin (Ympäristöministeriö 2007). Euroopassa vuotojen ja päästöjen määrää on vähentänyt merkittävästi MTBE:n vähäisemmän käytön lisäksi täysin erilainen huoltoasemien polttoaineiden varastointi- ja jakelujärjestelmä verrattuna Yhdysvaltoihin. Kuitenkin myös Euroopassa on havaittu MTBE:n aiheuttamia pilaantumistapauksia.

MTBE:n huomattavimmat päästöt ympäristöön tapahtuvat bensiinin jakelun, varastoinnin ja käytön yhteydessä (NSTC 1997, Keller et al. 1998, US EPA 1999b, Williams ja Sheehan 2001, SYKE 2002). Suurimman riskin aiheuttavat pohjavesialueilla sijaitsevat huoltoasemat. Vuonna 2006 huoltamoja oli Suomessa yhteensä 2013 kappaletta, joista luokitelluilla pohjavesialueilla sijaitsi 271 huoltamoja ja näistä 222 vedenhankintaa varten tärkeillä (I-luokka) pohjavesialueilla. Meillä varastointi- ja jakelujärjestelmästä johtuen säiliövuotoja ei ole tapahtunut kuin yksittäistapauksissa. Inhimilliset erehdykset, ylitäytöt, pienet päästöt ja vuodot huoltamotoiminnassa muodostavat suurimman riskin pohjavedelle. Pohjaveden pilaantumiseen johtava onnettomuus edellyttää useita samanaikaisesti toteutuvia riskitekijöitä kuten suurehkon vuodon sekä puutteelliset tai vaurioituneet suojarakenteet (Ympäristöministeriö 2007).

Ympäristönsuojelulain mukaan toiminnanharjoittaja on velvollinen tarkkailemaan toimintansa vaikutuksia ympäristöön. Toiminnanharjoittajien yleisiin velvollisuuksiin (YSL 5 §) kuuluu olla riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista. Pohjavesitarkkailu on osa tämän velvollisuuden toteuttamista. Pohjaveden pilaamiskielto sisältää sen laadun vaarantamisen kiellon, jonka mukaan jo haitan mahdollisuus on estettävä eikä toiminnalta edellytetä konkreettista pohjaveden pilaamista. Pohjavesitarkkailun tavoitteena on varmistaa, että yleistä pohjavedenpilaamiskieltoa ei rikota ja, että toteutetut pohjavesien suojelutoimet ovat riittävän tehokkaita. Pohjaveden tarkkailu ei kuitenkaan ole päästön ensisijainen havainnointijärjestelmä riskikohteissa, ainoastaan varmistuskeino. Tarkkailun tavoitteena on myös ennaltaehkäiseminen, päästön havaitseminen ennen sen joutumista pohjaveteen.

Jakeluasemien pohjavesitarkkailuohjelmat on laadittu yleensä kohdekohtaisesti olosuhteet huomioiden. Rutiininomaista säännöllistä tarkkailua edellytetään vain vedenhankintaa varten tärkeillä ja vedenhankintaan soveltuvilla (I- ja II-luokan) pohjavesialueilla. Näiden ulkopuolella jakeluaseman rakenteelliset suojaukset katsotaan pääsääntöisesti riittäviksi.

## 2 Tutkimusaineisto

”Bensiinin lisäaineiden, MTBE:n ja TAME:n, pohjavesiseurannan suunnittelu ja kehittäminen” -hankkeeseen sisältyi neljä osa-aluetta: pohjavesialueilla sijaitsevien jakeluasemien sijainnin selvittäminen, MTBE:n taustapitoisuuden selvittäminen pohjavesissä, päästötarkkailun ja pohjavesiseurannan pilot -kokeet kahdella jakeluasemalla sekä ohjeiden laatiminen jakeluasemien toiminnan ja tarkkailun toteuttamisesta ja valvonnasta (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007). SYKE:ssä selvitettiin pääasiassa eri tietojärjestelmien ja paikkatietojen pohjalta huoltoasemien sijoittumista pohjavesialueille. Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy on toiminut hankkeen ympäristöteknišenä asiantuntijana ja toteutti pilot -koevaiheen, selvitti MTBE:n taustapitoisuuksia pohjavesissä sekä osallistui tulosten tulkintaan ja niiden soveltamiseen tarkkailun ohjeistamisessa.

Taustapitoisuustutkimuksessa selvitettiin taustakuormituksen aiheuttamia MTBE- ja TAME-pitoisuuksia pohjavesissä sekä mahdollisuutta, että pitoisuudet kulkeutuvat ilmakehän kautta luonnontilaisille pohjavesialueille. Tarkoituksena oli selvittää pohjavesiin kohdistuvaa muun muassa tieliikenteen aiheuttaman taustakuormituksen suuruutta. Taustapitoisuustutkimuksen näytteet on otettu raakavedestä kuudelta I-luokan pohjavesialueelta, jotka sijaisevat vilkasliikenteisten teiden läheisyydessä ja kahdella SYKE:n pohjavesiasemalta luonnontilaisten pohjavesien MTBE- ja TAME-pitoisuuksien selvittämiseksi. Taustapitoisuustutkimuksen vesianalyysit on tehnyt Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy.

Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy:n toteuttaman pilot-selvityksen tarkoituksena oli selvittää parhaat käyttökelpoiset tarkkailumenetelmät ja niiden soveltuminen erityyppisiin olosuhteisiin. Pilot-selvityksen avulla pyrittiin määrittämään: maaperä- ja pohjavesitarkkailun tarve polttonesteen jakeluasemilla; tarkkailun laatu, soveltuvat tarkkailumenetelmät ja laitteet sekä analyysi- ja näytteenottomenetelmät sekä tarkkailun laajuus ja seurattavat parametrit (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pilot-selvityksessä koottiin olemassa olevan tutkimusaineiston perusteella vaatimuksia riittävälle havaintopisteverkolle tarkkailujärjestelmän runkona. Tutkimusaineistona käytettiin huoltoasematutkimuksia noin 10 vuoden ajalta. Aineiston kohteet edustavat tavanomaisia suomalaisia huoltoasemia sekä maaperän että pohjaveden suhteen. Aineiston kokoamisvaiheessa käytiin läpi 494 jakeluasemalla tehdyt tutkimukset, joista valittiin 54 tarkempaan analyysiin.

Kahdelle erilaiselle pohjavesialueella sijaitsevalle jakeluasemalle suunniteltiin laajennetut päästötarkkailuohjelmat, joiden mukaista seurantaa tehtiin vuoden ajan. Tarkkailuohjelmat sisälsivät sekä pohjaveden että maaperän tarkkailun. Näillä kokeilla sekä kirjallisuusselvityksillä selvitettiin eri tutkimus- ja mittausten menetelmien tehokkuutta ja käyttökelpoisuutta tarkkailussa sekä käytettävän analyysivalikoiman edustavuutta. Lisäksi tarkasteltiin laajaa maaperän pilaantumistutkimusaineistoa vanhoilta jakeluasemilta tavoitteena maaperän pilaantuneisuuden havaitsemistehokkuuden arviointi. Tarkastelun tuloksia käytettiin pohjana pilot-kohteiden tulosten tulkinnassa ja yleistämisessä (Winqvist ja Kajander 2004).

Ympäristöministeriön asettama työryhmä vastasi alueellisille ympäristökeskuskille suunnatun polttonesteiden jakeluasematoimintaa pohjavesialueilla koskevan valvontaohjeen laatimisesta. Ohje on tarkoitettu ensisijaisesti yhdenmukaistamaan polttonesteiden jakeluasemien ympäristölupahakemuksista pohjavesialueilla annettavia alueellisten ympäristökeskusten lausuntoja sekä valitusmenettelyä. Se on annettu ympäristönsuojelulain 95 §:n perusteella. Ympäristöministeriön antamassa jakeluasematoimintaa koskevassa valvontaohjeessa on esitetty jakeluasematoimintaa keskeisimmin koskeva lainsäädäntö, ohjeita kaavoitukseen ja jakeluasemien sijoittamiseen pohjavesialueille ja niiden ulkopuolelle, rakennustyön aikaiseen laadunvarmistukseen liittyviä tekijöitä, tarkkailua koskevia suosituksia sekä esimerkkejä teknisistä lupamääräyksistä. Ympäristönsuojelulain 8 §:n sisältämä pohjaveden pilaamiskielto on ohjeen kannalta keskeisin säännös. Pilaamiskiellon soveltamisessa ei ole merkitystä sillä, onko aine tai energia päässyt pohjaveteen vahingossa, huolimattomuudesta, piittaamattomuudesta tai tahallisesti. Pilaamiskielto sisältää myös vaarantamisen käsitteen. Vaaran aiheuttamisen kieltä merkitsee, että jo haitan mahdollisuus on estettävä eikä toiminnalta edellytetä konkreettista pilaantumisen aiheuttamista. Pohjaveden pilaamiskieltoon liittyy kuitenkin tapauskohtainen toiminnan, hydrogelogosten olosuhteiden ja niihin liittyen pohjaveden pilaantumisen vaaran arviointi (Ympäristöministeriö 2007).

Öljy- ja Kaasualan keskusliitto, ÖKKL, toteutti vuosina 2000–2001 kyselyn kerätäkseen tausta-aineistoa maaperän ja pohjaveden pilaantumisriskeistä ja riskien vähentämismahdollisuuksista. Kysely kattoi 1525 polttoaineen jakelupistettä, joista 13 prosenttia (208 kpl) sijaitsi tärkeiksi luokitelluilla pohjavesialueilla. Kyselyssä tärkeällä pohjavesialueella tarkoitettiin, vakiintuneesta käytännöstä poiketen, luokkiin I ja II kuuluvia pohjavesialueita.

Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2002 tekemässä kyselyssä alueellisille ympäristökeskuksille selvitettiin MTBE:n aiheuttamia pilaantumistapauksia Suomessa. Kyselyyn vastasivat Etelä-Savon, Hämeen, Kaakkois-Suomen, Keski-Suomen, Lounais-Suomen ja Uudenmaan ympäristökeskukset. Vastauksina ilmoitettiin yhteensä 113 tapausta, joista 63 tapauksessa todettiin, että MTBE-pitoisuuksia on havaittu ja 47 tapauksessa MTBE-pitoisuus oli analysoitu.

SYKE:ssä selvitettiin myös pohjavesitietojärjestelmään (POVET) tallennettujen pohjaveden laatutietojen perusteella MTBE:n ja TAME:n esiintymistä pohjavedessä. Ympäristöhallinnon pohjavesitietojärjestelmä kattaa ympäristöhallinnon luokitteluiltal pohjavesialueilta (noin 7000 kpl) ja ympäristöhallinnon pohjavesiasemilta (53 kpl) saatavat tiedot muun muassa pohjaveden laadusta ja määrästä. POVET-rekisteriin on koottu myös pohjavedessä havaittuja MTBE- ja TAME-pitoisuuksia. Pohjaveden MTBE- ja TAME-pitoisuuksiin liittyvää aineistoa oli saatavilla Pohjois-Karjalan, Hämeen ja Uudenmaan ympäristökeskusten alueilta. Valtaosa havainnoista on tehty maaperän pilaantumistapauksien tutkimiseen ja selvittämiseen, kunnostukseen ja kunnostuksen jälkeiseen pohjaveden seurantaan liittyen.

Työn yhteydessä on tarkasteltu jakeluasemien päästötarkkailua huomattavasti tarkemmin kuin pelkästään MTBE:n osalta. Jakeluasemien ympäristötarkkailun linjausten suunnittelussa on käytetty apuna myös muiden osahankkeiden tuloksia (Winqvist ja Kajander 2004).

## 3 MTBE:n ominaisuudet

MTBE on bensiinissä käytettävä happipitoinen lisäaine, oksygenaatti, joka nostaa bensiinin oktaanilukua, tehostaa palamista ja vähentää päästöjä (Begley ja Rotman 1993, NSTC 1997, US EPA 1998a, c, 1999a, Jacobs et al. 2001, Malm 2001, EFOA 2005). MTBE on halpaa, sitä on helppo valmistaa ja kuljettaa ja se sekoittuu hyvin bensiiniin. Nämä ominaisuudet tekevät siitä yleisimmin käytetyn oksygenaatin (Scholz et al. 1990, Ainsworth 1992, Shelly and Fouhy 1994, Squillace et al. 1996, NSTC 1997, WHO 1998, SYKE 2002).

MTBE on huoneenlämpötilassa väritön neste. Sen haju muistuttaa tärpähtiä (Sosiaalija terveysministeriö 1995, WHO 1998). Se on kemiallisesti stabiili, ei polymeroidu eikä hajoa normaaleissa lämpötiloissa (SYKE 2002). (Liite 1.)

### 3.1

## Fysikaalis-kemialliset ominaisuudet

### 3.1.1

#### Höyrynpaine

Höyrynpaineella kuvataan aineen kykyä siirtyä nestefaasista kaasufaasiin. Jos aineella on korkea höyrynpaine, se siirtyy helposti nesteestä kaasufaasiin. Matalan höyrynpaineen aineet taas pysyvät nestefaasissa. Höyrynpaine kasvaa lämpötilan noustessa. MTBE:n höyrynpaine on 250 mmHg 25 °C lämpötilassa. BTEX-yhdisteiden (bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleenit), jotka ovat yleisiä bensiinin ainesosia, höyrynpaineet ovat 8–95 mmHg (25 °C). Näitä keskenään verrattaessa voidaan todeta, että MTBE pyrkii höyrystymään nestefaasista suhteellisen helposti. Ympäristössä kaasufaasissa olevien polttoainekemikaalien pitoisuudet ovat kuitenkin yleensä teoreettisia arvoja matalampia (Nichols et al. 2000, Reinikainen 2001). (Liite 1.)

### 3.1.2

#### Vesiliukoisuus

Vesiliukoisuus ilmoitetaan puhtaan aineen liukenemiskykyä. Mikäli kyseinen aine on osa jotain seosta, sen liukenemiskykyyn vaikuttavat muut seoksen ainesosat (Reinikainen 2001). MTBE:n vesiliukoisuus on kohtalaisen suuri, noin 42 g/l (20 °C) (Liite 1). Sen vesiliukoisuus pienenee lämpötilan kasvaessa, joten MTBE liukenee paremmin kylmempään veteen (Stephenson 1992, SYKE 2002, EFOA 2005). Taulukossa 1 on esitetty MTBE:n liukoisuutta veteen eri lämpötiloissa.

Taulukossa esitetyt arvot ovat puhtaan MTBE:n vesiliukoisuuksia. Bensiinissä MTBE:n vesiliukoisuus pienenee, sillä läsnä on muita orgaanisia yhdisteitä. Poltto-

aineyhdisteissä, jotka sisältävät MTBE:ä 11–15 prosenttia tilavuudesta, voi MTBE:n vesiliukoisuus saavuttaa teoriassa arvoja 5–7.5 g/l (Nichols et al. 2000, Reinikainen 2001). Käytännössä MTBE:n vesiliukoisuus jää kuitenkin pienemmäksi.

Taulukko I. MTBE:n vesiliukoisuus eri lämpötiloissa (% wt = painoprosenttia) (SYKE 2002).

| Lämpötila °C | % wt <sup>1a)</sup> | % wt <sup>2b)</sup> | g/l <sup>3c)</sup> | g/l <sup>4d)</sup> |
|--------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 30           |                     | 2.2                 | 31                 |                    |
| 25           | 5.16                |                     |                    | 26                 |
| 20           | 5.83                | 3.3                 | 42                 |                    |
| 15           | 6.55                |                     |                    |                    |
| 10           | 7.30                | 5.0                 | 51                 |                    |
| 0            | 9.12                | 7.3                 | 83                 |                    |

<sup>a)</sup> (Bennet et al. 1928.)

<sup>b)</sup> (Scholz et al. 1990.)

<sup>c)</sup> (Stephenson 1992.)

<sup>d)</sup> (International Uniform Chemical Information Database 1996.)

### 3.2

## Haju- ja makukynnys

MTBE:n maistaa jo hyvin pienillä pitoisuuksilla. EU:n riskinarvioinnissa MTBE:n makukynnukseksi vedessä on määritetty 40 µg/l raja (testitulosten vaihdella välillä 2,5–690 µg/l) ja hajukynnukseksi 15 µg/l raja (testitulosten vaihdella välillä 2,5–190 µg/l) (Keller et al. 1998). Testitulosten vaihteluun vaikuttaa muun muassa ihmisten erilainen herkkyys MTBE:n havaitsemiseen, veden kovuus sekä lämpötila (SYKE 2002).

## 4 MTBE:n tuotanto ja käyttö

Aluksi MTBE:n tarkoituksena oli korvata lyijy bensiinin oktaaniluvun kohottajana, mutta nykyisin MTBE:ä käytetään myös oksygenaattina lähinnä tehostamaan bensiinin palamista, mikä vähentää bensiinikäyttöisten autojen pakokaasupäästöjä (US EPA 1998a, 1999b). MTBE onkin yleisimmin käytetty oksygenaatti (Begley ja Rotman 1993, NSTC 1997, Malm 2001, SYKE 2002).

MTBE:ä käytetään niin kutsuttujen ”hapetetun bensiinin” (Oxyfuel) ja reformuloidun bensiinin, RFG:n, valmistuksessa (Reformulated gasoline) (Johnson et al. 2000). Oxyfuelin käytöstä vapautuu vähemmän hiilidioksidia ja RFG:n käytöllä vähennetään otsonipäästöjä. MTBE-pitoisuus on hapetetussa bensiinissä 10–15 prosenttia ja RFG:ssä 11–15 prosenttia. MTBE:n vaihtoehtoina on myös muita lisäaineita, mutta esimerkiksi RFG bensiineistä 85 prosentissa käytetään MTBE:ä (US EPA 1999b).

MTBE:ä valmistetaan pääosin öljynjalostamoilla. Osa tuotannosta tapahtuu teollisuuskemikaaleja valmistavissa laitoksissa. Merkittävin tuotantomenetelmä on MTBE:n valmistaminen isobutyleenin ja metanolin välisellä reaktiolla (WHO 1998, Jacobs et al. 2001, SYKE 2002, EFOA 2005).

### 4.1

#### **MTBE:n tuotanto USA:ssa ja EU:n alueella**

MTBE:n kaupallinen tuotanto alkoi EU:n alueella vuonna 1973 ja USA:ssa vuonna 1979 (California Environmental Protection Agency 1997, US EPA 1998a, Nichols et al. 2000, DeWitt & Company Inc. 2000, SYKE 2002). Vuonna 1997 USA:ssa tuotettiin MTBE:ä noin 11 000 000 tonnia (Johnson et al. 2000) ja EU:n alueella yhteensä noin 2 600 000 tonnia vuonna 2003 (EFOA 2005).

Vuonna 1997 EU:n alueella oli 32 MTBE:ä valmistavaa laitosta, joiden tuotantokapasiteetti oli yhteensä 3 545 000 tonnia (Dewitt & Company Inc. 1998, SYKE 2002). EU:iin tuotiin noin 609 000 tonnia ja vietiin noin 539 000 tonnia MTBE:ä vuonna 2003 (EFOA 2005).

EU-maista eniten MTBE:tä vuonna 1999 tuotti Alankomaat, noin 992 000 tonnia eli lähes kolmanneksen koko EU:n alueen tuotannosta. Alankomaat oli vuonna 1999 EU-maista myös suurin MTBE:n viejä. Alankomaiden osuus MTBE:n viennistä oli yli puolet eli noin 706 000 tonnia (kuva 1). (Liite 2.)

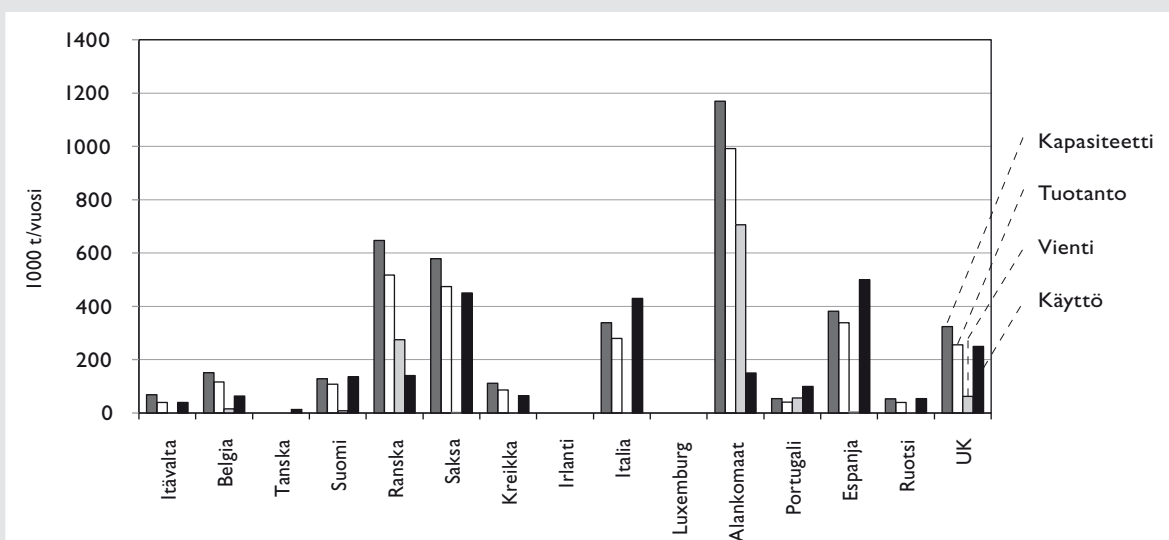


## MTBE:n käyttö USA:ssa ja EU:n alueella

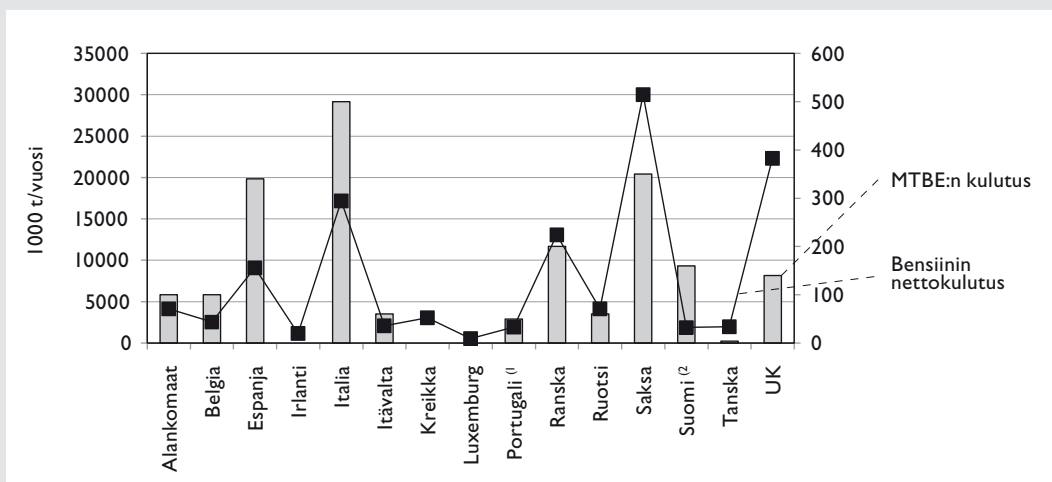
Maailman kokonaiskulutus oli vuonna 2003 noin 19 000 000 tonnia (EFOA 2005). USA ja EU ovat sen lisäksi, että ovat suurimpia MTBE:n tuottajia, myös lisäksi MTBE:n suurimmat kuluttajat maailmassa. Vuonna 1998 USA:ssa MTBE:ä käytettiin yli 14 500 000 tonnia (Johnson et al. 2000). EU:n alueella MTBE:ä käytettiin yhteensä noin 2 310 000 tonnia vuonna 1997 (DeWitt & Company Inc. 1998, SYKE 2002). EU-maista MTBE:ä eniten käyttivät Espanja, Saksa ja Ranska (kuva 1). (Liite 2.)

Kuvassa 2 verrataan MTBE:n kulutusta bensiinin nettokulutukseen EU:n alueella. Edelleen Espanja ja Italia mutta lisäksi myös Suomi ovat suuria MTBE:n käyttäjiä bensiinin nettokulutukseen verrattaessa. Saksassa taas puolestaan nettokulutukseen verrattaessa MTBE:n käyttö ei yllä edellisten kolmen maan tasolle. (Liite 2.)

Lähes kaikki eli noin 99 prosenttia MTBE:n kokonaistuotannosta EU:n alueella käytetään bensiinin lisäaineena. MTBE:ä käytetään lisäksi myös isobutyleenin valmistuksessa, lääketieteellisyydessä ja terveydenhoidossa (Sosiaali- ja terveysministeriö 1995, WHO 1998, SYKE 2002).



Kuva 1. MTBE-tase EU:n alueella vuonna 1999 (DeWitt & Company Inc. 2000, SYKE 2001).



Kuva 2. Bensiinin ja MTBE:n kokonaiskulutus EU:n alueella vuonna 1997 (DeWitt & Company Inc. 1998, IEA 1998, Fortum 1999, SYKE 2002).

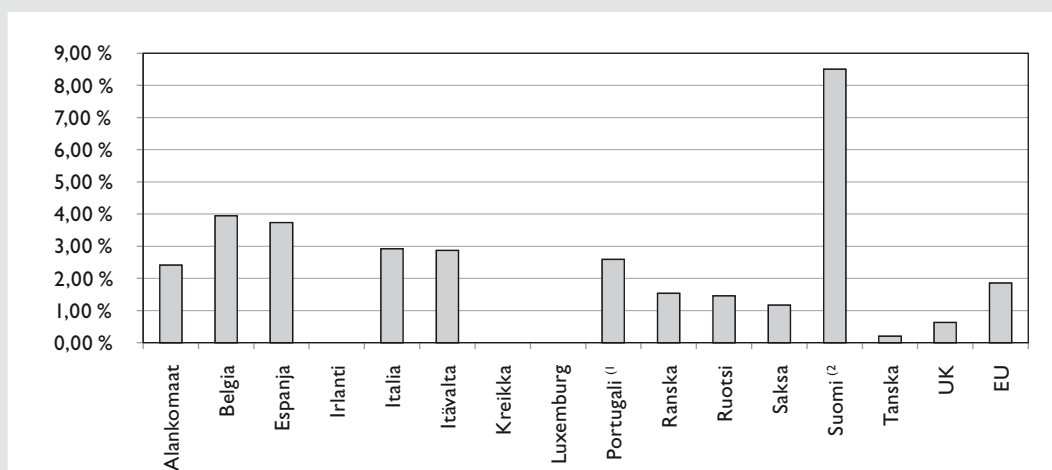
<sup>1)</sup> MTBE:n arvioitu minimi kulutus

<sup>2)</sup> Perustuu Fortumin käyttöön ja arvioon muiden öljy-yhtiöiden maahantuonnista.



Oksygenaattien käyttö ei ole EU:n alueella pakollista ja pitoisuudet bensiinissä vaihtelevat runsaasti EU:n alueella (SYKE 2001, 2002). EU:n direktiivin 98/70/ETY mukaan bensiinin sisältämän MTBE:n enimmäismäärä saa olla 15 prosenttia tilavuudesta. EU:n alueella MTBE:n keskipitoisuus bensiinissä on noin 2,5 tilavuusprosenttia. Pitoisuus vaihtelee kuitenkin paljon eri maiden ja jalostamojen välillä (SYKE 2002) (kuva 3). (Liite 2.)

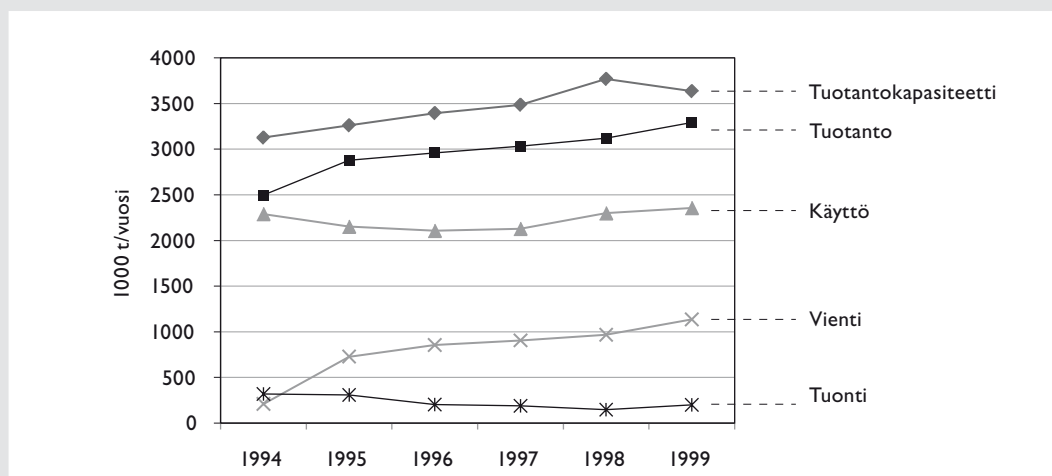
MTBE:n kulutus kasvoi Euroopassa vuosien 1995–1999 välillä 23 prosenttia. Myös tuotannossa ja viennissä näyttäisi olevan kasvava kehitys (kuva 4). (Liite 2.) MTBE:n käytön kasvun odotetaan tulevaisuudessa kuitenkin jopa laskevan. Vuonna 2007 Eurooppa Neuvosto sopi, että vuoteen 2020 mennessä kaikesta EU:ssa käytettävästä energiasta 20 prosenttia on oltava peräisin uusiutuvista lähteistä. Uusiutuvaa energiaa koskevaan päätöksentekoon sisältyy myös liikennettä koskeva 10 prosentin biopolttoainevelvoite, joka on muuttanut polttoaineiden tuotantomalleja olennaisesti. Biopolttoainevelvoitteen kasvaminen jatkossa edelleen ei tule kuitenkaan ainakaan lisäämään ei-biopohjaisen MTBE:n käyttöä tulevaisuudessa vaan MTBE:n käytön odotetaan jopa laskevan.



Kuva 3. MTBE:n keskipitoisuus bensiinissä EU:n alueella vuonna 1997 (DeWitt & Company Inc. 1998, IEA 1998, Fortum 1999, SYKE 2002).

<sup>1)</sup> MTBE:n arvioitu minimi kulutus

<sup>2)</sup> Perustuu Fortumin käyttöön ja arvioon muiden öljy-yhtiöiden maahantuonnista.



Kuva 4. MTBE:n tuotannon, viennin, tuonin ja käytön kehitys vuosina 1994–1999 EU:n alueella (Dewitt & Company Inc. 1998, 2000, SYKE 2001).

## MTBE:n käyttö Suomessa

MTBE:ä on käytetty Suomessa vuodesta 1991 lähtien. Suomessa MTBE:ä tuotettiin noin 108 000 tonnia ja käytettiin noin 136 000 tonnia vuonna 1999 (kuva 1). Bioelvoitteesta johtuen MTBE:ä korvataan Suomessa nykyisin yleisesti etanolipohjaisella ETBE:llä, mikä on laskenut MTBE:n keskipitoisuuksia bensiinissä myös Suomessa. Verrattuna muuhun Eurooppaan, Suomessa MTBE:n suhteellinen osuus bensiinissä on kuitenkin ollut ja on edelleen ajoittain korkea johtuen meillä käytössä olevasta bensiinin happipitoisuutta edistävästä veroporrastuksesta, mikä on johtanut amerikkalaistyypin reformuloidun bensiinin käyttöön. Suomessa oli vuonna 1997 EU:n alueella korkein MTBE:n keskipitoisuus bensiinissä (SYKE 2002). MTBE:n keskipitoisuus bensiinissä oli noin 8,5 tilavuusprosenttia, mikä on huomattavan paljon enemmän verrattuna muuhun Eurooppaan (kuva 3) (Liite 2.). Meillä yli 10 prosentin MTBE-pitoisuudet bensiinissä ovat yleisiä ja pitoisuudet ovatkin lähemmin verrattavissa Yhdysvalloissa käytettyyn bensiiniin (SYKE 2000, Malm 2001, Woodward 2001). Kokonaisuudessaan ja myös henkeä kohden kulutetun MTBE:n määrä on Suomessa kuitenkin huomattavasti vähäisempi kuin USA:ssa, koska Suomessa on huomattavasti vähemmän (0,433) autoja henkilöä kohden kuin USA:ssa (0,765) (Schmidt et al. 2001).

## 5 MTBE pohjavedessä

### 5.1

#### MTBE:n päästöt pohjaveteen

Huomattavimmat päästöt ympäristöön tapahtuvat bensiinin jakelun, varastoinnin ja käytön yhteydessä (NSTC 1997, US EPA 1999b, Williams ja Sheehan 2001, SYKE 2002). Pohjaveteen liittyvät päästöt voidaan jakaa pistemäisiin ja ei-pistemäisiin (Squillace et al. 1997).

#### 5.1.1

##### Pistemäiset lähteet

MTBE:n potentiaalisia pistemäisiä päästölähteitä ovat (Dottridge et al. 2000):

- vuodot maanalaisista polttoainesäiliöistä ja niitä yhdistävistä putkistoista
- vuodot polttoainesäiliöiden täytön yhteydessä
- vuodot bensiinijohdoista
- ylitäytöt tankkauksen yhteydessä
- kuljetusonnettomuudet
- vuodot maanpäällisistä polttoainesäiliöistä sekä bensa-asemilla että polttoainetarastoilla
- romuttamot.

Suurimman riskin aiheuttavat pohjavesialueilla sijaitsevat huoltoasemat. Johtuen MTBE:n suuresta vesiliukoisuudesta ja bensiinin korkeasta MTBE-pitoisuudesta sen pitoisuudet pohjavedessä voivat nousta huomattavan korkeiksi. Yhdysvalloissa vuotojen yhteydessä on mitattu jopa 200 mg/l MTBE-pitoisuuksia (NSTC 1997).

Jakeluasematoiminnassa pohjaveden pilaantumista voivat aiheuttaa säiliöiden ylitäyttö, vuodot siirtoputkistoissa, mittarivuodot, roiskeet autoja tankatessa, polttoainehöyryjen imeytyminen lumeen ja kulkeutuminen sulamisvesien mukana sekä huonosti toimivat öljynerotuskalvot. Meillä varastointi- ja jakelujärjestelmästä johtuen säiliövuotoja ei ole tapahtunut kuin yksittäistapauksissa.

#### 5.1.2

##### Ei-pistemäiset lähteet

MTBE:n ei-pistemäisiä lähteitä ilmakehään ovat teollisuuden päästöt, autojen pakokaasut ja tankkaus huoltoasemilla (Squillace et al. 1996). Ilmakehään joutunut MTBE hajoaa nopeasti. Sen puoliintumisaika ilmakehässä on noin 3 vuorokautta (Wallington et al. 1988). Ilmakehästä MTBE voi kulkeutua maahan ilmaperäisenä laskeumana tai yleisemmin sadeveden mukana.

Vaikka MTBE:n puoliintumisaika on lyhyt, se saattaa osittain siirtyä ilmakehässä oleviin vesipisaroihin ja lopulta sadeveden mukana maanpinnalle. Maanpinnalla osa yhdisteestä kulkeutuu pintavaluntana purojen ja jokien kautta järviin ja meriin. Osa imeytyy maaperään ja voi päätyä pohjaveteen. Sadeveden mukana kulkeutuva MTBE ei yleensä aiheuta 3 µg/l suurempia pitoisuuksia pohjavedessä (Squillace et al. 1997). Paikallisesti tuo arvo voi kuitenkin ylittyä, jos ilmakehän MTBE-pitoisuus on korkea. Muun muassa vilkkaasti liikennöityjen valtateiden, huoltoasemien ja parkkihallien läheisyydessä pitoisuudet voivat nousta korkeammiksi. Yleensä kuitenkin korkeat (>20 µg/l) pohjaveden MTBE-pitoisuudet ovat pistemäisten lähteiden aiheuttamia (Moran et al. 2000).

## 5.2

### **MTBE:n käyttäytyminen ja kulkeutuminen pohjavedessä**

MTBE on erittäin vesiliukoinen yhdiste ja tästä johtuen maaperään päästyään se kulkeutuu helposti pohjaveteen ja saattaa levitä virtauksen mukana (US EPA 1998a, 1999b, SYKE 2002). Sen kulkeutumisenopeuteen vaikuttavat muun muassa sademäärä, haihtuminen, maakerrosten hydraulinen johtavuus ja paksuus (Squillace et al. 1996, Reinikainen 2001).

MTBE:n kulkeutumiseen pohjavedessä vaikuttaa muun muassa pohjaveden virtausnopeus, MTBE:n pitoisuus sekä määrä (Fayolle et al. 2001). Toisin kuin muilla hiilivedyillä adsorptio maaperän hiukkasiin ja biohajoaminen eivät vaikuta merkittävästi MTBE:n kulkeutumiseen ja käyttäytymiseen pohjavedessä (US EPA 1999b).

Yhdisteen liikkuvuutta pohjaveden mukana kuvataan usein hidastuvuustekijällä (R). Sen todelliset arvot riippuvat akviferin ominaisuuksista. MTBE:n R-arvot ovat tutkimuksissa osoittautuneet olevan hyvin lähellä yhtä, joten päästessään pohjaveteen, se liikkuu lähes samalla nopeudella kuin pohjavesi (NSTC 1997, Reinikainen 2001).

Bensiinin aiheuttamissa pohjaveden pilaantumistapauksissa MTBE kulkeutuu pilaantumisyöhykkeen reunalla. Se indikoikin ensimmäisenä pohjaveden pilaantumista hiilivedyillä. Suuri vesiliukoisuus ja heikko pidäytyminen maaperään saattavat aiheuttaa MTBE:n kulkeutumisen kauemmas ja nopeammin verrattuna muihin bensiinin yhdisteisiin, kuten bentseeniin ja tolueeniin.

Sen lisäksi, että MTBE kulkeutuu nopeasti horisontaalisessa suunnassa, se tunkeutuu myös akviferin syvempiin kerroksiin. Kun uutta pohjavettä muodostuu, pohjaveden pintakerroksissa ollut vesi ja siinä liuenneena olleet yhdisteet tunkeutuvat syvemmälle. MTBE:n syvyyssulottuvuus saastekohtaan lähellä on noin puolet sen horisontaalisesta ulottuvuudesta. Jos mittauksia tehdään läheltä pohjaveden pintaa, voi näennäisesti puhdas pohjavesi olla saastunut, sillä MTBE on tunkeutunut syvemmälle pohjaveteen (Landmeyer et al. 1998).

## 5.3

### **MTBE:n hajoaminen pohjavedessä**

Orgaanisen kemikaalin joutuessa pohjaveteen siihen kohdistuu fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia prosesseja, joissa se voi muuntua toiseksi yhdisteeksi tai hajota täydellisesti. Hajoamisprosessit voidaan jakaa biologisiin (elollisiin) ja abiottisiin (ei-elollisiin) (Henson 1991, Reinikainen 2001).

## MTBE:n biohajoaminen

Biohajoaminen voi tapahtua aerobisissa (hapellisissa) tai anaerobisissa (hapettomissa) olosuhteissa. Maaperässä on paljon erilaisia mikrobeja, jotka kykenevät hajottamaan hiilivetyjä. Se, kuinka tehokkaasti hajottaminen tapahtuu, riippuu yhdisteen ominaisuuksista, ympäristöolosuhteista sekä mikrobien määrästä ja aktiivisuudesta (Norris et al. 1994, Reinikainen 2001, US EPA 2004).

Standardisoiduilla testimenetelmillä tutkittaessa MTBE ei ole osoittautunut helposti hajoavaksi yhdisteeksi vesiympäristössä (Novak et al. 1985, Pence 1987a, Jensen ja Arvin 1990, Yeh ja Novak 1991, 1994, 1995, Suflita ja Mormile 1993, Hubbard et al. 1994, Mormile et al. 1994, Salanitro et al. 1994, Horan ja Brown 1995, Mo et al. 1997, Squillace et al. 1996, 1997, Borden et al. 1997, Park ja Cowan 1997, Steffan et al. 1997, Landmeyer et al. 1998, Odencrantz 1998, Schirmer ja Barker 1998, Schirmer et al. 1998, 1999, Chapelle 1999, Bradley et al. 1999, Hanson et al. 1999, Einarson ja MacKay 2001, SYKE 2002, Enssani 2003). Sen sijaan muissa tutkimuksissa MTBE:n biohajoamisesta on selviä merkkejä. Suurin osa tutkimuksista on tehty aerobisissa olosuhteissa.

Biohajoamistutkimuksien perusteella MTBE:n puoliintumisaika useimmissa pohjavesisysteemeissä on noin 2 vuotta, kun se muun muassa BTEX -yhdisteillä on noin 2–3 kuukautta (Fayolle et al. 2001). Monet mikrobit kuitenkin kykenevät MTBE:n hajottamiseen erilaisissa olosuhteissa vaikka hajoaminen on hidasta. MTBE:n hajoisempotentiaali saattaa riippua kunkin kohteen mikrobiyhteisön koostumuksesta (Tuomi ja Vaajasaari 2004).

Etenkin aerobisissa tutkimuksissa on havaittu MTBE:n biohajoamista (Thomas et al. 1988, Jensen ja Arvin 1990, Yeh ja Novak 1991, 1994, 1995, Salanitro et al. 1994, 2000, Daniel 1995, Church et al. 1997, Mo et al. 1997, Park ja Cowan 1997, Steffan et al. 1997, Landmeyer et al. 1998, Mace ja Choi 1998, Hanson et al. 1999, Schirmer ja Barker 1998, Bradley et al. 1999, Cano et al. 1999, Reid et al. 1999, Schirmer et al. 1999, 2003, Kane et al. 2000, Kuhn 2000, MacKay et al. 2001, Wilson et al. 2000a, 2002, Hunkeler et al. 2001, Kane et al. 2001, Gray et al. 2002, Wilson ja MacKay 2002, Stocking et al. 2004, Vaull et al. 2004). Tutkimuksessa, jossa käytettiin MTBE:ä (1000 mg/l) mikrobien ainoana energianlähteenä, saavutettiin MTBE:n hajoamisosuudeksi yli 99 prosenttia (SYKE 2002).

