

Vastaanottaja
Uusioaines Oy

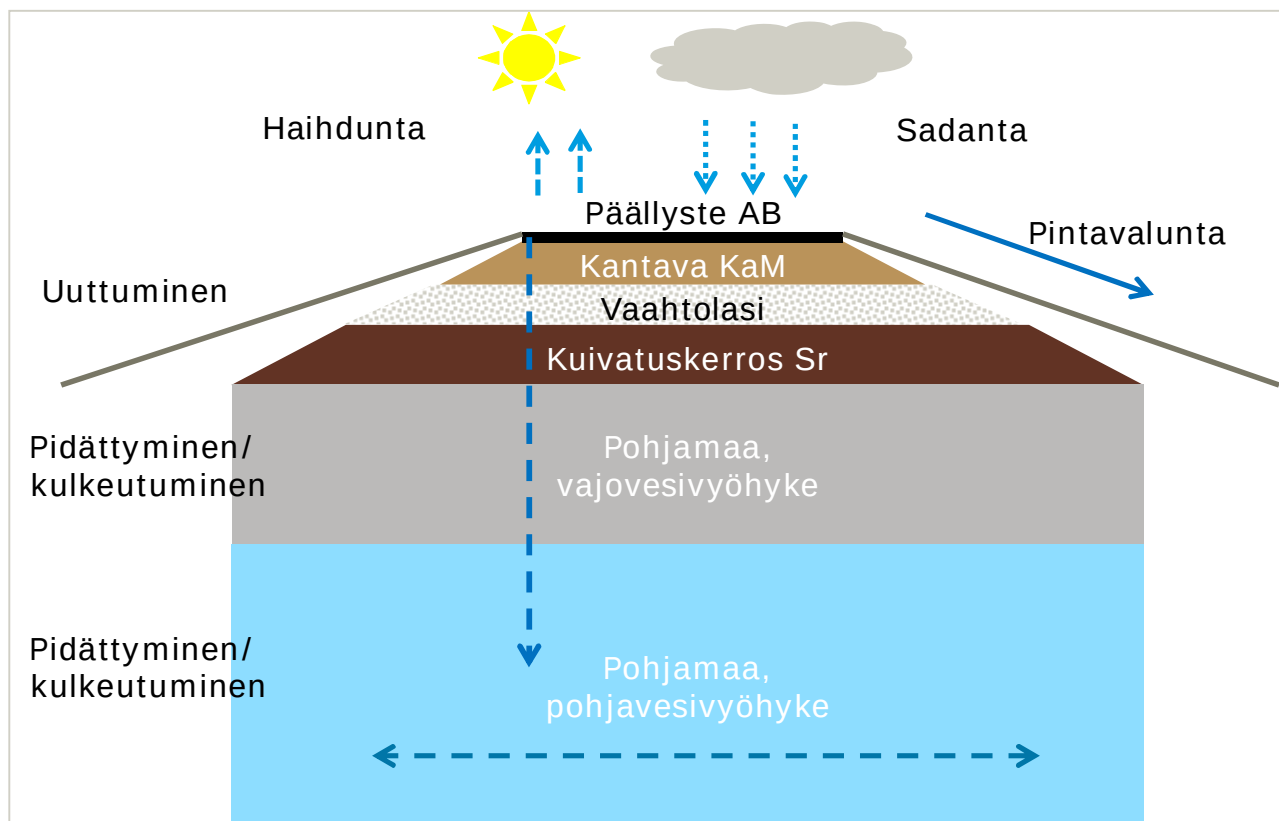
Asiakirjatyyppi
Riskinarvioraportti

Päivämäärä
22.3.2013

FOAMIT[®] -VAAHTOLASI

KULKEUTUMISRISKIN TARKASTELUJA

POHJAVESIALUEILLA



**FOAMIT® -VAAHTOLASI
KULKEUTUMISRISKIN TARKASTELUJA
POHJAVESIALUEILLA**

Päivämäärä **22.3.2013**
Laatija **Noora Lindroos**
Tarkastaja **Marjo Ronkainen**
Kuvaus **Riskinarvio**

Noora Lindroos
Marjo Ronkainen

Viite 82135214-002

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	1
2.	Foamit® -Vaahtolasi	1
2.1	Valmistajan yhteystiedot	1
2.2	Tuotanto	1
3.	Pohjaveden pilaantumISRISKIN arvioinnin lähtökohdat	2
3.1	Tavoitteet	2
3.2	Rajaukset	2
3.3	Vaahtolasin ominaisuuksia	2
3.4	Kriittiset haitta-aineet ja niiden ominaisuuksia	3
3.5	Kulkeutumislaskennan lähtökohdat	4
4.	Vaahtolasin käyttö pohjaveden muodostumisalueella	6
4.1	Kulkeutumisskenaario 1	6
5.	Vaahtolasi kevennysrakenteena pehmeiköillä	7
5.1	Kulkeutumisen arviointi	8
5.2	Kulkeutumisskenaariot 2 ja 3	8
5.3	Tulokset kulkeutumisskenaarioista 2 ja 3	9
6.	Vaahtolasi routaeristeenä tierakenteessa	10
6.1	Kulkeutumisen arviointi	10
6.2	Kulkeutumisskenaariot 4 ja 5	12
6.3	Tulokset kulkeutumisskenaarioista 4 ja 5	12
7.	Epävarmuustarkastelu	13
7.1	Materiaalin laadunvaihtelu ja analyysit	13
7.2	Kulkeutumislaskennan ja ympäristöolosuhteiden epävarmuudet	13
8.	Riskinarvion johtopäätökset	16
9.	Lähdekirjallisuus	17

LIITTEET

Liite 1	Vaahtolasin teknisiä ominaisuuksia
Liite 2	Haitta-ainepitoisuustutkimusten tuloksia
Liite 3	Analyysitodistukset
Liite 4	Kulkeutumislaskenta skenaariossa 1
Liite 5	Kulkeutumislaskenta skenaariossa 2
Liite 6	Kulkeutumislaskenta skenaariossa 3
Liite 7	Kulkeutumislaskenta skenaariossa 4
Liite 8	Kulkeutumislaskenta skenaariossa 5

1. JOHDANTO

Foamit® -vaahtolasimursketta valmistetaan jauhetusta kierrätyslasista Uusioaines Oy:ssä. Vaahtolasilla on monia hyviä teknisiä ominaisuuksia, joiden vuoksi se soveltuu materiaaliksi maarakentamisen ja talonrakentamisen eri sovelluksissa – keventeenä, routaeristeenä ja lämmöneristeenä.