MTBE:n anaerobinen hajoaminen on myös mahdollista mutta anaerobinen hajoaminen on todettu hyvin heikoksi eikä mineralisoitumista ole pystytty osoittamaan, ja näin ollen sen tutkiminen on jäänyt paljon vähäisemmäksi kuin aerobisen hajoamisen (Pence 1987b, Thomas et al. 1988, Jensen ja Arvin 1990, Yeh ja Novak 1991, 1994, 1995, Novak et al. 1992, Suflita ja Mormile 1993, Mormile et al. 1994, Salanitro et al. 1994, Cho et al. 1997, Church et al. 1997, 1999, Hardison et al. 1997, Landmeyer et al. 1998, Hurt et al. 1999, Wilson et al. 1999, 2000a, 2005, Kolhatkar et al. 2000, Puig-Grajales et al. 2000, Wilson ja Cho 2000, Finneran et al. 2001, Finneran ja Lovley 2001, 2003, Thomson 2001, Vaull et al. 2004).

Havaittu hajoamisväliaine tutkimuksissa on ollut tertiääri-butyylialkoholi (TBA), jonka biohajoavuus anaerobisissa oloissa on todettu hieman MTBE:n biohajoavuutta paremmaksi (Novak et al. 1985, Yeh ja Novak 1994, Bradley et al. 1999, Fayolle et al. 1999, Hanson et al. 1999, Day ja Gulliver 2001, Hunkeler et al. 2001, Finneran ja Lovley 2001, 2003, Kane et al. 2001, Wilson et al. 2002, 2005, Vance et al. 2003, Wilson 2003a, b, Schmidt et al. 2004, Vaull et al. 2004).

### Abioottinen hajoaminen

Tärkeimpiä abioottisia eli ei-biologisia hajoamismuotoja ovat hydrolyysi ja fotolyytinen hajoaminen. Hydrolyysissä aine hajoaa veden vaikutuksesta ja fotolyysissä valon vaikutuksesta (SYKE 2002b). MTBE ei hajoa hydrolyytisesti ympäristön normaaleissa pH-olosuhteissa (NSTC 1997, WHO 1998, SYKE 2002).

MTBE:llä suoraa fotolyyttistä hajoamista ei tapahdu vedessä eikä ilmakehässä (Schumann ja Sonntag 1973, Wallington et al. 1988, US EPA 1994, NSTC 1997, SYKE 2002). Fotolyysissä MTBE hajoaa ilmakehässä epäsuoran valon vaikutuksesta. MTBE:n puoliintumisaika ilmakehässä on 3–6 päivää riippuen olosuhteista (SYKE 2002).

MTBE:n abioottisen hajoamisen merkitys on erittäin pieni (Prager 1992, NSTC 1997, Johnson et al. 2000). Kanadassa tehdyn tutkimuksen perusteella hiekka-akviferissa kahdeksan vuoden jälkeen MTBE-pitoisuus oli laskenut kolmeen prosenttiin alkuperäisestä (Schirmer ja Barker 1998).

### MTBE:n aiheuttamat riskit pohjaveden laadulle

Alhaisen haju- (15 µg/l) ja makukynnyksen (40 µg/l) takia MTBE rajoittaa jo hyvin alhaisissa pitoisuuksissa pohjaveden käyttöä talousvetenä. Suomessa vuonna 2001 valmistuneen MTBE:ä koskevan EU:n riskinarvioinnin mukaan altistuminen terveydelle haitallisille pitoisuuksille on kuitenkin hyvin epätodennäköistä johtuen MTBE:n alhaisesta haju- ja makukynnyksestä (SYKE 2002).

Suuren vesiliukoisuuden ja heikon pidättyvyyden vuoksi päästyään pohjaveteen pienet määrät MTBE:ä riittävät pilaamaan suuren määrän pohjavettä ja aiheuttavat laaja-alaisia pilaantumisyöhykkeitä ja huomattavan korkeita pitoisuuksia päästölähteen läheisyydessä (SYKE 2002). Lisäksi MTBE:n pitoisuus alenee erittäin hitaasti luonnollisten prosessien seurauksena, joten se voi säilyä pohjavesissä useita vuosia (Novak et al. 1985, Jensen ja Arvin 1990, Yeh ja Novak 1991, 1994, 1995, Suflita ja Mormile 1993, Hubbard et al. 1994, Mormile et al. 1994, Salanitro et al. 1994, Horan ja Brown 1995, Squillace et al. 1996, 1997, Borden et al. 1997, Mo et al. 1997, NSTC 1997, Steffan et al. 1997, Landmeyer et al. 1998, Odenrantz 1998, Schirmer ja Barker 1998, Schirmer et al. 1998, 1999, Bradley et al. 1999, Chapelle 1999, Johnson et al. 2000, Puig-Grajales et al. 2000, Einarson ja MacKay 2001).

Suurin pilaantumisriski aiheutuu pistemäisten lähteiden päästöistä. MTBE:n huomattavimmat päästöt ympäristöön tapahtuvat bensiinin jakelun, varastoinnin ja käytön yhteydessä. Suurimman riskin pistemäisten päästölähteiden osalta aiheuttavat pohjavesialueilla sijaitsevat huoltoasemat (SYKE 2002). Jakeluasematoiminnassa pohjaveden pilaantumista voivat aiheuttaa säiliöiden ylitäyttö, säiliövuodot, vuodot siirtoputkistoissa, mittarivuodot, roiskeet autoja tankatessa, polttoainehöyryjen imeytyminen lumeen ja kulkeutuminen sulamisvesien mukana sekä huonosti toimivat öljynerotuskalvot. Rakennustyön aikaisella valvonnalla onkin ratkaisevan tärkeä merkitys. Meillä varastointi- ja jakelujärjestelmästä johtuen säiliövuotoja ei ole tapahtunut kuin yksittäistapauksissa. Inhimilliset erehdykset, ylitäytöt, pienet päästöt ja vuodot huoltamotoiminnassa muodostavat merkittävimmän riskin pohjavedelle. Pohjaveden pilaantumiseen johtava onnettomuus edellyttää kuitenkin useita samanaikaisesti toteutuvia riskitekijöitä kuten suurehkon vuodon sekä puutteelliset tai vaurioituneet suojarakenteet (Ympäristöministeriö 2007).

## MTBE:n poistaminen pohjavedestä

Dispersio, adsorptio, laimeneminen ja haihtuminen vähentävät kemikaalien pitoisuuksia mutta eivät poista niitä ympäristöstä. Tutkimuksien mukaan adsorption, haihtumisen, abioottisen hajoamisen ja kasvien vaikutus ei ole merkittävä MTBE:n luonnollisen pitoisuuden alenemisessa. Kemiallisten hajotusreaktioiden merkitys MTBE:llä pilaantuneen pohjaveden luontaisessa puhdistumisessa on puolestaan hyvin vähäinen (Reinikainen 2001).

MTBE:n heikosta hajoavuudesta ja adsorptiosta johtuen sen pitoisuudet pohjavesissä eivät laske nopeasti ilman puhdistustoimenpiteitä. Tästä johtuen MTBE joudutaan poistamaan pohjavedestä erilaisilla kunnostusmenetelmillä. MTBE:n poistaminen pohjavedestä asettaa erityisiä haasteita, johtuen sen fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista. Haitta-aineet voidaan poistaa pohjavedestä joko suoraan saastuneessa kohteessa, *in situ*, tai kuljettamalla saastunut aines muualle käsittelyä varten, *ex situ*. Pohjavesi voidaan esimerkiksi pumpata maanpinnalle tai maakerros kaivaa ylös ja siirtää käsiteltäväksi muualle. On site -menetelmässä pilaantunut pohjavesi pumpataan ylös akviferistä ja käsitellään esimerkiksi bioreaktorissa (Madsen 1998, Reinikainen 2001).

Pilaantuneen pohjaveden biologinen puhdistus perustuu mikrobien kykyyn hajottaa vedessä olevia haitta-aineita. Haitta-aineiden hajoaminen on sitä nopeampaa, mitä korkeampi haitta-ainepitoisuus on. Tästä seuraa, että useimmiten haitta-ainepitoisuuden pienentyessä myös hajoaminen hidastuu (Tuomi ja Vaajasaari 2004). Biologisten menetelmien etuna moniin muihin puhdistustekniikoihin verrattuna on haitta-aineiden häviäminen kokonaan ympäristöstä tai muuttuminen haitattomampaan muotoon, mahdollisuus *in situ* -puhdistamiseen sekä käsittelyn taloudellinen tehokkuus. Perinteisten puhdistustekniikoiden, kuten ilmastuksen tai aktiivihiihen käyttö adsorboivana aineena (GAC), kustannukset tulevat MTBE:n kohdalla noin 40–80 prosenttia korkeammiksi kuin muilla hiilivedyillä (Keller et al. 2000a). MTBE:n hajoaminen on monissa tutkimuksissa johtanut mineralisoitumiseen saakka ja usein havaittu hajoamisväliaine TBA on myös todettu biologisesti hajoavaksi hieman MTBE:ä nopeammin (Novak et al. 1985, Yeh ja Novak 1994, Bradley et al. 1999, Fayolle et al. 1999, Hanson et al. 1999, Day ja Gulliver 2001, Hunkeler et al. 2001, Finneran ja Lovley 2001, 2003, Kane et al. 2001, Wilson et al. 2002, 2005, Vance et al. 2003, Wilson 2003, Schmidt et al. 2004, Vaull et al. 2004).

Biohajoamisen seurantaan tarvitaan jatkuvaa näytteenottoa ja kattavaa seuranta-verkkoa, joka koostuu yleisimmin alueelle asennetuista näytteenottokaivoista sekä alueen ulkopuolelle asennetuista tarkkailukaivoista. Alueelta otetuista maa- ja pohjavesinäytteistä seurattavia parametreja ovat muun muassa kemikaalien pitoisuus, liuenneen hapen pitoisuus sekä hiilidioksidi-, nitraatti- ja kokonaishiilivetyypitoisuudet (Norris et al. 1994, Reinikainen 2001).

Haitta-aineiden luontainen *in situ* -biohajoaminen tarkoittaa sitä, että pohjavedessä luontaisesti esiintyvät mikrobit hajottavat yhdisteitä vallitsevissa olosuhteissa. MTBE:n biohajoaminen on kuitenkin käytännössä toimivampaa vain aerobisissa olosuhteissa, mikä rajoittaa *in situ* -puhdistusta. MTBE:n hidasta luonnonolosuhteissa tapahtuvaa biologista hajoamista voidaan tehostaa muuttamalla kohteen ympäristöolosuhteita siten, että mikrobien toimintaedellytykset paranevat (Norris et al. 1994, Boyle et al. 1999, Buzea ja Stefanis 1999, Salanitro et al. 1999b, 2000, Thomson 2000, Hatzinger et al. 2001, Reinikainen 2001, Spinnler et al. 2001).

Koska hapen määrä maaperässä ja pohjavedessä on usein hyvin alhainen ja rajoittaa kemikaalien biohajoamista, voidaan happea lisätä haluttuun kohteeseen keinotekoisesti. Käytettyjä menetelmiä ovat paineistetun ilman tai hapen syöttäminen maahan tai pohjaveteen sekä happea vapauttavien yhdisteiden käyttö (Norris et



al. 1994, Javanmardian ja Glasser 1997, Reinikainen 2001, Li et al. 2003, Lory 2003, Symons ja Greene 2003). Paineistettua ilmaa injektoidaan pilaantuneeseen pohjaveteen. Ilmakuplat kulkeutuvat maaperässä pysty ja vaakasuuntaisesti irrottaen samalla haitta-aineita. Maanpinnalle nouseva kaasu johdetaan vielä mahdollisesti jatkokäsittelyyn. Maaperän aineksen heterogeenisuus aiheuttaa helposti kaasujen kanavoitumista, mikä heikentää MTBE:n haihtumista maaperästä (Mortensen et al. 2000, US EPA 2004).

Perinteisesti haihtuvien hiilivetyjen käsittelyssä käytetyt ilmastustekniikat eivät sovellu erityisen hyvin MTBE:n puhdistamiseen pohjavedestä. Menetelmien käyttö edellyttää lisäksi lähes aina kaasufaasiin siirretyn MTBE:n poistamista ilmasta, mikä lisää kustannuksia. Pohjaveden *in situ* -ilmastus voi kuitenkin edesauttaa MTBE:n biohajoamista akviferissa (Carter et al. 1997, Javanmardian ja Glasser 1997, Park and Cowan 1997, Creek ja Davidson 1998, Downey et al. 1999, Königsberg et al. 1999, MacKay et al. 1999, 2001, Thomson et al. 1999, Heath ja Lory 2000, Greene ja Barnhill 2001, Königsberg ja Mahaffey 2001, Reinikainen 2001).

Advanced Oxidation Processes (AOP) perustuu hydroksyyli-radikaalin syntymiseen ultraviolettivalon, otsonin tai vetyperoksidin avulla. Menetelmän hyviä puolia on MTBE täydellinen tuhoutuminen, joten jälkikäsittelyä ei tarvita. Ongelmana ovat kuitenkin mahdollisesti syntyvät sivutuotteet muun muassa tertiäärinen butyyli-formiaatti (TBF) ja tertiäärinen butyylialkoholi (TBA), jotka ovat MTBE:ä haitallisempia. Menetelmää käytettäessä on tarkkailtava otsonin ja vetyperoksidin määriä, sekä pH:ta ja lämpötilaa. Mikäli vedessä on paljon muita orgaanisia yhdisteitä tai liuenneita mineraaleja, MTBE:n poistuminen pohjavedestä heikkenee (Cater et al. 2000, Keller et al. 2000a, Kerfoot 2000, Richards ja Chang 2000, Kinner 2001, Kelley et al. 2003, Li et al. 2003, Bowman 2004).

Biologisten reaktiivisten seinämien avulla tehdyissä kokeissa on saatu positiivisia tuloksia MTBE:n hajoavuudesta. Biologinen reaktiivinen vyöhyke voidaan saada aikaan syöttämällä maaperään ravinteita, hajottajamikrobeja, happea tai muita elektroniaksepteoreita. Happea pohjaveteen luovuttavat reaktiiviset seinämät ovat yleisemmin käytettyjä ratkaisuja. Käytetyin happea luovuttava materiaali pohjautuu magnesiumperoksidiin. Reaktiivisessa seinämässä maaperään sijoitetaan vettä läpäisevää materiaalia, joka reagoi pohjaveden kanssa. Saastunut vesi virtaa seinämän läpi, jolloin vedessä olevat haitta-aineet hajoavat tai muuttuvat ympäristölle vaarattomampaan muotoon. Reaktiivisen seinämän käyttö ei vaadi pohjaveden pumppausta, mikä alentaa menetelmän käyttökustannuksia. Se ei myös vaadi maanpäällisiä rakenteita. Reaktiiviset seinämät soveltuvat kohteisiin, jossa pohjavesi virtaa suhteellisen lähellä maanpintaa, virtausnopeus on riittävän hidaski, virtauksen suunta ja nopeus eivät vaihtele ja haitta-ainepitoisuudet pysyvät tasaisina. Reaktiivisten seinämien tehokkuutta rajoittaa sen veden läpäisevyyden huonontuminen ajan myötä (Norris et al. 1994, Defibaugh ja Fischman 1999, Suominen 2000, Cataldo ja Moyer 2001, Hatzinger et al. 2001, Miller et al. 2001, Reinikainen 2001, Lory 2003, Spinnler et al. 2003, US EPA 2004).

Monitoroitu luontainen puhdistuminen, MLP (Monitored Natural Attenuation), on kunnostusmenetelmä, jossa luonnon omat prosessit puhdistavat alueen. Käytännössä yleensä on kyse haitta-aineiden mikrobiologisesta hajoamisesta. Kunnostuksessa voidaan hyödyntää sekä hapellisia että hapettomia hajoamisprosesseja. Menetelmän taloudellisuus perustuu siihen, että aktiivisia kunnostustoimia (esimerkiksi hapen tai ravinteiden syöttö) ei tarvita. Menetelmän avulla haitta-aineet poistuvat kokonaan ja se vaatii hyvin vähän pintarakenteita. Toisaalta menetelmää varten tarvitaan riittävä seurantaohjelma, joka saattaa ylittää aktiivisten kunnostusvaihtoehtojen kustannukset, jos haitta-aineen hajoaminen on hidasta (Rittman 2003, Tuomi ja Vaajasaari 2004, US EPA 2004). MTBE:n hitaasta luonnollisesta hajoamisvauhdista johtuen, MLP:tä ei voida käyttää yksistään kunnostusmenetelmänä mutta sitä voidaan käyttää muiden kunnostustoimenpiteiden ohella.



Adsorbointimenetelmien avulla pohjavedessä olevat haitta-aineet poistetaan adsorboivan aineen avulla. Yleinen adsorboinnissa käytetty aine on aktiivihiili, Granulated Activated Carbon (GAC). Menetelmä on osoittautunut toimivaksi myös MTBE:n yhteydessä, vaikka se ei adsorboidu kovinkaan tehokkaasti muihin orgaanisiin yhdisteisiin verrattuna. Menetelmä on teknisesti luotettava ja se ei ole riippuvainen MTBE:n pitoisuuden vaihteluista. Ongelmia syntyy kuitenkin, jos pohjavedessä on muita orgaanisia yhdisteitä, jotka sitoutuvat sitä helpommin aktiivihiileen. Tällöin ne estävät MTBE sitoutumisen ja voivat syrjäyttää sitä aktiivihiilestä, jolloin MTBE vapautuu takaisin väliaineeseen (Malley et al. 1993, Flores et al. 2000, Keller et al. 2000a, Cataldo ja Moyer 2001, Creek ja Davidson 2001, Greene ja Barnhill 2001, Kinner 2001, Li et al. 2003).

Onttojen kuitukalvojen käyttö tarjoaa myös menetelmän MTBE:n ja muiden orgaanisten aineiden poistamiseen vedestä. Kuidut on tehty vettä hylkivistä polymeereistä. Onttouden lisäksi kuidut ovat huokoisia, mikä mahdollistaa molekyylien liikkumisen kalvon läpi. Kuitukalvoissa pilaantunut vesi liikkuu kuitujen sisällä ja kuitujen ulkopuolella virtaa jatkuvasti ilmaa. Vedessä olevat haitta-aineet kulkeutuvat diffusiivisesti kalvon lävitse ulkopuolella olevaan ilmaan, josta ne johdetaan jatkokäsittelyyn. Onttojen kuitukalvojen käyttö sopii menetelmäksi, jos pohjaveden virtaus on hidasta ja erillistä ilmastusmenetelmää ei tarvita. Tällöin menetelmän kustannukset jäävät myös alhaisiksi (Keller et al. 1999, 2000a, b, Heath ja Lory 2000, Hatzinger et al. 2001, Lory 2003).

## 6 Vaihtoehtoja MTBE:lle

MTBE toimii sekä bensiinin oktaaniluvun kohottajana että oksygenaattina. Korvaavien aineiden on siis kompensoitava nämä molemmat tehtävät (SYKE 2001). MTBE:n korvaajina pidetään yleisimmin muita oksygenaatteja, parempaa moottoritekniikkaa ja bensiinin koostumuksen muuttamista (Krauss ja Harremoës 2001).

Muita oksygenaatteja ovat muun muassa etanoli, metanoli, ETBE (etyyli-tertiääri-butyylieetteri), TAME (tertiäärinen amyylimetyylieetteri), TBA (tertiääributyylimetyylialkoholi), iso-propanoli, iso-butanoli ja DIPE (di-isopropyylieetteri). Muilla oksygenaateilla saattaa myös olla haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Vaikka niiden ominaisuudet ovat samankaltaiset kuin MTBE:llä, niiden ympäristövaikutuksia ei vielä täysin tunneta.

Etanolin laajamittainen valmistaminen vaatii paljon peltopinta-alaa, lannoitteita ja energiaa, joten MTBE:n korvaamisella etanolin tuotantoa lisäämällä olisi suuria ekologisia vaikutuksia (Krauss ja Harremoës 2001). Toisaalta etanolin tuotanto on mahdollista myös jätteistä, mitä on sovellettu muun muassa Suomessa. Myös etanoli on erittäin vesiliukoista ja ainakin teoriassa se liikkuu yhtä nopeasti kuin MTBE. Etanoli hajoaa kuitenkin helposti luonnollisissa prosesseissa, mikä on etu MTBE:iin nähden (Suflita ja Mormile 1993, NSTC 1997, US EPA 1999b, SYKE 2001). Myös metanoli on tutkimuksissa todettu biohajoavaksi (Suflita ja Mormile 1993, Hubbard et al. 1994, Mormile et al. 1994, NSTC 1997, SYKE 2001). Etanolin käyttö voi lisäksi aiheuttaa kylmässä ilmastossa auton käynnistymisvaikeuksia ja metanoli puolestaan saattaa aiheuttaa metallisten osien syöpymistä, joten auton valmistajat eivät suosi metanolin käyttöä (ACEA 2000, SYKE 2001)

Etyyli-tertiääri-butyylieetteri, ETBE, on tutkimuksissa todettu myös huonosti hajoavaksi luonnollisissa prosesseissa mutta hieman MTBE:ä paremmin hajoavaksi anaerobisesti (Mormile et al. 1994, Yeh ja Novak, 1991, 1995, NSTC 1997). Di-isopropyylieetterin, DIPE:n, sitä vastoin ei ole tutkimuksissa todettu hajoavan anaerobisissa olosuhteissa (Suflita ja Mormile 1993, Mormile et al. 1994, NSTC 1997). TBA:n on tutkimuksissa todettu myös hajoavan hitaasti luonnollisissa prosesseissa. Kuitenkin anaerobisesta hajoamisesta on saatu positiivisia tutkimustuloksia (Novak et al. 1985, Suflita ja Mormile 1993, Yeh ja Novak 1994, Bradley et al. 1999, Fayolle et al. 1999, Hanson et al. 1999, Day ja Gulliver 2001, Hunkeler et al. 2001, Finneran ja Lovley 2001, 2003, Kane et al. 2001, Wilson et al. 2002, 2005, Vance et al. 2003, Wilson 2003, Schmidt et al. 2004, Vaull et al. 2004).

TAME eli tertiäärinen amyylimetyylieetteri on rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin samankaltainen yhdiste kuin MTBE. Sitä käytetään yleisesti MTBE:n sekä muiden oksygenaattien ja oktaanilukua kohottavien aineiden rinnalla. TAME onkin MTBE:n jälkeen heti toiseksi yleisimmin käytetty bensiinin oksygenaatti EU:ssa (Karhu et al. 2004). TAME:n maku- ja hajukynnyksestä vedessä ei ole määritetty EU:n riskinarvioinnin yhteydessä, mutta olemassa olevien aiempien tutkimusten mukaan ne ovat samaa suuruusluokkaa kuin MTBE:n.

Bensiinin TAME-pitoisuus vaihtelee yleensä alle prosentista yli 10 tilavuusprosenttiin. Suomessa 95-oktaaninen bensiini sisältää 4–11 prosenttia TAMEa ja 98–99 -oktaaninen bensiini hieman vähemmän muiden oktaanilukua kohottavien aineiden, pääasiassa MTBE:n, takia. Merkittävä osa EU:n polttoaineista ei sisällä TAME:a, koska monilla öljynjalostamoilla ei ole kapasiteettia TAME:n tuottamiseen.

TAME:n kulutus Euroopassa on lisääntynyt merkittävästi vuosien 1998–2002 aikana ja sen arvioidaan kasvavan yhä tulevina vuosina, joka lisää myös riskiä pohjaveden laadulle. Suomessa TAME:n kulutus vuonna 2002 oli 55 000 tonnia. Suomessa TAME:a ja MTBE:ä on käytetty rinnakkain bensiinin lisäaineena lähes 10 vuotta. Monilla piilaantuneilla huoltamoilla maaperästä ja pohjavedestä löytyy molempia yhdisteitä, mikä viittaa TAME:n ja MTBE:n samanlaiseen liikkuvuuteen ja pysyvyyteen (Karhu et al. 2004).

Moottoritekniikan parantamisella voitaisiin myös vähentää MTBE:n käyttöä. Uudet tekniikat eivät vaadi niin suurta oktaanilukua kuin aiemmin. Bensiinin koostumuksen muuttaminen on myös yksi vaihtoehto MTBE:n korvaamiseksi. Oktaanilukua voidaan parantaa myös muilla aineilla, esimerkiksi alkylaateilla (SYKE 2001b). Bensiinin koostumuksen muuttaminen vaatisi kuitenkin jalostamoiden prosessien muuttamista ja suuria kustannuksia (CEC 1998, Krauss ja Harremoës 2001).

Vuonna 2007 Eurooppa Neuvosto sopi, että vuoteen 2020 mennessä kaikesta EU:ssa käytettävästä energiasta 20 prosenttia on oltava peräisin uusiutuvista lähteistä. Uusiutuvaa energiaa koskevaan päätöksentekoon sisältyy myös liikennettä koskeva 10 prosentin biopolttoainevelvoite, joka on muuttanut polttoaineiden tuotantomalleja olennaisesti. Biovelvoitteesta johtuen MTBE:ä korvataan Suomessa nykyisin yleisesti etanolipohjaisella ETBE:llä. Biopolttoainevelvoitteen kasvaminen jatkossa edelleen ei tule ainakaan lisäämään ei-biopohjaisen MTBE:n käyttöä tulevaisuudessa.

## 7 Lainsäädäntö ja raja-arvot

Bensiinin laatua koskeva direktiivi 98/79/EY rajoitti hiilivetyjen, hapen, oksygenaattien ja rikin maksimipitoisuutta bensiineissä vuodesta 2000 alkaen. Lisäksi vuonna 2005 astui voimaan rajoitus, jolla edelleen vähennettiin aromaattien ja rikin maksimipitoisuutta. Vuonna 2005 aromaattien maksimitilavuusprosentti putosi 42 prosentista 35 prosenttiin. MTBE:n maksimipitoisuus on direktiivin 98/70/EY mukaan 15 prosenttia polttoaineen tilavuudesta (SYKE 2002).

7.1

### Vedenlaatua koskevaa EU-lainsäädäntöä

Vanha pohjaveden suojelua koskeva direktiivi 80/68/ETY jakaa mahdolliset pohjavettä pilaavat aineet kahteen luokkaan. Direktiivi vaatii jäsenvaltioita estämään listan I aineiden pääsyn pohjaveteen ja rajoittamaan niin paljon kuin on käytännössä mahdollista listan II aineiden pääsyä pohjaveteen. MTBE:ä ei ole luokiteltu kumpaankaan luokkaan. Listassa I on kuitenkin luokka "mineraaliöljyt ja hiilivedyt". Näin ollen johtuen MTBE:n käytöstä bensiinin lisäaineena ja siitä, että sitä löytyy yleisesti muiden hiilivetyjen yhteydessä, on sen päästäminen pohjaveteen kielletty. Listassa II luetellaan myös aineet, joilla on vahingollinen vaikutus pohjaveden hajuun ja makuun ja MTBE kuuluu myös tähän luokkaan (Little 2001). Direktiivi on kansallisesti pantu toimeen valtioneuvoston päätöksellä 366/1994. Vanha pohjavesidirektiivi kumoutuu vuonna 2013.

Juomavettä koskeva direktiivi 98/83/EY tuli voimaan vuonna 1998. Direktiiviä sovelletaan kaikkeen veteen, joka on tarkoitettu ihmisten kulutukseen. Direktiivissä on asetettu juomavedelle mikrobiologisia ja kemiallisia laatuvaatimuksia. Direktiivissä yksi veden parametreista on haju. Vaikkakaan MTBE:ä ei ole erikseen mainittu sen alhainen hajukynnys (15 µg/l) aiheuttaa rajoituksia pitoisuudelle juomavedessä (Little 2001).

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista, annettiin vuonna 2000. Direktiivin tarkoituksena on luoda puitteet sisämaan pintavesien, jokisuiden vaihettumisalueiden sekä rannikko- ja pohjavesien suojelua varten.

Vesipolitiikan puitedirektiivissä annetaan kolme ensisijaista velvoitetta jäsenvaltioille:

- Suojella ja palauttaa kaikkien pohjavesien tila hyväksi vuoteen 2015 mennessä. Hyvällä tilalla tarkoitetaan sekä kemiallista, että määrällistä hyvää tilaa.
- Estää pohjavesien tilan huononeminen, toteuttamalla tarvittavat toimenpiteet pilaavien aineiden pääsyn estämiseksi pohjaveteen.
- Estää pohjavesien tilan huononeminen, toteuttamalla toimenpiteet, joilla voidaan pysäyttää ihmisen toiminnasta johtuva pohjaveden tilan huononeminen ja kääntää suuntaus parempaan päin.

Vesipolitiikan puitedirektiivin mukaan jäsenvaltioiden on myös muun muassa perustettava pohjaveden tilan seurantaohjelmia jokaiselle vesienhoitoalueelle.

Vuonna 2007 on tullut voimaan vesipuitedirektiivin tytärdirektiivi (2006/118/EY) pohjaveden suojelusta pilaantumiselta ja huononemiselta. Direktiivi korvaa vanhan pohjavesidirektiivin (80/68/ETY), mutta vastaavat päästöjen hallintatoimet sisältyvät myös uuteen direktiiviin. Uudella pohjavesidirektiivillä vahvistetaan vesipuitedirektiivin (2000/60/EY) 17 artiklan 1 ja 2 kohdassa edellytetyt erityiset toimenpiteet pohjavesien pilaantumisen ehkäisemiseksi ja rajoittamiseksi. Pohjavesidirektiivin edellyttämiä toimenpiteitä ovat erityisesti pohjaveden hyvän kemiallisen tilan arviointikriteerien määrittäminen kansallisesti sekä merkityksellisten ja nousevien muutossuuntien toteaminen ja kääntäminen laskeviksi. Yhtäläisen pohjaveden suojelutason saavuttamiseksi pohjavesidirektiivi antaa jäsenvaltioille perusteet hyvän kemiallisen tilan arviointiin käytettävien raja-arvojen määrittämiseksi ja kemiallisen tilan arvioimiseksi. Jäsenvaltiot voivat vahvistaa raja-arvot jäsenvaltioiden, vesienhoitoalueen, pohjavesimuodostuman tai – muodostumaryhmän tasolla.

7.2

## Ympäristönsuojelulaki ja -asetus

Ympäristönsuojelulaki (86/2000) sisältää säännökset maaperän, ilman ja vesien suojelusta. Ympäristönsuojelulain (YSL) tavoitteita ja toimeenpanoa säädellään tarkemmin ympäristönsuojeluasetuksella (169/2000) ja lain voimaantuloa ja siirtymäkauden toimeenpanoa lailla ympäristönsuojelulainsäädännön voimaantulosta (113/2000). Ympäristönsuojelulaissa ja –asetuksessa on säädetty ympäristölupajärjestelmästä (mm. ympäristöluvan tarpeesta, lupamenettelystä, lupaharkinnasta ja lupaviranomaisista).

Ympäristönsuojelulain 8 §:ssa säädetään pohjaveden pilaamiskiellosta, joka kieltää aineen tai energian panemisen tai johtamisen sellaiseen paikkaan tai käsittelyyn 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.

Pilaamiskiellon soveltamisessa ei ole merkitystä sillä, onko aine tai energia päässyt pohjaveteen vahingossa, huolimattomuudesta, piittaamattomuudesta tai tahallisesti. Pilaamiskiello sisältää myös vaaran aiheuttamisen kiellon, jonka mukaan jo haitan mahdollisuus on estettävä eikä toiminnalta edellytetä konkreettista pilaantumista.

Pohjaveden pilaamiskiellon lisäksi on aina noudatettava myös maaperän pilaamiskielloa (YSL 7 §), jonka mukaan 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.

Ympäristönsuojelulain 12 luku sisältää säännökset pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistamisesta. Ensisijainen vastuu maaperän ja pohjaveden puhdistamisesta on pilaantumisen aiheuttajalla. YSL 75 § velvoittaa sen, jonka toiminnasta on aiheutunut maaperän tai pohjaveden pilaantumista, puhdistamaan maaperän ja pohjaveden siihen tilaan, ettei siitä voi aiheutua terveystahaitta eikä haittaa tai vaaraa ympäristölle. Aiheuttaja on velvollinen ilmoittamaan valvontaviranomaiselle mahdollisesti pilaantumista aiheuttavan aineen pääsystä maahan tai pohjaveteen (76 §).

Ympäristönsuojelulain mukaan toissijaisesti vastuussa pilaantuneen alueen puhdistamisesta on pilaantuneen alueen haltija, jos pilaantumisen aiheuttajaa ei saada selville tai tavoiteta taikka saada täyttämään velvollisuuttaan (YSL 75.2 §). Pilaantuneen maaperän tai pohjaveden puhdistamisesta vastuussa oleva taho voidaan myös velvoittaa selvittämään pilaantuneen alueen laajuus ja puhdistamistarve (77 §).

7.3

## Toimintojen sijoittamiseen liittyvä lainsäädäntö

Ympäristönsuojelulain 6 § säätelee pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamista siten, ettei toiminnasta aiheudu pilaantumista tai sen vaaraa ja että pilaantumista voidaan ehkäistä. Toiminnan sijoituspaikan soveltuvuutta arvioitaessa on otettava huomioon:

- 1) toiminnan luonne ja pilaantumisen todennäköisyys sekä onnettomuusriski;
- 2) alueen ja sen ympäristön nykyinen ja tuleva, oikeusvaikutteisessa kaavassa osoitettu käyttötarkoitus ja aluetta koskevat kaavamääräykset;
- 3) muut mahdolliset sijoituspaikat alueella.

Vaarallisten kemikaalien käsittelyyn liittyvä turvallisuussäätely on perustunut keskeisesti lakiin räjähdysvaarallisista aineista, kemikaalilakiin ja asetukseen terveydelle ja ympäristölle vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista. Vuonna 2005 tuli voimaan laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (391/2005). Niin sanottua kemikaaliturvallisuuslakia sovelletaan kaikkeen vaarallisten kemikaalien teolliseen valmistukseen, käyttöön, käsittelyyn, varastointiin, siirtoon ja säilytykseen. Lain tarkoituksena on ehkäistä ja torjua henkilö-, ympäristö- ja omaisuusvahinkoja sekä edistää yleistä turvallisuutta. Siinä säädetään myös toiminnan sijoittumisesta pohjavesialueille seuraavasti: *”Tuotantolaitosta ei ilman perusteltua syytä saa sijoittaa tärkeälle tai muulle vedenhankintaan soveltuvalla pohjavesialueelle, jollei kemikaalien ominaisuuksien perusteella voida osoittaa, ettei pohjavesille aiheudu vaaraa. Jos kyseessä olevalle pohjavesialueelle kuitenkin sijoitetaan vaarallisia kemikaaleja käsittelevä tai varastoiva tuotantolaitos, on rakenteellisin ja käyttöteknisin toimenpitein huolehdittava siitä, ettei laitoksen toiminnasta aiheudu pohjavesien pilaantumisen vaaraa”*.

Jakeluasemia koskeva kauppa- ja teollisuusministeriön päätös vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista (415/1998) sääntelee muun muassa jakeluasemien teknistä vaatimustasoa. Myös tässä niin sanotun jakeluasemapäätöksen 5 §:ssä on säännös toiminnan sijoittumisesta pohjavesialueelle. Sen mukaan jakeluasema on ensisijaisesti sijoitettava tärkeän tai muun veden hankintaan soveltuvan pohjavesialueen ulkopuolelle. Jos polttoainehuollon järjestäminen tai muut painavat syyt edellyttävät jakeluaseman sijoittamista edellä mainitulle pohjavesialueelle, toiminta tulee järjestää rakenteellisin ja käyttöteknisin toimenpitein sellaiseksi, ettei siitä aiheudu pohjaveden pilaantumisvaaraa.

Ympäristölupamenettelyn ohella jakeluasematoiminnan sijoittumista voidaan ohjata kaavoituksella. Kaavoitusta onkin pidettävä ensisijaisena keinona jakeluasematoiminnan ohjaamisessa pohjavesialueiden ulkopuolelle (Ympäristöministeriö 2007).

Jakeluasemalle ei tulisi osoittaa kaavassa paikkaa tärkeälle tai muulle vedenhankintaan soveltuvalla pohjavesialueelle, ellei maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 9 §:n tarkoittaman ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä ole todettu, että jakeluasematoiminta ei kyseessä olevalla paikalla aiheuta ympäristönsuojelulain 8 §:n tarkoittamaa pohjaveden pilaantumisen vaaraa. On kuitenkin huomioitava, että olemassa olevan kaavan laatimisvaiheessa ei välttämättä ole arvioitu jakeluaseman sijoittumisen pohjavesivaikutuksia, minkä vuoksi jakeluaseman lupakäsittelyssä sijoittumisedellytykset on selvitettävä kaavasta riippumatta. Myös kaavaa

muutettaessa on noudatettava samoja periaatteita kuin uutta kaavaa laadittaessa (Ympäristöministeriö 2007).

Polttoaineen jakeluasemien sijoittamista pohjavesialueelle tulisi pääsääntöisesti välttää toiminnan aiheuttamien riskien vuoksi. Erityisesti uusien asemien sijoittaminen pohjavesialueelle tulisi olla poikkeuksellista ja siltä tulee vaatia tapauskohtaista harkintaa. Harkinnassa tulisi huomioida myös pohjaveden tosiasiallinen nykytila, muut samaan pohjaveteen kohdistuvat riskit sekä todennäköisyys pohjaveden hyödyntämistarpeelle tulevaisuudessa. Pohjavesialueelle sijoittuvalta asemalta on syytä edellyttää korkeampaa riskintorjuntatasoa (Ekroos et al. 2006).

7.4

## Ympäristöluvan tarve

Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan on oltava ympäristölupa (YSL 28 §). Luvanvaraisista toiminnoista on säädetty tarkemmin ympäristönsuojeluasetuksella (169/2000). Ympäristönsuojelulain mukaisiksi luvanvaraisiksi toiminnoiksi on asetuksella säädetty muun muassa kemikaalien tai polttoaineiden varastointi, käyttö tai käsittely. Tähän sisältyvät polttonesteiden jakeluasemat, joiden polttonesteiden säiliötilavuus on vähintään 10 m<sup>3</sup> (YSA 1 §, kohta 5a). Myös asetuksessa mainittua vähäisempään toimintaan on haettava ympäristölupaa, jos toiminta sijoitetaan tärkeälle tai muulle vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella ja toiminnasta voi aiheutua pohjaveden pilaantumisen vaaraa (YSA 28 §, YSA 1 §).

Ympäristölupaa on haettava myös, jos toiminnasta aiheutuu ympäristönsuojeluasetuksessa mainittujen aineiden päästöjä vesiin, jollei ole ilmeistä, ettei niiden päästämisestä voi aiheutua vesien pilaantumista. Asetuksen liitteen 1 mukaan ympäristölupa tarvitaan muun muassa mineraaliöljyjä ja öljyperäisiä hiilivetyjä tai vesiympäristöstä saatavien ihmisravinnoksi tarkoitettujen tuotteiden laatuun, hajuun tai makuun haitallisesti vaikuttavien aineiden päästöihin.

Ympäristöluvan saaneen toiminnan päästöjä tai niiden vaikutuksia lisäävän tai muuhun olennaiseen toiminnan muuttamiseen on oltava lupa. Lupaa ei kuitenkaan tarvita, jos muutos ei lisää ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia tai riskejä eikä lupaa toiminnan muutoksen vuoksi ole tarpeen tarkistaa (YSL 4, 28 §). Huoltamojen kohdalla ympäristöluvan hakeminen tulee usein kyseeseen, kun säiliöitä uusitaan tai toimintaa laajennetaan, eli toiminta muuttuu olennaisesti ja tällöin sille tarvitaan uusi lupa (YSA 1 §, 5a).

Pilaantuneen maan puhdistamiseen ja käsittelyyn tarvitaan ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa, mutta se voidaan tehdä tietyin edellytyksin ilmoitusmenettelyn kautta. Maaperän puhdistamiseen pilaantuneella alueella tai pilaantuneen maaperän aineksen poistamiseen toimitettavaksi muualla käsiteltäväksi voidaan ryhtyä tekemällä siitä ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle, jos

- 1) pilaantuneen alueen laajuus ja maaperän pilaantumisen aste on riittävästi selvitetty,
- 2) puhdistamisessa noudatetaan yleisesti käytössä olevaa hyväksyttävää puhdistusmenetelmää ja
- 3) toiminnasta ei aiheudu ympäristön muuta pilaantumista (YSL 78.2 §).

Ilmoitusmenettely on pilaantuneen maan puhdistamisessa yleisin käytetty tapa.

Ympäristöluvan myöntää hankkeen ympäristövaikutusten laajuudesta riippuen ympäristölupavirasto, alueellinen ympäristökeskus tai kunta. Huoltamoiden kohdalla lupaviranomaisena on yleensä kunta.

Ennen ympäristönsuojelulain voimaantuloa olemassa oleva toiminta, joka on ympäristönsuojelulain voimaanpanosta annetun lain 4 §:ssä mainittujen päätösten



nojalla tai muutoin lain mukaista toimintaa (sijoitettu asema- tai rakennuskaavan mukaisesti), rinnastetaan luvan saaneeseen toimintaan. Näiden toimintojen, kuten vanhojen huoltamojen, oli tehtävä ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle ympäristönsuojelun tietojärjestelmään merkitsemistä varten (YSL 65 §), jos toiminnoilla ei ollut ympäristölupamenettelylain (735/1991) tai vesilain 10 luvun 3 §:n mukaista lupaa. Jos toiminta ei ole olennaisesti muuttunut vanhan luvan mukaisesta, ei uuden luvan tarvetta määrätty.