Tässä riskinarviossa tarkastellaan Foamit®-vaahtolasin käytön vaikutuksia pohjaveden laatuun pohjaveden muodostumisalueilla sekä kahdessa tyypillisessä vaahtolasin käyttösovelluksessa; vaahtolasin käytössä routaeristeenä tie- katu- ja kenttärakenteissa sekä kevennysmateriaalina tie- ja katurakenteissa pehmeiköillä. Riskinarviossa tarkastellaan vaahtolasin haitta-aineiden kulkeutumista ja pohjavesille aiheutuvaa mahdollista riskiä huomioiden vaahtolasin tekniset ja kemialliset ominaisuudet sekä eri kohteiden käyttösovellusten erityispiirteet. Tämä riskinarvio täydentää aiemmin Foamit® -vaahtolasille laadittua riskinarviota: Ramboll Finland Oy, Foamit® -vaahtolasin käyttö pohjavesialueilla, Riskinarvio, 11.11.2011.

Riskinarvio on laadittu Ramboll Finland Oy:ssä, jossa työstä ovat vastanneet FM Noora Lindroos ja DI Marjo Ronkainen. Työ on laadittu Uusioaines Oy:lle, jossa yhteyshenkilönä on toiminut DI Jarmo Pekkala.

2. FOAMIT® -VAAHTOLASI

Foamit® -vaahtolasimurskeesta käytetään tässä raportissa nimeä vaahtolasi.

2.1 Valmistajan yhteystiedot

Uusioaines Oy,
PL 120
30101 Forssa
www.uusioaines.com
www.foamit.fi

Vaahtolasin tuotantotehdas:
Kurikkamäentie 23, Forssa

2.2 Tuotanto

Vaahtolasi valmistetaan teollisesti jauhetusta kierrätyslasista, josta on poistettu tehokkaasti metallit, muovit ym. epäpuhtaudet. Vaahtolasin valmistusprosessissa raaka-ainemassa, lasijauhe ja vaahdotusaineet, kuumennetaan 900°C:een jatkuvatoimisessa tasouunissa, jossa massa paisuu noin viisinkertaiseksi. Paisunut massa jäädytetään nopeasti, jolloin massa halkeilee murskemäiseksi kappaleiksi (palakoko noin 0-60 mm; ominaispaino $210 \text{ kg/m}^3 \pm 15 \%$).

3. POHJAVEDEN PILAANTUMISRISKIN ARVIOINNIN LÄHTÖKOHDAT

3.1 Tavoitteet

Riskinarvioinnin tavoitteena on selvittää, aiheuttaako vaahtolasin käyttö pohjavesialueilla ja niiden suojavyöhykkeillä riskiä pohjaveden laadulle. Ensisijaisesti riskinarviossa tarkastellaan tilannetta, jossa vaahtolasia on käytetty pohjaveden muodostumisalueella tierakenteessa. Tilanne on vaahtolasin käyttökohteena epätodennäköinen, sillä geoteknisistä syistä hiekka- tai sora-alueilla ei ole tarvetta vaahtolasin käytölle, mutta tarkastelu on otettu riskinarvioon vaahtolasin pohjaveen kohdistuvien vaikutusten arvioimiseksi.

Lisäksi riskinarviossa tarkastellaan vaahtolasin tyypillisiä käyttösovelluksia, joita ovat vaahtolasin käyttö routaeristeenä tie-, katu- ja kenttärakenteissa sekä piha-alueilla, sekä kevennysrakenteissa pehmeiköillä. Riskinarviossa tarkastellaan vaahtolasin haitta-aineiden kulkeutumista ja pohjavesille mahdollisesti aiheutuvaa riskiä huomioiden vaahtolasin tekniset ja kemialliset ominaisuudet sekä eri käyttösovellusten erityispiirteet.

3.2 Rajaukset

Vaahtolasin riskinarvio ei ole kohdekohtainen, vaan riskinarviossa tarkastellaan vaahtolasin käyttöä pohjaveden muodostumisalueilla sekä tyypillisissä käyttösovelluksissa. Arvioinnissa on käytetty konservatiivisia oletuksia ympäristöolosuhteiden osalta, koska ne eivät ole tiedossa. Vaahtolasin teknisten ominaisuuksien ja tierakenteen kerrospaksuuksien osalta on käytetty realistisia oletuksia ja parametreja, jotka ovat tyypillisiä vaahtolasirakennuskohteissa. Riskinarviossa ei tarkastella terveysriskejä mahdollisen altistujan tasolla, vaan riskinarvio on rajattu haitta-aineiden kulkeutumisen tarkasteluun.

3.3 Vaahtolasin ominaisuuksia

Vaahtolasi on palamatonta, pääasiassa piioksidista (kvartsi) koostuvaa amorfista ainetta ja kestää tavallisia kemiallisia aineita, joita kaduilla ja teillä tavanomaisesti esiintyy (mm. öljytuotteet ja tiesuola). Vaahtolasi on lievästi emäksistä (pH noin 10). Vaahtolasin valmistusprosessista ja käytetyistä raaka-aineista johtuen, vaahtolasi ei sisällä haihtuvia yhdisteitä eikä orgaanisia haitta-aineita. Näin ollen tärkeimmät vaahtolasin ympäristö- ja terveysvaikutuksia kuvaavat ominaisuudet ovat epäorgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet. Liitteessä 1 on esitetty vaahtolasirakenteiden mitoituksessa käytettävien parametrien arvoja, joita on soveltuvin osin käytetty myös riskinarviossa.

Vaahtolasinäytteille on tehty useita haitta-aineiden kokonaispitoisuus- ja liukoisuusmäärittäyksiä. Analyysitulokset on esitetty liitteen 2 taulukossa. Analyysit on tehty Ramboll Analyticsin laboratoriossa ja analyysitodistukset on esitetty liitteessä 3.

Vaahtolasinäytteistä (8 näytettä) on analysoitu arseenin, bariumin, kadmiumin, kromin, kuparin, elohopean, molybdeenin, nikkelin, lyijyn, antimonin, seleenin ja sinkin *kokonaispitoisuudet* (ISO 17294-2, EPA 3051A, SFS-EN ISO 15587-1). Näytteiden esikäsittelyyn metallimäärittäyksiä varten on kuulunut näytteen jauhaaminen, kuningasvesiuutto ja mikroaaltohajotus. Metallit on analysoitu ICP-MS tekniikalla.

Vaahtolasinäytteistä on analysoitu arseenin, bariumin, kadmiumin, kromin, kuparin, elohopean, molybdeenin, nikkelin, lyijyn, antimonin, seleenin, sinkin, vanadiinin, kloridin, sulfaatin ja fluoridin *liukoisuuksia* 2-vaiheisella ravistelutestillä standardin SFS-EN 12457-3 mukaisesti (8 näytettä) ja läpivirtaustestillä standardin CEN/TS 14405 mukaisesti (1 näyte).

Vaahtolasin käytölle maarakentamisessa ei ole Suomen lainsäädännössä raja-arvoja. Vaahtolasin kokonaispitoisuuksia on kuitenkin verrattu seuraaviin viitearvoihin (liite 2):

- SVP_{PV}-arvoihin, jotka ovat *maaperän* suurimpia vaikutuksettomia pitoisuuksia talousvetenä käytettävän pohjaveden pilaantumisriskin kannalta (*Reinikainen, J. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäminen, Suomen ympäristö, 23/2007*). Osassa tutkituista vaahtolasinäytteistä arseenin ja antimonin kokonaispitoisuudet ylittävät SVP_{PV}-arvot.
- Valtioneuvoston asetuksessa 214/2007 *maaperän* pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista esitettyihin pilaantuneen maan kynnysarvoihin. Osassa tutkituista vaahtolasinäytteistä arseenin ja antimonin kokonaispitoisuudet ylittävät ko. kynnysarvot.
- Norjalaisiin vaahtolasille määritettyihin raja-arvoihin, joita sovelletaan tierakentamisessa (*Petkovic, G. et al, Acceptance limits for the content of pollutants in recycled materials in road construction. Norwegian Roads Recycling R&D program. Norwegian Public Roads*). Vaahtolasinäytteistä tutkittujen haitta-aineiden kokonaispitoisuudet eivät ylitä norjalaisia raja-arvoja.
- Maaperän viitearvot on määritetty maaperälle, jonka tilavuuspaino on merkittävästi suurempi (1500 – 2000 kg/m³) kuin vaahtolasin (200 – 250 kg/m³), joten vaahtolasin sisältämien haitta-aineiden pitoisuudet tilavuutta kohti ovat huomattavan pieniä.

3.4 Kriittiset haitta-aineet ja niiden ominaisuuksia

Kriittisiksi haitta-aineiksi riskinarviossa on valittu *arseeni ja antimoni*. Kyseisten puolimetallien on tunnistettu aiheuttavan pohjaveden pilaantumisriskiä. Arseenin ja antimonin kokonaispitoisuudet ylittävät SVP_{PV}-arvot (*maaperän* suurimmat vaikutuksettomat pitoisuusarvot pohjaveden pilaantumisriskin kannalta).

Arseeni

Arseeni on luonnossa yleinen, tavallisesti sulfidimineraaleissa esiintyvä puolimetalli. Arseeni esiintyy neljällä hapetusluvulla (-3, 0, +3, +5), jotka voivat muuttua toisikseen kemiallisesti ja bakteeritoiminnan kautta. Arseenin sitoutumista maaperässä säätelevät pH, hapetus-pelkistysolosuhteet, raudan ja alumiinin oksidien sekä hydroksidien, saven, sekä orgaanisen aineksen määrä. Tärkeimpänä sitoutumiseen vaikuttavina tekijöinä pidetään maaperän sisältämien oksidien määrää ja hapetus-pelkistysolosuhteita. Arseenille on voimakas taipumus sitoutua saviin, hydroksideihin ja orgaaniseen ainekseen, joten sitoutuminen on sitä tehokkaampaa, mitä enemmän maaperä sisältää näitä komponentteja. Arseenin määrään vaikuttavia tekijöitä on kuitenkin myös arseenin esiintymismuoto ja hapettumisaste, maaperän happamuus sekä kilpailevien ionien määrä.

Arseeni esiintyy hapettavissa olosuhteissa hapetusluvulla +5 ja pelkistävässä (sekä happamissa) oloissa hapetusluvuilla +3 ja 0. Arseeni muodostaa yleensä kompleksisia anioneja tai esiintyy pelkistyneenä puolimetallina. Näiden anionien sitoutuminen maaperään on tehokkainta happamissa oloissa, jolloin raudan ja alumiinin oksihydroksidit sekä savimineraalit ovat positiivisesti varautuneita. Arseenin tärkeimmät liukoiset esiintymismuodot ovat hapetusasteella +3 esiintyvät helppoliukoiset arseniitit (AsO₃³⁻) ja hapetusasteella +5 esiintyvät arsenaatit (AsO₄³⁻). Syvissä hapettomissa kaivovesissä arseniitti on vallitseva olomuoto. Arsenaatti voi pidäytyä maaperässä ja kallionraoissa oleviin savespitoisiin kerrostumiin, Fe-, Mn-, Al-hydroksidisaostumiin sekä humusainekseen. Toisaalta rautasaostumista voi niiden pelkistyessä vapautua arseenia. Karkearakeisissa maalajeissa arseeni voi olla helposti liikkuva ja kulkeutua pohjaveteen. Pohjaveden luontaisesti korkeat arseenipitoisuudet ovat tavallisia alueilla, joilla arseenia esiintyy runsaasti kallioperässä. Arseeni on erittäin myrkyllistä vesieliöille. (Lähteet: Lahermo, P. et al. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus. 2002; Reinikainen, J. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäminen, Suomen ympäristö 23/2007; Heikkinen, P. Haitta-aineiden kulkeutuminen ja sitoutuminen maaperässä, Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 150, 2000)

Antimoni

Antimoni on puolimetalli ja kuuluu alkuaineiden jaksollisessa järjestelmässä typpiryhmään kuten arseenikin, jota se kemiallisilta ominaisuuksiltaan muistuttaa. Antimonin liukoisuuteen ja liikkuvuuteen vaikuttavat geologisen ympäristön lisäksi ympäristön pH ja hapetus-pelkistys - potentiaali. Antimoni esiintyy luonnossa yleisimmin hapetusasteella +3 ja harvemmin hapetusasteella +5 ja -3. Suomen kallio- ja maaperässä antimonია esiintyy hyvin vähän ja sen alueellinen jakautuminen seuraa arseenin esiintymistä. Maaperän humus-, alumiini- ja rautahydroksidit sekä fosfaatit sitovat herkästi antimonია ja säätelevät siten sen kulkeutuvuutta. Antimoni voi kulkeutua pohjaveteen. Tiedot antimoniyhdisteet luokitellaan erittäin myrkyllisiksi vesieliöille. (*Reinikainen, J. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet, Suomen ympäristö 23/2007.*)

3.5 Kulkeutumislaskennan lähtökohdat

Kulkeutumisskenaarioissa lasketaan vaahtolasista uuttuvien kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet tierakenteen alla olevassa pohjamaassa. Pohjamaan maalaji ja kerrospaksuus vaihtelevat skenaarioissa tehtyjen oletusten mukaisesti. Tämän jälkeen lasketaan pohjamaan huokosvedessä olevat kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet. Lopuksi lasketaan pohjamaan huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuvien kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet. Laskenta on tehty Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi – oppaassa (*Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007*) esitettyjen tasapainojakautumislaskentayhtälöiden perusteella.