#### 7.4.1

### Jakeluasemien lupamenettelyn viimeaikainen kehitys

Pohjaveden pilaamiskielto sisältää vaaran aiheuttamisen kiellon, jonka mukaan jo haitan mahdollisuus on estettävä, eikä toiminnalta edellytetä konkreettista pilaantumista. Teknisiin suojauskeinoin haitallisten tapahtumien todennäköisyys kyetään rajoittamaan varsin pieneksi. Toiminnan sijoittumispaikan soveltuvuuden arviointiin liittyykin olennaisesti toimintaan liittyvät riskit. Pohjaveden suojelussa pyritään kokonaisriskin minimoimiseen, jolloin otetaan huomioon kaikki riskitekijät. Riskintarkasteluun liittyy pohjavesiesiintymän merkitys yhdyskunnan vedenhankinnan kannalta, pohjaveden nykytila ja muut samaan pohjaveteen kohdistuvat riskit, kohteiden ennallistamismahdollisuus sekä haitallisten vaikutusten torjuntamahdollisuudet. Jos pohjavesialueella on jo muita riskitekijöitä, tai jos pohjaveden saastumista on jo todettu, se ei ole puoltava seikka jakeluasematoiminnan sijoittamiselle pohjavesialueelle. Jakeluasemien osalta riskintarkastelussa otetaan huomioon suojarakenteiden taso, toiminnalliset tekijät, rakennustyön ja toiminnan valvonta sekä maaperä- ja pohjavesiolosuhteet (Salila 2002, Ympäristöministeriö 2007).

Jakeluasematoiminnan aiheuttamat ympäristöriskit ovat luoneet paineita jakeluasemien ympäristönsuojelun tehostamiseen. Korkeimman hallinto-oikeuden linja on ollut pääosin tiukka jakeluasemien sijoittumisesta pohjavesialueille sijoituspaikan sopimattomuuden perusteella. KHO:n ratkaisuissa jo pelkästään riskit haitallisten vaikutusten aiheutumisesta ovat toimineet luvan myöntämisen esteenä. Uusien laitosten sijoittelun osalta lupakäytäntö näyttää olevan pidättyväisellä kannalla: mahdollisia ympäristövaarallisia toimintoja ei tule sijoittaa tärkeille pohjavesialueille, jotka ovat vedenhankintakäytössä tai tullaan ottamaan vedenhankintakäyttöön. Uusien asemien sijoittamisen pohjavesialueelle tulisi olla poikkeuksellista ja siltä tulee vaatia tapauskohtaista harkintaa. Vanhojen laitosten eli olemassa olevien toimintojen osalta tilanne on monitahoisempi. KHO:n tulkintakäytäntö näyttäisi kuitenkin sallivan huoltoasematoiminnan jatkamisen myös tärkeillä pohjavesialueilla, mikäli laitoksen toiminnasta ei ole aiheutunut eikä todennäköisesti tule aiheutumaankaan ongelmia. Vanhojen asemien edellytyksenä toiminnan tilapäiselle jatkumiselle ovat muun muassa riittävä riskinhallinta, suojauksien parantaminen ja tehostettu valvonta (Salila 2002, Ympäristöministeriö 2007).

Ympäristöministeriö (2007) on antanut ohjeen polttonesteiden jakeluasematoiminnan valvonnasta pohjavesialueilla. Ohje on annettu ympäristönsuojelulain 95 §:n perusteella. Se on tarkoitettu ensisijaisesti yhdenmukaistamaan polttonesteiden jakeluasemien ympäristölupahakemuksista pohjavesialueilla annettavia ympäristökeskusten lausuntoja sekä valitusmenettelyä.

#### 7.4.2

### Valtion ympäristölupajärjestelmän keventäminen

Valtion ympäristöhallinnossa on meneillään kehittämishanke, jonka yhtenä tavoitteena on korvata ennakkovalvontaa muun muassa suoralla normiohjauksella lupakynnystä nostamalla. Raskasta ympäristölupamenettelyä käytetään Suomessa



määrällisesti paljon verrattuna muihin Euroopan valtioihin. Lisäksi muun muassa polttonesteiden jakeluasemat muodostavat erittäin suuren osan kunnan lupaviranomaisten kokonaiskuormituksesta. Ympäristönsuojelulain 12 §:n mukaan myös polttonesteiden jakeluasematoimintaa voidaan säännellä normiohjauksella (Ekroos 2005, Ekroos et al. 2006).

Tällä hetkellä jakeluasemilta edellytetään ympäristönsuojelulain mukaista ympäristölupaa, kemikaalilainsäädännön mukaista valvontaa ja maankäyttö- ja rakennuslain mukaista rakennus- ja toimenpidelupaa. Muun muassa jakeluasemien teknisestä monimutkaisuudesta johtuen etenkin pienten kunnallisten luvittajien edellytykset pohtia jakeluasemien ympäristövelvoitteita tapauskohtaisesti ovat heikohkot ja ala on muutoinkin jo tarkasti säännelty. Jakeluasemille asetettujen vaatimusten tapauskohtainen harkinta voikin perustua vain sijoituspaikan määräämään riskitasoon. Valtaosa jakeluasemista sijoittuu siten, että niiden lupaharkinnassa ei ole tarvinnut asettaa tavallisesta poikkeavia lupamääräyksiä paikallisten olosuhteiden vuoksi. Jos asema on sijoitettava tärkeälle pohjavesialueelle, voidaan tapauskohtaista harkintaa pitää tarpeellisena sopivan teknisen tason valitsemiseksi tälle riskitasolle. Tällöin ympäristönsuojelulain nojalla annettavalla normilla voitaisiin varmistaa asemien teknisen tason riittävyys ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta (Ekroos 2005, Ekroos et al. 2006).

Suoraan normiohjauksen siirtymisen jälkeen jakeluasemien sijoittuminen voisi perustua voimassa olevaan asemakaavaan sekä mahdollisesta maankäyttö- ja rakennuslain mukaiseen suunnittelutarveratkaisuun. Tämän lisäksi jakeluasemahankkeesta tulisi tehdä ilmoitus, jonka perusteella viranomaiselle voitaisiin antaa mahdollisuus myös edellyttää luvan hakemista. Pohjavesialueille sijoittuvat toiminnot säilyisivät lupavelvollisuuden piirissä (Ekroos 2005, Ekroos et al. 2006).

7.5

## Jakeluasemien suojausrakenteet

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista jakeluasemalla (415/1998), niin sanottu jakeluasemapäätös, sisältää säännökset uusien jakeluasemien sijoituspaikkojen lisäksi polttonestesäiliöiden sijoituksesta, säiliöiden ja putkistojen rakenteellisista vaatimuksista, jakelulaitteiden sijoituksesta ja teknisistä rakennevaatimuksista, jakelualueiden suojauksesta ja viemäroinnistä sekä alkutorjuntakalustosta. Pohjavesialueilla on esimerkiksi käytettävä kaksoisvaippasäiliötä ja muissa kuin poikkeustapauksissa polttoainesäiliöt on sijoitettava maan alle. Päätöksen keskeisenä tarkoituksena on jo toiminnassa olevien huoltoasemien teknisen rakenteen ja ympäristönsuojelullisen tason nostaminen lähemmäksi uusilta huoltoasemilta edellytettävää tasoa. Jakeluasemapäätös määrittää huoltoasemilta edellytettävän ympäristönsuojelun vaatimustason minimin. Käytännössä näiden vaatimusten täyttäminen on usealla jakeluasemalla merkinnyt laajoja muutostöitä, jotka ovat myös laukaisseet ympäristöluvan tarpeen (Salila 2002).

Jakeluasemastandardi SFS 3352 (Suomen Standardoimisliitto 2004) täydentää kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista (415/1998), joka sääntelee muun muassa jakeluasemien teknistä vaatimustasoa. Jakeluasemastandardissa on jakeluasemapäätöksen teknisiä määräyksiä yksityiskohtaisempia rakentamisohjeita. Uutta standardia ei ole tarkoitettu sovellettavaksi ennen sen voimaantuloa rakennettuihin asemiin.

Rakennustyön aikainen laadunvarmennus on myös ensiarvoisen tärkeää pohjavesien suojelutavoitteiden saavuttamiseksi (Ympäristöministeriö 2007). Yli 1000 m<sup>3</sup>:n säiliöille on esimerkiksi tehtävä tarkastus myös rakennusvaiheessa.

## MTBE:n raja-arvot

MTBE:n pitoisuuksille maaperässä, pohjavedessä ja ilmakehässä on määrätty erilaisia raja-arvoja. Taulukossa 2 esitetään eri maissa tai osavaltioissa asetettuja raja-arvoja MTBE-pitoisuuksille pohjavedessä.

Taulukko 2. MTBE:n raja-arvoja pohjavedessä.

| Maa/osavaltio         | MTBE raja-arvo (µg/l) |
|-----------------------|-----------------------|
| Tanska                | 30                    |
| Ruotsi <sup>(1)</sup> | 50                    |
| New Jersey            | 70                    |
| Kalifornia            | 5                     |
| Michigan              | 240                   |
| Kanada                | 20                    |

<sup>(1)</sup> ohje-arvo

EU:n tasolla ei ole määritetty raja-arvoja erityisesti MTBE:lle. Juomavesistandardeissa on kuitenkin annettu liuenneille hiilivedyille, joihin MTBE lukeutuu, maksimipitoisuus 10 µg/l (Woodward 2001). Valtioneuvosto on antanut asetuksen (214/2007) maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista, jonka liitteessä maaperän MTBE:n kynnyksarvoksi on määritetty 0,1 mg/kg, alemmaksi ohjearvoksi 5 mg/kg ja yleemmäksi ohjearvoksi 50 mg/kg.

## 8 MTBE:n esiintyminen Suomessa

Lahdessa on seurattu ilmakehän hiilivetypitoisuuksia. Ilmakehän MTBE-pitoisuudet Lahdessa vaihtelevat välillä 0–7,4 µg/m<sup>3</sup> pysytellen yleisesti ottaen alhaisempina kuin 3 µg/m<sup>3</sup>. Squillace et al. (1997) mukaan ilmakehän pitoisuuksien perusteella tasapainotilassa 5 °C lämpötilassa MTBE-pitoisuudet vedessä olisivat alle 2,5 µg/l.

Helsingin ympäristökeskus on tutkinut MTBE:ä Helsingin pohjavedessä, pintavedessä ja verkostovedessä. Verkostovedestä MTBE:tä ei löytynyt. Merivedessä MTBE:ä oli keskimäärin 2,6 µg/l ja suurin pitoisuus merivedessä oli 6,12 µg/l. Näiden pitoisuuksien arvellaan johtuvan moottoriveneistä ja vesiskoottereista valuvasta bensiinistä. Muissa pintavesissä MTBE:n pitoisuus oli keskimäärin 0,4 µg/l. Jäteveden pitoisuus oli 0,91 µg/l (Piilo ja Salla 2000). Pohjavesianalyysyjä tehtiin 11 pisteestä, ja niistä viidessä todettiin määrittärajaa (0,1 µg/l) ylittäviä pitoisuuksia. Suurin pitoisuus oli 0,72 µg/l ja keskiarvo 0,26 µg/l. Korkeimmat pitoisuudet löytyivät Tattarisuon pohjavedenotamolalta, joka sijaitsee kahden vilkkaasti liikennöidyn tien välissä. Samoista näytteistä analysoitiin myös TAME, jota ei löytynyt näytteistä (Piilo ja Salla 2000).

### 8.1

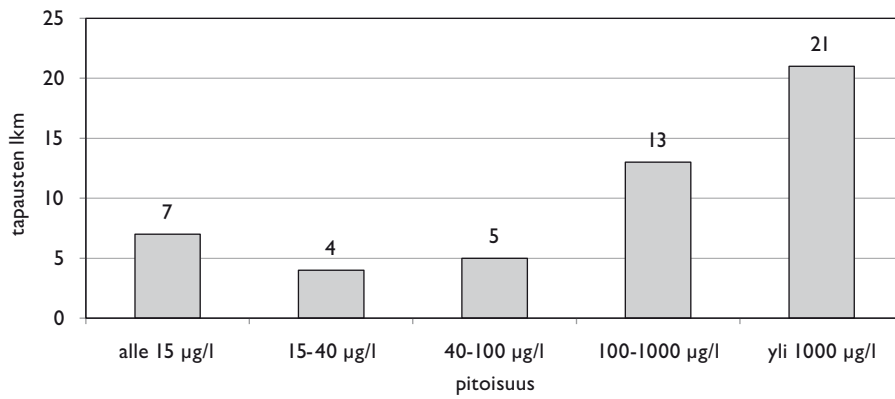
#### Pilaantumistapauksia

Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2002 tekemässä kyselyssä alueellisille ympäristökeskuksille selvitettiin MTBE:n aiheuttamia pilaantumistapauksia Suomessa. Kyselyyn vastasivat Etelä-Savon, Hämeen, Kaakkois-Suomen, Keski-Suomen, Lounais-Suomen ja Uudenmaan ympäristökeskukset.

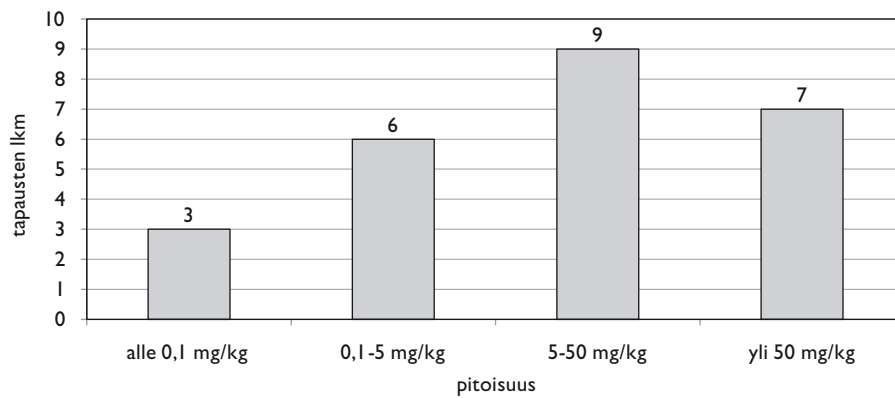
Yksittäisestä pilaantumistapauksesta otettujen näytteiden määrä vaihtelee yhdestä näytteestä pohjavesien seurantaan liittyviin pidempiin aikasarjoihin. Tästä johtuen tietystä pilaantumistapauksesta otetuista näytteistä on valittu korkein MTBE -pitoisuus edustamaan havaintopaikkaa. MTBE:n maksimipitoisuudet on jaoteltu viiteen luokkaan muun muassa haju- ja makukynnyksen mukaan. Käytetyt luokat ovat: pitoisuus alle 15 µg/l, pitoisuus 15–40 µg/l, pitoisuus 40–100 µg/l, pitoisuus 100–1000 µg/l ja pitoisuus yli 1000 µg/l. Pilaantumistapausten maksimipitoisuudet ja tapausten lukumäärät on esitetty kuvassa 5.

Kyselyn tulosten perusteella MTBE:n pitoisuudet pohjavedessä vaihtelevat Suomessa välillä 0–2,3 g/l. Alle hajukynnyksen, 15 µg/l, jäi ainoastaan 7 tapausta, noin 10 prosenttia tapauksista. Valtaosassa, 39 tapauksessa eli lähes 80 prosentissa pilaantumistapauksista myös makukynnys (40 µg/l) ylittyi.

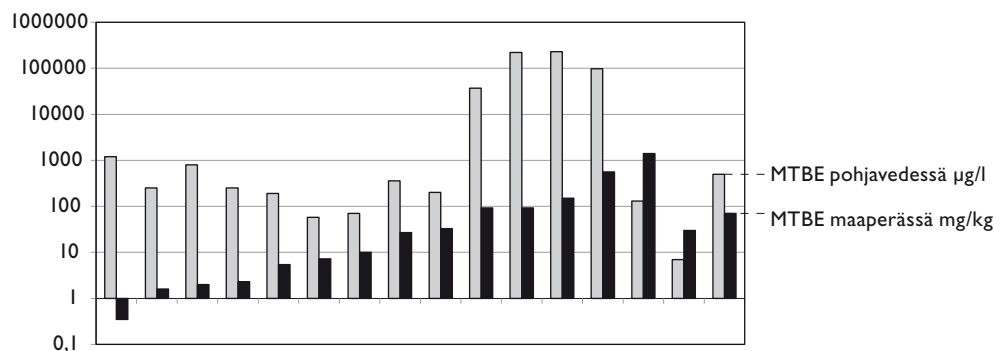
Maaperän MTBE-pitoisuus oli mitattu 25 tapauksessa. Valtioneuvosto on antanut asetuksen (214/2007) maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista, jonka liitteessä maaperän MTBE:n kynnysarvoksi on määritetty 0,1 mg/kg, alemmaksi ohjearvoksi 5 mg/kg ja yleemmäksi ohjearvoksi 50 mg/kg. Maaperän MTBE-pitoisuudet on esitetty luokiteltuna asetuksen ohje- ja kynnysarvojen mukaan kuvassa 6.



Kuva 5. Pohjaveden MTBE:n maksimipitoisuudet pilaantumistapauksissa. MTBE:n hajukynnys on 15 µg/l ja makukynnys 40 µg/l.



Kuva 6. MTBE-pitoisuudet maaperässä. Pilaantuneen maan kynnysarvo on 0,1 mg/kg, alempi ohjearvo 5 mg/l ja ylempi ohjearvo 50 mg/l.



Kuva 7. MTBE-pitoisuudet pohjavedessä ja maaperässä.

Suurin todettu MTBE-pitoisuus maaperässä oli 1400 mg/kg. Ainoastaan 3 pilaantumistapausta, noin 10 prosenttia tapauksista, jäi alle kynnyksarvon (0,1 mg/kg). Yli 20 prosenttia tapauksista, maaperän pitoisuus ylitti kynnyksarvon mutta jäi alle alemman ohjearvon, (5 mg/kg). Yhdeksän pilaantumistapausta eli lähes 40 prosenttia tapauksista, ylitti alemman ohjearvon mutta jäi alle ylemmän ohjearvon (50 mg/kg). Seitsemän pilaantumistapausta eli lähes 30 prosenttia tapauksista, ylitti myös ylemmän ohjearvon.

Kaikkiaan 16 tapauksessa sekä maaperän että pohjaveden MTBE-pitoisuudet oli määritetty. Kuvassa 7 on esitetty MTBE:n pitoisuudet pohjavedessä ja maaperässä logaritmisella asteikolla niissä tapauksissa, joissa pitoisuudet on mitattu sekä maaperästä että pohjavedestä. Maaperän pilaantumiseen liittyvissä tapauksissa pohjaveden MTBE-pitoisuus oli korkeampi.

Suurin osa havaituista MTBE-pitoisuuksista johtuu huoltamotoinnasta, ylitäytöistä sekä pienistä päästöistä ja vuodoista. Useassa tapauksessa tiedetään aiempi vahinko, vuoto tai päästö korkeiden MTBE-pitoisuuksien syyksi. Muutamassa raportoidussa tapauksessa syy on tuntematon, ja yhdessä tapauksessa on kyseessä hylätty auto, jonka tankista on vuotanut bensiiniä maaperään.

Kaakkois-Suomesta vuonna 2001 löydetyn MTBE:n aiheuttaman pilaantumisen havaitsi paikallinen asukas, kun porakaivon vesi tuoksui epämiellyttävästi. Vedessä havaittiin sekä MTBE:ä että TAME:a, sekä lisäksi toluenia. Porakaivovedessä oli MTBE:ä 12 734,2 µg/l ja TAME:a 2 401,3 µg/l. Polttoainevuodon kokonaismääräksi arvioitiin noin 20 litraa.

Uudellamaalla eräällä huoltoasemalla havaittiin vuonna 2002 putkiliitoksessa vuoto, joka korjattiin välittömästi. Maaperään oli kuitenkin ehtinyt valua korkeaoktaanista bensiiniä, joka aiheutti pohjavedessä nousseita MTBE-pitoisuuksia. Bensiinillä pilaantunutta maaperää arvioitiin olevan noin 600 m<sup>3</sup>. Pilaantuneen maaperän laajuus oli noin 300 m<sup>2</sup>. Suurin MTBE:n pitoisuus pohjavedessä oli 98 000 µg/l. Alue kunnostettiin massanvaihdolla ja *in-situ* -kunnostuksella, imulla. Menetelmät aiheuttivat sekä MTBE:n että TAME:n pitoisuuksien vähenemisen alle määrittäjärajaa, lukuun ottamatta hieman kauempana sijaitsevaa havaintopistettä, missä viimeisellä havaintokerralla MTBE:n pitoisuus oli 9,9 µg/l ja TAME:n 16 µg/l.

## 8.2

### **Pohjaveden MTBE- ja TAME-pitoisuuksia POVET-rekisterissä 2007**

SYKE:ssä selvitettiin POVET-rekisterin perusteella MTBE:n ja TAME:n esiintymistä pohjavedessä. Ympäristöhallinnon pohjavesitietojärjestelmä, POVET, kattaa ympäristöhallinnon luokittelumilta pohjavesialueilta (noin 7000 kpl) ja ympäristöhallinnon pohjavesiasemilta (53 kpl) saatavat tiedot muun muassa pohjaveden laadusta ja määrästä. POVET:iin tallennetaan pohjaveden laatatietoja, muun muassa MTBE- ja TAME-havaintoja. Pohjaveden MTBE- ja TAME-pitoisuuksiin liittyvää aineistoa oli saatavilla Pohjois-Karjalan, Hämeen ja Uudenmaan ympäristökeskusten alueilla.

Havaintopaikat olivat pohjavesiputkia, kaivoja tai lähteitä. Valtaosa havainnoista on tehty maaperän pilaantumistapauksien tutkimiseen ja selvittämiseen, kunnostukseen ja kunnostuksen jälkeiseen pohjaveden seurantaan liittyen.

Kuten pilaantumistapaustenkin kohdalla, yksittäisestä havaintopaikasta otettujen näytteiden määrä vaihtelee yhdestä näytteestä pohjavesien seurantaan liittyviin pidempiin aikasarjoihin. Tästä johtuen tietystä havaintopaikasta otetuista näytteistä on valittu korkein MTBE- ja TAME-pitoisuus edustamaan havaintopaikkaa.

MTBE:n ja TAME:n maksimipitoisuuksien jaottelussa on käytetty samaa hajua- ja makukynnyksen mukaista jaottelua viiteen eri luokkaan kuin pilaantumistapausten kohdalla. Lisäksi on eritelty, liittyvätkö pitoisuudet pilaantuneisiin maihin. Maaperän pilaantumiseen liittyvissä tapauksissa pohjavedenkin MTBE- ja TAME-pitoisuus on korkeampi.

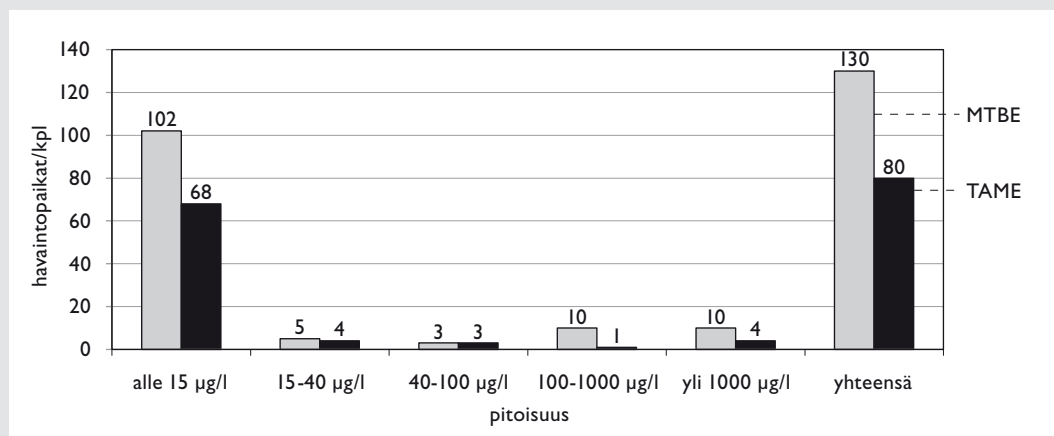
## Uudenmaan ympäristökeskus

POVET-rekisterin tallennetut pohjaveden MTBE-pitoisuudet Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella vaihtelevat välillä 0–668 µg/l. Uudenmaan ympäristökeskuksen alueelta MTBE:ä on havaittu yhteensä 130 havaintopaikasta, joista yli 30 prosenttia eli 44 paikkaa liittyvät saastuneisiin maihin, niiden kunnostukseen ja kunnostuksen jälkeiseen seurantaan. Valtaosa havaintopaikoista, lähes 70 prosenttia, eli 86 paikkaa eivät liity pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen tai seurantaan. Osa niistä kuitenkin sijaitsee huoltoasemien yhteydessä tai läheisyydessä (taulukko 3).

Taulukko 3. MTBE:n maksimipitoisuudet ja niiden jakautuminen pilaantuneisiin ja pilaantumattomiin maihin liittyviin havaintopaikkoihin Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella. MTBE:n hajukynnys on 15 µg/l ja makukynnys 40 µg/l.

| Pitoisuus µg/l  | Pilaantuneet maat |             | Ei pilaantuneet maat |             | Yhteensä   |              |
|-----------------|-------------------|-------------|----------------------|-------------|------------|--------------|
|                 | kpl               | %           | kpl                  | %           | kpl        | %            |
| alle 15 µg/l    | 31                | 70 %        | 71                   | 83 %        | 102        | 78 %         |
| 15-40 µg/l      | 3                 | 7 %         | 2                    | 2 %         | 5          | 4 %          |
| 40-100 µg/l     | 0                 | 0 %         | 3                    | 3 %         | 3          | 2 %          |
| 100-1000 µg/l   | 6                 | 14 %        | 4                    | 5 %         | 10         | 8 %          |
| yli 1000 µg/l   | 4                 | 9 %         | 6                    | 7 %         | 10         | 8 %          |
| <b>Yhteensä</b> | <b>44</b>         | <b>34 %</b> | <b>86</b>            | <b>66 %</b> | <b>130</b> | <b>100 %</b> |

Valtaosassa kaikista havaintopaikoista, yhteensä 102 havaintopaikassa, MTBE:n hajukynnys pohjavedessä (15 µg/l) ei ylity. Makukynnys (40 µg/l) ylittyy vajaan 20 prosentissa havaintopaikoista. Valtaosassa pilaantuneisiin maihin liittyvistä havaintopaikoista eli 70 prosentissa havaintopaikoista, hajukynnys ei ylity. Myös valtaosassa kohteissa, joissa ei ole todettu maaperän pilaantumista, (71 havaintopaikassa eli yli 80 prosentissa), pohjaveden MTBE:n pitoisuuden hajukynnys ei ylity. Makukynnys pohjavedessä ylittyy yli 20 prosentissa pilaantuneisiin maihin liittyvistä



Kuva 8. MTBE:n ja TAME:n maksimipitoisuudet havaintopaikoittain Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella.

havaintopaikoista ja 15 prosentissa kohtisiin, jossa ei ole havaittu maapeän pilaantumista. Makukynnyksen ylittävistä havaintopaikoista hieman yli 40 prosenttia liittyy pilaantuneisiin maihin ja valtaosa alueisiin, joissa ei ole todettu maaperän pilaantumista (taulukko 3).

Yli puolessa havaintopaikoista, joissa havaittiin pohjavedestä MTBE:ä, löytyi myös TAME:ä, jota on havaittu Uudenmaan ympäristökeskuksen alueelta yhteensä 80 havaintopaikasta (kuva 8). TAME:n pitoisuudet vaihtelevat Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella välillä 0–720 mg/l.

TAME:n havaintopaikat jakautuvat melko tasaisesti pilaantuneiden maaperä kohteiden ja pilaantumattomaan maaperään liittyviin havaintopaikkoihin. Havaintopaikoista lähes puolet eli 36 paikkaa liittyvät pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen ja kunnostuksen jälkeiseen seurantaan (taulukko 4).

Taulukko 4. TAME:n maksimipitoisuudet ja niiden jakautuminen pilaantuneisiin ja ei pilaantumattomiin maihin liittyviin havaintopaikkoihin Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella.

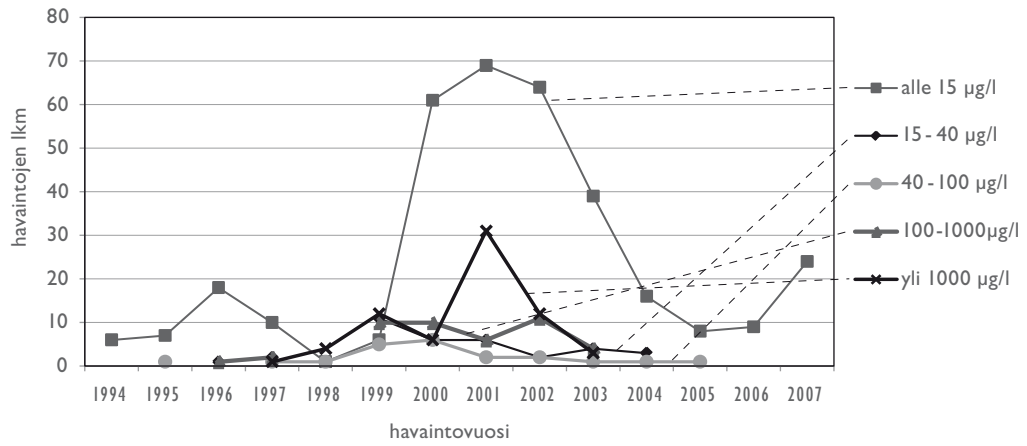
| Pitoisuus µg/l  | Pilaantuneet maat |             | Pilaantumaton maaperä |             | Yhteensä  |              |
|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|--------------|
|                 | kpl               | %           | kpl                   | %           | kpl       | %            |
| alle 15 µg/l    | 28                | 78 %        | 40                    | 91 %        | 68        | 85 %         |
| 15–40 µg/l      | 2                 | 6 %         | 2                     | 5 %         | 4         | 5 %          |
| 40–100 µg/l     | 2                 | 6 %         | 1                     | 2 %         | 3         | 4 %          |
| 100–1000 µg/l   | 1                 | 3 %         | 0                     | 0 %         | 1         | 1 %          |
| yli 1000 µg/l   | 3                 | 8 %         | 1                     | 2 %         | 4         | 5 %          |
| <b>Yhteensä</b> | <b>36</b>         | <b>45 %</b> | <b>44</b>             | <b>55 %</b> | <b>80</b> | <b>100 %</b> |

Valtaosassa havaintopaikoista (68 kpl) eli 85 prosentissa TAME:n hajukynnys pohjavedessä (15 µg/l) ei ylity. Makukynnys (40 µg/l) ylittyy yhteensä 8 havaintopaikassa eli 10 prosentissa havaintopaikoista. Valtaosassa pilaantuneisiin maihin liittyvistä havaintopaikoista (28 kpl eli lähes 80 prosentissa) hajukynnys ei ylity. Makukynnys ylittyy 6 havaintopaikassa eli yli 15 prosentissa pilaantuneisiin maihin liittyvistä havaintopaikoista ja vain kahdessa pilaantumattoman maaperäalueeseen liittyvistä havaintopaikoista eli lähes kaikki pohjaveden pitoisuushavainnoista, jotka ylittävät makukynnyksen, liittyvät pilaantuneisiin maihin (taulukko 4).

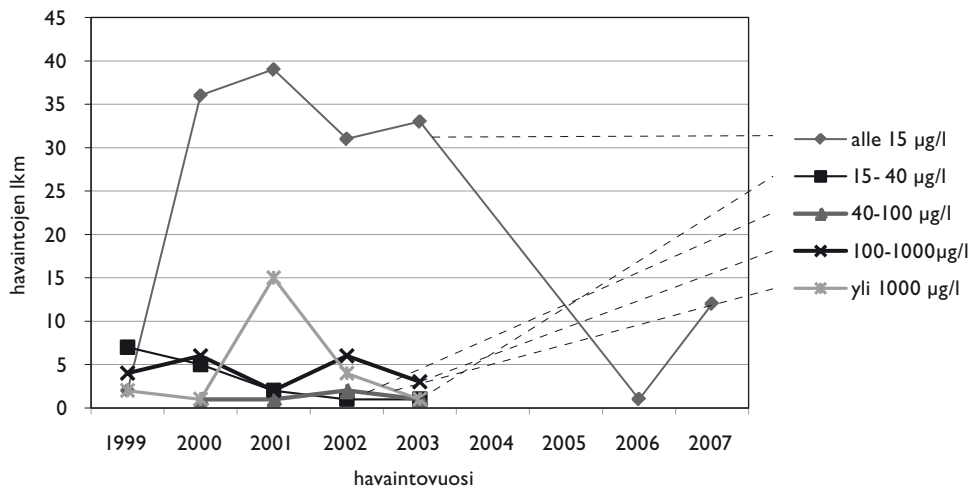
MTBE- ja TAME-pitoisuudet pohjavedessä vaihtelevat Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella samassa havaintopaikassa ajan suhteen. Ensimmäiset pohjaveden MTBE-mittaukset alkoivat vuonna 1994, jolloin MTBE-havainnoja tehtiin ainoastaan 6 kappaletta, joista kaikki jäivät alle hajukynnyksen (15 µg/l). Vuosina 1995–1997 valtaosa havainnoista jäi alle hajukynnyksen. 2000-luvun vaihteessa MTBE-mittauksia tehtiin seurannan alkuvaiheeseen verrattuna enemmän mutta vuosina 2000–2005 suurin osa havainnoista jäi alle hajukynnyksen. Vuosina 2004–2005 ainoastaan yksi havainto molempina vuosina ylitti makukynnyksen ja vuosina 2006–2007 kaikki tehdyt havainnot jäivät alle hajukynnyksen (kuva 9).

Ensimmäiset pilaantuneisiin maihin liittyvät pohjaveden MTBE-havainnot tehtiin vuonna 1999, jolloin lähes 90 prosenttia havainnoista ylitti hajukynnyksen (15 µg/l). Näistä hieman alle puolet ylitti myös makukynnyksen (40 µg/l). Kuitenkin vuosina 2000–2003 suurin osa havainnoista jäi alle hajukynnyksen. Vuonna 2007 kaikki pilaantuneisiin maihin liittyvät havainnot jäivät alle hajukynnyksen (kuva 10).

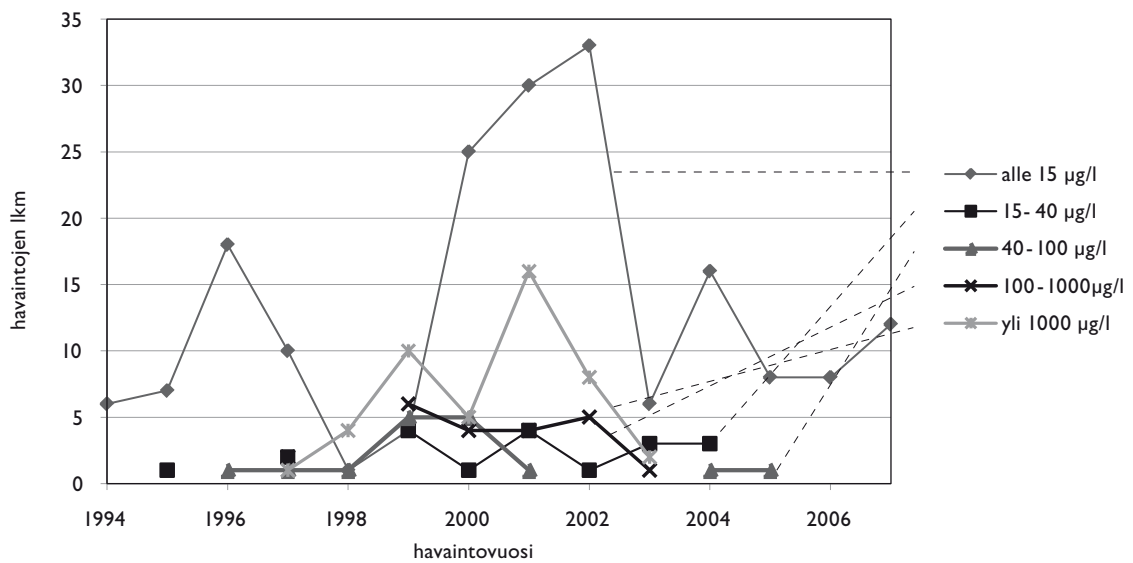
Ensimmäiset TAME-havainnot pohjavedestä tehtiin vuonna 1999, jolloin lähes 90 prosenttia havainnoista ylitti hajukynnyksen (15 µg/l). Näistä kuitenkin yli 60 prosenttia jäi alle makukynnyksen (40 µg/l). Ainoastaan kaksi havaintoa jäi alle hajukynnyksen. Vuosina 2000–2005 valtaosa havainnoista jäi kuitenkin alle hajukynnyksen.



Kuva 9. MTBE-pitoisuuksien kehitys havainnoittain vuosina 1994–2007 Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella.

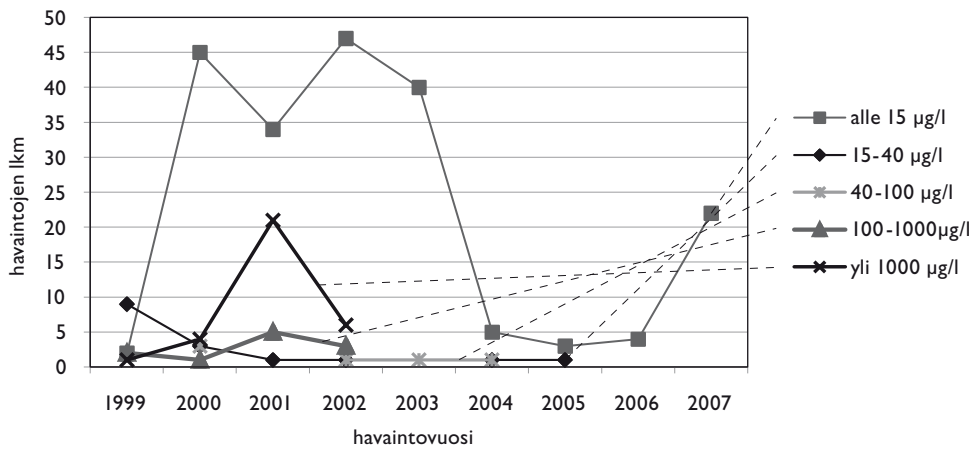


Kuva 10. MTBE-pitoisuuksien kehitys vuosina 1999–2007 Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella pohjavesihavainnoissa, jotka liittyvät pilaantuneisiin maihin.

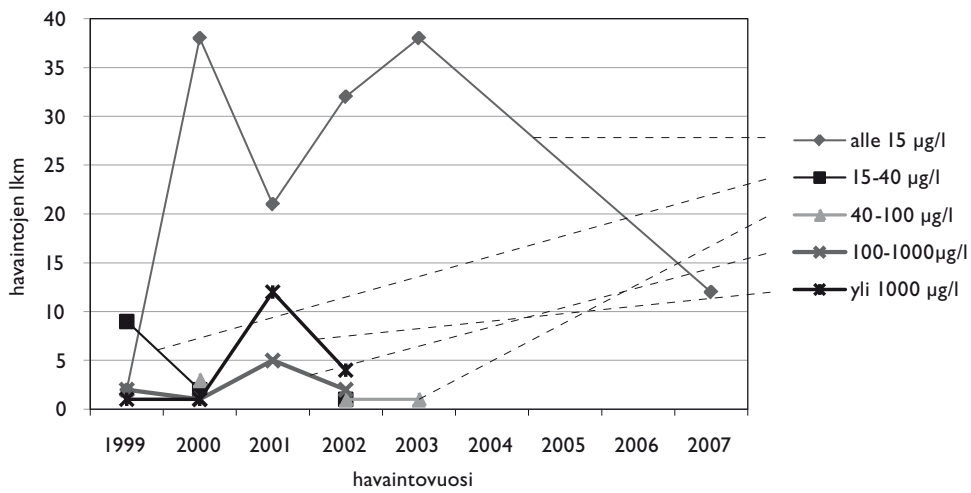


Kuva 11. MTBE-pitoisuuksien kehitys vuosina 1994–2007 Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka eivät liity pilaantuneisiin maihin.

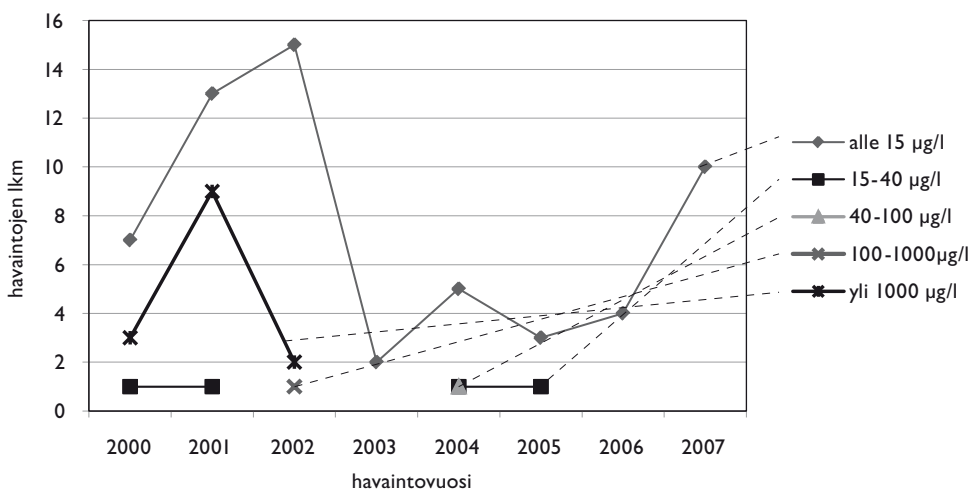




Kuva 12. TAME-pitoisuuksien kehitys havainnoittain vuosina 1999-2007 Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella.



Kuva 13. TAME-pitoisuuksien kehitys vuosina 1999-2007 Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka liittyvät pilaantuneisiin maihin.



Kuva 14. Pohjaveden TAME-pitoisuuksien kehitys vuosina 2000-2007 Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka eivät liity pilaantuneisiin maihin.

Vuosina 2006–2007 kaikki tehdyt pohjavesihavainnot jäivät alle hajukynnyksen (kuva 12). TAME-pitoisuuksien kehitys vuosina 1999–2007 noudattaa pääosin MTBE-pitoisuuksien kehitystä vuosina 1999–2007 lukuun ottamatta vuoden 1999 tilannetta, jolloin TAME-pitoisuuksista suurin osa jäi alle makukynnyksen ja MTBE-pitoisuuksista suurin osa ylitti myös makukynnyksen (kuva 9).