Laskennassa oletetaan, että vaahtolasirakenteesta uuttuu L/S-suhde 10 l/kg mukainen määrä arseenia ja antimonია tierakenteen läpi suotautuvaan veteen ja haitta-aineet leviävät tasaisesti tierakenteen alla olevaan pohjamaan. Laskennassa on käytetty suurimpia vaahtolasin liukoisuustesteissä todettuja arseenin ja antimonin pitoisuuksia. Pohjamaassa laskettuja arseenin ja antimonin pitoisuuksia on verrattu SVPPV-arvoihin (suurin sallittu pitoisuus pohjavedenpilaantumisen kannalta), kynnysarvoihin (VNa 214/2007 maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista) ja Suomen maaperän taustapitoisuusarvoihin.

Riskinarviossa oletetaan, että kriittiset haitta-aineet ovat tasapainotilassa jakautuneet kahteen faasiin; maaperän kiintoainekseen ja liuenneena huokosveteen. Koska tarkasteltavat aineet eivät ole haihtuvia, ei tasapainoa huokosilman osalta tarkastella. Pohjamaan huokosvedessä olevat kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet on laskettu Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi – oppaassa esitetyn kaavan (1) perusteella:

$$C_w = C_s / \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a \cdot H}{\rho} \right] \quad (1)$$

C_s	= pitoisuus maaperässä, mitattu [mg/kg]
C_w	= pitoisuus huokosvedessä, [mg/l]
K_d	= maa-vesi -jakautumiskerroin, ainekohtainen [l/kg]
θ_w	= veden täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
θ_a	= ilman täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
H	= Henryn lain vakio, ainekohtainen [-]
ρ	= maa-aineksen tiheys [kg/l].

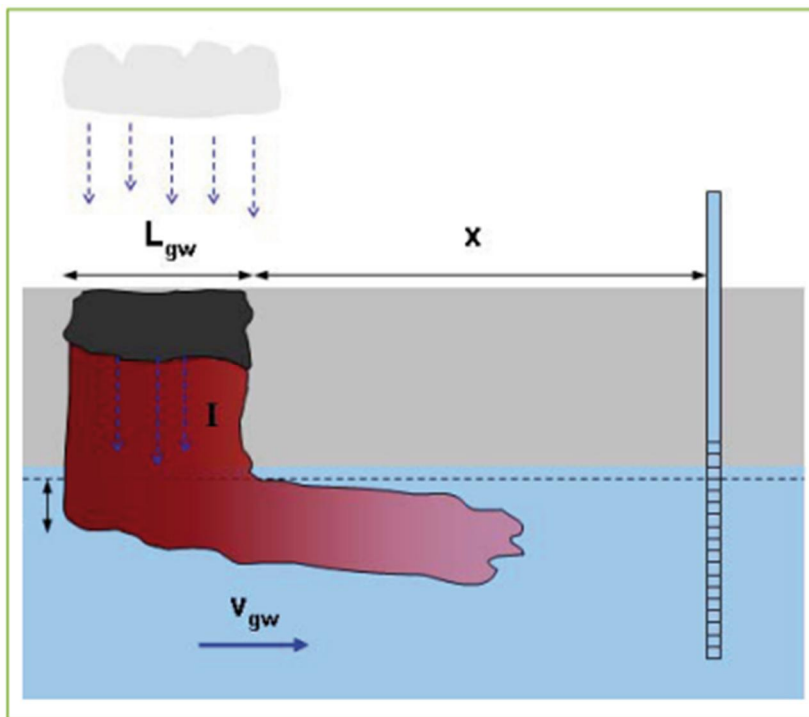
Huokosveden pitoisuudet (C_w) on laskettu sekä pelkän vaahtolasin kuormituksen perusteella että luontainen taustapitoisuus huomioiden. Lopuksi on laskettu kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet pohjavedessä 5 m etäisyydellä tielinjasta käyttäen Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi – oppaassa esitettyjä kaavoja (5) ja (6):

$$C_{gw} = C_w \times DF_{gw} \quad (5)$$

C_{gw}	= pitoisuus pohjavedessä [mg/l]
C_w	= pitoisuus huokosvedessä [mg/l]
DF_{gw}	= laimenemiskerroin huokosveden ja pohjaveden välillä [-].

$$DF_{gw} = \frac{L_{gw} \cdot I}{v_{gw} \cdot d_{mix} + (L_{gw} + x) \cdot I} \quad (6)$$

L_{gw}	= "pilaantuneen" alueen pituus pohjaveden virtaussuunnassa [m]
I	= pohjaveteen imeytyvän veden määrä [m/a]
v_{gw}	= pohjaveden virtausnopeus [m/a]
d_{mix}	= sekoittumiskerroksen paksuus pohjavedessä [m]
x	= etäisyys "pilaantuneen alueen" reunasta tarkkailupisteeseen [m]



Kuva 1. Laimenemiskertoimeen (DF_{gw}) vaikuttavat tekijät (*Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi, Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007*)

Pohjaveden pitoisuuksien arviointia varten on laskettu ensin laimenemiskerroin, jossa pilaantuneen alueen pituutena on käytetty vaahtolasirakenteen pituutta tielinjan suunnassa. Tierakenteen läpi pohjavedeksi imeytyvän veden määräksi on arvioitu 10 % vuosisadannasta. Tämä on konservatiivinen arvio, sillä AB-päällysteen ollessa eheä tierakenteen läpi imeytyvä vesimäärä on merkityksettömän pieni. Myös sorateilla 10 % imeytymiskertoimen arvo on perusteltu, sillä hienoaines tiivistää tienpinnan hyvin heikosti vettä läpäiseväksi. Pohjaveden sekoittumiskerroksen paksuutena on käytetty 1 metriä. Eniten laimenemiskertoimen arvoon vaikuttaa pohjaveden virtausnopeus. Mitä hitaammin pohjavesi virtaa, sitä suuremmiksi pitoisuudet pohjavedessä kasvavat, koska laimenemista ei merkittävästi tapahdu. Toisaalta mitä suurempi pohjaveden virtausnopeus on, sitä tehokkaammin tapahtuu laimeneminen ja pitoisuudet jäävät alhaisiksi. Laskennallisia pohjaveden pitoisuuksia on verrattu lopuksi talousveden laatuvaatimuksiin (STM 461/2000) ja pohjaveden ympäristön laatuunormeihin (VNa 341/2009).

4. VAAHTOLASIN KÄYTTÖ POHJAVEDEN MUODOSTUMIS-ALUEELLA

4.1 Kulkeutumisskenaario 1

Vaahtolasia ei käytetä pohjaveden muodostumisalueiden kaltaisilla läpäisevillä hiekka- ja sora-alueilla sen tyypillisissä käyttötarkoituksissa routimisen estämiseen tai kevennysrakenteena, koska siihen ei ole geoteknisistä syistä tarvetta. Skenaariossa 1 on kuitenkin laskettu tierakenteessa olevan 1m paksuisen vaahtolasikerroksen pohjaveteen kohdistuvat vaikutukset alueella, jossa pohjamaa on helposti vettäläpäisevää hiekkaa. Esimerkkitierakenne on esitetty taulukossa 1. Tierakenne voi olla joko päällystetty tai soratie. Taulukossa 2 on laskettu esimerkkierakenteessa olevan vaahtolasin massa.