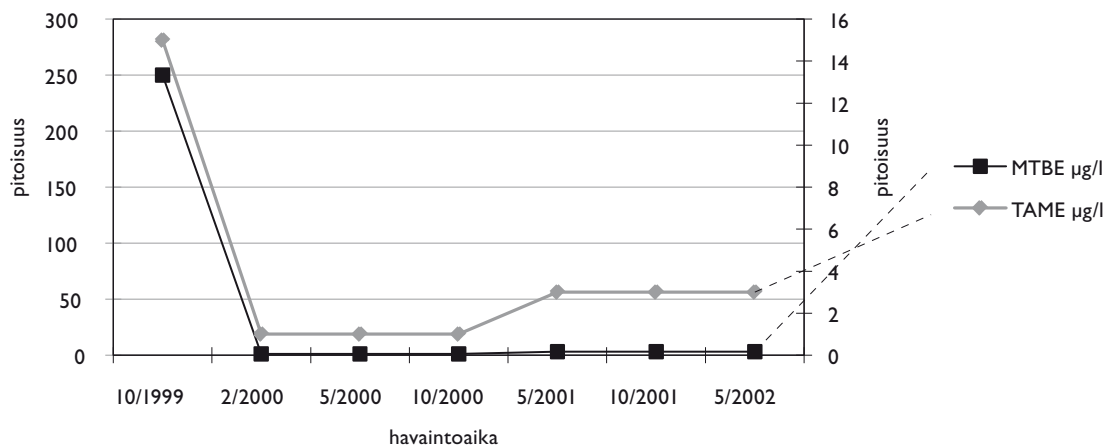
Ensimmäiset pohjaveden TAME-pitoisuushavainnot pohjavedessä tehtiin vuonna 2000 alueilla, joissa ei ollut todettu maaperän pilaantumista. Vuosina 2000–2005 valtaosa havainnoista jäi alle hajukynnyksen. Vuonna 2003 kaikki pohjavesihavainnot jäivät alle hajukynnyksen ja vuonna 2004 ainoastaan yksi havainto ylitti makukynnyksen. Vuosina 2006–2007 kaikki pohjavesihavainnot, jotka olivat alueilta, joiden maaperä ei ole todettu pilaantuneeksi, jäivät alle hajukynnyksen (kuvat 9, 12 ja 14).

Kuvassa 15 on esitetty pohjaveden MTBE- ja TAME-pitoisuuksien kehitystä samassa havaintopaikassa. Havaintoputken mittaukset liittyvät kohteeseen, jossa on todettu maaperän pilaantuminen. Havaintoputken pohjavesihavainnot ovat vuosilta 1999–2002. Vuonna 1999 on tehty yksi havainto, joka ylittää makukynnyksen (40 µg/l). Vuonna 2000 havainnot laskevat vuoden 1999 huippulukemista alle hajukynnyksen (15 µg/l). Vuodelta 2001 on kaksi havaintoa ja vuodelta 2002 yksi havainto, joista kaikki jäävät alle hajukynnyksen. Vuosien 2000–2002 kehityksen perusteella pohjaveden pitoisuudet näyttäisivät jääneen alle hajukynnyksen. TAME-pitoisuuksien kehitys noudattaa MTBE-pitoisuuksien kehitystä. Ainoastaan MTBE-pitoisuuden kehityksestä poiketen TAME:n ensimmäinen mitattu pohjavesipitoisuus jää ensimmäistä pohjaveden MTBE-pitoisuutta alhaisemmaksi. Se ylittää ainoastaan hajukynnyksen, kun MTBE:n pitoisuus pohjavedessä ylittää myös makukynnyksen.

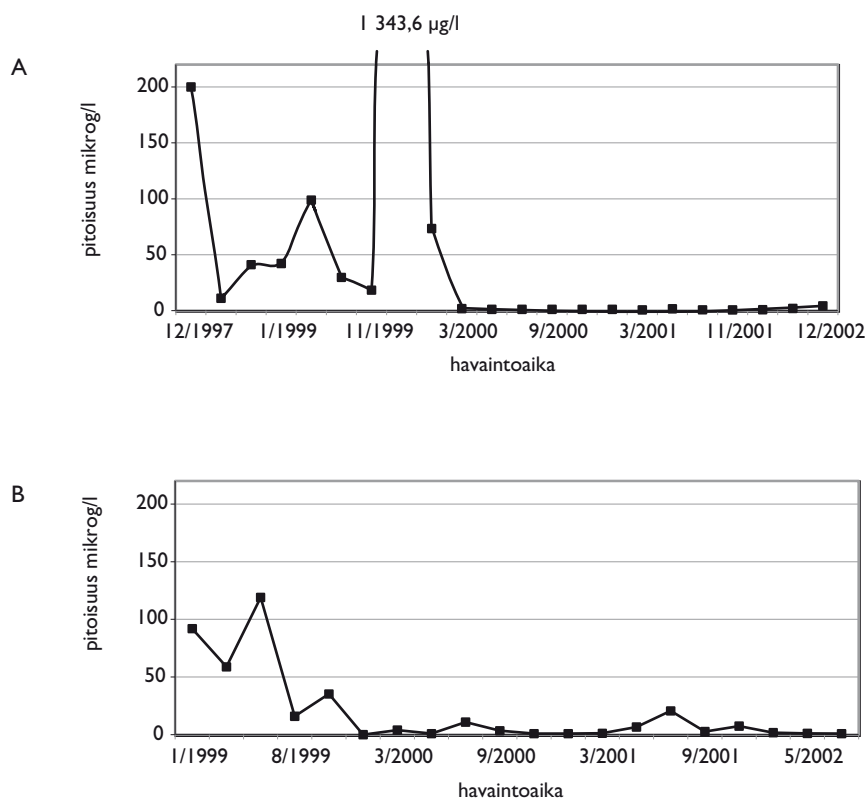
Kuvassa 16 on esitetty pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehitystä kahdessa havaintopaikassa. Havaintopaikoista ei ole TAME-havainnoita. Pohjaveden pitoisuudet havaintoputkissa A ja B on mitattu alueelta, jonka maaperä ei ole todettu pilaantuneeksi.

Havaintoputken A pohjavesihavainnot ovat vuosilta 1997–2002. Vuonna 1997 tehtiin yksi MTBE-havainto, joka ylitti makukynnyksen (40 µg/l). Vuonna 1998 tehdyistä kahdesta havainnosta toinen ylittää makukynnyksen mutta toinen jää alle hajukynnyksen (15 µg/l). Vuonna 1999 kolme havainnoista ylittää makukynnyksen ja kaksi hajukynnyksen (max. 1 343,6 µg/l, joulukuu 1999). Vuonna 2000 havainnot laskevat vuoden 1999 huippulukemista alle hajukynnyksen, kuten valtaosassa kyseisenä vuonna tehdyistä havainnoista. Ainoastaan ensimmäinen vuonna 2000 tehdyistä havainnoista ylittää makukynnyksen muiden jäädessä alle hajukynnyksen. Vuosina 2000–2002 havainnot jäävät alle hajukynnyksen. Kehityksen perusteella pohjaveden pitoisuudet näyttäisivät jääneen alle hajukynnyksen.

Havaintoputken B pohjavesihavainnot ovat vuosilta 1999–2002. Vuonna 1999 havaintoputkesta B tehdyistä havainnoista neljä ylittää makukynnyksen (40 µg/l) ja lisäksi yksi havainto hajukynnyksen (15 µg/l). Ainoastaan yhdessä havainnossa vuonna 1999 pitoisuus jää alle hajukynnyksen. Vuonna 2000 havainnot laskevat vuoden 1999 huippulukemista alle hajukynnyksen. Vuosina 2000–2002 havainnot jäävät alle hajukynnyksen lukuun ottamatta yhtä vuonna 2001 tehtyä havaintoa, jossa pohjaveden pitoisuus nousee poikkeuksellisesti yli hajukynnyksen.



Kuva 15. Esimerkki pilaantuneisiin maihin liittyvien pohjaveden MTBE- ja TAME-pitoisuuksien kehityksestä vuosina 1999–2002.



Kuva 16. Esimerkki pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehityksestä vuosina 1997–2002 pilaantumatoman maaperän alueella. Havaintoputki A kuvassa yläpuolella ja B alapuolella. Havaintopaikasta ei ole TAME havaintoja.

## Hämeen ympäristökeskus

POVET-rekisterin MTBE-pitoisuudet pohjavedessä Hämeen ympäristökeskuksen alueella vaihtelevat välillä 0–1 g/l. Hämeen ympäristökeskuksen alueelta MTBE:ä on havaittu yhteensä 613 havaintopaikasta, joista valtaosa, yli 65 prosenttia, eli 107 paikkaa liittyy pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen ja kunnostuksen jälkeiseen seurantaan. Yli 30 prosenttia havaintopaikoista eli 56 havaintopaikkaa eivät liity pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen tai seurantaan. Osa niistä kuitenkin sijaitsee huoltoasemien yhteydessä tai läheisyydessä (taulukko 5).

Taulukko 5. Pohjaveden MTBE:n maksimipitoisuudet ja niiden jakautuminen pilaantuneisiin ja pilaantumattomiin alueisiin liittyviin havaintopaikkoihin Hämeen ympäristökeskuksen alueella. MTBE:n hajukynnys on 15 µg/l ja makukynnys 40 µg/l.

| Pitoisuus µg/l  | Pilaantuneet maat |             | Pilaantumaton maaperä |             | Yhteensä   |              |
|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------|-------------|------------|--------------|
|                 | kpl               | %           | kpl                   | %           | kpl        | %            |
| alle 15 µg/l    | 69                | 64 %        | 52                    | 93 %        | 121        | 74 %         |
| 15–40 µg/l      | 13                | 12 %        | 1                     | 2 %         | 14         | 9 %          |
| 40–100 µg/l     | 8                 | 7 %         | 0                     | 0 %         | 8          | 5 %          |
| 100–1000 µg/l   | 9                 | 8 %         | 1                     | 2 %         | 10         | 6 %          |
| yli 1000 µg/l   | 8                 | 7 %         | 2                     | 4 %         | 10         | 6 %          |
| <b>Yhteensä</b> | <b>107</b>        | <b>66 %</b> | <b>56</b>             | <b>34 %</b> | <b>163</b> | <b>100 %</b> |

Valtaosassa kaikista pohjaveden havaintopaikoista, eli yli 70 prosentissa havaintopaikoista, MTBE:n hajukynnys (15 µg/l) ei ylity. Makukynnys (40 µg/l) ylittyy yhteensä 28 eli lähes 20 prosentissa havaintopaikoista. Havaintopaikat, joista on todettu hajukynnyksen alle jääviä pitoisuuksia pohjavedessä, jakaantuvat melko tasaisesti pilaantuneiden ja ei pilaantuneiden maiden kesken.

Makukynnyksen ylittävä pohjavesipitoisuus todettiin 25 havaintopaikassa eli yli 20 prosentissa pilaantuneisiin maihin liittyvistä havaintopaikoista ja vain kolmessa havaintopaikassa, jotka sijaitsivat alueella, jonka maaperää ei ole todettu pilaantuneeksi (taulukko 5).

Valtaosassa eli yli 90 prosentissa havaintopaikoista, joissa pohjavedestä havaittiin MTBE:ä, löytyi myös TAME:ä, jota havaittiin Hämeen ympäristökeskuksen alueelta yhteensä 147 havaintopaikasta (kuva 17). TAME-pitoisuudet Hämeen ympäristökeskuksen alueella vaihtelevat välillä 0–20 mg/l.

TAME:n havaintopaikoista valtaosa, eli 84 paikkaa, liittyvät pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen ja kunnostuksen jälkeiseen seurantaan. Hieman yli 40 prosenttia havaintopaikoista ei liity pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen tai seurantaan. Osa niistä kuitenkin sijaitsee huoltoasemien yhteydessä tai läheisyydessä (taulukko 6).

Valtaosassa havaintopaikoista eli yli 90 prosentissa, TAME:n hajukynnys (15 µg/l) ei ylity pohjavedessä. Makukynnys (40 µg/l) ylittyy pohjavessä yhteensä 8 havaintopaikassa eli vain kuudessa prosentissa pohjaveden havaintopaikoista. Valtaosa makukynnyksen ylittävistä havainnoista liittyy pilaantuneisiin maihin. Pilaantumattoman maaperän alueella sijaitsevista havaintopaikoista, kolmea tapausta lukuun ottamatta, pitoisuudet jäävät alle hajukynnyksen. Näistä edellä mainituista kolmesta havaintopaikasta kahdessa pohjaveden pitoisuus ylittää myös makukynnyksen (taulukko 6).

Taulukko 6. Pohjaveden TAME:n maksimipitoisuudet ja niiden jakautuminen pilaantuneisiin ja pilaantumattomaan maaperään liittyviin havaintopaikkoihin Hämeen ympäristökeskuksen alueella.

| Pitoisuus µg/l  | Pilaantuneet maat |             | Pilaantumaton maaperä |             | Yhteensä   |              |
|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------|-------------|------------|--------------|
|                 | kpl               | %           | kpl                   | %           | kpl        | %            |
| alle 15 µg/l    | 75                | 89 %        | 60                    | 95 %        | 135        | 92 %         |
| 15–40 µg/l      | 3                 | 4 %         | 1                     | 2 %         | 4          | 3 %          |
| 40–100 µg/l     | 1                 | 1 %         | 0                     | 0 %         | 1          | 1 %          |
| 100–1000 µg/l   | 3                 | 4 %         | 1                     | 2 %         | 4          | 3 %          |
| yli 1000 µg/l   | 2                 | 2 %         | 1                     | 2 %         | 3          | 2 %          |
| <b>Yhteensä</b> | <b>84</b>         | <b>57 %</b> | <b>63</b>             | <b>43 %</b> | <b>147</b> | <b>100 %</b> |

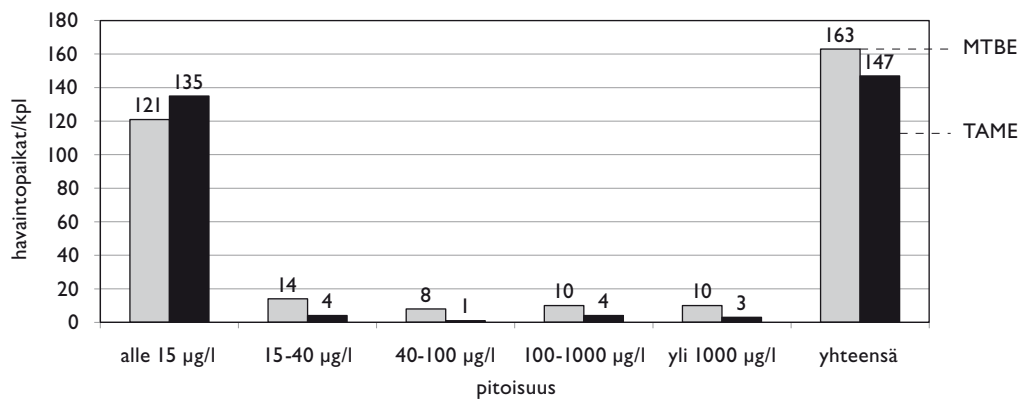
Ensimmäiset MTBE-mittaukset pohjavedestä alkoivat vuonna 1994, jolloin MTBE-havainnointia tehtiin 16 kappaletta, joista lähes puolet jäivät alle hajukynnyksen (15 µg/l) ja lähes saman verran eli viisi havaintoa ylitti makukynnyksen (40 µg/l). Seuraavana vuonna, vuonna 1995, mittauksia tehtiin jo enemmän, 33 kappaletta, joista edelleen lähes saman verran alitti hajukynnyksen ja ylitti makukynnyksen. Vuosina 1996–2006 valtaosa havainnoista jäi alle hajukynnyksen. Vuosina 2005–2006 ainoastaan yksi havainnoista molempina vuosina ylitti makukynnyksen. Vuonna 2007 puolet havainnoista jäi alle hajukynnyksen mutta vain kaksi havaintoa ylitti makukynnyksen (kuva 18).

Kaikki vuonna 1994 pohjavedestä tehdyistä MTBE-havainnoista eli 16 havaintoa liittyivät pilaantuneisiin maihin ja näistä lähes puolet alitti hajukynnyksen (15 µg/l). Melkein saman verran pitoisuuksista ylitti makukynnyksen (40 µg/l). Seuraavana vuonna, vuonna 1995, pilaantuneisiin maihin liittyviä pohjavesihavainnointia tehtiin jo enemmän, 32 kappaletta, mutta edelleen sama kehitys jatkui ja lähes saman verran havainnoista alitti hajukynnyksen ja ylitti makukynnyksen. Vuosina 1996–2005 suurin osa havainnoista jäi alle hajukynnyksen. Vuonna 2005 ainoastaan yksi havainnoista ylitti makukynnyksen. Vuonna 2007 kuitenkin vain yksi pohjavesihavainnoista jäi alle hajukynnyksen ja kaksi ylitti makukynnyksen (kuva 19).

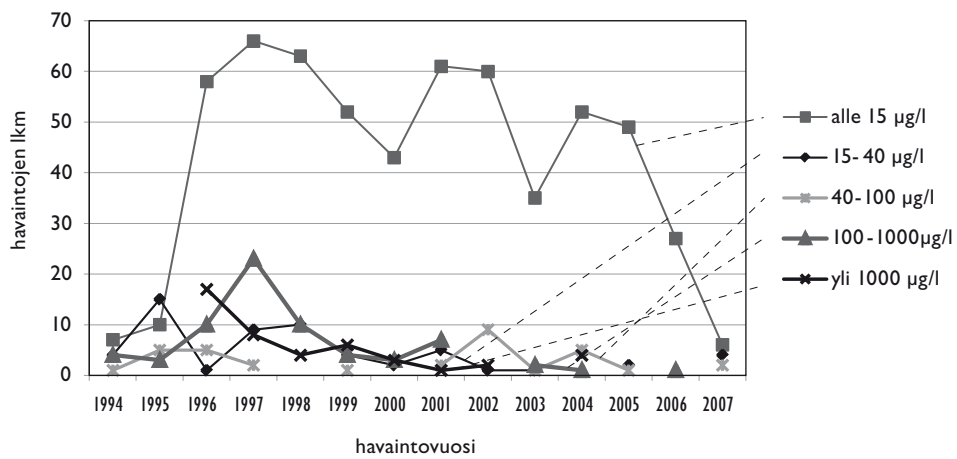
Ensimmäinen pohjaveden MTBE-pitoisuushavainto alueella, jonka maaperää ei ollut todettu pilaantuneeksi on vuodelta 1995. Pohjaveden pitoisuus oli alhainen ja jäi alle hajukynnyksen (15 µg/l). Vuodelta 1996 ei ole yhtään pilaantumattomiin maihin liittyvää pohjaveden MTBE-pitoisuushavaintoa. Vuonna 1997 pilaantumattomien maiden alueilta otetuista pohjavesinäytteistä on jo yhteensä 14 havaintoa, joiden pitoisuuksista vähän alle puolet alitti hajukynnyksen ja puolet ylitti makukynnyksen (40 µg/l). Vuosina 1998–2007 lähes kaikki pitoisuudet alittivat hajukynnyksen. Ainoastaan vuosina 1999 ja 2006 yhden ja vuonna 2004 kolmen näyteen pitoisuus ylitti makukynnyksen sekä vuonna 2003 yhden havainnon pitoisuus ylitti hajukynnyksen (kuva 20). Pilaantumattomien maiden aluesiin liittyvissä pohjavesihavainnoissa on todettu makukynnyksen ylittäviä pitoisuuksia vuosina 1998–2006 vain yksittäisiä ja lähes kaikki havainnot jäivät alle hajukynnyksen (kuva 18).

Ensimmäiset pohjaveden TAME-havainnot, 5 havaintoa, ovat vuodelta 1996, joista vain yksi ylitti makukynnyksen, muut havainnot jäivät alle hajukynnyksen (15 µg/l). Seuraavana vuonna TAME-havainnointia tehtiin jo enemmän, 22 havaintoa. Vuosina 1997–2007 valtaosa havainnoista jäivät alle hajukynnyksen. Vuonna 2000 ainoastaan yksi havainto ylitti hajukynnyksen ja vuonna 2002 kaksi havaintoa sekä vuosina 2003 ja 2007 yksi havainto molempina vuosina ylittivät makukynnyksen (40 µg/l). Vuonna 2006 tehdyistä havainnoista kaikkissa pitoisuudet jäivät alle hajukynnyksen (kuva 21).

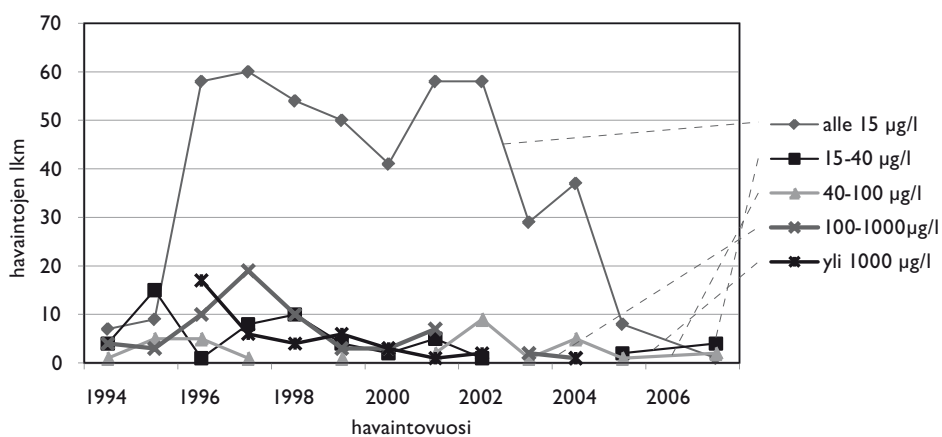
Kaikki vuosien 1996–2000 pohjavesihavainnot liittyivät pilaantuneisiin maihin. Poikkeuksena MTBE:n pitoisuuksiin on se, että pilaantuneisiin maihin liittyvissä TAME-havainnoissa on enemmän alle hajukynnyksen jääviä ja vähemmän makukynnyksen ylittäviä havainnointia (kuva 18).



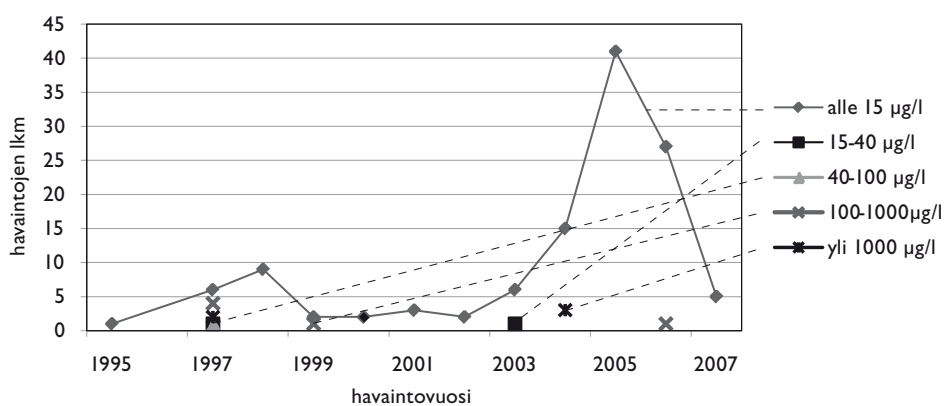
Kuva 17. Pohjaveden MTBE:n ja TAME:n maksimipitoisuudet havaintopaikoittain Hämeen ympäristökeskuksen alueella.



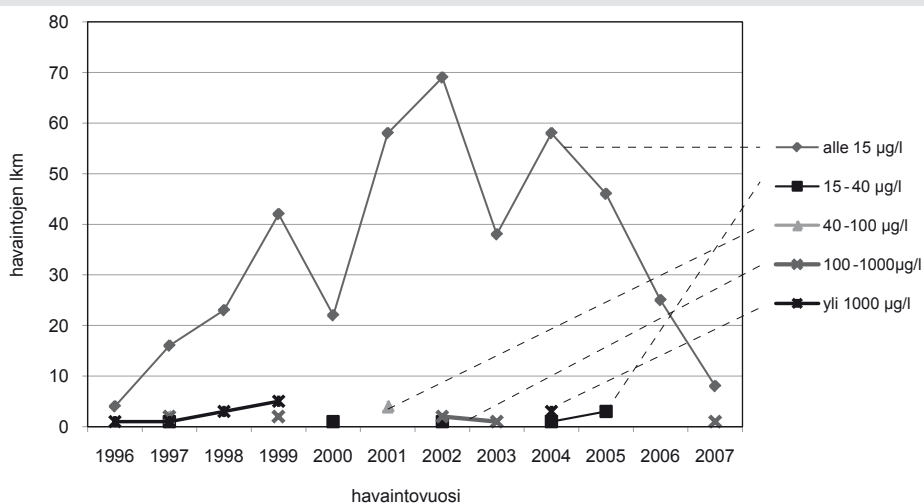
Kuva 18. Pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehitys havainnoittain vuosina 1994–2007 Hämeen ympäristökeskuksen alueella.



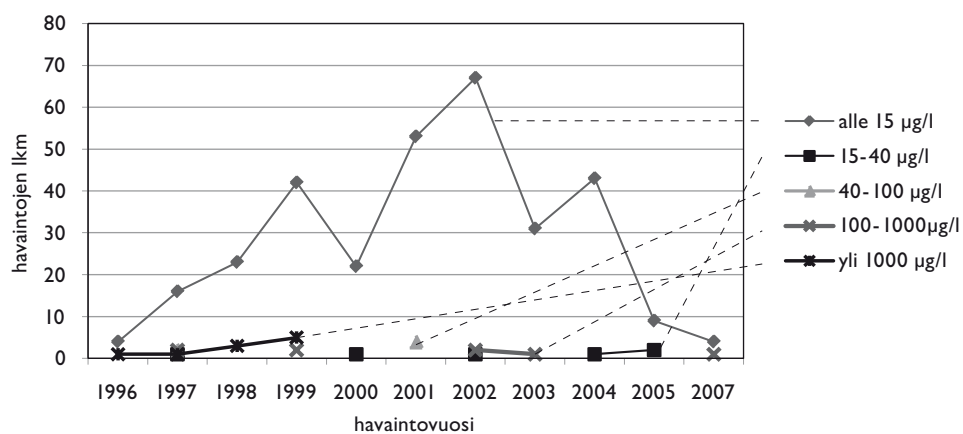
Kuva 19. MTBE-pitoisuuksien kehitys vuosina 1994–2007 Hämeen ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka liittyvät pilaantuneisiin maihin.



Kuva 20. MTBE-pitoisuuksien kehitys vuosina 1995–2007 Hämeen ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka eivät liity pilaantuneisiin maihin.



Kuva 21. Pohjaveden TAME-pitoisuuksien kehitys havainnoittain vuosina 1996–2007 Hämeen ympäristökeskuksen alueella.



Kuva 22. TAME-pitoisuuksien kehitys vuosina 1996–2007 Hämeen ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka liittyvät pilaantuneisiin maihin.



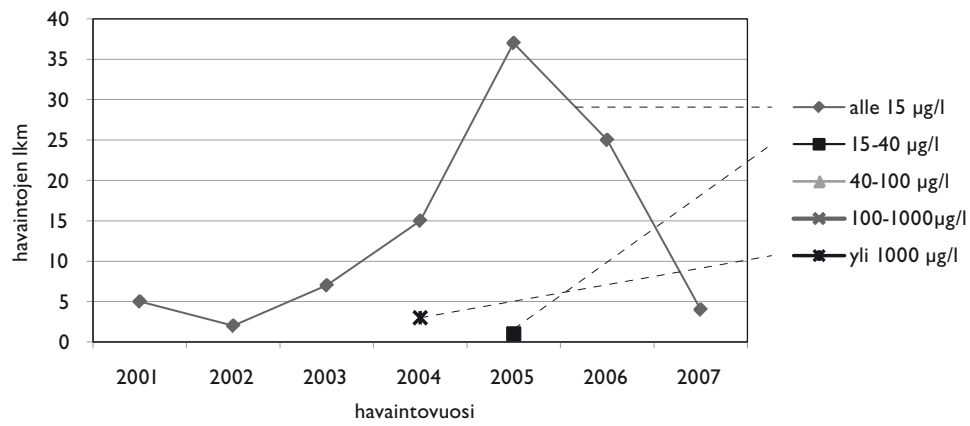
Ensimmäiset viisi pohjaveden TAME-pitoisuushavaintoa alueilta, joiden maaperää ei ole todettu pilaantuneeksi, tehtiin vuonna 2001. Lähes kaikki tehdyt TAME-havainnot jäivät alle hajukynnyksen (15 µg/l) lukuun ottamatta vuosien 2004 kolmea havaintoa, jotka ylittivät makukynnyksen (40 µg/l) ja vuoden 2005 yhtä havaintoa, joka ylittää hajukynnyksen. (kuvat 18, 21 ja 23).

Kuvassa 24 on esitetty MTBE- ja TAME-pitoisuuksien kehitystä samassa havaintopaikassa. Suojapumppauskaivon mittaukset liittyvät pilaantuneisiin maihin. Esimerkki liittyy pitkään jatkuneen huoltamotoiminnan ja bensiinipäästön aiheuttamaan maaperän pilaantumiseen. Havaintopaikka sijaitsee vedenhankintaa varten tärkeän (I-luokan) pohjavesialueen pohjaveden muodostumisalueella.

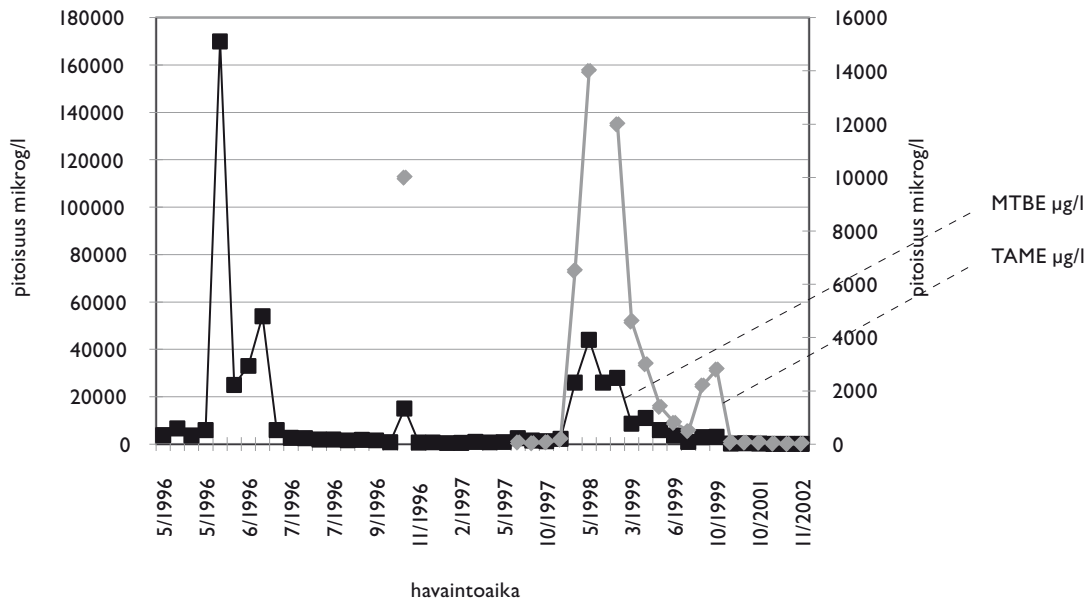
Havaintopaikalla on ollut huoltamotoimintaa vuosina 1961–1997, joka on aiheuttanut maaperän pilaantumista öljyperäisillä hiilivedyillä vuosien mittaan. Lisäksi vuonna 1995 tapahtui noin 100 litran bensiinivuoto. Se havaittiin vuoden 1995 lopussa ja likaantunut maamassa poistettiin vuoden 1996 alkupuolella.

Vuoden 1996 aikana maaperälle tehtiin huokosilmapuhdistus sekä aloitettiin pohjaveden suojapumppaukset. Kunnostustoimenpiteiden seurauksena pohjaveden MTBE-pitoisuus on laskenut selvästi. Huokosilmapuhdistus lopetettiin vuonna 1997 ja suojapumppaus vuoden 1998 alussa. Suojapumppaus käynnistettiin kuitenkin uudelleen vuonna 1999, koska pohjaveden MTBE-pitoisuus alkoi kohota uudelleen. Tämän jälkeen suojapumppaus on ollut jatkuvasti käynnissä pieniä katkoksia lukuun ottamatta. Vuonna 1999 asiasta annettiin PIMA-päätös. Sen jälkeen havaintopaikassa on tehty päätöksen mukaisia töitä kuten massanvaihto ja suojapumppaus. Pohjaveden laatua tarkkaillaan jatkuvasti. Vanhan huoltamotoiminnan kaikki rakenteet on purettu.

Kyseisen paikan havainnot ovat vuosilta 1996–2002. Vuonna 1996 lähes kaikki kaivosta tehdyt havainnot lukuun ottamatta kolmea loppuvuodesta tehtyä mittausta ylittivät 1000 µg/l rajan. Vuoden 1996 lopussa kolme havaintoa ja vuoden 1997 alussa tehdyt havainnot jäivät alle 1000 µg/l. Havainnoissa näkyy kunnostustoimenpiteistä johtuva MTBE-pitoisuuden lasku pohjavedessä. Vuoden 1997 loppupuolella havainnot nousevat jälleen yli 1000 µg/l johtuen huokosilmapuhdistuksen lopettamisesta. Vuonna 1998 pitoisuudet nousevat edelleen johtuen suojapumppauksen lopettamisesta vuoden 1998 alussa. Suojapumppauksen aloittaminen uudelleen vuonna 1999 näkyy MTBE-pitoisuuden laskuna vuosina 1999–2002. MTBE-pitoisuus on laskenut vuoden 1996 huippulukemista ja vuodesta 1999 vuoteen 2002 pitoisuudessa on havaittavissa laskeva kehitys. MTBE-pitoisuus pohjavedessä on kuitenkin vuonna 2002 saatujen havaintojen mukaan edelleen yli makukynnyksen. TAME-pitoisuuksien kehitys noudattaa MTBE-pitoisuuksien kehitystä, mutta TAME-pitoisuudet ovat kuitenkin selvästi MTBE-pitoisuuksia jatkuvasti alhaisemmat. Vuonna 2002 tulosten perusteella TAME-pitoisuus pohjavedessä näyttäisi laskeneen alle hajukynnyksen.



Kuva 23. Pohjaveden TAME-pitoisuuksien kehitys vuosina 2001–2007 Hämeen ympäristökeskuk- sen alueella havainnoissa, jotka eivät liity pilaantuneisiin maihin.



Kuva 24. Esimerkki saastuneisiin maihin liittyvien pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehityksestä vuosina 1996–2002.

### Pohjois-Karjalan ympäristökeskus

POVET-tietojärjestelmään tallennetut pohjaveden MTBE-pitoisuudet Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella vaihtelevat välillä 0–40 mg/l. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueelta MTBE:ä on havaittu yhteensä 105 havaintopaikasta, joista valtaosa, 67 paikkaa eli yli 60 prosenttia, liittyy pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen ja kunnostuksen jälkeiseen seurantaan. Edellä mainituista 38 havaintopaikkaa eivät liity pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen tai seurantaan. Osa niistä kuitenkin sijaitsee huoltoasemien yhteydessä tai läheisyydessä (taulukko 7).

Taulukko 7. Pohjaveden MTBE:n maksimipitoisuudet ja niiden jakautuminen pilaantuneisiin ja pilaantumattomiin alueisiin liittyviin havaintopaikkoihin Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella. MTBE:n hajukynnys on 15 µg/l ja makukynnys 40 µg/l.

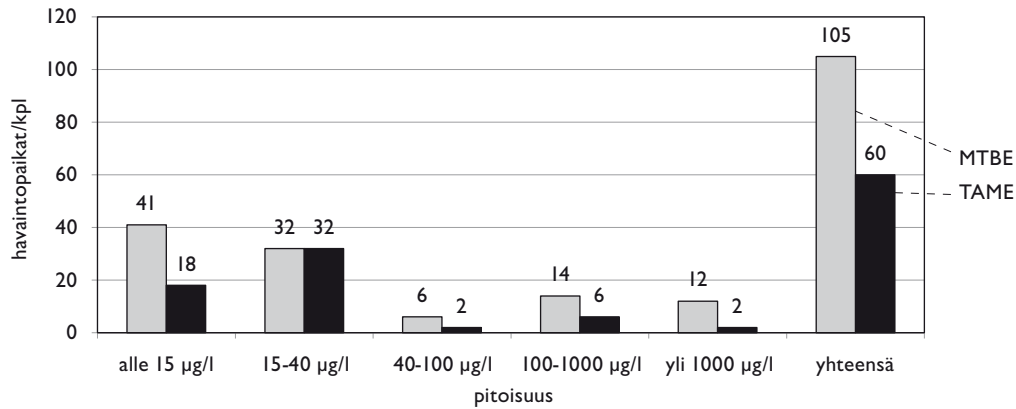
| Pitoisuus µg/l  | Pilaantuneet maat |             | Pilaantumaton maaperä |             | Yhteensä   |              |
|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------|-------------|------------|--------------|
|                 | kpl               | %           | kpl                   | %           | kpl        | %            |
| alle 15 µg/l    | 19                | 28 %        | 22                    | 58 %        | 41         | 39 %         |
| 15–40 µg/l      | 25                | 37 %        | 7                     | 18 %        | 32         | 30 %         |
| 40–100 µg/l     | 5                 | 7 %         | 1                     | 3 %         | 6          | 6 %          |
| 100–1000 µg/l   | 12                | 18 %        | 2                     | 5 %         | 14         | 13 %         |
| yli 1000 µg/l   | 6                 | 9 %         | 6                     | 16 %        | 12         | 11 %         |
| <b>Yhteensä</b> | <b>67</b>         | <b>64 %</b> | <b>38</b>             | <b>36 %</b> | <b>105</b> | <b>100 %</b> |

Yhteensä 41 havaintopaikassa, eli lähes 40 prosentissa havaintopaikoista, pohjaveden pitoisuus ei ylitä MTBE:n hajukynnystä (15 µg/l). Makukynnys (40 µg/l) ylittyi yhteensä 32 havaintopaikassa eli 30 prosentissa havaintopaikoista. Pilaantuneisiin maihin liittyvistä havaintopaikoista yli 30 prosenttia ylittää makukynnyksen. Havaintopaikoissa, jotka sijaitsevat pilaantumattoman maaperän alueella, pohjaveden pitoisuus ylittää makukynnyksen 9 paikassa eli 20 prosentissa havaintopaikoista (taulukko 7).

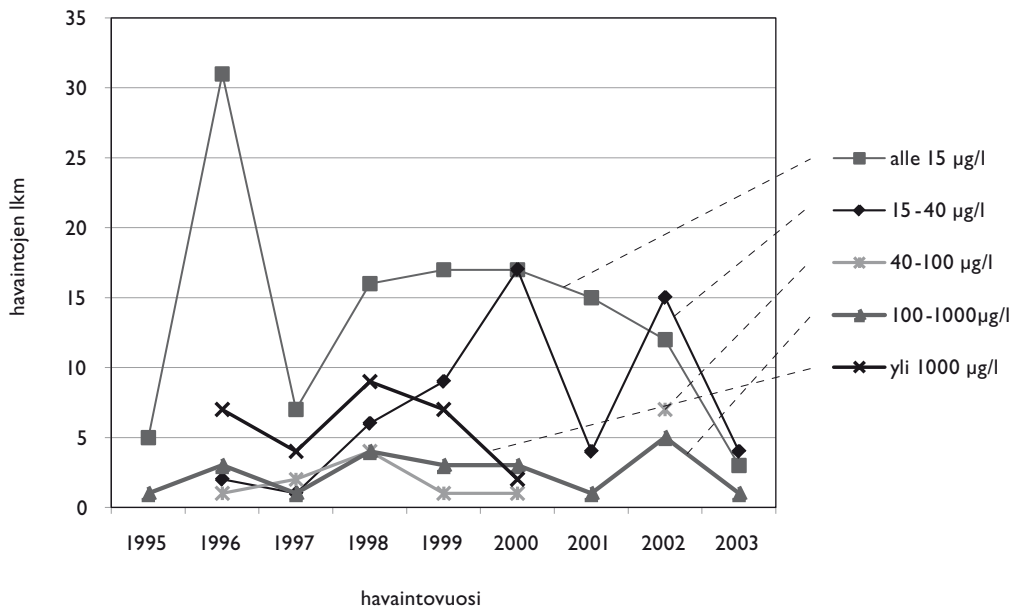
Yli puolessa havaintopaikoista, joista pohjavedestä on mitattu MTBE:ä, on havaittu myös TAME:ä. TAME:ä on havaittu Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueelta pohjavedessä yhteensä 60 havaintopaikasta (kuva 25). TAME-pitoisuudet vaihtelevat Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella välillä 0–19 mg/l. Havaintopaikoista, joista on mitattu TAME:a valtaosa eli yli 80 prosenttia, liittyy pilaantuneisiin maihin, niiden kunnostukseen ja kunnostuksen jälkeiseen seurantaan (taulukko 8).

Taulukko 8. Pohjaveden TAME:n maksimipitoisuudet ja niiden jakautuminen pilaantuneisiin ja pilaantumattomiin alueisiin liittyviin havaintopaikkoihin Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueelle.