Skenaarioissa 1 lasketaan vaahtolasista uuttuvien kriittisen haitta-aineiden pitoisuudet tierakenteen alla olevassa 0,5 m paksuisessa pohjamaassa, joka on hiekkaa. Tämän jälkeen lasketaan pohjamaan huokosvedessä olevat kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet. Lopuksi lasketaan pohjamaan huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuvien kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet. Laskenta on tehty kappaleessa 3.5 *Kulkeutumislaskennan lähtökohdat* esitettyjen tasapainojakautumislaskentayhtälöiden perusteella. Laskenta, siinä käytetyt parametrit ja tulokset on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 1. Esimerkkierakenteen rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet

Materiaali	Paksuus [m]
päällyste AB / (kulutuskerros KaM 0-16)	0,05 / (0,15)
kantava KaM 0-56	0,25
vaahtolasi	1,00
suodatinkangas	
pohjamaa	
rakennepaksuus yhteensä	1,30

Taulukko 2. Laskelmissa käytetyt parametrien arvot

Parametri	Parametri
vaahtolasin tilavuus tierakenteessa* (100 m x 10 m x 1,0 m)	1000 m ³
vaahtolasin tiheys (kuiva, tiivistetty)	220 kg/m ³
vaahtolasin massa tierakenteessa (kuiva)	220 000 kg

* vaahtolasierakenteen tilavuus on laskettu huomioimatta sitä, että todellisuudessa vaahtolasierakenne on luiskattu

Arseenin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 1

Arseenin laskennallinen kokonaispitoisuus 0,5 m paksuisessa hiekkapohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPPv-viitearvon ja kynnyksarvon. Pohjaveteen kulkeutuva arseenipitoisuus alittaa sekä talousveden laatuvaatimukset että pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset sekä vaahtolasin kuormituksen osalta että luontainen taustapitoisuus huomioiden.

Antimonin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 1

Antimonin laskennallinen kokonaispitoisuus 0,5 m paksuisessa hiekkapohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPPv-viitearvon ja kynnyksarvon. Pohjaveteen kulkeutuva antimonipitoisuus alittaa sekä talousveden laatuvaatimukset että pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset sekä vaahtolasin kuormituksen osalta että luontainen taustapitoisuus huomioiden.

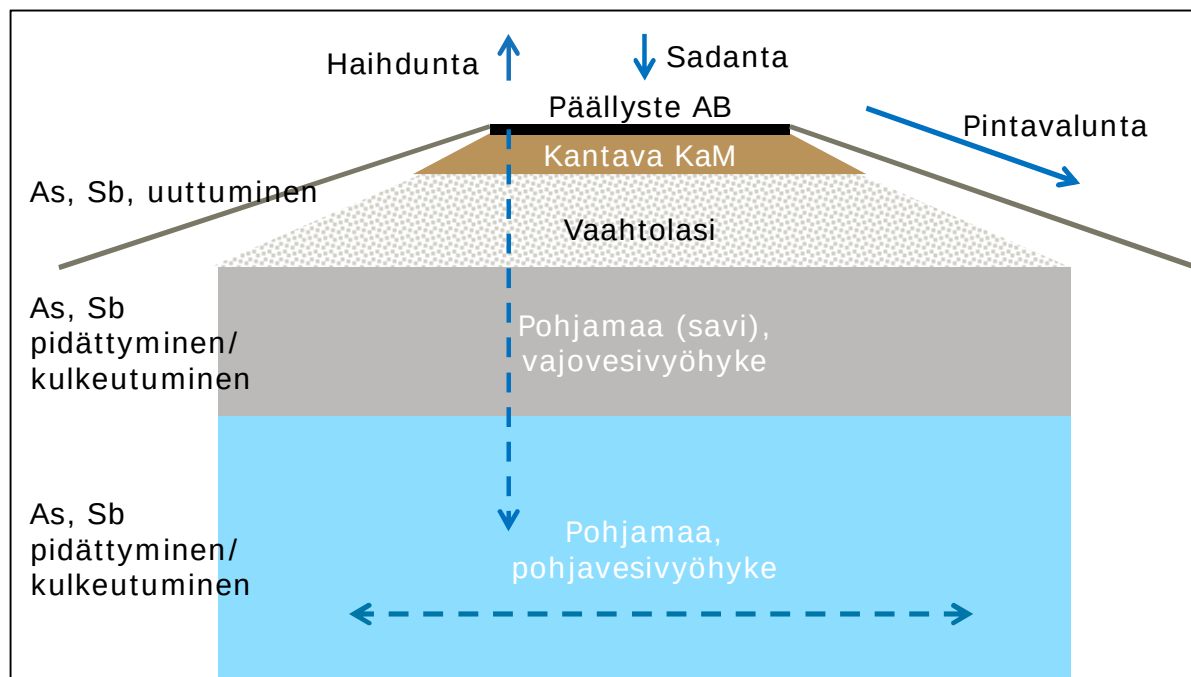
5. VAAHTOLASI KEVENNYSRAKENTEENA PEHMEIKÖILLÄ

Kevennysrakenteen tarkoitus on vähentää maarakenteista kohdistuvaa kuormaa pohjamaahan sekä ympäristön muihin rakenteisiin. Kevennysrakenteessa osa luonnon maa- ja kiviaineksista korvataan kevyemmällä materiaalilla, kuten vaahtolasilla. Kuivan vaahtolasin tilavuuspaino on noin kymmenesosa tavanomaisesti käytetyn maa- ja kiviaineksen tilavuuspainosta.

Vaahtolasia käytetään liikennealueiden kevyenä pengertäyttemateriaalina (mm. kadut, tiet, satama-alueet, siltapenkereet ja rumpujen taustatäytöt). Kevennysrakenteen paksuus vaihtelee välillä 0,5-2,0 m, mutta tyypillisesti vaahtolasin kerrospaksuus kevennysrakenteessa on alle 1 m. Esimerkki vaahtolasilla toteutetusta tiepenkereen kevennysrakenteesta (osittaiskevennys) ja veden kulkeutuminen tien ympäristössä on esitetty kuvassa 2.

Vaahtolasin sisäistä kitkakulmaa voidaan verrata murskeisiin. Kevennyksen luiskat voidaan rakentaa kaltevuuteen 1:1 tai loivempaan riippuen mm. luiskan korkeudesta, luiskan yläpuolisista kuormista, pohjamaan lujuudesta. Rakentamisolueella vaahtolasikerroksen reunoille ei tarvita tukipenkereitä. Luiskassa vaahtolasikerros suojataan vähintään 0,5 m paksulla maakerroksella.