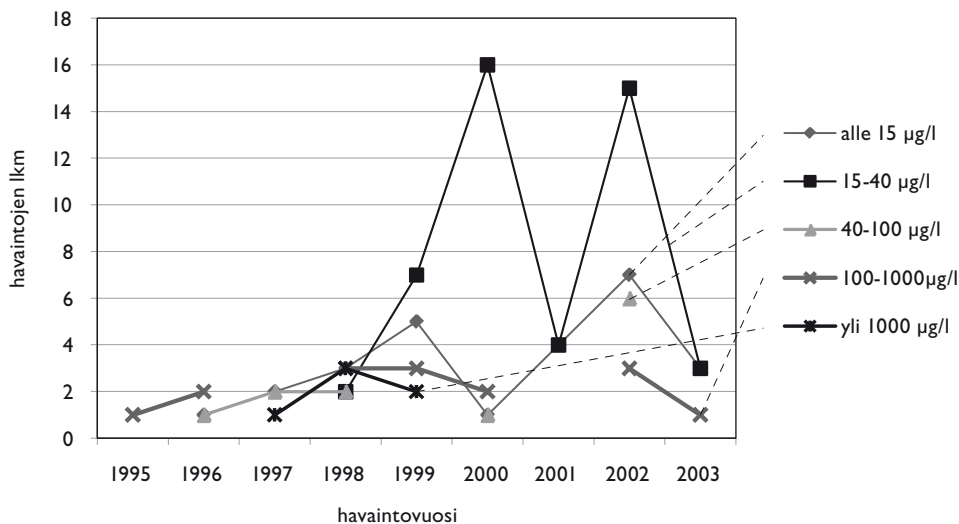
| Pitoisuus µg/l  | Pilaantuneet maat |             | Pilaantumaton maaperä |             | Yhteensä  |              |
|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|--------------|
|                 | kpl               | %           | kpl                   | %           | kpl       | %            |
| alle 15 µg/l    | 12                | 24 %        | 6                     | 60 %        | 18        | 30 %         |
| 15–40 µg/l      | 29                | 58 %        | 3                     | 30 %        | 32        | 53 %         |
| 40–100 µg/l     | 2                 | 4 %         | 0                     | 0 %         | 2         | 3 %          |
| 100–1000 µg/l   | 5                 | 10 %        | 1                     | 10 %        | 6         | 10 %         |
| yli 1000 µg/l   | 2                 | 4 %         | 0                     | 0 %         | 2         | 3 %          |
| <b>Yhteensä</b> | <b>50</b>         | <b>83 %</b> | <b>10</b>             | <b>17 %</b> | <b>60</b> | <b>100 %</b> |



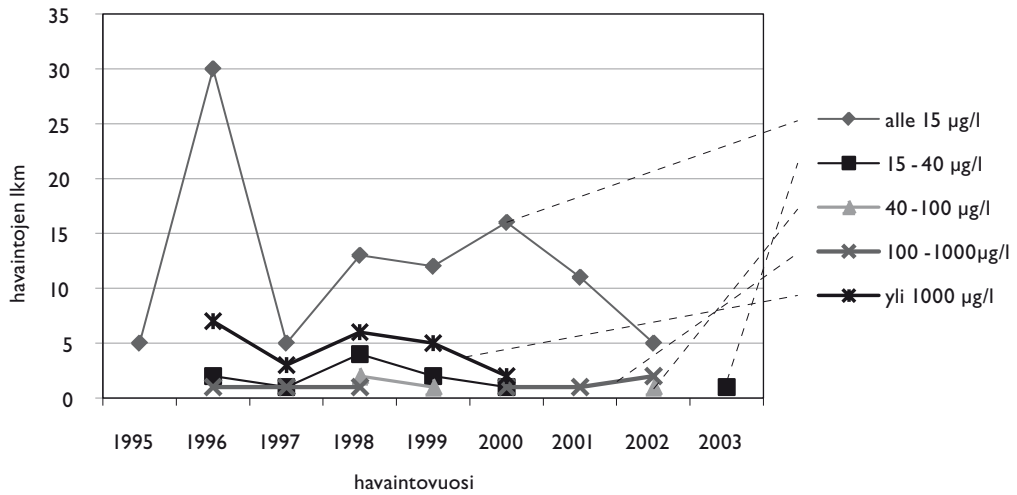
Kuva 25. Pohjaveden MTBE:n ja TAME:n maksimipitoisuudet havaintopaikoittain Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella.



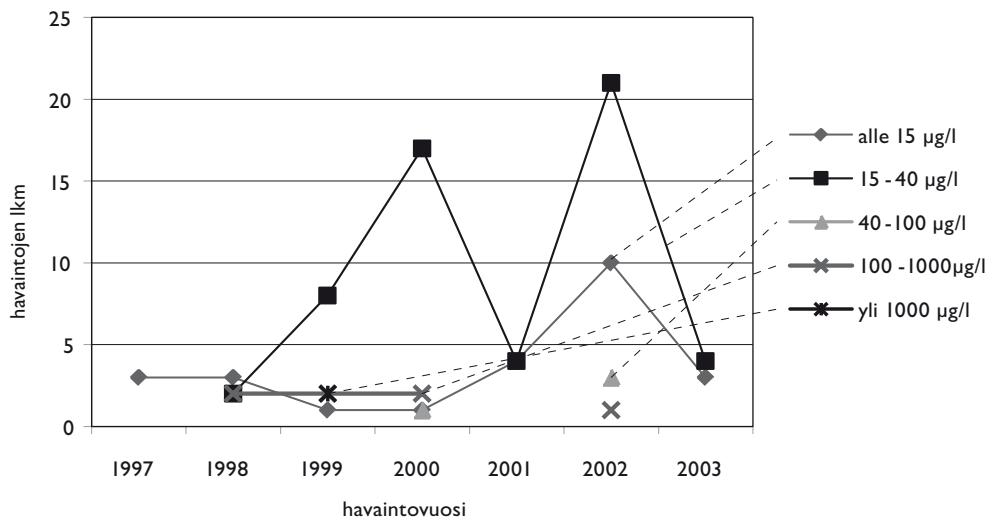
Kuva 26. Pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehitys havainnoittain vuosina 1995–2003 Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella.



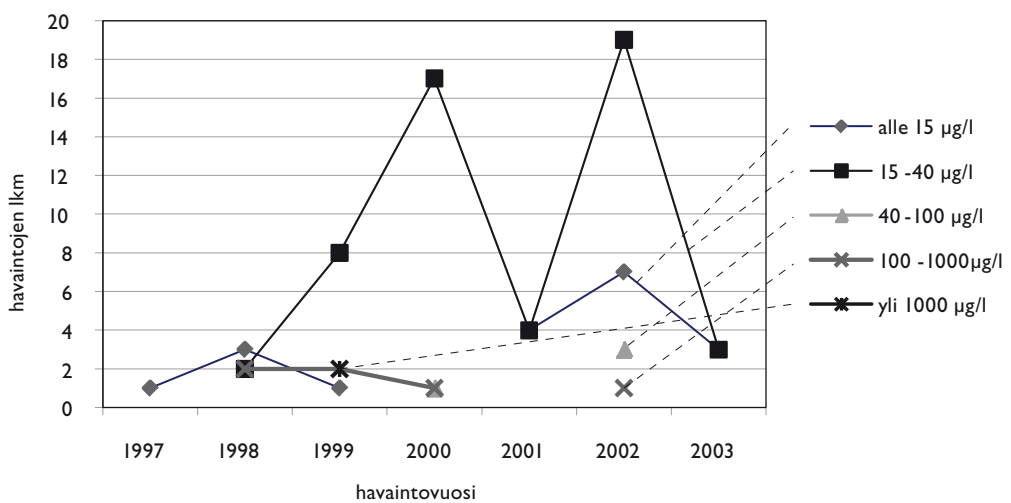
Kuva 27. Pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehitys vuosina 1997–2003 Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella paikoissa, jotka liittyvät pilaantuneisiin maihin.



Kuva 28. Pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehitys vuosina 1997–2003 Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka eivät liity pilaantuneisiin maihin.



Kuva 29. Pohjaveden TAME-pitoisuuksien kehitys havainnoittain vuosina 1997–2003 Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella.



Kuva 30. Pohjaveden TAME-pitoisuuksien kehitys vuosina 1997–2003 Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka liittyvät pilaantuneisiin maihin.

Pohjaveden pitoisuus ei ylitä TAME:n hajukynnystä (15 µg/l) 18 havaintopaikassa. Pohjaveden pitoisuus ylittää makukynnyksen (40 µg/l) yhteensä 10 havaintopaikassa eli 16 prosentissa havaintopaikoista. Näistä paikoista ainoastaan yksi sijaitsee alueella, jonka maaperä ei ole pilaantunut (taulukko 8).

Pohjaveden MTBE- ja TAME-pitoisuudet vaihtelevat Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella samassakin havaintopaikassa ajan suhteen. Ensimmäiset MTBE-mittaukset alkoivat vuonna 1995, jolloin pohjaveden MTBE-pitoisuushavaintoja tehtiin ainoastaan 6 kappaletta, joista vain yhdessä pitoisuus ylitti makukynnyksen (40 µg/l) muiden jäädessä alle hajukynnyksen (15 µg/l). Seuraavana vuonna, vuonna 1996, MTBE-havaintojen määrä lisääntyi. Vuonna 1996 tehdyistä pohjaveden MTBE-havainnoista valtaosa eli 70 prosenttia jäi alle hajukynnyksen. Makukynnyksen ylitti 25 prosenttia tehdyistä havainnoista. Vuosina 1997–1998 alle hajukynnyksen jääviä ja makukynnyksen ylittäviä havaintoja oli lähes saman verran. Vuosina 1999–2003 alle hajukynnyksen jääviä havaintoja oli selvästi makukynnyksen ylittäviä havaintoja enemmän, vähintään hieman alle puolet havainnoista, poikkeuksena vuosi 2002, jolloin alle hajukynnyksen jääviä ja makukynnyksen ylittäviä havaintoja oli lähes saman verran. Vuonna 2001 ja 2003 makukynnyksen ylitti kuitenkin vain yksi havainto (kuva 26).

Vuodelta 1995 on ainoastaan yksi pilaantuneisiin maihin liittyvä pohjaveden MTBE-pitoisuushavainto, joka ylitti makukynnyksen (40 µg/l), (kuva 27).

Vuosina 1995–2002 puolet tai yli puolet pohjaveden MTBE-pitoisuushavainnoista jää alle hajukynnyksen (15 µg/l) kohteissa, joissa maaperä ei ole pilaantunut. Vuonna 2003 on tehty vain yksi pilaantumattoman maaperän alueella sijaiseva pohjaveden MTBE-pitoisuushavainto, jonka pitoisuus jää välille 15–40 µg/l, (kuvat 26 ja 28).

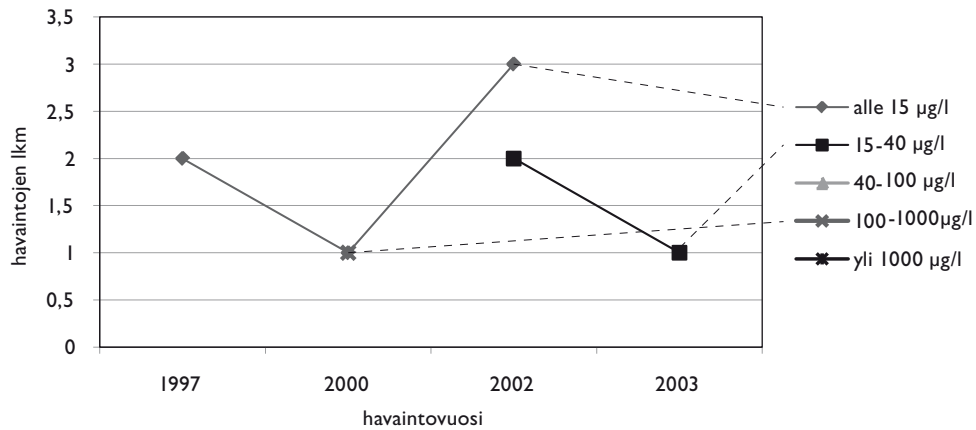
Ensimmäiset pohjaveden TAME-pitoisuushavainnot tehtiin vuonna 1997, jolloin kaikki kolme havaintoa jäivät alle hajukynnyksen (15 µg/l). Vuosina 2001–2003 hajukynnyksen alle jääviä havaintoja oli enemmän kuin makukynnyksen ylittäviä havaintoja. Vuosina 2001 ja 2003 makukynnys ei ylittynyt yhdessäkään havainnossa (kuva 29).

Pilaantuneisiin maihin liittyvien pohjaveden TAME-pitoisuuksien kehitys poikkeaa vuosina 1999–2000 pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehityksestä (kuva 26).

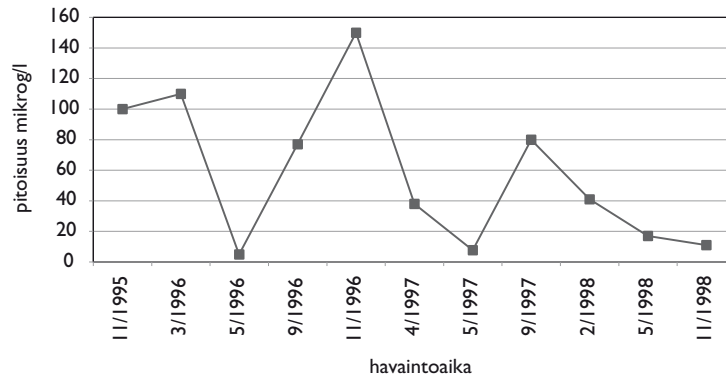
TAME-havainnoissa on kyseisenä ajanjaksona prosentuaalisesti enemmän makukynnyksen (40 µg/l) ylittäviä havaintoja ja vähemmän hajukynnyksen (15 µg/l) alle jääviä havaintoja kuin MTBE:n kehityksessä samana ajanjaksona.

Vuonna 1997–2002 pilaantumattoman maaperän kohteissa pohjaveden TAME-pitoisuuksista valtaosa jää alle hajukynnyksen (15 µg/l), (kuvat 26, 28 ja 31).

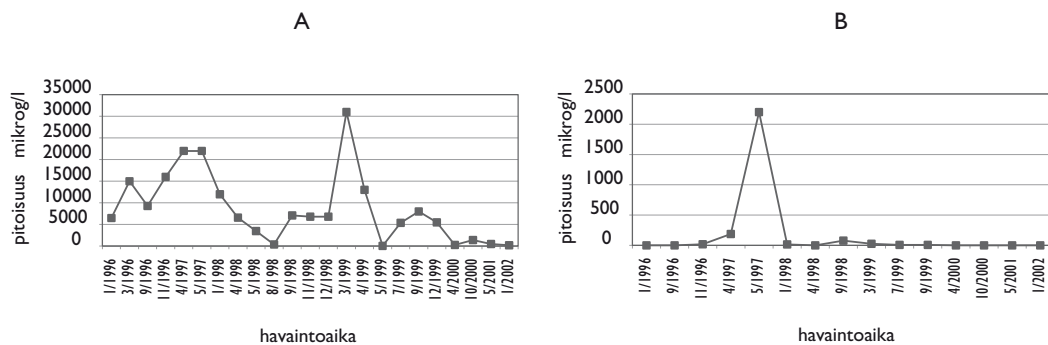
Kuvissa 32 ja 33 on esitetty pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehitystä samassa havaintopaikassa. Havaintopaikoista ei ole pohjaveden TAME:n pitoisuushavaintoja. Havaintoputken mittaukset liittyvät maaperän pilaantumistapaukseen. Mittaukset ovat vuosilta 1995–1998. Vuonna 1995 havaintopaikasta on tehty yksi mittaus, jonka pitoisuus ylittää makukynnyksen (40 µg/l). Vuosina 1996–1997 tehdyistä havainnoista vain yksi jää alle hajukynnyksen (15 µg/l) ja kaksi havaintoa ylittää makukynnyksen molempina vuosina. Vuonna 1998 tehdyistä havainnoista yksi alittaa hajukynnyksen ja vastaavasti vain yksi ylittää makukynnyksen. Havaintopaikan pohjaveden MTBE-pitoisuudessa on ajanjaksona 1995–1998 havaittavissa melko suurta vaihtelua. Vuoden 1997 loppupuolelta pitoisuudessa on kuitenkin havaittavissa laskeva kehitys ja viimeisen mittauksen perusteella pohjaveden MTBE-pitoisuus jäisi alle hajukynnyksen.



Kuva 31. Pohjaveden TAME-pitoisuuksien kehitys vuosina 1997–2003 Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella havainnoissa, jotka eivät liity pilaantuneisiin maihin.



Kuva 32. Esimerkki pilaantuneisiin maihin liittyvien kohteiden pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehityksestä vuosina 1995–1998.



Kuva 33. Esimerkki pilaantumattoman maaperän alueella sijaitsevien havaintopaikkojen pohjaveden MTBE-pitoisuuksien kehityksestä vuosina 1996–2002. Kaivo A kuvassa vasemmalla ja kaivo B kuvassa oikealla.



Toisessa esimerkkitapauksessa molempien havaintopaikkojen mittaukset pohjavedestä ovat vuosilta 1996–2002. Havaintopaikassa A pohjaveden MTBE-pitoisuus on vaihdellut melko paljon. Pitoisuus on laskenut vuoden 1999 huippulukemista, mutta ylittää edelleen makukynnyksen (40 µg/l).

Havaintopaikassa B pohjaveden MTBE-pitoisuudet ovat selvästi havaintoputken A pitoisuuksia alhaisemmat ja pitoisuuden vaihtelu ei ole niin suurta. Vuonna 1996 kaksi havainnoista jää alle hajukynnyksen (15 µg/l) ja yksi ylittää hajukynnyksen. Vuonna 1997 tehdyt kaksi havaintoa ylittävät makukynnyksen (40 µg/l) ja MTBE-pitoisuus nousee havaintopaikassa huippulukemiin. Vuonna 1998 pitoisuus laskee edellisen vuoden huippulukemista ja pohjaveden pitoisuus ylittää makukynnyksen vain yhden havainnon osalta. Vuonna 1999 vain yksi havainto ylittää makukynnyksen ja kaksi havaintoa jää alle hajukynnyksen. Vuonna 2000 tehdyt kaksi havaintoa ja vuosina 2001–2002 tehty yksi havainto molempina vuosina alittaa hajukynnyksen. Vuoden 1998 lopusta lähtien havaintopaikan pohjaveden MTBE-pitoisuudessa on havaittavissa laskeva kehitys ja pitoisuus näyttävät vuosien 1999–2002 tulosten perusteella jääneen havaintopaikassa alle hajukynnyksen.

## Tulosten tarkastelu

POVET-aineistossa yksittäisestä havaintopaikasta otettujen pohjavesinäytteiden määrä vaihtelee yhdestä yksittäisestä näytteestä aina seurantaan liittyviin pidempiin aikasarjoihin. Aineiston perusteella kolmen ympäristökeskuksen, Uudenmaan, Hämeen ja Pohjois-Karjalan, alueella eniten pohjaveden MTBE-pitoisuushavaintoja oli Hämeen ympäristökeskuksen alueelta, josta niitä oli yhteensä 163 havaintopaikasta. Toiseksi eniten MTBE-havaintoja oli Uudenmaan ympäristökeskuksen alueelta, 130 havaintopaikasta. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueelta pohjaveden MTBE-pitoisuushavaintoja oli vähiten, 105 havaintopaikasta. Jakauma saattaa kuitenkin johtua MTBE:n ja pohjavesitietojen tallennustilanteesta POVET:issa, ei välttämättä todellisesta MTBE:n esiintymisestä pohjavedessä. Lisäksi eri ympäristökeskusten välillä voi olla eroja tarkkailumääräyksistä.

Hämeen ja Pohjois-Karjalan ympäristökeskusten alueilla todettujen pohjaveden MTBE-pitoisuuksista valtaosa liittyi pilaantuneisiin maihin. Hämeen alueella jopa yli 65 prosenttia havainnoista liittyi pilaantuneisiin maihin, vastaavasti taas Uudenmaan ympäristökeskuksen alueen havainnoista vain runsas 30 prosenttia liittyi pilaantuneisiin maihin. Tulosten tulkinnessa on kuitenkin huomioitava, että pohjavesitietojärjestelmään ei ole välttämättä tallennettu tietoa siitä, liittyykö havainto pilaantumistapaukseen. Myös tässä käytännössä voi eri ympäristökeskusten välillä olla eroja.

Valtaosassa havaintopaikoista, joissa havaittiin MTBE:ä, löytyi myös TAME:a. Hämeen ympäristökeskuksen alueen havaintopaikoista jopa yli 90 prosentista löytyi pohjavedestä myös TAME:a. Uudenmaan ja Pohjois-Karjalan ympäristökeskusten alueen havaintopaikoista yli puolesta löytyi pohjavedestä myös TAME:a. TAME:n esiintyminen aineistossa kertoo sen käyttämisestä rinnan MTBE:n kanssa bensiniin lisäaineena Suomessa noin kymmenen vuoden ajan. TAME:n esiintymisen yleisyys pohjavedessä yhdessä MTBE:n kanssa viittaa myös sen samanlaiseen liikkuvuuteen ja pysyvyyteen.

Myös TAME:n osalta havaintopaikkojen jakautuminen pilaantuneisiin ja kohteisiin, joissa ei ole todettu maapeään pilaantumista, noudattaa samaa jakaumaa kuin MTBE:n osalta. Toisin sanoen Hämeen ja Pohjois-Karjalan ympäristökeskusten alueiden TAME-havainnoista pohjavedessä valtaosa liittyi pilaantumistapauksiin. Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella TAME:n havaintopaikat jakautuvat kuitenkin lähes tasaisesti pilaantuneiden ja ei pilaantuneiden maiden kesken.

MTBE- ja TAME-pitoisuudet pohjavedessä vaihtelevat lisäksi samankin ympäristökeskuksen alueella eri havaintopaikkojen välillä ja samassa havaintopaikassa eri aikoina. Hämeen ympäristökeskuksen alueelta löytyi korkein pohjavedestä mitattu MTBE-pitoisuus, 1 000 mg/l. Toiseksi korkein pohjaveden MTBE-pitoisuus oli mitattu Uudenmaan ympäristökeskuksen alueelta, 668 mg/l. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueelta korkein mitattu MTBE-pitoisuus oli 40 mg/l. Tämä kertoo siitä, että pahimmissa pilaantumistapauksissa, pohjavedestä todettujen MTBE-pitoisuuksien haju- ja makukynnys ylittyvät reilusti.

Uudenmaan ja Hämeen ympäristökeskusten alueilla valtaosassa pohjaveden MTBE- ja TAME-havainnoista pitoisuuden hajukynnys (15 µg/l) ei ylittynyt. Myös valtaosassa pilaantuneisiin maihin liittyvissä pohjaveden MTBE- ja TAME-havainnoissa hajukynnys ei ylittynyt näiden ympäristökeskusten osalta. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella 40 prosentissa MTBE:n ja TAME:n osalta 30 prosentissa kaikista havaintopaikoista pohjavedessä pitoisuus ei ylittänyt hajukynnystä. Myös vain 30 prosentissa pilaantuneisiin maihin liittyvistä pohjaveden MTBE-havainnoista ja noin 20 prosentissa TAME-havainnoista pohjaveden pitoisuus ei ylittänyt hajukynnystä. Kaikkien kolmen ympäristökeskuksen alueen pilaantumattomien alueiden

kohteista mitatut MTBE- ja TAME-pitoisuudet pohjavedessä ovat niin alhaisia, että valtaosassa hajukynnys ei ylittynyt. Hämeen ympäristökeskuksen alueella jopa yli 90 prosentissa pilaantumattoman maaperän alueisiin liittyvistä pohjaveden MTBE- ja TAME-havainnoista pitoisuuden hajukynnys ei ylittynyt. Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella havaintopaikoista, joissa MTBE- ja TAME-pitoisuus jäi alle hajukynnyksen, valtaosa liittyi kohteisiin, joissa maaperä ei ole pilaantunut. Hämeen ympäristökeskuksen alueella havaintopaikkoja, joissa MTBE- ja TAME-pitoisuudet ovat alle hajukynnyksen, oli lähes yhtä paljon pilaantuneiden maiden kohteissa ja alueilla, joissa ei ole todettu maaperän pilaantumista. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella valtaosa havaintopaikoista, joissa on todettu pohjavedestä alle hajukynnyksen jääviä MTBE-pitoisuuksia, liittyivät kohteisiin, joissa ei ole todettu maaperän pilaantumista.

Pohjaveden pitoisuus ylitti makukynnyksen, (40 µg/l), noin 5-30 prosentissa MTBE- ja TAME-havaintopaikoista alueesta riippumatta. Hämeen ympäristökeskuksen alueella kolmea MTBE- ja kahta TAME-havaintopaikkaa lukuun ottamatta, kaikki liittyivät pilaantuneisiin maihin. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella yli 70 prosenttia makukynnyksen ylittävistä MTBE-pohjavesihavainnoista liittyi pilaantuneiden maiden kohteisiin. Vain yksi havaintopaikka, jossa pitoisuus ylitti TAME:n makukynnyksen, liittyi kohteeseen, jossa ei ole todettu maaperän pilaantumista. Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella vajaa puolet MTBE:n makukynnyksen ylittävistä pohjaveden pitoisuuksista liittyivät pilaantuneiden maiden havaintopaikoihin, mutta vain kaksi TAME:n makukynnyksen ylittävistä havaintopaikoista liittyi kohteisiin, joissa ei ole todettu maaperän pilaantumista.

Case-luontoisen MTBE-pilaantumistapauksen monitoroinnin sekä puhdistustoimenpiteiden ja niiden seurannan perusteella näyttää siltä, että puhdistustoimenpiteillä on nopea ja merkittävä vaikutus pitoisuuksien alenemiseen pohjavedessä. POVET-aineiston perusteella näyttäisi myös siltä, että sekä MTBE- että TAME-pitoisuudet pohjavedessä alenevat hitaasti sekä pilaantuneiden että ei pilaantuneiden maiden osalta myös ajan suhteen. Tarkastelujakson lopulla sekä MTBE- että TAME-havainnoista prosentuaalisesti enemmän, lähes kaikki tai valtaosa havainnoista, jää alle hajukynnyksen verrattuna tarkastelujakson alkuun, jolloin suurempi osa MTBE- ja TAME-havainnoista ylittävät haju- tai makukynnyksen. Pitoisuuksien aleneminen pohjavedessä saattaa johtua osittain puhdistustoimenpiteiden vaikutuksesta mutta osittain myös luonnollisten prosessien vaikutuksesta. Puhdistustoimenpiteiden vaikutuksen erottamista luonnollisten prosessien vaikutuksesta pitoisuuksien alenemisessä ei pystytä tarkasti arvioimaan, koska POVET-tietokannassa ei ole välttämättä jokaisen kohteen kohdalla tietoa siitä, missä kohteissa puhdistustoimenpiteitä on tehty.

## 9 Pohjavesitarkkailu polttonesteen jakeluasemilla

Ympäristönsuojelulain (86/2000) mukaan toiminnanharjoittaja on velvollinen tarkkailemaan toimintansa vaikutuksia ympäristöön. Ympäristöluvassa annetaan määräyksiä toiminnan vaikutusten ja ympäristön tarkkailusta (Ympäristöministeriö 2007). Toiminnanharjoittajien yleisiin velvollisuuksiin (YSL 5 §) kuuluu velvollisuus olla riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista (selvilläolovelvollisuus). Pohjavesitarkkailu on osa tämän velvollisuuden toteuttamista. Pohjaveden seuranta tekevät toiminnanharjoittajat ympäristöluvan määräysten mukaisesti. Tarkkailuohjelman hyväksyy lupaviranomainen.

Jakeluasemien pohjavesitarkkailuohjelmat on laadittu yleensä kohdekohtaisesti olosuhteet huomioiden. Rutiinomaista säännöllistä tarkkailua edellytetään vain tärkeillä ja muilla vedenhankintaan soveltuvilla I- ja II-luokan pohjavesialueilla. Näiden ulkopuolella jakeluaseman rakenteelliset suojaukset katsotaan pääsääntöisesti riittäviksi riskienhallintakeinoiksi ja tarkkailuvaatimuksille sekä tarkkailuohjelman toimivuudelle on oltava riittävät perustelut (Winqvist ja Kajander 2004).

EY-komissio antoi vuonna 2001 riskinvähennysstrategiassaan (2001/838/EY) suosituksen pohjaveden seurannan tehostamisesta pohjavesimuodostumilla, joilla sijaitsee bensiinin jakelupiste. Siinä suositellaan myös MTBE:n systemaattista tarkkailua riskikohteissa. Käytännössä tämä tarkoittaa pohjavesialueilla sijaitsevien polttonesteen jakeluasemien tarkkailua (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Tämän hankkeen yhtenä tavoitteena oli luoda EU:n riskinvähentämisstrategian mukainen, toimiva ja taloudellisesti toteutuskelpoinen malli jakeluasemien päästötarkkailulle. Työn yhteydessä on tarkasteltu jakeluasemien päästötarkkailua huomattavasti tarkemmin kuin pelkästään MTBE:n osalta. Jakeluasemien ympäristötarkkailun linjausten suunnittelussa on käytetty apuna myös muiden osahankkeiden tuloksia (Winqvist ja Kajander 2004).

### 9.1

#### **Pohjavesitarkkailun tavoitteet**

Pohjavesitarkkailun tavoitteena on varmistaa, että yleistä pohjavedenpilaamiskieltoa ei rikota ja, että toteutetut pohjavesien suojelutoimet ovat riittävän tehokkaita. Tarkkailun tavoitteena on myös ennaltaehkäiseminen, jolloin tarkkailulla voidaan saada tieto onnettomuuspäästöistä ennen kuin päästö leviää laajalle alueelle tai uhkaa raakavedenottoa. Lisäksi tarkkailun periaatteena on EY:n komission riskinvähennysosuuden mukaisesti päästöseuranta pohjaveden pilaantumisen ehkäisytoimissa (Karhu et al. 2004, Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Meillä nykyaikaisista varastointi- ja jakelujärjestelmistä johtuen suuria säiliövuotoja ei juuri tapahdu. Näin ollen pohjaveden ja maaperän tarkkailun suunnittelun lähtö-

kohdaksi on otettu mahdollisten pienten päästöjen havaitseminen. Pieniä päästöjä voi aiheutua esimerkiksi säiliöiden täytön yhteydessä, pienistä järjestelmävuodoista tai tippavuodoista tankkauksen yhteydessä (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pohjaveden tarkkailu ei kuitenkaan ole päästön ensisijainen havainnointijärjestelmä riskikohteissa, ainoastaan varmistuskeino. Ensisijaisesti jakeluasemien päästöjen tarkkailun perustana pohjavesialueilla tulisi olla päästön havaitseminen ennen sen joutumista pohjaveteen. Tavoitteena on, että vahinkotapauksessakaan polttonestettä ei joudu pohjaveteen (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

9.2

## **Pohjavesitarkkailun soveltuvuus**

Tarkkailujärjestelmää laadittaessa on ensin määriteltävä tarkkailun tarpeellisuus. Tärkeillä ja muilla vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla (luokat I ja II) sijaitsevilla jakeluasemilla pohjavettä ja huokosilmaa tulisi tarkkailla aina. Muualla tarkkailun tarve arvioidaan tapauskohtaisesti (Ympäristöministeriö 2007).

Pohjavesitarkkailu soveltuu käytettäväksi jakeluasemien päästövalvonnassa erityisesti alueilla, joilla pohjaveden pinta on suhteellisen lähellä maanpintaa, alle 10 metrissä, ja maaperä on hyvin vettä läpäisevää. Näissä olosuhteissa vajoveden liike on nopeaa ja pohjaveden pilaantuminen on havaittavissa nopeasti. Pohjaveden laadun tarkkailu soveltuu myös alueille, joissa pohjaveden valunta suuntautuu pohjavesimuodostumaan. Tällöin tarkkailu tehdään pohjavesimuodostumassa kohteen alapuolella pohjaveden virtaussuunnassa (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pohjavesitarkkailua ei voida pitää ensisijaisena tai ainoana päästötarkkailumenetelmänä alueilla, joissa pohjaveden pinta on syvällä, yli 10 metrissä. Tällaisessa tilanteessa pohjavesitarkkailulla ei voida toteuttaa vahingon ennaltaehkäisyä (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007). Kohteissa, joissa pohjaveden pinta on syvällä, käytetään riskinhallintakeinona pohjaveden tarkkailun lisäksi maaperän huokosilman tarkkailua. Huokoskaasun tarkkailua on suositeltavaa suorittaa myös muissa kohteissa täydentämään pohjavesiseurantaa (Ympäristöministeriö 2007). Tällä hetkellä muuta kuin pohjaveden tarkkailua tehdään kuitenkin harvoin (Winqvist ja Kajander 2004).

Tarkkailun tarve on myös yleensä vähäinen pohjavesialueiden ulkopuolella heikosti vettä johtavalla maaperällä, jossa päästö etenee hitaammin ja leviää voimakkaammin alaspäin painuessaan, jolloin pilaavat aineet sitoutuvat päästökohtaa ympäröivään maa-ainekseen. Alueilla, joissa maaperä on heikosti vettä läpäisevää (moreeni, savi, siltti) haitta-aineiden liikkuvuus pohjavedessä on merkityksetöntä eikä pohjavesitarkkailu ole perusteltua (Winqvist ja Kajander 2004).

Pohjavesitarkkailun hyötyinä voidaan pitää pohjaveden pilaantumistapausten ennaltaehkäisyä sekä laatu- ja korkeustiedon saantia. Pohjavesiseuranta on myös melko yksinkertainen ja edullinen seurantatapa. Pohjavesiseurantaan liittyy myös ongelmia. Havaintopisteiden edustavuus voi olla epävarmaa ja pohjaveden tarkan virtaussuunnan ja reittien määrittäminen vaikeaa. Pohjavesitarkkailu ei useinkaan paljasta maaperän pilaantumista. Vaikuttavia tekijöitä ovat erityisesti pohjaveden pinnan syvyys ja havaintopisteiden sijoitus sekä maaperän laatu. Siinä vaiheessa, kun päästöjä havaitaan pohjavedessä, on maaperän pilaantuminen jo tapahtunut (Winqvist ja Kajander 2004).

## Pohjavesitarkkailumenetelmät

Yksinkertaisimmin päästöjen tarkkailu voidaan toteuttaa soveltamalla huokosilma-tekniikkaa päästön havaitsemiseen maaperässä. Tarkkailun tueksi olisi kuitenkin rakennettava pohjaveden tarkkailujärjestelmä, jolla valvotaan pohjaveden laatua (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pohjaveden tarkkailumenetelmät voidaan jakaa passiivisiin ja aktiivisiin tarkkailumenetelmiin. Käytetyin pohjaveden tarkkailumenetelmä on näytteenotto havaintoputkesta tai muusta soveltuvasta pisteestä kuten kaivosta, lähteestä tai vedenottamolta. Tarkkailupisteiksi soveltuvat parhaiten havaintoputket, joiden sijainti voidaan suunnitella sopivaksi ja joiden toimivuutta ja kuntoa voidaan valvoa. Pohjavesinäyte otetaan pumpaamalla tai noutimella. Näytteenoton yhteydessä mitataan myös pohjaveden pinnankorkeus. Menetelmä on yksinkertainen ja yleensä edullinen tapa tarkkailla pohjaveden laatua ja pinnan korkeutta. Sillä voidaan myös pitkällä aikavälillä seurata pohjaveden laadun ja pinnankorkeuden muutoksia. Menetelmät haittapuolia ovat tarkkailun pistemäisyys ja näytteiden mahdollinen häiriintyminen. Pohjaveden nopeiden muutosten havaitseminen edellyttää tiheää näytteenottoa. Pohjaveden laatua voidaan tarkkailla myös *in-situ* tehtävillä mittauksilla. Eri laatuparametrien mittauksia tehdään havaintoputkeen tai vastaavaan laskettavien mittausantureiden avulla. Tällöin vältetään näytteenotosta aiheutuva häiriintyminen ja laatuparametreja voidaan tarkastella pohjaveden luonnollisissa paine- ja happitilanteissa. Haittapuolena tässäkin menetelmässä on tarkkailun pistemäisyys (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pohjaveden aktiivinen tarkkailu tapahtuu havaintoputkeen tai vastaavaan asennettavan mittausanturin ja tallennusyksikön, dataloggerin, avulla. Anturi asennetaan halutulle tarkkailutasolle ja tiedon rekisteröintiväli voidaan asentaa tarkkailun tavoitteisiin sopivaksi. Tieto voidaan käydä keräämässä dataloggerista tietyin aikaväleihin, jolloin tarkkailu on luonteeltaan passiivista, tietoa kerätään jatkuvasti mutta sitä hyödynnetään tietyin väliajoin. Dataloggeria voidaan myös seurata aktiivisesti reaaliajassa, on-line. Järjestelmä voidaan ohjelmoida hälytyksenomaisesti siten, että tieto välitetään vain, jos tarkkailutulos ylittää tietyn raja-arvon. Tarkkailumenetelmän haittapuolina voidaan pitää suuria alkuinvestointeja ja herkkää teknologiaa. On-line seuranta voidaan käyttää erityisen herkissä kohteissa mutta yleensä säännöllinen näytteenotto soveltuu seurantamenetelmäksi, koska pohjaveden laatu muutokset ovat hitaita (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pohjaveden seurantatiheys määritellään kohteen ominaispiirteiden mukaan. Normaalityytilanteessa riittävä tarkkailutiheys on 1–4 kertaa vuodessa paikan ja olosuhteiden mukaan. Kohteissa, joissa pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa ja maaperä on vettä läpäisevää, seurantaan sisältyy yleensä 1–3 havaintoputkea jakeluaseman ympäristössä ja näytteenotto tapahtuu 1–2 kertaa vuodessa (Winqvist ja Kajander 2004). Pohjaveden muodostumisalueen ulkopuolella näytteenotto voidaan tehdä manuaalisesti 1–2 kertaa vuodessa, koska polttoneste ei imeydy maaperään tai kulkeudu pohjaveteen niin nopeasti, että jatkuva seuranta olisi tarpeellista. Näytteenottoajankohtien tulee edustaa vuodenaikojen mukaisia eri vedenkorkeustilanteita (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Polttonesteiden jakeluasemille toimivaa tarkkailujärjestelmää suunniteltaessa havaintopisteet on sijoitettava siten, että päästöt havaitaan mahdollisimman pian. Pohjavesiputkien sijoittamiseksi on pohjaveden virtaussuunta jakeluaseman kohdalla selvitettävä. Tarkkailuputket sijoitetaan virtaussuuntaan kohteiden alapuolelle siten, että niistä voidaan havaita kaikki jakeluasemalla syntyneet päästöt. Hyvin läpäisevillä maaperillä, joissa päästö kulkeutuu suoraan alaspäin pohjavettä kohti, tarkkailu-

järjestelmässä on oltava eniten havaintopisteitä ja seurannan on oltava jatkuvaa. Läpäisevyyden heiketessä havaintopisteitä ja tarkkailun tiheyttä voidaan vähentää (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

9.4

## **Pohjavedestä tarkkailtavat parametrit**

Polttonesteiden jakeluasemien pohjavesitarkkailussa seurataan nykyisten seurantavelvoitteiden perusteella mineraaliöljypitoisuutta, haihtuvien hiilivetyjen kokonaispitoisuutta (TVOC) sekä bentseenin, toluenin, ksyleenin, etyylibentseenin ja MTBE:n pitoisuutta. Uudempiin tarkkailuohjelmiin sisältyy myös TAME:n seuranta. Haihtuvien hiilivetyjen kokonaismäärän seurannalla voidaan tarkkailla myös muiden haihtuvien ja vesiliukoisten yhdisteiden esiintymistä. Usein tarkkaillaan myös pohjaveden yleisiä laatuparametreja, kuten väriä, sameutta, ja sähkönjohtavuutta. Näiden laatuparametrien seuranta ei ole riskinhallinnan kannalta keskeistä (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Bensiinikomponenteista MTBE on vesiliukoisin ja on esitetty, että sitä voitaisiin käyttää polttonesteistä indikaattoriparametrina (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007). MTBE on paras indikaattori tuoreelle päästölle, kun taas ksyleenin runsaampi esiintyminen kuvaa vanhaa päästöä (Winqvist ja Kajander 2004).

9.5

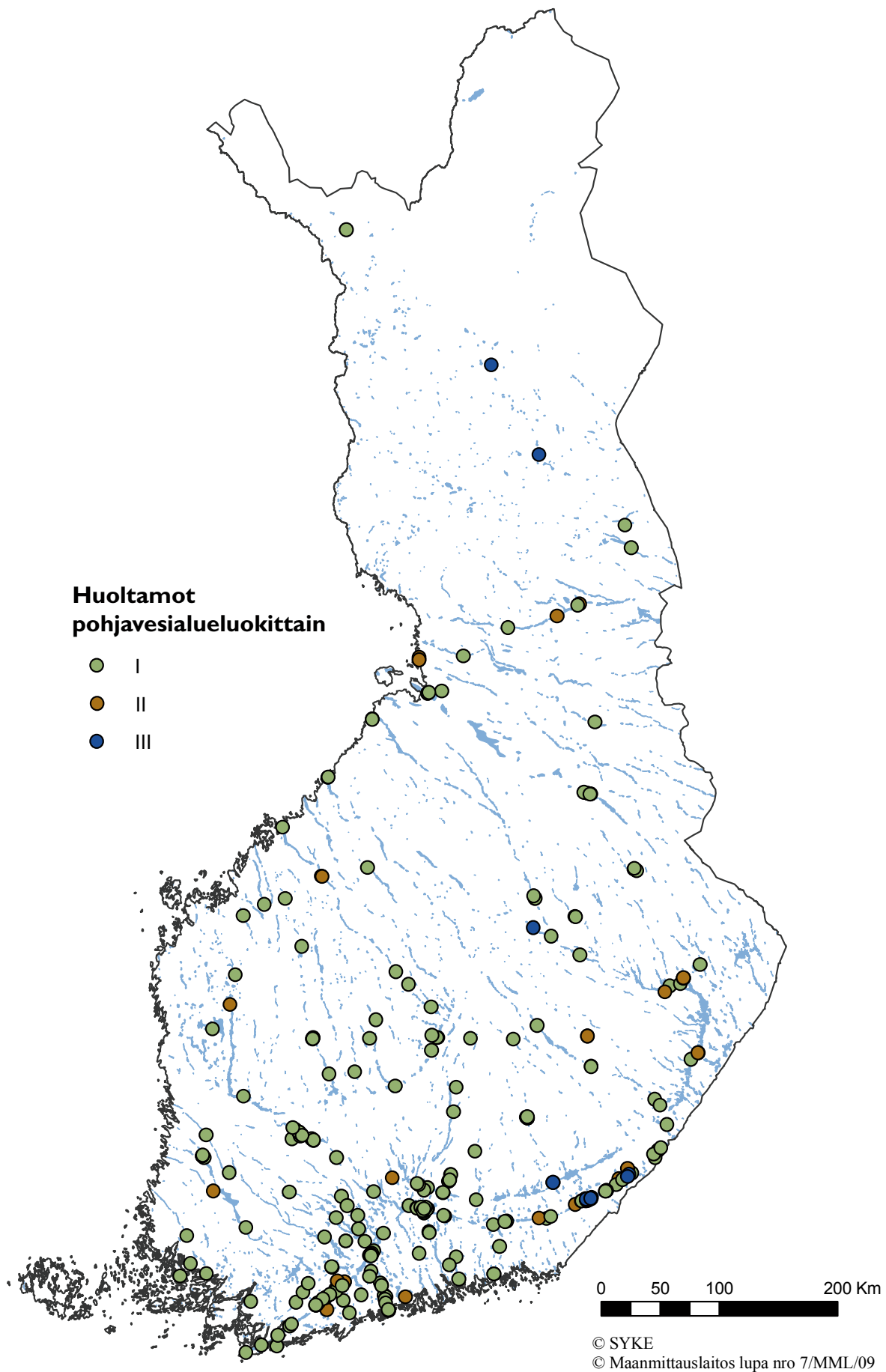
## **Polttoainemasemien sijainti pohjavesialueilla**

Osana kehityshanketta, ”Bensiinin lisäaineiden, MTBE:n ja TAME:n, pohjavesiseurannan suunnittelu ja kehittäminen”, SYKE:ssä selvitettiin ympäristöhallinnon rekistereiden paikkatietoaineiston perusteella jakeluasemien sijoittumista pohjavesialueille. Vuonna 2006 huoltamoja oli Suomessa yhteensä 213 kappaletta, joista miehitettyjä oli yhteensä 1070 ja automaattiasemia 943. Aineistossa on huoltamoiden osalta mukana Öljy- ja Kaasualan Keskusliittoon kuuluvien öljy-yhtiöiden ketjujen asemat.