Mikäli vaahtolasirakenteeseen pääsee ajoittain vettä, on luiskamateriaaliksi valittava riittävän vedenläpäisevä materiaali tai rakennettava vettä läpäiseviä aukkoja noin 30 m välein. Vaahtolasi säilyttää kevenneominaisuutensa siten, että rakenne on suunniteltavissa vähintään 50 vuodeksi.



Kuva 2. Vaahtolasi tiepenkereen kevennysmateriaalina (kuva ei ole mittakaavassa).

5.1 Kulkeutumisen arviointi

Kevennysrakenteessa käytettävän vaahtolasin sisältämien haitta-aineiden kulkeutuminen voi tapahtua vain veteen liuenneena. Vaahtolasirakenne voi olla ajoittain osittain kyllästynyt vedellä, mutta käytännössä on hyvin epätodennäköistä, että vaahtolasirakenne olisi kokonaan vedellä kyllästynyt. Tällainen tilanne on mahdollinen poikkeuksellisissa olosuhteissa esimerkiksi tulvan sattuessa. Vaahtolasia käytetään kevennysrakenteissa päällystetyillä katu-, tie- ja kenttärakenteissa.

Käytännössä pehmeiköillä tarvittavia kevennysrakenteita voidaan käyttää pohjavesialueiden reuna-alueilla tai kaukosuojavyöhykkeillä, varsinaisella pohjaveden muodostumisalueella ei ole pehmeiköjä. Pohjaveden pilaantumisriskin arvioimiseksi vaahtolasin käytölle kevennysrakenteissa on valittu esimerkiksi kuvitteellinen alue vedenhankintaa varten tärkeäksi luokitellulla I-luokan pohjavesialueenkaukosuojavyöhykkeellä. Esimerkkitierakenne on 100 m pituinen, 10 m leveä päällystetty tie pehmeikön päällä. Pohjamaa tien alla on savikkoa. Tie on päällystetty AB-päällysteellä tai vaihtoehtoisesti se on soratie (ei todennäköisesti toteutettava rakenne). Päällysteen alla on kantava kalliomurskekerros, tämän alla on vaahtolasikerros kevennysrakenteena, joka samalla korvaa kuivatuskerroksen. Vaahtolasikerroksen ja pohjamaan välissä on suodatinkangas. Esimerkkitierakenne on esitetty taulukossa 3. Taulukossa 4 on laskettu esimerkkierakenteessa olevan vaahtolasin massa. Määrä vastaa tyypillistä kevennysrakennekohdetta.

Taulukko 3. Esimerkkitierakennemateriaalit ja kerrospaksuudet

Materiaali	Paksuus [m]
päällyste AB / (kulutuskerros KaM 0-16)	0,05 / (0,15)
kantava KaM 0-56	0,25
vaahtolasi	1,00
suodatinkangas	
pohjamaa	
rakennepaksuus yhteensä	1,30

Taulukko 4. Laskelmissa käytetyt parametrien arvot

Parametri	Parametri
vaahtolasin tilavuus tierakenteessa* (100 m x 10 m x 1,0 m)	1000 m ³
vaahtolasin tiheys (kuiva, tiivistetty)	220 kg/m ³
vaahtolasin massa tierakenteessa (kuiva)	220 000 kg

* vaahtolasierakenteen tilavuus on laskettu huomioimatta sitä, että todellisuudessa vaahtolasirakenne on luiskattu

5.2 Kulkeutumisskenaariot 2 ja 3

Skenaarioissa lasketaan vaahtolasista uuttuvien kriittisen haitta-aineiden pitoisuudet tierakenteen alla olevassa 0,5 m paksuisessa Sa-pohjamaassa (skenaario 2) tai vastaavasti 1,0 m paksuisessa Sa-pohjamaassa (skenaario 3). Tämän jälkeen lasketaan pohjamaan huokosvedessä olevat kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet. Lopuksi lasketaan pohjamaan huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuvien kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet. Laskenta on tehty kappaleessa 3.5 *Kulkeutumislaskennan lähtökohdat* esitettyjen tasapainojakautumislaskentayhtälöiden perusteella. Laskenta, siinä käytetyt parametrit ja tulokset on esitetty liitteessä 5 (skenaario 2) ja liitteessä 6 (skenaario 3).

5.3 Tulokset kulkeutumisskenaarioista 2 ja 3

Arseenin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 2

Arseenin laskennallinen kokonaispitoisuus 0,5 m paksuisessa savipohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPPv-viitearvon ja kynnysarvon. Pohjaveteen kulkeutuva arseenipitoisuus ylittää pohjaveden ympäristön laatunormin, mikäli tarkastellaan ainoastaan vaahtolasista aiheutuvaa kuormitusta ja pohjaveden virtausnopeus on luokkaa 1×10^{-8} m/s tai pienempi. Mikäli lisäksi luontainen taustapitoisuus huomioidaan arviossa, arseenin pitoisuudet pohjavedessä ylittävät talousveden laatuvaatimukset.

Antimonin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 2

Antimonin laskennallinen kokonaispitoisuus 0,5 m paksuisessa savipohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPPv-viitearvon ja kynnysarvon. Pohjaveteen kulkeutuva antimonipitoisuus ylittää talousveden laatuvaatimukset vaahtolasin aiheuttaman kuormituksen osalta.

Arseenin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 3

Arseenin laskennallinen kokonaispitoisuus 1,0 m paksuisessa savipohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPPv-viitearvon ja kynnysarvon. Pohjaveteen kulkeutuva arseenipitoisuus alittaa sekä talousveden laadulle asetetun pitoisuusraja-arvon että pohjaveden ympäristön laatunormin, mikäli tarkastellaan ainoastaan vaahtolasista aiheutuvaa kuormitusta. Mikäli lisäksi luontainen taustapitoisuus huomioidaan arviossa, arseenin pitoisuudet pohjavedessä ylittävät talousveden laatuvaatimukset.

Antimonin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 3

Antimonin laskennallinen kokonaispitoisuus 1,0 m paksuisessa savipohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPPv-viitearvon ja kynnysarvon. Pohjaveteen kulkeutuva antimonipitoisuus ylittää pohjaveden ympäristön laatunormin vaahtolasin aiheuttaman kuormituksen osalta.

6. VAAHTOLASI ROUTAERISTEENÄ TIERAKENTEES- SÄ

Vaahtolasi on routimaton materiaali ja sillä on hyvä lämmöneristävyys. Se sopii hyvin tie- ja katurakenteiden sekä kenttä ja piha-alueiden routaeristeeksi. Vaahtolasilla toteutettu routaeristys mahdollistaa usein tavallista ohuemman rakennepaksuuden käyttämisen, mikä vähentää kaivumaiden ja tarvittavien luonnonkiviainesten määrää ja nopeuttaa rakentamista. Päälysrakenteen rakennekerrospaksuus voi pienentyä vaahtolasin ansiosta jopa puoleen tavanomaisesta lämpöeristämättömästä rakenteesta.

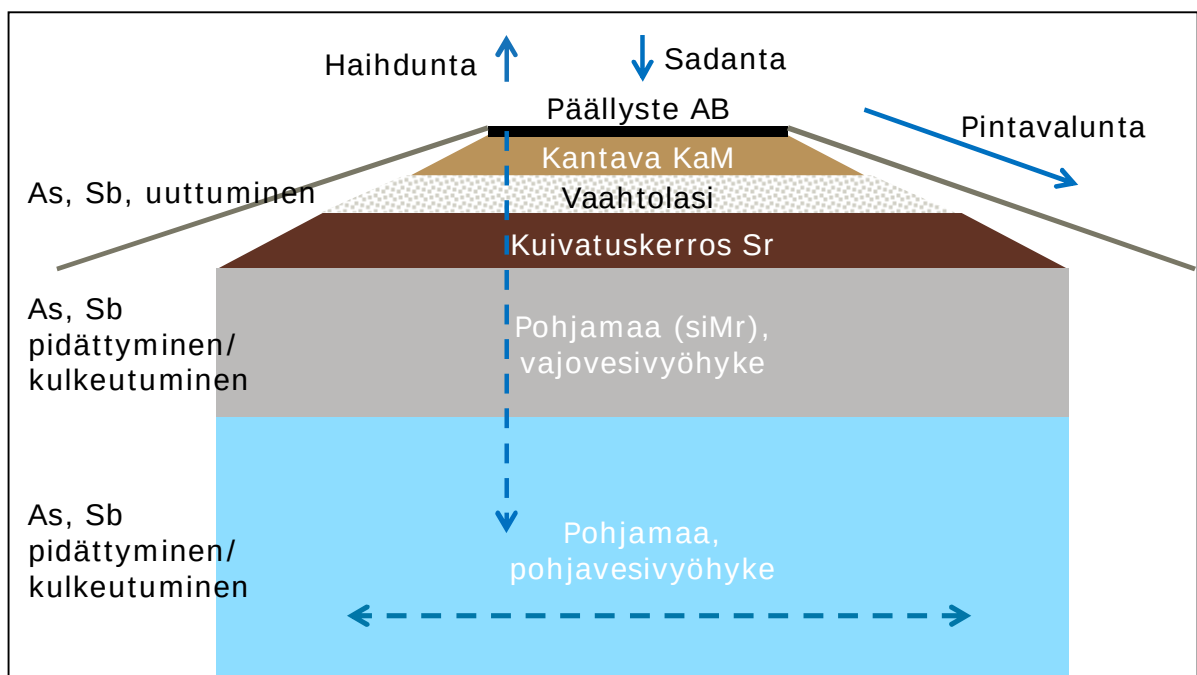
Routa on tierakenteen ympäristökuormituksista selvästi merkittävin tekijä Suomessa. Roudan kuormitusvaikutus ulottuu koko tierakenteeseen. Vaahtolasi routaeristeenä vähentää tien ja kadun ylläpitokustannuksia, koska päälysteen routavauriot vähenevät ja uudelleen päälystämisen ajankohta siirtyy myöhemmäksi.

Vaahtolasirakenne kestää toistuvaa jäätymistä ja sulamista halkeilematta ja hajoamatta. Kokeusten perusteella jäätyminen ja sulaminen eivät lisää vaahtolasin vedenimua tai vähennä sen puristuslujuutta.

Vaahtolasirakenteen alle ei yleensä tarvitse rakentaa kuivatuskerrosta (hiekkä tms.) kuten esim. levymaisille eristeille (EPS, XPS). Vaahtolasirakenteessa käytetään suodatinkangasta tarvittaessa. Vaahtolasilla on rakenteessa myös pieni kapillaarinen nousukorkeus, jolloin vesi ei pääse merkittävästi imeytymään pohjamaasta rakenteeseen. (*Foamit® -vaahtolasin rakennusohje, Uusioaines Oy, 2011*).

6.1 Kulkeutumisen arviointi

Kuvassa 3 on esitetty käsitteellinen malli vaahtolasista tien routaeristeenä ja veden kulkeutuminen tien ympäristössä. Vaahtolasin sisältämien haitta-aineiden kulkeutuminen voi tapahtua vain veteen liuenneena. Routaeristerakenteessa vaahtolasi ei ole vedellä kyllästyneissä olosuhteissa, vaan vaahtolasirakenteen läpi suodautuvan veden määrä riippuu pääasiassa tien päälysteen vedenläpäisevyydestä. Vaahtolasilla on rakenteessa pieni kapillaarinen nousukorkeus, jolloin vesi ei pääse merkittävästi imeytymään pohjamaasta rakenteeseen. Tierakenteessa eri rakennekerrokset on luiskattu, joten tieluiskissa vaahtolasi ei ole päälystetty, vaan se on tiiviin maa-aineksen peittämä.



Kuva 3. Käsitteellinen malli arseenin ja antimonin kulkeutumisesta tierakenteen läpi pohjamaahan ja pohjaveteen (kuva ei ole mittakaavassa)

Vahtolasia käytetään routaeristeenä tyypillisesti asfalttipäällysteisissä tie- ja katurakenteissa, ei sorateilla. Riskinarviossa on huomioitu kuitenkin myös soratievaihtoehto, vaikka se ei ole todennäköinen. Pohjavesialueilla, etenkin kloridisuojauksissa, käytetään usein vesitiiviitä asfalttipäällysteitä. Tällöin ehjän, vesitiiviin päällysteen ja vahtolasirakenteen läpi suodautuvan veden määrä on käytännössä merkityksettömän pieni ja näin ollen myös haitta-aineiden liukeneminen vahtolasista on merkityksetöntä. Mikäli päällyste ei ole normaalia vesitiiviimpää ja päällysteessä on poikkihalkeamia ja/tai pituushalkeamia, tierakenteiden läpi voi suodautua vettä, joka voi edelleen imeytyä pohjavedeksi. Vahtolasin käyttö routaeristeenä vähentää merkittävästi routimisesta aiheutuvien poikkihalkeamien ja pituushalkeamien syntymistä päällysteeseen, joten päällysteen kuluminen tapahtuu lähinnä liikennöinnin vuoksi. Joissain tapauksissa päällysteen pakkaskutistuminen voi kuitenkin aiheuttaa halkeamia päällysteeseen.