Kuvassa 34 näkyy huoltamoiden sijoittuminen luokitelluille pohjavesialueille. Vuonna 2007 luokitelluilla pohjavesialueilla sijaitsi yhteensä 271 huoltamo, joista 222 on I-luokan pohjavesialueilla, 28 kappaletta II-luokan pohjavesialueilla ja 21 kappaletta III-luokan pohjavesialueilla. Vedenhankintaa varten tärkeillä ja vedenhankintaan soveltuvilla (I- ja II-luokan) pohjavesialueilla sijaitsevia huoltamoja on eniten Uudenmaan (56 kpl), Hämeen (47 kpl) ja Kaakkois-Suomen (29 kpl) ympäristökeskusten alueilla. (Liite 3.)

Öljy- ja Kaasualan keskusliitto (ÖKKL) toteutti vuosina 2000–2001 kyselyn kerätäkseen tausta-aineistoa maaperän ja pohjaveden pilaantumisriskeistä ja riskien vähentämismahdollisuuksista. Kyselyyn osallistui 1525 polttoaineen jakelupistettä, joista 13 prosenttia (208 kpl) sijaitsi tärkeiksi luokitelluilla I-II luokan pohjavesialueilla. Maanalaisia moottoribensiinisäiliöitä oli yhteensä 5011 kappaletta, joista 57 prosenttia oli varustettu ylitäytön estävällä järjestelmällä. Tärkeillä pohjavesialueilla oli 695 (14 prosenttia) maanalaisia moottoribensiinisäiliöitä, joista hälyttävällä vuodonilmaisujärjestelmällä varustettuja kaksoisvaippasäiliöitä oli 320 kappaletta (46 prosenttia).





Kuva 34. Huoltamoiden sijoittuminen luokitelluille pohjavesialueille.

## Taustapitoisuuksia pohjavedessä

Hankkeessa selvitettiin myös taustakuormituksen aiheuttamia MTBE- ja TAME-pitoisuuksia pohjavesissä sekä mahdollisuutta, että pitoisuudet kulkeutuvat ilmakethän kautta luonnontilaisille pohjavesialueille. Tarkoituksena oli selvittää pohjavesiin kohdistuvaa muun muassa tieliikenteen aiheuttaman taustakuormituksen suuruutta.

Taustapitoisuustutkimuksen näytteet on otettu raakavedestä kuudelta I-luokan pohjavesialueelta (Lahti, Renkomäki ja Kunnas; Janakkala, Hallakorpi; Hollola, Kukkila; Iitti, Tillola sekä Tuusula, Mätäkivi) vilkasliikenteisten teiden läheisyydessä ja kahdelta SYKE:n pohjavesiasemalta luonnontilaisten pohjavesien MTBE- ja TAME-pitoisuuksien selvittämiseksi. Pohjavesiasemat sijaitsevat Karkkilassa ja Jämijärvellä. (Liite 4.) Näytteenotto suoritettiin marraskuussa 2003 ja toukokuussa 2004. Käytetyt määrittämissarajat olivat, 0,1 µg/l syksyllä ja 0,2 µg/l keväällä. Analyysit on tehnyt Paavo Ristola Oy.

### Janakkala, Hallakorpi, 0416531

Hallakorven pohjavesialueen aines on hiekkavaltaista rajoittuen lännessä silttiin ja koillisessa kallioon. Akviferityyppi on harju. Vedenottamon kohdalla hiekkakerroksen paksuus on yli 14 metriä. Veden virtaus suuntautuu kaakkoon, kohti Leppojaa. Raakaveden laatu on hyvä, lievästi hapan. Havaintopaikka sijaitsee 500 metrin etäisyydellä 8-tiestä, jolla keskivuorokausiliikenne on lähes 20 000. Antoisuutta lisäävät luoteispuolen kallio- ja moreenialueet.

Havainnot tehtiin Hallakorven vedenottamon kaivon 2 (marraskuu 2003) ja kaivon 1 (kevät 2004) raakavedestä ja vedenottamon havaintoputkesta pohjavedestä. MTBE:ä ja TAME:a ei havaittu pohjavedessä.

### Hollola, Kukkila, 0409809

Alue muodostuu epäyhtenäisistä harjumuodostumista ja rajoittuu lännessä peltoalueisiin ja Vesijärveen sekä idässä kallio-moreenialueeseen. Tuhkamäen ja Ilmotunjärven alueilla harjuaines on kerrostunut kalliokehiumien päälle ja rinteille. Aines on soravaltaista Tuhkamäen ja Niuhanmäen alueilla. Rajaharjun, Vuorionmäen ja Saaringonmäen alueilla harjuaines on hiekkavaltaista. Pääosa pohjavedestä muodostuu vettä hyvin läpäisevillä harjualueilla sekä osittain näitä ja Ilmotunjärveä reunustavilla kallio-moreeni -alueilla. Pohjaveden virtaussuunta on alueen eteläosassa kohti Vesijärveä ja pohjoisosassa kohti Ilmotunjärveä. Vedenhankinnan kannalta alue on hyvä. Havaintopaikka, Kukkilan vedenottamo, sijaitsee kilometrin etäisyydellä tiestä 24, jolla keskivuorokausiliikenne on noin 10 000.

Havainnot tehtiin vedenottamon kaivosta 1, jonka raakavedestä havaittiin MTBE:ä 0,20 µg/l marraskuussa 2003, mutta pitoisuus oli laskenut toukokuuhun 2004 mennessä alle määrittämissarajan (0,20 µg/l). TAME:a ei havaittu kummallakaan kertaa.

### Lahti, Renkomäki, 0439802

Alue on pitkittäisharjumuodostuma, jonka pääosan muodostaa eteläosan leveä ja paksu deltalaaientuma. Aines on valtaosin hyvin vettä johtavaa hiekkaisaa soraa ja sisältää paikoin runsaasti kivistä soraa. Muodostuman pohjoisrinteellä tavataan paikoin moreenia. Kerrospaksuudet ovat suurimmillaan yli 70 metriä. Pohjaveden virtaus (länsi-luode) suuntautuu kohti vedenottamoita muodostuman reunojen kautta johtuen alueen keskiosan kallio-pinnan korkeudesta. pohja-vesi on paikoin rautapitoista. Kyseessä on vedensaannin kannalta tärkeä ja tuottoisa alue. Alueella on kolme tietä, joista kahdella keskivuorokausiliikenne ylittää 10 000 kummallakin.

Näytteet otettiin Renkomäen vedenottamon kaivon 5 raakavedestä, josta ei havaittu MTBE:ä eikä TAME:a. Vedenottamon etäisyys tiestä on 200 metriä.

#### **Lahti, Kunnas, 0439851**

Pohjavesialueen ydinalue käsittää Metsolan koululta Sorvanne-lammen itäpuolitse kulkevan selänteen. Aines on valtaosaltaan hiekkaa, itäosissa myös soraista hiekkaa. Keskimääräinen paksuus lienee noin 10 metriä. Hiekkanummen alue on deltan lievettä, jossa kallioid ovat lähellä pintaa. Itäreunalla tavataan ohut kerros moreenia. Soraa esiintyy vain ohuina välikerroksina. Kerrospaksuus vaihtelee Hiekkanummen alueella 3–10 metriin. Pohjaveden virtaus tapahtuu pääasiassa pohjoisesta etelään vedenottamolle.

Havaintopaikka oli Kunnaksen vedenottamo, joka sijaitsee silttikerrosten peittämällä harjun eteläosalla 200 metrin etäisyydellä vilkasliikenteisestä 4-tiestä. Vedenottamon havaintoputkesta (No 175) ei havaittu MTBE:ä eikä TAME:a. Kaivon 2 raakavedestä todettiin vuoden 2003 syksyllä MTBE:ä 0,48 µg/l ja keväällä 1,4 µg/l. TAME:a ei todettu pohjavedestä.

#### **Iitti, Tillola, 0514202**

Alue on osa Salpausselkä I:n reunamuodostumaa. Alueella on soraa ja hiekkaa kerrostunut paksulta ja pohjavedenpinta on syvällä. Pohjavesialueen pohjoisreunalla materiaali on karkeampaa kuin eteläreunalla. Muodostuma rajoittuu ympäröiviin soihin ja varsinkin eteläreunalla tiiviisiin, huonosti vettä johtaviin savi- ja silttikerroksiin. Itäpäässä muodostuma rajoittuu korkeisiin kalliokumpareisiin. Muodostuman pohjoispuolella oleville suoalueille pohjavettä purkautuu useasta kohdasta. Muodostuman eteläpuolella pohjavesi purkautuu kauempana radan eteläpuolella. Pohjavedenjakaja jakaa alueet kahteen alueeseen, Myllytöyryyn ja Pyöräkankaaseen. Alue on mahdollisesti hydraulisessa yhteydessä Arolan pohjavesialueeseen. Alueella on aiemmin tapahtunut öljyvahinko ja sillä sijaitsee huoltoasema.

Havaintopaikkana oli Myllytöyryn vedenottamo, joka on noin 600 metrin etäisyydellä 12-tiestä. Vedenottamon kaivosta 1 otetuissa näytteissä ei havaittu MTBE:ä eikä TAME:a.

#### **Tuusula, Mätäkivi A, 0185802 B**

Pohjavesi alue on pohjois-etelä -suuntainen harjuselänne, jossa on merkittävä deltamuodostuma rantavalleineen. Muodostuman katkaisee Mätäkivenmäen kohdalla kalliokynnys, joka jakaen alueen kahteen osa-alueeseen A ja B. Aines on korkeimpien harjanteiden kohdalla hyvin vettä läpäisevää soraa ja hiekkaa. Alavimmilla kohdilla aines on pääasiassa hienoa hiekkaa, jota tavataan lievealueilla siltin ja saven alapuolisina kerrostumina. Muodostuma rajoittuu pääosin aluetta ympäröiviin kallioihin. Mätäkivenmäellä olevan pohjavedenjakajan asema on epämääräinen ja virtausta Firan ottamolle saattaa tapahtua osa-alueelta B. Kallio on alueella paikoin pohjavedenpinnan yläpuolella ja se vaikuttaa pohjaveden virtaussuuntiin. Kokonaisantoisuudeltaan alue on erinomainen.

Havaintopaikkana oli Firan vedenottamo, jonka etäisyys tiestä 45 on noin 150 metriä. Näytteet otettiin marraskuussa 2003 kaivon 2 ja toukokuussa 2004 kaivon 1 raakavedestä. MTBE:ä ja TAME:a ei havaittu raakavedestä.

#### **Karkkila, pohjavesiasema 0102**

Pohjavesiasema sijaitsee Karkkilan kaupungissa, toisen Salpausselän reunamuodostumavyöhykkeellä. Aines on pääasiassa soraa, alempana on silttiä ja paikoin moreenia. Pohjavesi purkautuu alueen kaakkoisosassa, mäen rinteellä lähteinä. Pohjaveden pinnankorkeuden keskimääräinen vaihteluväli on 75 cm. Päävirtaussuunta on kaakosta luoteeseen, mutta topografian vaikutuksesta osalla aluetta virtaussuunta on itä-länsisuuntaista sekä etelä-pohjoissuuntaista.

Havaintopaikkana oli Karkkilan lähde, jonka pinta-ala on noin 1,7 m<sup>2</sup> ja tilavuus noin 0,3 m<sup>3</sup>. Määritykset tehtiin pohjavedestä vain toukokuussa 2004, jolloin MTBE:ä ja TAME:a ei havaittu lähteen vedessä.

### Jämijärvi, pohjavesiasema 0302

Pohjavesiasema sijaitsee Jämijärven kunnassa, Hämeenkaan reunamuodostumalla. Tutkimusalue edustaa suppakuopan ympäristöä ja aines on hiekkaa. Maakerrosten paksuudet pohjaveden pinnan yläpuolella ovat useita kymmeniä metrejä. Pohjaveden pinnan vuotuinen vaihtelu on noin 7 cm. Sähkönjohtavuuden, kloridin ja sulfaatin trendit ovat nousevia, mutta arvot keskimääräistä pienempiä. Päävirtaussuunta on etelästä pohjoiseen.

Havaintopaikkana oli Jämijärven lähde, joka on noin kilometrin päässä asemalta. Sen pinta-ala on noin 10 m<sup>2</sup> ja tilavuus noin 2 m<sup>3</sup>. MTBE:ä ja TAME:a ei havaittu lähteen pohjavedessä.

MTBE:ä havaittiin ainoastaan Kunnaksen ja Kukkilan pohjavesialueilla sijaitsevien vedenottamoiden raakavesissä. Kummassakaan kohteessa ei havaittu TAME:a. Kukkilan vedenottamalla MTBE-pitoisuus marraskuussa 2003 oli 0,20 µg/l, määrittämiskrajan ollessa 0,10 µg/l, mutta toukokuussa sitä ei havaittu. Syksyllä 2003 Kunnaksen vedenottamon raakaveden MTBE-pitoisuus oli 0,48 µg/l ja keväällä 2004 se oli kohonnut 1,4 µg/l. Muita mahdollisia pistemäisiä lähteitä ei ole tiedossa, kuin Kunnaksen vedenottamon valuma-alueen pohjoispuolella 1990-luvulla löydetty luvaton kaatopaikka, josta on löydetty muun muassa liuottimia sisältäviä tynnyreitä. Pohjavesissä havaitut MTBE-pitoisuudet ovat pieniä ja esiintyvät alueilla, jotka ovat vilkasliikenteisten teiden läheisyydessä. Lahdessa mitatut ilmakehän MTBE-pitoisuudet aiheuttaisivat teoriassa tasapainotilassa samaa pohjavedestä löydettyjen pitoisuuksien suuruusluokkaa olevia MTBE-pitoisuuksia vedessä.

9.7

## Pilot -hanke

Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy:n toteuttama Pilot-hanke kuului osana kehityshankkeeseen Pilot-kokeiden toteuttamisen tarkoituksena oli selvittää parhaat käytökelpoiset tarkkailumenetelmät ja niiden soveltuminen erityyppisiin olosuhteisiin. Pilot-kokeiden avulla pyrittiin määrittämään

- maaperä- ja pohjavesitarkkailun tarve polttonesteen jakeluasemilla
- tarkkailun laatu, soveltuvat tarkkailumenetelmät ja laitteet sekä analyysi- ja näytteenottomenetelmät
- tarkkailun laajuus ja seurattavat parametrit.

(Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007)

Pilot-kokeiden tuloksia käytettiin yleisten ohjeiden laatimiseksi jakeluasemien maaperä- ja pohjavesitarkkailusta. Lisäksi tarkasteltiin mahdollisuutta pohjaveden tai maaperän hiilivetyypitoisuuden jatkuvaan seurantaan miehityllä ja miehittämättömällä asemalla. Eri tarkkailumenetelmien kustannustehokkuutta verrattiin myös keskenään (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pilot-kokeiden taustaksi selvitettiin ensin olemassa olevan tutkimusaineiston perusteella vaatimuksia riittävälle havaintopisteverkolle tarkkailujärjestelmän runkona. Tutkimusaineistona käytettiin huoltoasematutkimuksia noin 10 vuoden ajalta. Aineiston kohteet edustavat tavanomaisia suomalaisia huoltoasemia sekä maaperän että pohjaveden suhteen. Aineiston kokoamisvaiheessa käytiin läpi 494 jakeluasemalla tehdyt tutkimukset, joista valittiin 54 tarkempaan analyysiin.

Kahdelle erilaiselle pohjavesialueella sijaitsevalle jakeluasemalle suunniteltiin laajennetut päästötarkkailuohjelmat, joiden mukaista seuranta tehtiin vuoden ajan. Tarkkailuohjelmat sisälsivät sekä pohjaveden että maaperän tarkkailun. Näillä ko-

keilla sekä kirjallisuusselvityksillä selvitettiin eri tutkimus- ja mittausten menetelmien tehokkuutta ja käyttökelpoisuutta tarkkailussa sekä käytettävän analyysivalikoiman edustavuutta. Lisäksi tarkasteltiin laajaa maaperän pilaantumistutkimusaineistoa vanhoilta jakeluasemilta tavoitteena maaperän pilaantuneisuuden havaitsemistehokkuuden arviointi. Tarkastelun tuloksia käytettiin pohjana Pilot-kokeiden tulosten tulkinnassa ja yleistämisessä (Winqvist ja Kajander 2004).

#### 9.7.1

### Tarkkailupisteiden sijoitus riskikohteisiin nähden

Pilot-kokeiden taustaksi selvitettiin ensin olemassa olevan tutkimusaineiston perusteella vaatimuksia riittävälle havaintopisteverkolle tarkkailujärjestelmän runkona. Tutkimusaineistona käytettiin huoltoasematutkimuksia noin 10 vuoden ajalta. Aineiston kohteet edustavat tavanomaisia suomalaisia huoltoasemia sekä maaperän että pohjaveden suhteen. Aineiston kokoamisvaiheessa käytiin läpi 494 jakeluasemalla tehdyt tutkimukset, joista valittiin 54 tarkempaan analyysiin.

Tutkimuksissa käytettiin huokosilmatekniikkaa bensiiniin ja sen komponenttien mittaamisissa. Tutkimuskohteissa havaintoputket sijoitettiin mittarikentälle lähelle jakelumittareita ja säiliöalueille useimmiten säiliöiden väliin tai viereen, jolloin todennäköisimmät päästökohdat olivat mittarikentällä noin yhden metrin ja säiliöalueilla 1–2 metrin etäisyydellä havaintopisteistä (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Mittarikentillä huokosilmanäytteet otettiin yleensä 1–3 metrin paksuisesta täyttöhiekkakerroksesta tai joskus harjualueilla perusmaasta, joka vaihteli karkeasta siltistä kiviseen hiekkaan. Näytteenottosyvyydet vaihtelivat 0,5 metristä 9,9 metriin. Syvältä otetut näytteet liittyivät päästön syvyysjakauman selvityksiin. Pohjaveden pinnan korkeus vaihteli yhdestä metristä yli 10 metriin maanpinnasta. Huokosilman pitoisuudet vaihtelivat pilaantuneiksi todettujen pisteiden osalta seuraavasti: 2 200–117 000 mg/m<sup>3</sup> (TVOC), 0–21 000 mg/m<sup>3</sup> (MTBE) ja 0–7 000 mg/m<sup>3</sup> (ksyleenit). Arviolta 20 prosenttia tuloksista asettui SAMASE-ehdotuksen maaperän ohje- ja raja-arvotason väliin ja loput 80 prosenttia ylittivät raja-arvotason. Yleisimmät päästöt olivat seurausta mittarivuodoista, joten pisteet sijoitettiin noin metrin etäisyydelle jakelumittareista. Puhtaiden ja pilaantuneiksi todettujen pisteiden välinen etäisyys vaihteli 2,4 metristä 11,2 metriin (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Säiliöalueilla huokosilmanäytteet otettiin yhtä lukuun ottamatta 2,5–4,5 metrin paksuisesta täyttöhiekkakerroksesta. Näytteenottosyvyydet vaihtelivat 0,7 metristä kuuteen metriin. Pohjaveden pinnan korkeus vaihteli metristä seitsemään metriin maanpinnasta. Huokosilman pitoisuudet vaihtelivat pilaantuneiksi todettujen pisteiden osalta seuraavasti: 1 300–92 100 mg/m<sup>3</sup> (TVOC), 0–21 000 mg/m<sup>3</sup> (MTBE) ja 0–2 900 mg/m<sup>3</sup> (ksyleenit). Arviolta 20 prosenttia tuloksista asettui SAMASE-ehdotuksen maaperän ohje- ja raja-arvotason väliin ja loput 80 prosenttia ylittivät raja-arvotason. Yleisimmät päästöt liittyivät ylitäyttöihin, joten pisteet sijoitettiin säiliöiden väliin tai viereen täyttöputken läheisyyteen säiliökaivantoon. Puhtaiden ja pilaantuneiksi todettujen pisteiden välinen etäisyys vaihteli kolmesta metristä 14 metriin (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Huokosilmanäytteet otettiin tiiviin pinnan alta hiekasta, joten havaintopisteitä voi pitää melko hyvin vertailukelpoisina. Vertailupisteitä valittaessa otettiin lähes poikkeuksetta toiseksi vertailupisteeksi nollapitoisuus, jolloin voitiin varmistua siitä, ettei pilaantuneeksi todetun pisteen vaikutus erotu tässä pisteessä. Pilaantuneeksi todetut kohdat edustivat vähäisiä SAMASE-ohjearvon päästöjä sekä toisessa ääripäässä merkittäviä ympäristövahinkoja. Mittarikentällä tai säiliöalueilla tehdyillä havainnoilla ei ollut merkittävää eroa (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

## Pilot-kohteet

Pilot-kohteiksi valittiin Oy Shell Ab:n jakeluasema Lohjalla sekä Neste Markkinointi Oy:n asema Helsingin Vuosaassa. Kohteiden valinta tehtiin yhteistyössä öljy-yhtiöiden kanssa. Lähtötietona käytettiin SYKE:n ja alueellisten ympäristökeskusten tekemää pohjavesialueilla sijaitsevien jakeluasemien kartoitusta ja koeluentoista riskipisteytystä (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Kohteet valittiin siten, että ne edustavat erityyppisiä suomalaisia pohjavesialueympäristöjä. Molemmat kohteet sijaitsevat tärkeällä pohjavesialueella, pohjaveden muodostumisalueella. Kohteiden valinnassa kiinnitettiin huomiota pohjavesiolosuhteiden lisäksi kohteen riskipisteytykseen, aseman rakenteisiin ja ikään, alueen luonnontilaisuuteen tai pitkäaikaisen toiminnan aiheuttamaan pilaantuneisuuteen, saatavissa oleviin taustatietoihin ja MTBE:n esiintymiseen alueella sekä maaperän laadun arvioituun tilanteeseen (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

### Shell Ojamo, Lohja

Jakeluasema on toiminut vuodesta 1982 lähtien. Asema on aiemmin ollut miehitetty, mutta toimii tällä hetkellä kylmäasemana. Suojausrakennemuutostyöt on tehty mutta asemalla ei ole erityisiä suojausrakenteita (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007). Kohde on valittu muun muassa pitkäaikaisen toiminnan ja sen aiheuttaman pilaantuneisuuden sekä vanhojen suojausrakenteiden perusteella.

#### Sijainti

Shell Ojamo sijaitsee Lohjanharjun I-luokan pohjavesialueella (0142851). Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 8,65 km<sup>2</sup> ja muodostumisalueen pinta-ala 4,74 km<sup>2</sup>. Pohjavesialueen antoisuus on noin 3 500 m<sup>3</sup>/d. Lohjanharjuksi kutsuttu muodostuma on osa ensimmäistä Salpausselkää, joka Lohjan kaupungin kohdalla laajenee noin 1–1,5 km leveäksi tasanteeksi. Muodostuma erottuu selkeästi jopa noin 70 metriä ympäristöään korkeampana. Maaperän laatu vaihtelee karkeasta hiekasta ja sorasta hienompaan hiekkaan ja välissä esiintyy moreenikerroksia ja -linssejä. Maakerroksen paksuus Lohjanharjussa on yleisesti noin 30–50 metriä. Alueella sijaitsee kolme vedenottamo (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Jakeluasema sijaitsee Salpausselkämuodostuman reunalla, jolla yleisesti esiintyy hienorakenteisia maalajeja. Maaperä on kohteessa ja sen ympäristössä tehtyjen kairausten perusteella tiivistä hienoa hiekkaa tai keskikarkeaa hiekkaa vähintään 10–17 m:n syvyyteen saakka. Maanpinnan taso alueella on noin +65 mmp (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pohjaveden pinta jakeluaseman alueella sijaitsee noin 7–8,5 m syvyydellä maanpinnasta, suunnilleen tasossa +57,5–56,5 m mpy. Pohjavedenvirtaussuunta aseman kohdalla on pohjoiseen tai koilliseen Myllylammen vedenottamolle päin (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

#### Muut alueella sijaitsevat riskikohteet

Jakeluaseman ympäristössä sijaitsee useita muita kohteita, joista maaperään ja pohjaveteen voi päästä öljytuotteita. Alueella on muita polttonesteiden jakeluasemia ja tankkauspisteitä, autokorjaamoja sekä kaksi vanhaa kaatopaikkaa, jotka sijaitsevat kohteen läheisyydessä, pohjaveden virtaussuunnassa sen yläpuolella. Useassa kohteessa on todettu öljyä maaperässä mutta pohjavedessä ei ole havaittu haitta-aineita (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).



### **Kohteessa tehdyt tutkimukset**

Kohteessa on tehty maaperän ja pohjaveden pilaantuneisuuden perusselvitys vuonna 1999. Alueen maaperässä todettiin tällöin lievästi kohonneita öljyhiilivetyypitoisuuksia lähinnä mittarikentällä sekä säiliöbunkkerin ympäristössä. Pienet hiilivetyypitoisuudet johtuvat jakeluaseman pitkäaikaisesta toiminnasta. Maaperän arvioidaan olevan lievästi pilaantunut mittarikentän alueella korkeintaan noin 3 m syvyyteen saakka. Öljyhiilivetyjen leviäminen on melko hienorakeisessa maaperässä vähäistä. MTBE-pitoisuus näytteessä oli 14 mg/l. Kohteessa ei ole tehty maaperän kunnostustoimenpiteitä (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Alueen pohjaveden laatua on tutkittu viereisen Citymarketin rakentamisen yhteydessä vuonna 2001. Muutamassa näytteessä todettiin pieniä pitoisuuksia öljyhiilivetyjä (<0,5 mg/l). Hiilivedyt olivat raskaita (C20-) ja keskiraskaita (C12-C19) eikä BTEX-yhdisteistä tai MTBE:stä todettu merkkejä. Määritysraja MTBE:lle oli tutkimuksessa 3 µg/l (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

### **Nykyinen tarkkailu**

Kohteessa tarkkaillaan pohjaveden laatua kahdesta havaintoputkesta. Tarkkailuohjelman mukaisesti näytteenotto tapahtuu kerran vuodessa toukokuussa. Näytteet otetaan pumppaamalla tai noutimella. Vesinäytteistä tutkitaan haihtuvat öljyhiilivedyt C10-C40 sekä helposti haihtuvat hiilivedyt (MTBE, TAME, BTEX ja TVOC) kaasukromatografisesti (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

### **Tarkkailuohjelma**

Tarkkailun tavoitteena oli selvittää:

- Hienorakeisen maaperän vaikutus tarkkailun suunnitteluun
- Muiden alueella sijaitsevien riskikohteiden vaikutus tarkkailun suunnitteluun
- Huokosilmatarkkailun suunnittelu vanhalla asemalla
- Maaperässä tapahtuvan hiilivetyypitoisuuden vertikaalisen leviämisen tarkkailu huokosilmanäytteiden avulla
- Pohjavesinäytteen ottotavan vaikutus tuloksiin
- Reaktiokynnys vanhalla asemalla: maaperän mahdollisten pienten hiilivetyypitoisuuksien (alle SAMASE-ohjearvon) vaikutus tuloksiin.

(Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007)



Jakeluasema on rakennettu vuonna 1998. Ennen aseman rakentamista alue on ollut luonnontilainen. Neste Kaivonkatsojankatu on miehittämätön nk. kylmäasema. Asemalla on nykyaikaiset suojausrakenteet (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy, 2007). Kohde on valittu muun muassa luonnontilaisuutensa ja nykyaikaisten suojausrakenteiden perusteella.

### Sijainti

Jakeluasema sijaitsee Vuosaaren I-luokan pohjavesialueella (0109101). Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 2,94 km<sup>2</sup> ja muodostumisalueen pinta-ala 1,15 km<sup>2</sup>. Pohjavesialueen antoisuudeksi on arvioitu noin 1 000 m<sup>3</sup>/d. Alue on ilmeisesti osa heikosti kehittynyttä reunamuodostumaa, johon Vuosaaren kohdalla liittyy lähes pohjois-eteläsuuntainen, katkonainen pitkittäisharjujakso, joka ulottuu Vuosaaren Aurinkolahdesta Keravan ja Järvenpään kautta Hyvinkäälle. Vuosaaren kohdalla muodostuma on kerrostunut kallionselänteiden väliseen kallioperän ruhjeeseen. Rantavoimat ovat myöhemmin muokanneet muodostumaa ja lajittuneet kerrokset ovat levinneet. Maaperä on pääasiassa hyvin vettä läpäisevää, lajittunutta hiekkaa. Alueella on yksi vedenottamo, joka toimii kriisiajan varavedenottamona. Alueella on aikaisemmin sijainnut myös toinen vedenottamo, joka on purettu ja sen tilalle on suunniteltu uutta vedenottamoa. Pohjaveden päävirtaussuunta on itään, vedenottamoa ja sen alapuolisia peltoalueita kohti, sekä etelään mereen. Virtaussuunta kuitenkin vaihtelee paikallisesti alueella sijaitsevien kalliokynnysten takia (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Jakeluasema sijaitsee pohjavesialueen lounaisosassa, pohjaveden muodostumisalueella, noin 1 km päässä vedenottamosta ja noin 400 m päässä suunnitellusta vedenottamosta. Asemalla ei ole tehty pohjatutkimuksia mutta viereiselle inteistölle tehtyjen tutkimusten mukaan maaperä on hiekkaa 2–3 m syvyyteen saakka, minkä alla on pehmeää savea 1,5–3,5 m paksuinen kerros. Savikerros suojaa pohjavettä likaantumiselta. Saven alla on vettä johtavia kitkamaalajeja. Maanpinnan taso on noin +10...+10,5 m mpy (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pohjaveden pinnankorkeus aseman alueella on selvitetty. Viereisellä kiinteistöllä olevien pohjaveden havaintoputkien perusteella pohjavesi sijaitsee kiinteistöllä noin 8 m syvyydellä maanpinnasta, tasossa +3,00...+3,40 m mpy. Savikerroksen päällä olevassa ylemmässä hiekkakerroksessa saattaa esiintyä ohut orsivesikerros (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Pohjaveden virtaussuunta asemalta on nykyisessä vedenottotilanteessa todennäköisesti etelään Pikku Kallalahteen päin. Kohde sijaitsee suunnitellun vedenottopaikan valuma-alueella. Virtausyhteys vedenottamolle on mahdollinen vedenottamon maksimikäyttötalanteessa (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Kohteen läheisyydessä ei sijaitse muita polttonesteiden jakeluasemia tai vastaavia kohteita, joista maaperään voisi päästä öljytuotteita. Pohjavesialueen koillispuolella sijaitsee Vuosaaren vanha kaatopaikka, mutta alueelta ei ole pohjaveden virtausyhteyttä kohteeseen (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

### Kohteessa tehdyt tutkimukset

MTBE:n taustapitoisuus alueella tunnetaan. Vuonna 1999 Helsingin kaupungin tekemässä selvityksessä MTBE:n esiintymisestä Helsingin alueen pohjavedessä, entisen vedenottamon paikalta otetussa näytteessä MTBE-pitoisuus oli

0,34 µg/l. Tutkimuksessa on arvioitu, että MTBE on peräisin todennäköisesti liikenteestä. Kaatopaikan pohjoispuolisessa putkessa MTBE-pitoisuus oli 0,53 µg/l ja eteläpuolisessa putkessa MTBE:tä ei todettu lainkaan. TAME:a ei havaittu missään tutkimuspisteessä (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Aseman viereisellä tontilla sijaitsevista kahdesta havaintoputkesta otetuissa näytteissä ei ole todettu hiilivetyjä, VOC-yhdisteitä, MTBE:ä tai TAME:a. Vedessä todettiin kohonnut rauta-, mangaani- ja nikkelpitoisuudet, jotka ilmeisesti kuitenkin ovat luonnollista alkuperää (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

### **Tarkkailuohjelma**

Tarkkailun tavoitteena oli selvittää:

- Pohjavettä suojaavan kerroksen vaikutus tarkkailun suunnitteluun: maaperä- ja pohjavesitarkkailun tarve kohteessa
- Huokosilmanäytteenoton soveltuvuus päästötarkkailuun
- Pohja- ja orsiveden tarkkailumahdollisuus
- Huokosilmatarkkailun suunnittelu modernisti suojatulla asemalla
- Reaktiokynnys uudella asemalla.

(Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

#### 9.7.3

### **Kohteissa tehdyt tutkimukset**

Tarkkailu toteutettiin kohteen erikoispiirteet huomioon ottaen siten, että niihin sisältyi erityyppisten tarkkailumenetelmien käyttö. Selvityksessä keskityttiin passiivisiin tarkkailumenetelmiin, jotka soveltuisivat käytettäviksi myös muilla alueilla. Molemmista kohteista tehtiin sekä maaperän että pohjaveden seuranta. Seuranta tehtiin vuoden ajan. Pohjaveden laatua seurattiin sekä kohteiden ylä- että alapuolelta (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Kaikista näytteistä analysoitiin laboratoriossa MTBE:n lisäksi myös TAME, bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni, ksyleenit ja TVOC sekä mineraaliöljyt. Pohjavedestä tehtiin lisäksi aistinvaraiset havainnot sekä mitattiin pinnankorkeus ja lämpötila. Pohjavesinäytteet otettiin pääasiassa pumppaamalla. Pumppaamalla näyte kirkkaaksi varmistetaan veden vaihtuminen putkessa eikä maaperän hienoinen häiritse analysointia. Näytteitä otettiin myös noutimella, jolla voidaan ottaa näyte putkesta pohjaveden pintakerroksesta (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007).

Laboratorioanalyysien perusteella tutkimuspisteet molemmissa kohteissa olivat puhtaita koko näytteenottojakson ajan. Vuosaaren tutkimuspisteissä mittausjakson aikana pohjaveden pinta oli korkeimmillaan talvella 2005 ja matalimmillaan kesällä 2004 sekä 2005. Lohjan tutkimuspisteissä pohjaveden pinta oli korkeimmillaan keuhällä 2005 ja alimmillaan syksyllä 2004 mittausjakson aikana. Vaihtelut olivat kuitenkin molemmissa kohteissa vähäisiä, 25–50 cm välillä (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2007) (Liite 5.).

## Polttonesteiden jakeluasematoimintaa pohjavesialueilla koskeva valvontaohje

Ympäristöministeriön asettama työryhmä vastasi alueellisille ympäristökeskuksille suunnatun valvontaohjeen laatimisesta. Ohje on tarkoitettu ensisijaisesti yhdenmu-kaistamaan polttonesteiden jakeluasemien ympäristölupahakemuksista pohjavesi-alueilla annettavia alueellisten ympäristökeskusten lausuntoja. Se on annettu ympä-ristönsuojelulain 95 §:n perusteella. Ympäristöministeriön antamassa jakeluasematoi- mintaa koskevassa valvontaohjeessa on esitetty jakeluasematoimintaa keskeisimmin koskeva lainsäädäntö, ohjeita kaavoitukseen ja jakeluasemien sijoittamiseen pohja- vesialueille ja niiden ulkopuolelle, rakennustyön aikaiseen laadunvarmistukseen liittyviä tekijöitä, tarkkailua koskevia suosituksia sekä esimerkkejä teknisistä lupaa- määräyksistä (Ympäristöministeriö 2007).

Jakeluasematoimintaa koskevat useat eritasoiset ja aikaiset säädökset, joten käy- tännössä eri säädösten välistä suhdetta ei ole koettu selkeäksi. Epätietoisuutta on aiheuttanut myös vanhojen asemien ympäristöluvan tarpeen ratkaiseminen. Tällä hetkellä ei ole tiedossa kuinka moni jakeluasema toimii edelleen aiemman lainsää- dännön nojalla. Jakeluasemapäätöksen vaatimusten toteuttaminen on edellyttänyt kuitenkin siirtymistä uuden lainsäädännön piiriin. Poikkeuksena tämän päätöksen mukaan ovat pienet, alle 10 m<sup>3</sup> varastoivat, asemat (Ympäristöministeriö 2007).

Ympäristönsuojelulain 8 §:n sisältämä pohjaveden pilaamiskielto on ohjeen kan- nalta keskeisin säännös. Pilaamiskielton soveltamisessa ei ole merkitystä sillä, onko aine tai energia päässyt pohjaveteen vahingossa, huolimattomuudesta, piittaamat- tomuudesta tai tahallisesti. Pilaamiskielto sisältää myös vaarantamisen käsitteen. Vaaran aiheuttamisen kielto merkitsee, että jo haitan mahdollisuus on estettävä eikä toiminnalta edellytetä konkreettista pilaantumisen aiheuttamista. Pohjaveden pilaa- miskieltoon liittyy kuitenkin tapauskohtainen arviointi (Ympäristöministeriö 2007).

Ympäristölupamenettelyn ohella jakeluasematoiminnan sijoittumista voidaan oh- jata kaavoituksella. Sitä onkin pidettävä ensisijaisena keinona jakeluasematoiminnan ohjaamisessa pohjavesialueiden ulkopuolelle. Valvontaohjeen mukaan pohjaveden suojelussa pyritään kokonaisriskin minimoimiseen, jolloin otetaan huomioon kaikki riskitekijät. Jos pohjavesialueella on jo muita riskitekijöitä, tai jos pohjaveden pilaan- tumista on jo todettu, se ei ole puoltava seikka jakeluasematoiminnan sijoittamiselle pohjavesialueelle. Arvioitaessa jakeluasemasta aiheutuvaa pohjavesien pilaantu- misriskiä otetaan huomioon kaikki osatekijät: suojarakenteiden taso, toiminnalliset tekijät, rakennustyön ja toiminnan valvonta sekä maaperä- ja pohjavesiolosuhteet (Ympäristöministeriö 2007).

Ympäristönsuojelulain mukaan toiminnanharjoittaja on velvollinen tarkkailemaan toimintansa vaikutuksia ympäristöön. Ympäristöluvan eräänä määräyksenä voi olla tarkkailuvelvoite. Velvoitetarkkailussa tulisi valvontaohjeen mukaan soveltaa seu- raavia periaatteita:

- Tärkeillä ja muilla vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla sijaitsevilla jakeluasemilla pohjavettä ja huokosilmaa tulisi tarkkailla aina. Muualla tark- kailun tarve arvioidaan tapauskohtaisesti.
- Tarkkailuohjelman hyväksyy lupaviranomainen
- Pohjavesialueilla tarkkailua tulisi suorittaa pohjaveden virtaussuunnassa jakeluaseman ylä- ja alapuolella.

(Ympäristöministeriö 2007)

## 10 Johtopäätökset

MTBE on erittäin vesiliukoinen yhdiste ja tästä johtuen maaperään päästyään se kulkeutuu helposti pohjaveteen ja saattaa levitä virtauksen mukana. Alhaisen haju- ja makukynnyksen takia MTBE rajoittaa jo hyvin alhaisissa pitoisuuksissa pohjaveden käyttöä talousvetenä. Lisäksi se on erittäin hitaasti biohajoava, joten se joudutaan poistamaan pohjavedestä erilaisilla kunnostusmenetelmillä.

Verrattuna muuhun Eurooppaan, Suomessa MTBE:n suhteellinen osuus bensiinissä on ollut korkea johtuen meillä käytössä olevasta bensiinin happipitoisuutta edistävästä veroporrastuksesta, mikä on johtanut amerikkalaistyyppisen reformuloidun bensiinin käyttöön. Biopolttoainevelvoite on kuitenkin muuttanut polttoaineiden tuotantomalleja olennaisesti myös meillä. Tämä on johtanut MTBE:n korvaamiseen osittain etanolipohjaisella ETBE:llä, mikä on laskenut MTBE:n keskipitoisuuksia bensiinissä Suomessa. MTBE:n suuri vesiliukoisuus, heikko pidättyvyys, kulkeutuvuus pohjavedessä ja heikko biohajoaminen yhdistettynä korkeisiin pitoisuuksiin bensiinissä voivat nostaa pitoisuuden pohjavedessä kuitenkin huomattavan korkeaksi ja aiheuttaa laaja-alaisia saastumisvyöhykkeitä.

Huomattavimmat päästöt ympäristöön tapahtuvat pistemäisten lähteiden, bensiinin jakelun, varastoinnin ja käytön, yhteydessä. Suurimman riskin aiheuttavat pohjavesialueilla sijaitsevat huoltoasemat. Vuonna 2007 luokitelluilla pohjavesialueilla sijaitsi 271 huoltamoita, joista 222 on I-luokan pohjavesialueilla, 28 kappaletta II luokan pohjavesialueilla ja 21 huoltamoita III-luokan pohjavesialueilla. Tärkeillä I- ja II-luokan pohjavesialueilla sijaitsevia huoltamoita oli eniten Uudenmaan (56 kpl), Hämeen (47 kpl) ja Kaakkois-Suomen (29 kpl) ympäristökeskusten alueella.

Huoltamoiden suojausrakenteilla ja rakennustyön aikaisella valvonnalla on kuitenkin merkittävä vaikutus päästöihin. Meillä varastointi- ja jakelujärjestelmästä johtuen säiliövuotoja ei ole tapahtunut kuin yksittäistapauksissa. Inhimilliset erehdykset, ylitäytöt, pienet päästöt ja vuodot huoltamotoiminnassa muodostavat suurimman riskin pohjavedelle. Pohjaveden pilaantumiseen johtava onnettomuus edellyttää useita samanaikaisesti toteutuvia riskitekijöitä kuten suurehkon vuodon sekä puutteelliset tai vaurioituneet suojarakenteet.

Taustapitoisuustutkimukset viittaavat siihen, että myös muun muassa liikenteen aiheuttama taustakuormitus ilmakehään aiheuttaa pohjavedessä alhaisia, mutta havaittavia MTBE-pitoisuuksia.

Pohjavesitietojärjestelmän (POVET) perusteella Uudenmaan, Hämeen ja Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueelta eniten MTBE-havaintoja oli Hämeen ja vähiten Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueelta. Jakauma saattaa kuitenkin johtua MTBE:n ja pohjavesitietojen tallennustilanteesta POVET:issa, ei välttämättä todellisesta MTBE:n esiintymisestä.

Pohjaveden MTBE- ja TAME-pitoisuudet vaihtelevat 0–1 000 mg/l, joista korkein pitoisuus mitattiin Hämeen ympäristökeskuksen alueella. Uudenmaan ympäristökeskuksen alueelta mitattu korkein pitoisuus oli 668 mg/l ja Pohjois-Karjalan

40 mg/l. Pahimpien pilaantumistapausten yhteydessä pohjaveden MTBE-pitoisuudet ylittävät siis reilusti haju- ja makukynnyksen.

Valtaosassa kaikista pohjaveden MTBE- ja TAME-havainnoista, myös pilaantuneisiin maihin liittyvistä havainnoista, hajukynnys (15 µg/l) ei ylittynyt lukuun ottamatta Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen aluetta. Valtaosassa havaintopaikoista, joissa havaittiin MTBE:ä, löytyi myös TAME:a. Hämeen ympäristökeskuksen alueen havaintopaikoista jopa yli 90 prosentista löytyi myös TAME:a. TAME:n esiintyminen aineistossa kertoo sen käyttämisestä rinnan MTBE:n kanssa bensiinin lisäaineena Suomessa noin kymmenen vuoden ajan. TAME:n esiintymisen yleisyys yhdessä MTBE:n kanssa viittaa myös sen samanlaiseen liikkuvuuteen ja pysyvyyteen.

Valtaosa sekä MTBE- että TAME-pohjavesihavainnoista liittyi pilaantuneisiin maihin lukuun ottamatta Uudenmaan ympäristökeskuksen aluetta. Pohjavesitietojärjestelmään ei ole kuitenkaan välttämättä tallennettu aina tietoa siitä, liittyykö havainto pilaantumistapaukseen. Myös tässä käytännössä voi olla eroja ympäristökeskusten välillä.

Case-luontoisen MTBE-pilaantumistapauksen monitoroinnin sekä puhdistustoimenpiteiden ja niiden seurannan perusteella näyttää siltä, että puhdistustoimenpiteillä on nopea ja merkittävä vaikutus pitoisuuksien alenemiseen pohjavedessä. POVET-aineiston perusteella näyttäisi myös siltä, että sekä MTBE- että TAME-pitoisuudet alenevat hitaasti sekä pilaantuneiden että ei pilaantuneiden maiden osalta myös ajan suhteen. Tarkastelujakson lopulla sekä MTBE- että TAME-havainnoista prosentuaalisesti enemmän, lähes kaikki tai valtaosa havainnoista, jää alle hajukynnyksen verrattuna tarkastelujakson alkuun, jolloin suurempi osa MTBE- ja TAME-havainnoista ylittävät haju- tai makukynnyksen. Pitoisuuksien aleneminen saattaa johtua osittain puhdistamistoimenpiteiden vaikutuksesta mutta osittain myös luonnollisten prosessien vaikutuksesta. Puhdistustoimenpiteiden vaikutuksen erottamista luonnollisten prosessien vaikutuksesta pitoisuuksien alenemisessä ei pystytä tarkasti arvioimaan, koska POVET-tietokannassa ei ole välttämättä jokaisen kohteen kohdalla tietoa siitä, missä kohteissa puhdistamistoimenpiteitä on tehty.

Pohjaveden pilaamiskiello sisältää sen laadun vaarantamisen kiellon, jonka mukaan jo haitan mahdollisuus on estettävä eikä toiminnalta edellytetä konkreettista pilaantumista. Teknisin suojauskeinoin haitallisten tapahtumien todennäköisyys kyetään rajoittamaan varsin pieneksi. Riskintarkasteluun liittyy myös pohjavesiesiintymän merkitys yhdyskunnan vedenhankinnan kannalta, pohjaveden nykytila ja muut samaan pohjaveteen kohdistuvat riskit, kohteiden ennallistamismahdollisuus sekä haitallisten vaikutusten torjuntamahdollisuudet.

Korkeimman hallinto-oikeuden linja on ollut pääosin tiukka jakeluasemien sijoittumisesta pohjavesialueille sijoituspaikan sopimattomuuden perusteella. KHO:n ratkaisuisissa jo pelkästään riski haitallisten vaikutusten aiheutumisesta on riittänyt luvan myöntämisen esteeksi. Uusien laitosten sijoittelun osalta lupakäytäntö näyttää olevan pidättyväisellä kannalla: mahdollisia ympäristövaarallisia toimintoja ei tule sijoittaa tärkeille pohjavesialueille, jotka ovat vedenhankintakäytössä tai tullaan ottamaan vedenhankintakäyttöön. Vanhojen laitosten eli olemassa olevien toimintojen osalta tilanne on monitahoisempi ja ne vaativat aina tapauskohtaista harkintaa. KHO:n tulkintakäytäntö näyttäisi kuitenkin sallivan huoltoasematoiminnan jatkamisen myös tärkeillä pohjavesialueille, mikäli laitoksen toiminnasta ei ole aiheutunut eikä todennäköisesti tule aiheutumaankaan ongelmia.

Ympäristöministeriö on antanut ohjeen polttonesteiden jakeluasematoiminnan valvonnasta pohjavesialueilla. Ohjeen mukaan pohjaveden suojelussa pyritään kokonaisriskin minimoimiseen, jolloin otetaan huomioon kaikki riskitekijät. Jos pohjavesialueella on jo muita riskitekijöitä, tai jos pohjaveden saastumista on todettu, se ei ole puoltava seikka jakeluasematoiminnan sijoittamiselle pohjavesialueelle. Arvioitaessa jakeluasemasta aiheutuvaa pohjavesien pilaantumisriskiä otetaan huomioon kaikki

osatekijät: suojarakenteiden taso, toiminnalliset tekijät, rakennustyön ja toiminnan valvonta sekä maaperä- ja pohjavesiolosuhteet. Vanhojen asemien edellytyksenä toiminnan jatkumiselle ovat muun muassa riittävä riskinhallinta, suojausien parantaminen ja tehostettu valvonta.

Polttonesteiden jakeluasemat muodostavat erittäin suuren osan kunnan lupaviranomaisten kokonaiskuormituksesta. Valtaosa jakeluasemista sijoittuu siten, että niiden lupaharkinnassa ei ole tarvinnut asettaa tavallisesta poikkeavia lupamääräyksiä paikallisten olosuhteiden vuoksi. Niiden sääntelyssä on esitetty normiohjaukseen siirtymistä. Jos asema on sijoitettava pohjavesialueelle, se tulee esityksen mukaan säilymään lupavelvollisuuden piirissä.

Jakeluasemien pohjavesitarkkailuohjelmat on laadittu yleensä kohdekohtaisesti olosuhteet huomioiden. Rutiininomaista säännöllistä tarkkailua on edellytetty vain tärkeillä ja muilla vedenhankintaan soveltuvilla I- ja II-luokan pohjavesialueilla. EY-komissio antoi kuitenkin vuonna 2001 riskinvähennysstrategiassaan suosituksen pohjaveden seurannan tehostamisesta pohjavesimuodostumilla, joilla sijaitsee bensiinin jakelupiste. Siinä suositeltiin myös MTBE:n systemaattista tarkkailua riskikohteissa, mikä käytännössä tarkoittaa pohjavesialueilla sijaitsevien polttonesteen jakeluasemien tarkkailua.

Tarkkailun periaatteena pohjavesialueilla on ennaltaehkäisy eli mahdollisen päästön havaitseminen ennen sen joutumista pohjaveteen. Pohjaveden tarkkailu ei siis ole päästön ensisijainen havainnointijärjestelmä riskikohteissa, ainoastaan varmistuskeino. Ensisijaisen tarkkailun tueksi on kuitenkin rakennettava pohjaveden tarkkailujärjestelmä, jolla valvotaan pohjaveden laatua. Meillä nykyaikaisesta varastointi- ja jakelujärjestelmästä johtuen säiliövuotoja ei juuri tapahdu. Näin ollen pohjaveden ja maaperän suunnittelun lähtökohdaksi on otettava mahdollisten pienten päästöjen havaitseminen.

Tärkeillä ja muilla vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla (luokat I ja II) sijaitsevilla jakeluasemilla pohjavettä ja huokosilmaa tulisi tarkkailla aina. Muualla tarkkailun tarve arvioidaan tapauskohtaisesti. Pohjavesitarkkailu soveltuu käytettäväksi erityisesti alueilla, joilla pohjaveden pinta on suhteellisen lähellä maanpintaa, alle 10 metrissä, ja maaperä on hyvin vettä läpäisevää. Näissä olosuhteissa vajoveden liike on nopeaa ja pohjaveden pilaantuminen on havaittavissa nopeasti. Pohjaveden laadun tarkkailu soveltuu myös alueille, joissa pohjavesivalunta suuntautuu pohjavesimuodostumaan.

Pohjavesitarkkailua ei voida pitää ensisijaisena päästötarkkailumenetelmänä alueilla, joissa pohjaveden pinta on syvällä, yli 10 metrissä. Tällaisessa tilanteessa pohjavesitarkkailulla ei voida toteuttaa vahingon ennaltaehkäisyä. Kohteissa, joissa pohjaveden pinta on syvällä, käytetään riskinhallintakeinona pohjaveden tarkkailun lisäksi maaperän huokosilman tarkkailua. Huokoskaasun tarkkailua on suositeltavaa suorittaa myös muissa kohteissa täydentämään pohjavesiseurantaa

Seurantatiheys määritellään kohteen vaativuuden mukaan. Normaalitylanteessa riittävä tarkkailutiheys on 1–4 kertaa vuodessa paikan ja olosuhteiden mukaan. Kohteissa, joissa pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa ja maaperä on vettä läpäisevää, seurantaan sisältyy yleensä 1–3 havaintoputkea jakeluaseman ympäristössä ja näytteenotto tapahtuu 1–2 kertaa vuodessa. Pohjaveden muodostumisalueen ulkopuolella näytteenotto voidaan tehdä manuaalisesti 1–2 kertaa vuodessa, koska polttoneste ei imeydy maaperään niin nopeasti, että jatkuva seuranta olisi tarpeellista. Näytteenottoajankohtien tulee edustaa vuodenaikojen mukaisia eri vedenkorkeustilanteita.

Polttonesteiden jakeluasemille toimivaa tarkkailujärjestelmää suunniteltaessa havaintopisteet on sijoitettava siten, että päästöt riskikohteissa havaitaan mahdollisimman pian. Hyvin läpäisevillä maaperillä, joissa päästö kulkeutuu suoraan alaspäin pohjavettä kohti, tarkkailujärjestelmässä on oltava eniten havaintopisteitä ja seu-



rannan on oltava jatkuvaa. Läpäisevyyden heiketessä havaintopisteitä ja tarkkailun tiheyttä voidaan vähentää.

Bensiinikomponenteista MTBE on vesiliukoisin ja on esitetty, että sitä voitaisiin käyttää polttonestepäästöjen indikaattoriparametrina.

MTBE:n korvaajina pidetään muita oksygenaatteja, parempaa moottoritekniikkaa ja bensiinin koostumuksen muuttamista. Myös muilla oksygenaateilla voi olla haitallisia vaikutuksia pohjavesiin mutta niitä ei vielä täysin tunneta.

Vuonna 2007 Eurooppa Neuvosto sopi, että vuoteen 2020 mennessä kaikesta EU:ssa käytettävästä energiasta 20 prosenttia on oltava peräisin uusiutuvista lähteistä. Uusiutuvaa energiaa koskevaan päätöksentekoon sisältyy myös liikennettä koskeva 10 prosentin biopolttoainevelvoite, joka on muuttanut polttoaineiden tuotantomalleja olennaisesti ja vähentänyt MTBE:n käyttöä. Biovelvoitteesta johtuen MTBE:ä korvataan Suomessa nykyisin yleisesti etanolipohjaisella ETBE:llä. Lisäksi Suomessa on otettu käyttöön etanolin tuotanto myös jätteistä.

Biopolttoainevelvoite on muuttanut polttoaineen tuotantomalleja olennaisesti ja vähentänyt MTBE:n käyttöä myös Suomessa. Biopolttoainevelvoitteen kasvaminen jatkossa edelleen ei tule ainakaan lisäämään ei-biopohjaisen MTBE:n käyttöä tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

- ACEA (European Automobile Manufacturers' Association). 2000. World-wide Fuel Character. Brussels. 47 p.
- Ainsworth, S. 1992. Oxygenates seen as hot market by industry. *Chemical Engineering News* 70, 26-30.
- Begley, R. & Rotman, D. 1993. Health complaints fuel federal concern over MTBE. *Chemical Week* 152, 7.
- Bennett, G. & Philit, W. 1928. The Influence of Structure on the Solubilities of Ethers, Part 1. Aliphatic Ethers. *Journal of the Chemical Society*, 1930-1937.
- Borden, R., Daniel, R., LeBrun, L. & Dawis, C. 1997. Intrinsic biodegradation of MTBE and BTEX in a gasoline contaminated aquifer. *Water Resources Research* 33, 1105-1115.
- Bowman, R. 2004. HiPox advanced oxidation of TBA and MTBE in contaminated groundwater. In: Calabrese, E., Kostecki, P. & Dragun, J. (eds.) *Contaminated Soils, Sediments and Water: Science in the Real World*. Springer, 10 p.  
[http://www.aptwater.com/assets/tech\\_papers/Paper-TBAMTBE.pdf](http://www.aptwater.com/assets/tech_papers/Paper-TBAMTBE.pdf) (Luettu 24.08.2007).
- Boyle, D., Goers, M., Mandava, S., Hicks, P., Lemons, K., Pendrell, D. & Canfield, M. 1999. Enhanced in situ bioremediation of ground water at MacDill Air Force Base, Florida. In: Alleman, B. & Leeson, A. (eds.) *In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds*. Fifth International in Situ and on Site Bioremediation Symposium, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 287-294.
- Bradley, P., Landmeyer, J. & Chapelle, F. 1999. Aerobic mineralization of MTBE and tert-butyl alcohol by stream-bed sediment micro-organisms. *Environmental Science and Technology* 33, 1877-1879.
- Buzaa, D. & Stefanis, E. 1999. Accelerated bioremediation as an alternative to conventional remedial technologies. In: Alleman, B. & Leeson, A. (eds.) *In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds*. Fifth International in Situ and on Site Bioremediation Symposium, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 427-432.
- Cano, M., Wilcox, M. & Compennolle, R. Van 1999. A direct comparison of U.S. Environmental Protection Agency's method 30b and batch tests for determining activated sludge biodegradation rate constants for volatile organic compounds. *Water Environment Research* 71, 1345-1353.
- Carter, S., Bullock, J. & Morse, W. 1997. Enhanced biodegradation of MTBE and BTEX using pure oxygen injection. In: Alleman, B. & Leeson, A. (eds.) *In Situ and on Site Bioremediation Symposium*. Battelle Press, Columbus, Ohio. 147 p.
- Cataldo, R. & Moyer, E. 2001. Remediation of releases containing MTBE at gas station sites. *Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue*, 87-90. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Cater, S., Stefan, M., Bolton, J. & Safarzadeh-Amiri, A. 2000. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment of methyl tert-butyl ether in contaminated waters. *Environmental Science and Technology* 34, 659-662.
- CEC (California Energy Commission). 1998. Evaluating the Cost and Supply of Alternatives to MTBE in California's Reformulated Gasoline. Draft report, February 1998.
- CEPA (California Environmental Protection Agency). 1997. MTBE (methyl tertiary butyl ether). Briefing Paper. 28 p.  
<http://www.arb.ca.gov/fuels/gasoline/Oxy/Mtbebp.pdf> (Luettu 31.8.2007).
- Chapelle, F. 1999. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated ground water: the perspectives of history and hydrology. *Ground Water* 37, 122-132.
- Cho, J., Wilson, J., DiGiulio, D., Vardy, J. & Choi, W. 1997. Implementation of natural attenuation at a JP-4 jet fuel release after active remediation. *Biodegradation* 8, 265-273.
- Church, C., Isabelle, L., Pankow, J., Rose, D. & Tratnyek, P. 1997. Method for determination of methyl tert-butyl ether and its degradation products in water. *Environmental Science and Technology* 31, 3723-3726.
- Church, C., Pankow, J. & Tratnyek, P. 1999. Hydrolysis of tert-butyl formate – kinetics, products, and implications for the environmental impact of methyl tert-butyl ether. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18, 2789-2796.
- Creek, D. & Davidson, J. 1998. The performance and cost of MTBE remediation technologies. In: *Proceedings of the Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water – Prevention, Detection and Remediation*. National Ground Water Association and American Petroleum Institute Conference, Houston 1998. National Ground Water Association, Westerville, Ohio. P. 560-568.
- Creek, D. & Davidson, J. 2001. Granular activated carbon for MTBE removal from water. *Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue*, 59-60. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Daniel, R. 1995. *Intrinsic Bioremediation of BTEX and MTBE*. Field, Laboratory and Computer Modeling Studies. North Carolina State University, Department of Engineering, Raleigh, North Carolina. 325 p.
- Day, M. & Gulliver, T. 2001. Natural attenuation of tertiary butyl alcohol in groundwater at a chemical plant. *Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue*, 32-36. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Defibaugh, S. & Fischman, D. 1999. Biodegradation of MTBE utilizing a magnesium peroxide compound – a case study. In: Alleman, B. & Leeson, A. (eds.) *In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds*. Fifth International in Situ and on Site Bioremediation Symposium, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 1-6.
- DeWitt & Company Inc. 1998. *MTBE and Oxygenates*, 1998 Annual. Houston Texas, U.S.A.
- DeWitt & Company Inc. 2000. *MTBE and Oxygenates*, 2000 Annual. Houston Texas, U.S.A.



- Dottridge, J., Hall, M. & Firth, S. 2000. A Review of Current MTBE Usage and Occurrence in Groundwater in England and Wales. Environment Agency, Bristol. 108 p.
- Downey, D., Hinchee, R. & Miller, R. 1999. Cost-effective Remediation and Closure of Petroleum-contaminated Sites. Battelle Press, Columbus, Ohio. 297 p.
- EFOA (The European Fuel Oxygenates Association). 2005. MTBE Resource Guide. 3. ed. 64 p. [http://www.efoa.org/EFOA\\_Pages/05\\_Guide/05b\\_MTBE.html](http://www.efoa.org/EFOA_Pages/05_Guide/05b_MTBE.html) (Luettu 17.8.2007).
- Einarson, M. & MacKay, D. 2001. Water contamination. *Environmental Science and Technology* 35, 67-73.
- Ekroos, A. 2005. Valtion ympäristölupahallinnon kehittäminen. 75 s. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=33329&lan=fi> (Luettu 15.2.2008).
- Ekroos, A., Järvinen, M., Mannila, J. & Warsta, M. 2006. Selvitys ympäristölupajärjestelmän yksinkertaistamisesta ja yksinkertaistamisen keinoista. Ramboll Finland Oy. 109 s.
- Enssani, E. 2003. Biological treatment of MTBE. *Hydrology and Water Resources*, 293-299.
- Fayolle, F., LeRoux, F., Hernandez, G. & Vandecasteele, J-P. 1999. Mineralization of ethyl t-butyl ether by defined mixed bacterial cultures. In: Alleman, B. ja Leeson, A. (eds.) *In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds. Fifth International in Situ and on Site Bioremediation Symposium*, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 25-30.
- Fayolle, F., Vandecasteele, J.-P. & Monot, F. 2001. Microbial degradation and fate in the environment of methyl tert-butyl ether and related fuel oxygenates. *Applied Microbiology and Biotechnology* 56, 339-349.
- Finneran, K. & Lovley, D. 2001. Anaerobic degradation of methyl tert-butyl ether (MTBE) and tert-butyl alcohol (TBA). *Environmental Science and Technology* 35, 1785-1790.
- Finneran, K. & Lovley, D. 2003. Anaerobic in situ bioremediation. In: Moyer, E. ja Kostecki, P. (eds.) *MTBE Remediation Handbook*. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 265-278.
- Finneran, K., Lovley, D. & Moyer, E. 2001. Anaerobic strategies for enhanced MTBE and TBA bioremediation. *Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue*, 91-94. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Flores, A., Stocking, A., Ivery, J., Thoma, S. & Kavanaugh, M. 2000. Impact of small gasoline spills and the treatment of water supply from private drinking water wells. *Soil Sediment and Groundwater, MTBE Special Issue*, 15-20.
- Fortum Oil & Gas Oy. 1999. MTBE Volatilizability from Gasoline. Porvoo.
- Gray, J., Lacrampe-Couloume, G., Gandhi, D., Scow, K., Wilson, R., MacKay, D. & Lollar, B. 2002. Carbon and hydrogen isotopic fractionation during biodegradation of methyl tert-butyl ether. *Environmental Science and Technology* 36, 1931-1938.
- Greene, J. & Barnhill, T. 2001. Proven solutions for MTBE in household drinking water. *Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue*, 79-80. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Hanson, J., Ackerman, C. & Scow, K. 1999. Biodegradation of methyl tert-butyl ether by a bacterial pure culture. *Applied and Environmental Microbiology* 65, 4788-4792.
- Hardison, L., Curry, S., Ciuffetti, L. & Hyman, M. 1997. Metabolism of diethyl ether and cometabolism of methyl tert-butyl ether by a filamentous fungus, a *Graphium* sp. *Applied and Environmental Microbiology* 63, 3059-3067.
- Hatzinger, P., Steffan, R. & Drew, S. 2001. New technologies for MTBE remediation: biostimulation, bioaugmentation, and bioreactors. *Contaminated Soil, Sediment and Water, Special Issue*, 81-84. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Heath, J. & Lory, E. 2000. Navy evaluates MTBE cleanup technologies at California demonstration test site. *Soil Sediment and Groundwater, MTBE Special Issue*, 6-11.
- Henson, M. 1991. Characterization of subsurface degradation processes. In: *Site Characterization for subsurface remediation*. United States Environmental Protection Agency seminar publication, EPA 625-4-91-026. P. 193-201. <http://www.epa.gov/OUST/cat/sitchasu.pdf> (Luettu 31.8.2007).
- Horan, C. & Brown, E. 1995. Biodegradation and inhibitory effects of methyl-tertiary-butyl-ether (MTBE) added to microbial consortia. In: *10th Annual Conference on Hazardous Waste Research*, May 23-24, 1995. Great Plains-Rocky Mountain Hazardous Substance Research Center, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Hubbard, C., Barker, J., O'Hannesin, S., Vandegriendt, M. & Gillham, R. 1994. Transport and Fate of Dissolved Methanol, Methyl-tertiary-butyl-ether, and Monoaromatic Hydrocarbons in a Shallow Sand Aquifer. API Publication 4601, Health and Environmental Sciences Department, Washington, D.C. 226 p.
- Hunkeler, D., Butler, B., Aravena, R. & Barker, J. 2001. Monitoring biodegradation of methyl tert-butyl ether (MTBE) using compound-specific carbon isotope analysis. *Environmental Science and Technology* 35, 676-681.
- Hurt, K., Wilson, J., Beck, F. & Cho, J. 1999. Anaerobic biodegradation on MTBE in a contaminated aquifer. In: Alleman, B. ja Leeson, A. (eds.) *In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds. Fifth International in Situ and on Site Bioremediation Symposium*, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 103-114.
- IEA (International Energy Agency). 1998. Oil, Gas, Coal and Electricity. *Quarterly Statistics*, Third Quarter.
- Insinööri toimisto Paavo Ristola Oy. 2007. Jakeluasemien päästötarkkailu ja MTBE:n monitorointi maaperässä ja pohjavedessä. Pilot-hanke. 14 s.
- IUCLID (International Uniform Chemical Information Database). European Chemical Bureau. 1996.

- Jacobs, J., Guertin, J. & Herron, C. 2001. MTBE: Effects on Soil and Groundwater Resource. Lewis Publishers. 245 p.
- Javanmardian, M. & Glasser, H. 1997. In situ biodegradation of MTBE using biosparging. In: Preprints of extended abstracts, 213th American Chemical Society National Meeting, April 17, San Francisco, California.
- Jensen, H. & Arvin, E. 1990. Solubility and degradability of the gasoline additive MTBE, methyl tert-butyl ether and gasoline compounds in water. In: Arendt, F., Hinsenveld, M. & Brink, W. van den (eds.) Contaminated Soil '90. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. P. 445-448.
- Johnson, R., Pankow, J., Bender, D., Price, C. & Zogorski, J. 2000. MTBE, to what extent will past releases contaminate community water supply wells? Environmental Science and Technology 34, 210A-217A. [http://pubs.acs.org/hotartcl/est/2000/research/0666-00may\\_pankow.pdf](http://pubs.acs.org/hotartcl/est/2000/research/0666-00may_pankow.pdf) (Luettu 29.8.2007).
- Kane, S., Beller, H., Legler, T., Koester, C. & Happel, A. 2000. Evaluation of MTBE biodegradation in commercial LUFT sites, Microcosm studies. In: Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water, Prevention, Detection and Remediation, November 15-17, 2000. National Ground Water Association, Anaheim, California.
- Kane, S., Beller, H., Legler, T., Koester, C., Pinkart, H., Halden, R. & Happel, A. 2001. Aerobic biodegradation of methyl tert-butyl ether by aquifer bacteria from leaking underground storage tank sites. Applied and Environmental Microbiology 67, 5824-5829.
- Karhu, E., Gustafsson, J., Korhonen, H., Londesborough, S., Mannio, J., Mehtonen, J., Pilke, A., Ruoppa, M., Saarinen, K., Salonen, H., Silvo, K. & Vuoristo H. 2004. Haitallisten aineiden velvoitetarkkailun kehittäminen. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 87 p. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=31011&lan=FI> (Luettu 3.9.2007).
- Keller, A., Froines, J., Koshland, C., Reuter, J., Suffet, I. & Last, J. 1998. Health and Environment Assessment of MTBE, Report to the Governor and Legislature of the State of California. University of California. 63 p. <https://tsrtp.ucdavis.edu/public/mtbe/mtberpt> (Luettu 29.8.2007).
- Keller, A., Sirivithayapakorn, S. & Kram, M. 1999. Remediation of MTBE contaminated water and soil. Remediation, Winter, 55-68.
- Keller, A., Sirivithayapakorn, S., Kram, M. & Joy, M. 2000a. Innovative treatment of MTBE in groundwater, soil and air: a case study. Soil Sediment and Groundwater, MTBE Special Issue, 92-93.
- Keller, A., Sandall, O., Rinker, R., Mitani, M., Bierwagen, B. & Snodgrass M. 2000b. An evaluation of physicochemical treatment technologies for water contaminated with MTBE. Ground Water Monitoring and Remediation 20, 114-126.
- Kelley, K., Marley, M. & Sperry, K. 2003. In situ chemical oxidation. In: Moyer, E. & Kostecki, P. (eds.) MTBE Remediation Handbook. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 223-241.
- Kerfoot, W. 2000. Ozone microsparging for rapid MTBE removal. In: Wickramanayake, G., Gavaskar A. & Chen, A. (eds.) Chemical Oxidation and Reactive Barriers: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 187-194.
- Kinner, N. 2001. Fate, Transport and Remediation of MTBE. Bedrock Bioremediation Center, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire. 15 p. <http://www.asce.org/pdf/kinnertestimony.pdf> (Luettu 29.8.2007).
- Kolhatkar, R., Wilson, J. & Dunlap, L. 2000. Evaluating natural biodegradation of MTBE at multiple US sites. In: Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water, Prevention, Detection and Remediation, November 15-17, 2000. National Ground Water Association, Anaheim, California. P. 32-49.
- Krauss, M. von & Harremoës, P. 2001. MTBE in petrol as a substitute for lead. In: Late Lessons from Early Warnings: the Precautionary Principle 1896-2000. EEA, European Environmental Agency. Environmental issue report 22. P. 110-125. [http://reports.eea.eu.int/environmental\\_issue\\_report\\_2001\\_22/en](http://reports.eea.eu.int/environmental_issue_report_2001_22/en) (Luettu 17.8.2007).
- Kuhn, J. 2000. Natural attenuation of MTBE at the Ronan LUST Trust site, Ronan, Montana. In: Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water, Prevention, Detection and Remediation, November 15-17, 2000. National Ground Water Association, Anaheim, California. 244 p.
- Königsberg, S. & Mahaffey, W. 2001. The use of oxygen release compound for bioremediation of MTBE. Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue, 37-42. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Königsberg, S., Sandefur, C., Mahaffey, W., Deshusses, M. & Fortin, N. 1999. Peroxygen mediated bioremediation of MTBE. In: Allemann, B. & Leeson, A. (eds.) In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds. Fifth International in Situ and on Site Bioremediation Symposium, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 13-18.
- Landmeyer, J., Chapelle, F., Bradley, P., Pankow, J., Church, C. & Tratnyek P. 1998. Fate of MTBE relative to benzene in a gasoline contaminated aquifer (1993-98). Ground Water Monitoring and Remediation 18, 93-102.
- Li, T., Patel, R., Ramsden, D. & Greene, J. 2003. Ground water recovery and treatment. In: Moyer, E. & Kostecki, P. (eds.) MTBE Remediation Handbook. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 289-327.
- Little, A. 2001. MTBE and the Requirements for Underground Storage Tank Construction and Operation in Member States. A Report to the European Commission. 76 p. <http://www.environmental-expert.com/articles/article1001/mtbe.pdf> (Luettu 23.8.2007).
- Lory, E. 2003. MTBE cleanup technology evaluations at the Port Hueneme NETTS. In: Moyer, E. & Kostecki, P. (eds.) MTBE Remediation Handbook. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 473-501.

- Mace, R. & Choi, W. 1998. The size and behavior of MTBE plumes in Texas. In: Proceedings of the Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water – Prevention, Detection and Remediation, Houston 1998. National Ground Water Association and American Petroleum Institute Conference. National Ground Water Association, Westerville, Ohio. 10 p.
- MacKay, D., Einarson, M., Wilson, R., Fowler, B., Scow, K., Hyman, M., Naas, C., Schirmer, M. & Durrant, G. 1999. Field studies of in situ remediation of an MTBE plume at site 60, Vanderberg Air Force Base, California. In: Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. Prevention, Detection and Remediation, November 17-19, 1999, Houston, Texas. P. 178-188.
- MacKay, D., Wilson, R., Scow, K., Einarson, M., Fowler, B. & Wood, I. 2001. In situ remediation of MTBE at Vanderberg Air Force Base, California. Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue, 43-46. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Madsen, E. 1998. Theoretical and applied aspects of bioremediation – The influence of microbiological processes on organic contaminant compounds in field sites. In: Burlage, R., Atlas, R., Stahl, D., Geesey, G. & Sayler, G. (eds.). Techniques in Microbial Ecology. Oxford University Press, New York. P. 354-407.
- Malley, J., Eliason, P. & Wagler, J. 1993. Point-of-entry treatment of petroleum contaminated water supplies. Water Environment Research 65, 119-128.
- Malm, J. 2001. MTBE:n riskinarviointi ja riskienvähennysstrategia. Öljyalan ympäristöpäivä 20.9.2001.
- Miller, K., Heath, J. & Johnson, P. 2001. MTBE biobarrier demonstration at Port Hueney. Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue, 6-9. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Mo, K., Lora, C., Wanken, A., Javanmardian, M., Yang, X. & Kulpa C. 1997. Biodegradation of methyl t-butyl ether by pure bacterial cultures. Applied Microbiology and Biotechnology 47, 69-72.
- Moran, M., Zogorski, J. & Squillace, P. 2000. MTBE in groundwater of the United States – Occurrence, potential sources, and long-range transport. Soil Sediment and Groundwater, MTBE Special Issue, 57-62.
- Mormile, M., Liu, S. & Suflita, J. 1994. Anaerobic biodegradation of gasoline oxygenates: extrapolation of information to multiple sites and redox conditions. Environmental Science and Technology 28, 1727-1732.
- Mortensen, A., Jensen, K., Sonnenborg, T. & Arvin, E. 2000. Laboratory and numerical investigations of air sparging using MTBE as a tracer. Ground Water Monitoring and Remediation 20, 87-95.
- Nichols, E., Beadle, S. & Einarson, M. 2000. Strategies for Characterizing Subsurface Releases of Gasoline Containing MTBE. API Publication 4699. 57 p. <http://www.api.org/ehs/groundwater/upload/4699c.pdf> (Luettu 29.8.2007).
- Norris, R., Hinchey, R., Brown, R., MacCarthy, P., Wilson, J., Reinhard, M., Bouwer, E., Borden, R., Vogel, T., Thomas, J. & Ward, C. 1994. Handbook of Bioremediation. CRC Press Inc., Boca Raton. 257 p.
- Novak, J., Goldsmith, C., Benoit, R. & O'Brien, J. 1985. Biodegradation of methanol and tertiary butyl alcohol in subsurface systems. Water Science Technology 17, 71-85.
- Novak, J., Yeh, C., Gullic, D., Eichenbecker, J. & Benoit, R. 1992. The Influence of Microbial Ecology on Subsurface Degradation of Petroleum Contaminants. Virginia Polytechnic Institute and State University, Water Resources Center, Blacksburg, Virginia. 86 p.
- NSTC (National Science and Technology Council). 1997. Interagency Assessment of Oxygenated Fuels, Washington DC. 80 p. <http://www.epa.gov/otaq/regs/fuels/ostpfin.pdf> (Luettu 31.8.2007).
- Odenrantz, J. 1998. Implications of MTBE for intrinsic remediation of underground fuel tank sites. Remediation, Summer 1998, 7-16.
- Park, K. & Cowan, R. 1997. Effects of oxygen and temperature on the biodegradation of MTBE. In: Preprints of Extended Abstracts, 213th ACS National Meeting, April 17th, San Francisco, California. P. 421-424.
- Pence, V. 1987a. The Evaluation of Biodegradation of 606610 Using a Modified Closed Bottle Method. Report 87-0479-11, Arco Chemical Company, Hill Top Biolabs Inc., Miami, Ohio. 92 p.
- Pence, V. 1987b. Anaerobic Biodegradability Test. Report 87-0257-11. ARCO Chemicals Company, Hill Top Biolabs Inc., Miami, Ohio. 99 p.
- Piilo, T. & Salla, A. 2000. Metyyli-t-butyylieetteri (MTBE) Helsingin vesissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen monisteita 11/2000. 14 s.
- Prager, J. 1992. Methyl tert-butyl ether. In: Dangerous Properties of Industrial Materials Report 12. P. 381-394.
- Puig-Grajalas, L., Tan, N., Zee, F. van der, Razo-Flores, E. & Field, J. 2000. Anaerobic biodegradability of alkyphenols and fuel oxygenates in the presence of alternative acceptors. Applied Microbiology and Biotechnology 54, 692-697.
- Reid, J., Reisinger, H., Bartholomae, P., Gray, J. & Hullman, A. 1999. A comparative assessment of the long-term behavior of MTBE and benzene plumes in Florida, USA. In: Alleman, B. & Leeson, A. (eds.) In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds. Fifth International In Situ and on Site Bioremediation Symposium, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 97-102.
- Reinikainen, J. 2001. Edellytykset MTBE:llä pilaantuneen pohjaveden puhdistamiseen – aerobinen biohajoavuus ja hajottajien rikastus. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Ympäristötekniikan osasto, Bio- ja ympäristötekniikan laitos, Tampere. 116 s, 8 liitettä.
- Richards, S. & Zhang, W. 2000. Transformation of MTBE over a solid acid catalyst. In: Wickramanayake, G., Gavaskar A. & Chen, A. (eds.) Chemical Oxidation and Reactive Barriers: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 249-255.
- Rittman, B. 2003. Monitored natural attenuation of MTBE. In: Moyer, E. & Kosteci, P. (eds.) MTBE Remediation Handbook. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 329-345.

- Salanitro, J., Diaz, L., Williams, M. & Wisniewski, H. 1994. Isolation of a bacterial culture that degrades methyl t-butyl ether. *Applied and Environmental Microbiology* 60, 2593-2596.
- Salanitro, J., Spinnler, G., Maner, P., Wisniewski, H. & Johnson, P. 1999a. Potential for MTBE bioremediation in situ inoculation of specialized cultures. In: *Petroleum, Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. Prevention, Detection and Remediation*. National Ground Water Association and American Petroleum Institute, November 17-29, Houston, Texas.
- Salanitro, J., Spinnler, G., Neaville, C., Maner, P., Stearns, S., Bruce, C. & Johnson, P. 1999b. Demonstration of the enhanced MTBE bioremediation (EMB) in situ process. In: Alleman, B. & Leeson, A. (eds.) *In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds*. Fifth International in Situ and on Site Bioremediation Symposium, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 37-46.
- Salanitro, J., Johnson, P., Spinnler, G., Maner, P., Wisniewski, H. & Bruce, C. 2000. Field-scale demonstration of enhanced MTBE bioremediation through aquifer bioaugmentation and oxygenation. *Environmental Science and Technology* 34, 4152-4162.
- Salila, J. 2002. Huoltoasemien ympäristönsuojelu korkeimman hallinto-oikeuden viimeaikaisen oikeuskäytännön valossa. *Ympäristöjuridiikka* 3-4, 56-69.
- Schirmer, M. & Barker J. 1998. A study of long-term MTBE attenuation in the Borden aquifer, Ontario, Canada. *Ground Water Monitoring and Remediation* 18, 113-122.
- Schirmer, M., Barker, J., Butler, B., Church, C. & Schirmer, K. 1998. Natural attenuation of MTBE at the Borden field site. In: Wickramanayake, G. ja Hinchee, R. (eds.) *Natural Attenuation. Chlorinated and Recalcitrant Compounds*. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 327-331.
- Schirmer, M., Butler, B., Barker, J., Church, C. & Schirmer, K. 1999. Evaluation of biodegradation and dispersion and natural attenuation processes of MTBE and benzene at the Borden field site. *Physics and Chemistry of the Earth B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 24, 557-560.
- Schirmer, M., Butler, B., Church, C., Barker, J. & Nadarajah, N. 2003. Laboratory evidence of MTBE biodegradation in Borden aquifer material. *Journal of Contaminant Hydrology* 60, 229-249.
- Schmidt, T., Morgenroth, E., Schirmer, M., Effenberger, M. & Haderlein, S. 2001. Use and occurrence of fuel oxygenates in Europe. In: Diaz, A. & Drogos, D. (eds.) *Oxygenates in Gasoline: Environmental Aspects*. ACS-Symposium Series 799, American Chemical Society, Washington, DC. P. 58-79.
- Schmidt, T., Schirmer, M., Wei, H. & Haderleina, S. 2004. Microbial degradation of methyl tert-butyl ether and tert-butyl alcohol in the subsurface. *Journal of Contaminant Hydrology* 70, 173-203.
- Scholtz, B., Butzert, H., Neumeister, J. & Nierlich, F. 1990. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 5. ed. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim. P. 543-550.
- Schumann, H. & Sonntag, C. 1973. The UV-photolysis (185 nm) of liquid t-Butyl methyl ether. *Tetrahedron* 29, 1811-1818.
- Shelly, S. & Fouhy, K. 1994. The drive for cleaner burning fuel. *Chemical Engineering* 101, 61-63.
- Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 1995. Metyyli-t-butyylietteri. Perustelumuistio HTP-arvolle. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, Kemian työsuojeluneuvottelukunta. 2 s.
- Spinnler, G., Salanitro, J., Maner, P. & Lyons, K. 2001. Enhanced bioremediation of MTBE (Bioremedy) at retail gas stations. *Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue*, 47-49. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Spinnler, G., Maner, P., Stevenson, J., Salanitro, J., Bothwell, J. & Hickey, J. 2003. Application of an in situ bioremedy biobarrier at a retail gas station. In: Moyer, E. & Kostecki, P. (eds.) *MTBE Remediation Handbook*. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 517-527.
- Squillace, P., Zogorski, J., Wilber, W. & Price, C. 1996. Primary assessment of the occurrence and possible sources of MTBE in groundwater in the United States, 1993-1994. *Environmental Science and Technology* 30, 1721-1730.
- Squillace, P., Pankow, J., Korte N. & Zogorski J. 1997. Environmental behavior and fate of methyl tert-butyl ether. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16, 1836-1844. <http://ca.water.usgs.gov/mtbe/fs20396/> (Luettu 29.8.2007).
- Stephenson, R. 1992. Mutual solubilities: water ketones, water ethers and water gasoline alcohols. *Journal of Chemical Engineering* 37, 80-95.
- Steffan, R., McClay, K., Vainberg, S., Condee, C. & Zhang, D. 1997. Biodegradation of the gasoline oxygenates methyl tert-butyl ether, ethyl tert-butyl ether and tert-amyl methyl ether by propane-oxidizing bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 63, 4216-4222.
- Stocking, A., Deeb, R., Flores, A., Stringfellow, W., Talley, J., Brownell, R. & Kavanaugh, M. 2000. Bioremediation of MTBE: a review from a practical perspective. *Biodegradation* 11, 187-201.
- Suflita, J. & Mormile, M. 1993. Anaerobic biodegradation of known and potential gasoline oxygenates in the terrestrial subsurface. *Environmental Science and Technology* 27, 976-978.
- Suomen Standardoimislaitos SFS 2004. Palavien nesteiden jakeluasema, standardi SFS 3352. 4. laitos. Helsinki. 43 s.
- Suominen, V. 2000. Bentseenin, toluenin ja MTBE:n biohajoamisen arviointi ja tehostaminen pohjavesiviyöhykkeessä. Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, vesi- ja ympäristötekniikan laitos, ympäristötekniikan osasto. 120 s.
- SYKE (Suomen Ympäristökeskus). 2000. Benssiin lisäaine on riski pohjaveden ja talousveden laadulle, terveysriskit sen sijaan arvioidaan vähäisiksi. *Lehdistötiedote* 8.12.2000, Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. 2 s.
- SYKE (Suomen Ympäristökeskus). 2001. Risk Reduction Strategy, Tert-butyl methyl ether. Draft of May 23, 2001, CAS 1634-04-4, EINECS 216-653-1. 91 p.



- <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=59006&lan=EN> (Luettu 3.9.2007).
- SYKE, Suomen Ympäristökeskus, 2002. Risk Assessment, Tert-butyl methyl ether. Final Report 2002, CAS 1634-04-4, EINECS 216-653-1. 328 s.  
[http://ecb.jrc.it/DOCUMENTS/ExistingChemicals/RISK\\_ASSESSMENT/REPORT/mtbereport313.pdf](http://ecb.jrc.it/DOCUMENTS/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/REPORT/mtbereport313.pdf) (Luettu 3.9.2007).
- SYKE (Suomen Ympäristökeskus). 2002b. Kemikaaliluetteloiden ja tietokorttien käyttäjän opas. Suomen ympäristökeskus, Kemikaaliyksikkö. 94 s.  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=4137&lan=FI> (Luettu 7.9.2007).
- Symons, B. & Greene, J. 2003. Soil vapor extraction, bioventing and air sparging. In: Moyer, E. & Kostecki, P. (eds.) MTBE Remediation Handbook. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 201-221.
- Thomas, J., Clark, G., Thomson, M., Bedient, P., Rifai, H. & Ward, C. 1988. Environmental Fate and Attenuation of Gasoline Components in the Subsurface. American Petroleum Institute, Washington, D.C. 111 p.
- Thomson, B., Finfrock, D. & MacHaley, C. 1999. Development of permeable barriers for groundwater remediation: air stripping of methyl tertiary-butyl ether (MTBE). Environmental Science and Health Part A: Environmental Science and Engineering 34, 263-287.
- Thomson, J. 2000. Prospects for natural attenuation of MTBE. Soil Sediment and Groundwater, MTBE Special Issue, 41-42.
- Thomson, J. 2001. Intrinsic bioremediation of MTBE – an update. Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue, 61-63. [www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm](http://www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm) (Luettu 28.8.2007).
- Tuomi, P. & Vaajasaari, K. 2004. Monitoroidun luontaisen puhdistumisen (MLP) käyttö pilaantuneiden alueiden kunnostuksessa. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=89878&lan=FI> (Luettu 3.9.2007).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 1994. Chemical Summary for Methyl-tert-Butyl Ether. EPA 749-F-94-017a. 11 p. [http://www.epa.gov/chemfact/s\\_mtbe.txt](http://www.epa.gov/chemfact/s_mtbe.txt) (Luettu 3.9.2007).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 1997. Drinking Water Advisory: Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis on Methyl Tertiary-butyl Ether (MTBE). EPA-822-F-97-009. 42 p. [http://www.epa.gov/chemfact/s\\_mtbe.txt](http://www.epa.gov/chemfact/s_mtbe.txt) (Luettu 3.9.2007).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 1998a. MTBE Fact Sheet 2. Remediation of MTBE Contaminated Soil and Groundwater. EPA 510-F-97-015. 5 p.  
[www.epa.gov/swerust1/mtbe/mtbefs2.pdf](http://www.epa.gov/swerust1/mtbe/mtbefs2.pdf) (Luettu 28.8.2007).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 1998b. Oxygenates in Water: Critical Information and Research Needs. EPA 600-R-98-048. 65 p.  
[http://www.epa.gov/ncea/pdfs/oxy\\_h2o.pdf](http://www.epa.gov/ncea/pdfs/oxy_h2o.pdf) (Luettu 3.9.2007).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 1998c. MTBE Fact Sheet 3. Use and Distribution of MTBE and Ethanol. EPA 510-F-97-016. 3 p.  
<http://www.epa.gov/OUST/mtbe/mtbefs3.pdf> (Luettu 3.9.2007).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 1999a. Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons. Remedial Technology Fact Sheet. EPA 600-F-98-021. 3 p.  
<http://www.epa.gov/ada/download/fact/pet-hyd.pdf> (Luettu 3.9.2007).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) 1999b. Achieving Clean Air and Clean Water. The Report of the Blue Ribbon Panel on Oxygenates in Gasoline. EPA 420-R-99-021. 116 p.  
<http://www.epa.gov/otaq/consumer/fuels/oxypanel/r99021.pdf> (Luettu 3.9.2007).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 2000. Advance Notice of Proposed Rulemaking to Control MTBE in Gasoline. Regulatory Announcement. EPA 420-F-00-012. 5 p.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 2004. Technologies for Treating MTBE and Other Fuel Oxygenates.  
[www.epa.gov/swertio1/download/remed/542r04009/522r04009.pdf](http://www.epa.gov/swertio1/download/remed/542r04009/522r04009.pdf) (Luettu 31.8.2007).
- Vance, D., Lupo, M. & MacHugh, N. 2003. Anaerobic Bio-Oxidation of MTBe and 1,2-DCA. Proceedings of the 10th Annual International Petroleum Environmental Conference, November, Houston, Texas.
- Vaull, G. De, Sun, P., Walsh, D., Wisniewski, H. & Rhodes, I. 2004. MTBE to TBA conversion and biodegradation in aerobic, anaerobic and methanogenic soil conditions for several UST sites in Orange County, CA, USA. In: Proceedings of Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Assessment, and Remediation Conference and Workshops, August 16-18, Baltimore, MD
- Wallington, T., Dagaut, P., Liu, R & Kurylo, M. 1988. Gas-phase reactions of hydroxyl radicals with the fuel additives methyl tert-butyl ether and tert-butyl alcohol over the temperature range 240-440 K. Environmental Science and Technology 22, 842-844.
- WHO (World Health Organization). 1998. Environmental Health Criteria 206: Methyl tertiary-Butyl Ether. Geneva. 199 p.
- Williams, P. & Sheehan, P. 2001. A better perspective on the incidence and implications of MTBE in California's drinking water. Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue, 23-28.
- Wilson, B., Shen, H., Cho, J. & Vardy, J. 1999. Use of bioscreen to evaluate natural attenuation of MTBE. In: Alleman, B. & Leeson, A. (eds.) In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon and Other Organic Compounds. Fifth International In Situ and on Site Bioremediation Symposium, San Diego, April 19-22, 1999. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 115-120.
- Wilson, J. 2003a. Aerobic in situ bioremediation. In: Moyer, E. & Kostecki, P. (eds.) MTBE Remediation Handbook. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 243-264.

- Wilson, J. 2003b. Fate and transport of MTBE and other gasoline components. In: Moyer, E. & Kostecki, P. (eds.) MTBE Remediation Handbook. Amherst Scientific Publishers, Amherst, MA. P. 19-61.
- Wilson, J. & Cho, J. 2000. Rate of biotransformation of MTBE in methanogenic ground water. In: Wickramanayake, G., Gavaskar, A., Gibbs, J. & Means, J. (eds.) Case Studies in the Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 1-8.
- Wilson, J., Cho, J., Wilson, B. & Vardy, J. 2000a. Natural Attenuation of MTBE in the Subsurface under Methanogenic Conditions. EPA 600-R-00-006. 49 p.  
www.epa.gov/ada/download/reports/mtbereport.pdf (Luettu 28.8.2007).
- Wilson, J., Richter, A., Suidan, M. & Venosa, A. 2000b. Mineralization of MTBE with primary substrates. In: Wickramanayake, G., Gavaskar A., Alleman, B. & Magar, V. (eds.) Bioremediation and Phytoremediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds. Battelle Press, Columbus, Ohio. P. 191-196.
- Wilson, J., Kaiser, P. & Adair, C. 2005. Monitored Natural Attenuation of MTBE as a Risk Management Option at Leaking Underground Storage Tank Sites. EPA 600-R-04-179. 74 p.  
http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r04179/600R04179.pdf (Luettu 28.8.2007).
- Wilson, R. & MacKay, D. 2002. Diffusive oxygen emitters for enhancement of aerobic in situ treatment. Ground Water Monitoring and Remediation 22, 88-98.
- Wilson, R., MacKay, D. & Scow, K. 2002. In situ MTBE biodegradation supported by diffusive oxygen release. Environmental Science and Technology 36, 190-199.
- Winqvist, K. & Kajander, S. 2004. Pohjaveden tarkkailu jakeluasemien riskinhallintakeinona. Öljyalan ympäristöpäivät 21.-22.9.2004.
- Woodward, R. 2001. Management of oxygenated fuels in the united states and the European union. Contaminated Soil Sediment and Water, Special Issue, 85-86. www.aehsmag.com/issues/2001/spring.index.htm (Luettu 28.8.2007).
- Yeh, C. & Novak, J. 1991. Anaerobic biodegradation of oxygenates in the subsurface. In: Proceedings of the 1991 Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. Prevention, Detection and Restoration, November 20-22, 1991, Houston, Texas. Ground Water Management Book 8 of the Series. P. 427-441.
- Yeh, C. & Novak, J. 1994. Anaerobic biodegradation of gasoline oxygenates in soils. Water Environment Research 66, 744-752.
- Yeh, C. & Novak, J. 1995. The effect of hydrogen peroxide on the degradation of methyl and ethyl tert-butyl ether in soils. Water Environment Research 67, 828-834.
- Ympäristöministeriö. 2007. Polttonesteiden jakeluasematoimintaa pohjavesialueilla koskeva valvontaohje, YM4/401/2005. 15 s.

Liite I  
MTBE:n fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia

|                        |                                                                                                                                           |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IUPAC nimi:</b>     | 2-metoksi-2metyyli-propaani                                                                                                               |
| <b>Synonyymeja:</b>    | Metyyli-tertiääri-butyylieetteri (MTBE), tert-Butyyli metyyliieetteri, Metyyli-I, I-dimetyylieetteri, I, I, I-Trimetyyli-dimetyylieetteri |
| <b>Molekyylipaino:</b> | 88.15                                                                                                                                     |
| <b>Molekyylikava:</b>  | $C_5H_{12}O$                                                                                                                              |
| <b>Rakennekaava:</b>   | $  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 \\    \\  \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{O} - \text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $   |

|                              |                                     |
|------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Olomuoto (NTP)</b>        | väritön neste                       |
| <b>Sulamispiste</b>          | -108 °C                             |
| <b>Kiehumispiste</b>         | 55.2 - 55.3                         |
| <b>Leimahduspiste</b>        | -28.2 °C                            |
| <b>Itsesyttymislämpötila</b> | 460 °C                              |
| <b>Tiheys</b>                | 0,741 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)     |
| <b>Höyrinpaine</b>           | 270 hPa (20 °C)                     |
|                              | 330 hPa (25 °C)                     |
| <b>Pintajännitys</b>         | 20 mN/m (20 °C)                     |
| <b>Log Kow</b>               | 1.06 (25 °C)                        |
| <b>Vesiliukoisuus</b>        | 42 g/l (20 °C)                      |
| <b>Henryn lain vakio</b>     | 42.8 Pa m <sup>3</sup> /mol (20 °C) |

## Liite 2 MTBE-tase

MTBE-tase EU:n alueella vuonna 1999 (1000 tonnia/vuosi)

|                 | Kapasiteetti | Tuotanto     | Vienti       | Käyttö       |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Itävalta        | 69           | 40           |              | 40           |
| Belgia          | 151          | 116          | 16           | 64           |
| Tanska          |              |              |              | 13           |
| Suomi           | 129          | 108          | 9            | 136          |
| Ranska          | 647          | 518          | 275          | 140          |
| Saksa           | 579          | 474          | 2            | 450          |
| Kreikka         | 112          | 86           |              | 65           |
| Irlanti         |              |              |              |              |
| Italia          | 339          | 280          |              | 430          |
| Luxemburg       |              |              |              |              |
| Alankomaat      | 1 170        | 992          | 706          | 150          |
| Portugali       | 54           | 41           | 56           | 100          |
| Espanja         | 382          | 339          | 5            | 500          |
| Ruotsi          | 53           | 40           |              | 54           |
| UK              | 324          | 256          | 62           | 250          |
| <b>Yhteensä</b> | <b>4 009</b> | <b>3 290</b> | <b>1 131</b> | <b>2 392</b> |

Bensiinin ja MTBE:n kokonaiskulutus EU:n alueella vuonna 1997 (1000 tonnia/vuosi)

|                          | Bensiinin nettokulutus | MTBE:n kulutus | MTBE:n keskipitoisuus |
|--------------------------|------------------------|----------------|-----------------------|
| Alankomaat               | 4 145                  | 100            | 2,4 %                 |
| Belgia                   | 2 535                  | 100            | 3,9 %                 |
| Espanja                  | 9 100                  | 340            | 3,7 %                 |
| Irlanti                  | 1 173                  |                |                       |
| Italia                   | 17 149                 | 500            | 2,9 %                 |
| Itävalta                 | 2 094                  | 60             | 2,9 %                 |
| Kreikka                  | 3 056                  |                |                       |
| Luxemburg                | 542                    |                |                       |
| Portugali <sup>(1)</sup> | 1 931                  | 50             | 2,6 %                 |
| Ranska                   | 13 067                 | 200            | 1,5 %                 |
| Ruotsi                   | 4 126                  | 60             | 1,5 %                 |
| Saksa                    | 29 996                 | 350            | 1,2 %                 |
| Suomi <sup>(2)</sup>     | 1 882                  | 160            | 8,5 %                 |
| Tanska                   | 1 975                  | 4              | 0,2 %                 |
| UK                       | 22 288                 | 140            | 0,6 %                 |
| EU                       | 115 059                | 2 130          | 1,9 %                 |

<sup>(1)</sup> MTBE:n arvioitu minimikulutus

<sup>(2)</sup> Vain MTBE. Perustuu Fortumin käyttöön ja arvioon muiden öljy-yhtiöiden maahantuonnista

MTBE:n tuotannon, viennin, tuonnin ja käytön kehitys v. 1994-1999 (1000 tonnia/vuosi)

| Vuosi | Tuotanto-kapasiteetti | Tuotanto | Käyttö | Vienti | Tuonti |
|-------|-----------------------|----------|--------|--------|--------|
| 1994  | 3 126                 | 2 496    | 2 289  | 207    | 317    |
| 1995  | 3 260                 | 2 877    | 2 150  | 727    | 307    |
| 1996  | 3 394                 | 2 959    | 2 105  | 854    | 203    |
| 1997  | 3 485                 | 3 030    | 2 127  | 904    | 187    |
| 1998  | 3 768                 | 3 119    | 2 297  | 967    | 146    |
| 1999  | 3 634                 | 3 290    | 2 355  | 1 135  | 200    |



### Liite 3 Polttoaineasemat pohjavesialueilla

Polttoaineasemat pohjavesialueilla pohjavesiluokittain ja aluekeskuksittain.

| YKE             | I          | II        | III       | Yhteensä   |
|-----------------|------------|-----------|-----------|------------|
| ESA             | 11         |           |           | 11         |
| HAM             | 46         | 1         |           | 47         |
| KAI             | 6          |           |           | 6          |
| KAS             | 24         | 5         | 18        | 47         |
| KSU             | 13         |           |           | 13         |
| LAP             | 1          |           | 2         | 3          |
| LOS             | 13         | 1         |           | 14         |
| LSU             | 8          | 3         |           | 11         |
| PIR             | 23         |           |           | 23         |
| PKA             | 7          | 6         |           | 13         |
| PPO             | 12         | 5         |           | 17         |
| PSA             | 7          | 2         | 1         | 10         |
| UUS             | 51         | 5         |           | 56         |
| <b>Yhteensä</b> | <b>222</b> | <b>28</b> | <b>21</b> | <b>271</b> |

Polttoaineasemat pohjaveden muodostumisalueilla pohjavesiluokittain ja aluekeskuksittain

| YKE             | I          | II        | III       | Yhteensä   |
|-----------------|------------|-----------|-----------|------------|
| ESA             | 8          |           |           | 8          |
| HAM             | 25         | 1         |           | 26         |
| KAI             | 4          |           |           | 4          |
| KAS             | 19         | 5         | 17        | 41         |
| KSU             | 9          |           |           | 9          |
| LAP             |            |           | 2         | 2          |
| LOS             | 8          |           |           | 8          |
| LSU             | 7          | 3         |           | 10         |
| PIR             | 11         |           |           | 11         |
| PKA             | 5          | 6         |           | 11         |
| PPO             | 8          | 5         |           | 13         |
| PSA             | 4          | 2         | 1         | 7          |
| UUS             | 30         | 3         |           | 33         |
| <b>Yhteensä</b> | <b>138</b> | <b>25</b> | <b>20</b> | <b>183</b> |

Polttoaineasemat bufferI00 pohjavesiluokittain ja aluekeskuksittain

| YKE             | I          | II        | III       | Yhteensä   |
|-----------------|------------|-----------|-----------|------------|
| ESA             | 13         |           |           | 13         |
| HAM             | 56         | 2         | 1         | 59         |
| KAI             | 7          |           |           | 7          |
| KAS             | 30         | 7         | 20        | 57         |
| KSU             | 17         |           |           | 17         |
| LAP             | 1          | 1         | 2         | 4          |
| LOS             | 18         | 1         |           | 19         |
| LSU             | 11         | 3         |           | 14         |
| PIR             | 27         | 2         |           | 29         |
| PKA             | 7          | 7         |           | 14         |
| PPO             | 13         | 5         |           | 18         |
| PSA             | 10         | 2         | 1         | 13         |
| UUS             | 65         | 5         | 1         | 71         |
| <b>Yhteensä</b> | <b>275</b> | <b>35</b> | <b>25</b> | <b>335</b> |

## Liite 4 MTBE:n taustapitoisuuksia pohjavedessä (µg/l)

MTBE:n taustapitoisuuksia pohjavedessä (µg/l)

| Havaintopaikka        | Sijaintikunta | Lämpötila °C | Syksy 2003  |       | Kevät 2004   |            |       |
|-----------------------|---------------|--------------|-------------|-------|--------------|------------|-------|
|                       |               |              | MTBE        | TAME  | Lämpötila °C | MTBE       | TAME  |
| Hallakorpi kaivo 2/1  | Janakkala     | 7            | < 0,1       | < 0,1 | 6,5          | < 0,2      | < 0,2 |
| Hallakorpi HP         | Janakkala     | 6,3          | < 0,1       | < 0,1 | 6,4          | < 0,2      | < 0,2 |
| <b>Kukkila</b>        | Hollola       | 7,3          | <b>0,2</b>  | < 0,1 | 7,2          | < 0,2      | < 0,2 |
| Renkomäki kaivo 5     | Lahti         | 6,2          | < 0,1       | < 0,1 | 5            | < 0,2      | < 0,2 |
| <b>Kunnas kaivo 2</b> | Lahti         | 6,6          | <b>0,48</b> | < 0,1 | 6,7          | <b>1,4</b> | < 0,2 |
| Kunnas HPI75          | Lahti         | 6,7          | < 0,1       | < 0,1 | 5,2          | < 0,2      | < 0,2 |
| Mätäkivi              | Tuusula       | 7,9          | < 0,1       | < 0,1 | 7,2          | < 0,2      | < 0,2 |
| Tillola               | Iitti         | 7,5          | < 0,1       | < 0,1 | 8            | < 0,2      | < 0,2 |
| Jämijärvi lähde       | Jämijärvi     | 5,2          | < 0,1       | < 0,1 | 5,4          | < 0,2      | < 0,2 |
| Karkkila lähde        | Karkkila      |              |             |       | 5,8          | < 0,2      | < 0,2 |

## Liite 5 PILOT-näytteenottotulokset

### Huokosilmatulokset (mg/m<sup>3</sup>)

#### Vuosaari

| Piste | Näytteenottoaika | Syvyys/m | MTBE   | TAME   | Bentseeni | Tolueneeni | Etyyli-bentseeni | Ksyleenit | TVOC   | Kokonaishiilivety |
|-------|------------------|----------|--------|--------|-----------|------------|------------------|-----------|--------|-------------------|
| VUOI  | 5/27/2004        | 2,3-4,3  | < 0,45 | < 0,38 | < 0,24    | < 0,23     | < 0,23           | < 0,22    | < 0,66 | 0                 |
|       | 8/27/2004        | 2,3-4,3  | < 0,45 | < 0,38 | < 0,24    | < 0,23     | < 0,23           | < 0,22    | < 0,66 | 0,6               |
|       | 12/7/2004        | 2,3-4,3  | < 0,3  | < 0,3  | < 0,2     | < 0,2      | < 0,2            | < 0,2     | < 0,5  | 0                 |
|       | 4/6/2005         | 2,3-4,3  | < 0,2  | < 0,2  | < 0,2     | < 0,2      | < 0,2            | < 0,2     | < 0,3  | 0                 |
|       | 9/28/2005        | 2,3-4,3  | < 0,2  | < 0,2  | < 0,2     | < 0,2      | < 0,2            | < 0,2     | < 0,3  | 0                 |

#### Lohja

| Piste | Näytteenottoaika | Syvyys/m | MTBE   | TAME   | Bentseeni | Tolueneeni | Etyyli-bentseeni | Ksyleenit | TVOC   | Kokonaishiilivety |
|-------|------------------|----------|--------|--------|-----------|------------|------------------|-----------|--------|-------------------|
| HPI   | 5/27/2004        | 5,0-6,0  | < 0,45 | < 0,38 | < 0,24    | < 0,23     | < 0,23           | < 0,22    | < 0,66 | 0,3               |
|       | 8/27/2004        | 5,0-6,0  | 1      | 1,1    | < 0,24    | < 0,23     | < 0,23           | < 0,22    | 2,1    | 0,2               |
|       | 12/8/2004        | 5,0-6,0  | < 0,2  | < 0,2  | < 0,2     | < 0,2      | < 0,2            | < 0,2     | < 0,5  | 0                 |
|       | 4/5/2005         | 5,0-6,0  | < 0,2  | < 0,2  | < 0,2     | < 0,2      | < 0,2            | < 0,2     | < 0,3  | 0,1               |
| HP2   | 5/27/2004        | 2,0-3,0  | < 0,38 | < 0,38 | < 0,24    | < 0,23     | < 0,22           | < 0,22    | < 0,66 | 0                 |
|       | 8/27/2004        | 2,0-3,0  | < 0,38 | < 0,38 | < 0,24    | < 0,23     | < 0,22           | < 0,22    | < 0,66 | 0                 |
|       | 12/8/2004        | 2,0-3,0  | < 0,2  | < 0,2  | < 0,2     | < 0,2      | < 0,2            | < 0,2     | < 0,3  | 0                 |

### Pohjavesitulokset (mg/l)

#### Vuosaari

| Piste | Näytteenottoaika | Pv-pinnan korkeus/syvyys/m | MTBE   | TAME   | Bentseeni | Tolueneeni | Etyyli-bentseeni | Ksyleenit | TVOC   | Mineraaliöljyt |
|-------|------------------|----------------------------|--------|--------|-----------|------------|------------------|-----------|--------|----------------|
| VUO3  | 6/9/2004         | 3,11/ 6,7                  | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | < 0,05         |
|       | 8/27/2004        | 3,27/ 6,54                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
|       | 12/7/2004        | 3,4/ 6,41                  | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | < 0,05         |
|       | 4/5/2005         | 3,37/ 6,44                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
|       | 9/28/2005        | 3,14/ 6,67                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
| PVPI  | 12/7/2004        | 3,34/ 7,2                  | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | < 0,05         |
|       | 4/5/2005         | 3,31/ 7,23                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
|       | 9/28/2005        | 3,1/ 7,44                  | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
| PVP2  | 12/7/2004        | 3,81/ 7,16                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | < 0,05         |
|       | 4/5/2005         | 3,71/ 7,26                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
|       | 9/28/2005        | 3,37/ 7,6                  | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |

#### Lohja

| Piste | Näytteenottoaika | Pv-pinnan korkeus/syvyys/m | MTBE   | TAME   | Bentseeni | Tolueneeni | Etyyli-bentseeni | Ksyleenit | TVOC   | Mineraaliöljyt |
|-------|------------------|----------------------------|--------|--------|-----------|------------|------------------|-----------|--------|----------------|
| GA2   | 5/17/2004        | -                          | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | < 0,05         |
|       | 8/27/2004        | 57,85/8,19                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
|       | 12/7/2004        | 58,03/8,01                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
|       | 4/5/2005         | 58,26/7,78                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
| GA3   | 5/17/2004        | -                          | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | < 0,05         |
|       | 8/27/2004        | 57,04/6,53                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | < 0,05         |
|       | 12/7/2004        | 57,18/6,39                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
|       | 4/5/2005         | 57,39/6,18                 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |
| GA3*  | 8/27/2004        | -                          | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | < 0,05         |
|       | 4/5/2005         | -                          | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01    | < 0,01     | < 0,01           | < 0,01    | < 0,01 | -              |

\* Näyte on otettu noutimella

## KUVAILELEHTI

|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |                                |                                |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Julkaisija                                                     | Suomen ympäristökeskus (SYKE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                 |                                | Julkaisu-aika<br>Joulukuu 2009 |
| Tekijä(t)                                                      | Sanna Tidenberg, Tero Taipale ja Juhani Gustafsson                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                 |                                |                                |
| Julkaisun nimi                                                 | <b>MTBE ja TAME pohjavesiriskinä Suomessa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                 |                                |                                |
| Julkaisusarjan nimi ja numero                                  | Suomen ympäristö 29/2009                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                 |                                |                                |
| Julkaisun teema                                                | Ympäristön suojele                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                 |                                |                                |
| Julkaisun osat/<br>muut saman projektin<br>tuottamat julkaisut | Julkaisu on saatavana myös Internetistä: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                                |                                |
| Tiivistelmä                                                    | <p>Julkaisu käsittelee jakeluasemien sijoittamista pohjavesialueille eli käytännössä MTBE:n mahdollisia päästölähteitä, MTBE:n taustapitoisuutta pohjavesissä sekä Pilot-kokeiden tuloksia pohjavesitarkkailun tavoitteista, tarkkailumenetelmien soveltuvuudesta riskinhallintaan ja pohjavesitarkkailun kehittämisestä. Julkaisuun on koottu tietoja MTBE:n ominaisuuksista, käyttäytymisestä ja kulkeutumisesta pohjavesissä sekä MTBE:n esiintymisestä ja pilaantumistapauksista muun muassa POVET- rekisterin perusteella. Lisäksi julkaisussa esitellään joitakin vaihtoehtoja MTBE:lle ja sen puhdistamismahdollisuuksia pohjavedestä.</p> <p>Julkaisu perustuu vuonna 2003 käynnistettyyn kehityshankkeeseen ”Bensiinin lisäaineiden, MTBE:n ja TAME:n, pohjavesiseurannan suunnittelu ja kehittäminen”, jonka tavoitteena on luoda EU:n riskinvähentämissstrategian mukainen, toimiva ja taloudellisesti toteutuskelpoinen malli jakeluasemien päästötarkkailulle. Hankkeeseen sisältyy neljä osa-aluetta: pohjavesialueilla sijaitsevien jakeluasemien kartoittaminen, MTBE:n taustapitoisuuden selvittäminen pohjavesissä, päästötarkkailun ja pohjavesiseurannan Pilot-kokeet kahdella jakeluasemalla sekä ohjeiden laatiminen jakeluasemien toiminnan ja tarkkailun toteuttamisesta ja valvonnasta.</p> <p>MTBE on erittäin vesiliukoinen yhdiste ja tästä johtuen maaperään päästyään se kulkeutuu helposti pohjaveteen ja saattaa levitä virtauksen mukana. Alhaisen haju- ja makukynnyksen takia MTBE rajoittaa jo hyvin alhaisissa pitoisuuksissa pohjaveden käyttöä talousvetenä. MTBE:n biologinen hajoaminen on hidasta, joten se joudutaan poistamaan pohjavedestä erilaisilla kunnostusmenetelmillä. Verrattuna muuhun Eurooppaan, Suomessa MTBE:n suhteellinen osuus bensiinissä on korkea. MTBE:n suuri vesiliukoisuus, kulkeutuvuus pohjavedessä ja heikko biohajoaminen yhdistettynä bensiinin korkeisiin MTBE-pitoisuuksiin, voivat nostaa pitoisuuden pohjavedessä huomattavan korkeaksi ja aiheuttaa pohjaveden pilaantumista.</p> <p>Huomattavimmat päästöt ympäristöön tapahtuvat bensiinin jakelun, varastoinnin ja käytön yhteydessä. Merkittävän riskin aiheuttavat pohjavesialueilla sijaitsevat polttonesteen jakeluasemat. Huoltamoiden suojausrakenteilla ja niiden rakennustyön aikaisella valvonnalla on merkittävä vaikutus pohjaveden suojeleluun. Valtaosassa MTBE-havainnoista hajukynnys, 15 µg/l, ei ylittynyt mutta pahimpien pilaantumistapausten yhteydessä pitoisuudet ylittivät reilusti sekä haju- että makukynnyksen. Maksimipitoisuudeksi todettiin 1 000 mg/l. Valtaosa havainnoista liittyi saastuneisiin maihin. Hämeen ympäristökeskuksen alueella toteutetun MTBE-pilaantumistapausten monitoroinnin sekä puhdistustoimenpiteiden ja niiden seurannan perusteella näyttää siltä, että puhdistustoimenpiteillä on nopea ja merkittävä vaikutus pitoisuuksien alenemiseen pohjavedessä.</p> |                                 |                                |                                |
| Asiasanat                                                      | MTBE, TAME, pohjavesi, seuranta, pohjaveden laatu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                 |                                |                                |
| Rahoittaja/<br>toimeksiantaja                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |                                |                                |
|                                                                | ISBN<br>978-952-11-3536-1 (nid.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ISBN<br>978-952-11-3537-8 (PDF) | ISSN<br>1238-7312 (pain.)      | ISSN<br>1796-1637 (verkkoy.)   |
|                                                                | Sivuja<br>88                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kieli<br>Suomi                  | Luottamuksellisuus<br>Julkinen | Hinta (sis. alv 8 %)<br>14 €   |
| Julkaisun myynti/<br>jakaja                                    | Edita Publishing Oy, PL 780, 00043 EDITA<br>Myyntipalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380<br>Sähköposti: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi</a><br><a href="http://www.edita.fi/netmarket">www.edita.fi/netmarket</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                 |                                |                                |
| Julkaisun kustantaja                                           | Suomen ympäristökeskus (SYKE), PL 140, 00251 Helsinki                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                 |                                |                                |
| Painopaikka ja -aika                                           | Edita Prima Oy, 2009.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                 |                                |                                |

## PRESENTATIONSBLAD

|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                 |                           |                                |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Utgivare                                                    | Finlands miljöcentral (SYKE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                 |                           | Datum<br>December 2009         |
| Författare                                                  | Sanna Tidenberg, Tero Taipale och Juhani Gustafsson                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                 |                           |                                |
| Publikationens titel                                        | <b>MTBE ja TAME pohjavesiriskinä Suomessa</b><br>(MTBE och TAME som risk för grundvatten i Finland)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                 |                           |                                |
| Publikationsserie och nummer                                | Miljön i Finland 29/2009                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                 |                           |                                |
| Publikationens tema                                         | Miljövård                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                 |                           |                                |
| Publikationens delar/andra publikationer inom samma projekt | Publikationen finns tillgänglig också på Internet: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                 |                           |                                |
| Sammandrag                                                  | <p>Publikationen behandlar hur servicestationer, möjliga utsläppskällor för MTBE, är belägna på grundvattenområden samt bakgrundskoncentrationen av MTBE i grundvatten. Utredningen behandlar även resultaten för pilotundersökningarna samt målen och utvecklingsbehoven inom grundvattensuppföljning och tillämpligheten av observeringsmetoderna för riskhantering. Publikationen sammanfattar information om egenskaperna för MTBE och hur ämnet beter sig samt transporteras i grundvatten. En del MTBE föroreningsfall som registrerats i Finland i t.ex. POVET datasystemet diskuteras också. Utredningen presenterar även alternativa ämnen för MTBE och olika reningsmetoder.</p> <p>Publikationen baserar sig på utvecklingsprojektet "Planering och utveckling för uppföljning av bensinens tillsatssämnen, MTBE och TAME, i grundvatten" som påbörjades år 2003. Målet för projektet var att skapa en fungerande och ekonomiskt genomförbar modell för utsläppskontrollen av servicestationerna i enlighet med EU:s riskförminskingsstrategier. Projektet innefattar fyra olika delområden: kartläggning av de servicestationerna som är belägna på grundvattenområden, utredning av bakgrundskoncentrationerna av MTBE i grundvatten, utsläppskontroll och grundvattenobservering i pilotundersökningarna på två servicestationer samt sammanställandet av anvisningar för hur servicestationers verksamhet och monitorering borde genomföras och övervakas.</p> <p>MTBE är en ytterst vattenlöslig förening vilket leder till att ämnet vid utsläpp i jordmånen transporteras lätt till grundvattnet och därifrån vidare med strömmen. På grund av låg smaktröskel begränsas bruket av MTBE förorenad grundvatten som hushållsvatten redan vid låga halter. Den biologiska nedbrytningen av MTBE är långsam vilket leder till att ämnet måste renas med olika reningsmetoder. MTBE halten i bensinen i Finland är proportionellt hög jämfört med resten av Europa. På grund av att MTBE har hög vattenlöslighet, bra rörlighet i grundvatten samt bryts långsamt biologiskt ned och de höga halterna av MTBE i finsk bensin kan MTBE halterna höjas avsevärt i grundvattnet och därmed orsaka förorening.</p> <p>De mest märkbara utsläppen i naturen sker vid distribution, lagring och bruk av bensin. Den största risken förorsakas av servicestationer som är belägna på grundvattenområden. Skydds konstruktionerna för servicestationerna samt kvalificerad bevakning under byggnadsarbetet har en märkbar inverkan på skyddandet av grundvatten.</p> <p>I majoriteten av MTBE observationerna översteg halterna inte smaktröskeln (15 µg/l) men i de värsta föroreningsfallen överskred halterna rejält både smak- och luktröskeln. Den maximala halten som upptäcktes var 1000 mg/l. Största delen av MTBE observationerna var från fall med förorenad mark. Vid ett MTBE föroreningsfall inom regionen för Tavastlands miljöcentral utfördes monitorering av rengöringsåtgärderna. Resultaten från fallet bevisar att reningsåtgärderna har en avsevärd och snabb inverkan på minskningen av halterna i grundvatten.</p> |                                 |                           |                                |
| Nyckelord                                                   | MTBE, TAME, grundvatten, monitorering, grundvatten kvalitet                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                 |                           |                                |
| Finansiär/uppdragsgivare                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                 |                           |                                |
|                                                             | ISBN<br>978-952-11-3536-1 (hft.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ISBN<br>978-952-11-3537-8 (PDF) | ISSN<br>1238-7312 (print) | ISSN<br>1796-1637 (online)     |
|                                                             | Sidantal<br>88                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Språk<br>Finska                 | Offentlighet<br>Offentlig | Pris (inneh. moms 8 %)<br>14 € |
| Beställningar/distribution                                  | Edita Publishing Ab, PB 780, 00043 EDITA<br>Kundtjänst: tfn. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380<br>Epost: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi</a><br><a href="http://www.edita.fi/netmarket">www.edita.fi/netmarket</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                 |                           |                                |
| Förläggare                                                  | Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                 |                           |                                |
| Tryckeri/tryckningsort-år                                   | Edita Prima Ab, 2009                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                 |                           |                                |

## DOCUMENTATION PAGE

|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                 |                               |                                      |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| <i>Publisher</i>                                        | Finnish Environment Institute (SYKE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                 |                               | <i>Date</i><br>December 2008         |
| <i>Author(s)</i>                                        | Sanna Tidenberg, Tero Taipale and Juhani Gustafsson                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                 |                               |                                      |
| <i>Title of publication</i>                             | <b>MTBE ja TAME pohjavesiriskinä Suomessa</b><br>(MTBE and TAME as a risk for groundwater in Finland)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                 |                               |                                      |
| <i>Publication series and number</i>                    | The Finnish Environment 29/2009                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                 |                               |                                      |
| <i>Theme of publication</i>                             | Environmental Protection                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                 |                               |                                      |
| <i>Parts of publication/ other project publications</i> | The publication is available on the internet: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                 |                               |                                      |
| <i>Abstract</i>                                         | <p>The publication discusses how service stations, possible MTBE pollution sources, are situated in groundwater areas. The background concentration of MTBE in groundwater, pilot studies results from monitoring groundwater, and the monitoring methods suitability for risk management and developing groundwater monitoring are also discussed in the survey. The publication also summarizes information on MTBE, its properties, behavior, and mobility in groundwater. Contamination cases that are recorded from for e.g. the POVET data system are also recollected. The survey also presents alternative methods for refining MTBE from groundwater.</p> <p>The publication is based on the development project "Developing the monitoring of gasoline additives, MTBE and TAME from groundwater", which was launched in 2003. The aim of the project was to according to the EU risk diminishing strategy, create a functional and economically feasible model for monitoring service stations discharge. The project consists of four different sections: mapping the service stations which are located on groundwater areas, determine the background concentrations of MTBE in groundwater, monitoring the discharge into groundwater from two pilot studies, and to formulate a guideline for monitoring service stations operations and the enforcement of surveillance.</p> <p>MTBE is a highly water-soluble compound which in case of discharge into soil is easily infiltrated into groundwater and onward due to water flow. Because of the low taste and smell threshold of MTBE, even minor concentrations restrict the use of groundwater for household consumption. The biological decomposition of MTBE is slow, which means that decontamination must be done with remedial actions. Compared with the rest of Europe, MTBE concentrations in Finnish gasoline are relatively high. High water-solubility and mobility in groundwater, along with feeble biological decomposition combined with high MTBE concentrations in gasoline can significantly raise the concentration of MTBE in groundwater. This causes contamination of groundwater resources.</p> <p>The most significant discharge source of MTBE into the environment is from gasoline distribution, storage and use. A substantial risk is caused by service stations that are situated in groundwater areas. Protective structures of the service stations as well as the qualified surveillance of the building stages have a great affect on groundwater protection in the area.</p> <p>The taste threshold, 15 µg/l, was not exceeded in the majority of MTBE observations. However, the concentrations in the worst contamination cases exceeded the taste and smell thresholds severely. The highest values observed were 1000mg/l. The majority of the observations were from contaminated soil sites. The monitoring of decontamination remedial actions at a MTBE contamination site in Häme regional environment centers area implies that remedial actions have a significant and rapid effect on decreasing MTBE concentrations in groundwater.</p> |                                 |                               |                                      |
| <i>Keywords</i>                                         | MTBE, TAME, groundwater, monitoring, groundwater quality                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                 |                               |                                      |
| <i>Financier/ commissioner</i>                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                 |                               |                                      |
|                                                         | ISBN<br>978-952-11-3536-1 (pbk.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ISBN<br>978-952-11-3537-8 (PDF) | ISSN<br>1238-7312 (print)     | ISSN<br>1796-1637 (online)           |
|                                                         | <i>No. of pages</i><br>88                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <i>Language</i><br>Finnish      | <i>Restrictions</i><br>Public | <i>Price (incl. tax 8 %)</i><br>14 € |
| <i>For sale at/ distributor</i>                         | Edita Publishing Ltd, P.O.Box 780, FI-00043 Edita, Finland<br>Customer service: tel. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380<br>Mail orders: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi</a><br><a href="http://www.edita.fi/netmarket">www.edita.fi/netmarket</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                               |                                      |
| <i>Financier of publication</i>                         | Finnish Environment Institute (SYKE), P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                 |                               |                                      |
| <i>Printing place and year</i>                          | Edita Prima Ltd, 2009.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |                               |                                      |

“Bensiinin lisäaineiden, MTBE:n ja TAME:n, pohjavesiseurannan suunnittelu ja kehittäminen” -hankkeen tarkoituksena on ollut koota tietoa MTBE:n (metyyli-tertiääri-butyylieetteri) ja TAME:n (tertiäärinen amyli-metyylieetteri) riskeistä pohjavedelle sekä kehittää pohjaveden tarkkailua jakeluasemilla Suomessa. Yhdisteet ovat bensiiniin lisättäviä synteettisiä yhdisteitä, jotka on kehitetty lyijyn korvikkeeksi oktaaniluvun kohottajiksi, mutta nykyisin näitä käytetään myös oksygenaattina mm. tehostamaan bensiinin palamista, mikä vähentää bensiinikäyttöisten autojen pakokaasupäästöjä. Taustalla on EY-komission vuonna 2001 antama MTBE:ä koskeva riskinvähennyssuositus. Projektissa selvitettiin polttonesteen jakeluasemien sijoittumista pohjavesialueille sekä MTBE:n ja TAME:n taustapitoisuuksia pohjavesissä. Pilot-koevaiheen tarkoituksena oli selvittää parhaat käyttökelpoiset tarkkailumenetelmät ja niiden soveltuminen erityyppisiin olosuhteisiin. Työn pohjalta on pyritty löytämään hyviä käytäntöjä jakeluasemien toiminnan ja tarkkailun toteuttamisesta sekä niiden valvonnasta.



S Y K E

Myynti: Edita Publishing Oy  
Myyntipalvelu: PL 780, 00043 EDITA  
puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380  
asiakaspalvelu.publishing@edita.fi  
www.edita.fi/netmarket

**ISBN 978-952-11-3536-1 (nid.)**

**ISBN 978-952-11-3537-8 (PDF)**

**ISSN 1238-7312 (pain.)**

**ISSN 1796-1637 (verkkoj.)**