Käytännössä routaeristeitä tarvitaan vain alueilla, joissa pohjamaa on routivaa, hienoaainespitoista maa-ainesta kuten silttimoreenia tai silttiä. Näin ollen vahtolasin käyttö routaeristeenä pohjavesialueella on todennäköisintä pohjavesialueen reuna-alueilla tai kaukosuojavyöhykkeellä, sillä pohjaveden muodostumisalueella maalajit ovat hyvin vettä läpäiseviä, ei routivia maalajeja kuten soraa, hiekkaa tai karkearakeisia ja osittain lajittuneita moreenimaita, joissa ei tyypillisesti ole tarvetta routaeristeiden käyttöön.

Pohjaveden pilaantumisriskin arvioimiseksi vahtolasin käytölle routaeristeenä on valittu esimerkiksi kuvitteellinen 1 km pitkä ja 10 m leveä päällystetty tie. Tielinja sijaitsee vedenhankintaa varten tärkeäksi luokitellulla I-luokan pohjavesialueen kaukosuojavyöhykkeellä. Tierakenteen pohjamaa on routivaa, hienoaainesta sisältävää silttimoreenia. Tie on päällystetty normaalilla AB-päällysteellä tai se on soratie (ei todennäköinen vaihtoehto). Päällysteen alla on kantava kalliomurskekerros, tämän alla vahtolasirakenteen kerros, tämän alla kuivatuskerroksena sorakerros pohjamaan päällä. Esimerkkirakenne on esitetty taulukossa 5. Taulukossa 6 on laskettu esimerkiksi rakenteessa olevan vahtolasin massa. Määrä vastaa tyypillistä routaeristekohdetta.

Taulukko 5. Esimerkkietien rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet

Materiaali	Paksuus [m]
päällyste AB / (kulutuskerros KaM 0-16)	0,05 / (0,15)
kantava KaM 0-56	0,25
vahtolasi	0,30
kuivatuskerros Sr 0-100	0,15
pohjamaa (silttimoreeni)	
rakennepaksuus yhteensä	0,75

Taulukko 6. Esimerkkirakenteen vahtolasimäärä

Parametri	Parametri
vahtolasin tilavuus tierakenteessa* (1000 m x 10 m x 0,3 m)	3000 m ³
vahtolasin tiheys (kuiva, tiivistetty)	220 kg/m ³
vahtolasin massa tierakenteessa (kuiva)	660 000 kg

* vahtolasirakenteen tilavuus on laskettu huomioimatta sitä, että todellisuudessa vahtolasirakenne on luiskattu

6.2 Kulkeutumisskenaariot 4 ja 5

Skenaarioissa lasketaan vaahtolasista uuttuvien kriittisen haitta-aineiden pitoisuudet tierakenteen alla olevassa 0,5 m paksuisessa SiMr-pohjamaassa (skenaario 4) tai vastaavasti 1,0 m paksuisessa SiMr-pohjamaassa (skenaario 5). Tämän jälkeen lasketaan pohjamaan huokosvedessä olevat kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet. Lopuksi lasketaan pohjamaan huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuvien kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet. Laskenta on tehty kappaleessa 3.5 *Kulkeutumislaskennan lähtökohdat* esitettyjen tasapainojakautumislaskentayhtälöiden perusteella. Laskenta, siinä käytetyt parametrit ja tulokset on esitetty liitteessä 7 (skenaario 4) ja liitteessä 8 (skenaario 5).

6.3 Tulokset kulkeutumisskenaarioista 4 ja 5

Arseenin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 4

Arseenin laskennallinen kokonaispitoisuus 0,5 m paksuisessa silttimoreenipohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPpv-viitearvon ja kynnysarvon. Pohjaveteen kulkeutuva arseenipitoisuus alittaa sekä talousveden laadulle asetetun pitoisuusraja-arvon että pohjaveden ympäristön laatu normin, mikäli tarkastellaan ainoastaan vaahtolasista aiheutuvaa kuormitusta. Mikäli lisäksi luontainen taustapitoisuus huomioidaan arvioissa, arseenin pitoisuudet pohjavedessä ylittävät kyseiset kriteerit. Toisaalta, jos tarkastellaan ainoastaan luontaisesta taustapitoisuudesta aiheutuvaa kuormitusta, arseenin pitoisuudet pohjavedessä ylittävät raja-arvot. Näin ollen vaahtolasin käyttö ei aiheuta arseenin osalta pohjaveden pilaantumisriskiä skenaariossa 4.

Antimonin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 4

Antimonin laskennallinen kokonaispitoisuus silttimoreenipohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPpv-viitearvon ja kynnysarvon. Pohjaveteen kulkeutuva antimonipitoisuus alittaa sekä talousveden laadulle asetetun pitoisuusraja-arvon että pohjaveden ympäristön laatu normin. Kyseiset raja-arvot alittuvat sekä pelkkää vaahtolasin kuormitusta tarkasteltaessa että antimonin luontainen taustapitoisuus huomioiden. Näin ollen vaahtolasin käyttö ei aiheuta antimonin osalta pohjaveden pilaantumisriskiä skenaariossa 4.

Arseenin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 5

Arseenin laskennallinen kokonaispitoisuus 1,0 m paksuisessa silttimoreenipohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPpv-viitearvon ja kynnysarvon. Pohjaveteen kulkeutuva arseenipitoisuus alittaa sekä talousveden laadulle asetetun pitoisuusraja-arvon että pohjaveden ympäristön laatu normin, mikäli tarkastellaan ainoastaan vaahtolasista aiheutuvaa kuormitusta. Mikäli lisäksi luontainen taustapitoisuus huomioidaan arvioissa, arseenin pitoisuudet pohjavedessä ylittävät kyseiset kriteerit. Toisaalta, jos tarkastellaan ainoastaan luontaisesta taustapitoisuudesta aiheutuvaa kuormitusta arseenin pitoisuudet pohjavedessä ylittävät raja-arvot. Näin ollen vaahtolasin käyttö ei aiheuta arseenin osalta pohjaveden pilaantumisriskiä skenaariossa 5.

Antimonin pitoisuudet eri faaseissa kulkeutumisskenaariossa 5

Antimonin laskennallinen kokonaispitoisuus silttimoreenipohjamaassa luontainen taustapitoisuus huomioiden alittaa SVPpv-viitearvon ja kynnysarvon. Pohjaveteen kulkeutuva antimonipitoisuus alittaa sekä talousveden laadulle asetetun pitoisuusraja-arvon että pohjaveden ympäristön laatu normin. Kyseiset raja-arvot alittuvat sekä pelkkää vaahtolasin kuormitusta tarkasteltaessa että antimonin luontainen taustapitoisuus huomioiden. Näin ollen vaahtolasin käyttö ei aiheuta antimonin osalta pohjaveden pilaantumisriskiä skenaariossa 5.

7. EPÄVARMUUSTARKASTELU

7.1 Materiaalin laadunvaihtelu ja analyysit

Vaahtolasin tuotannossa tehdään laaduntarkkailua ja seurantamittauksia tuotteen valmistuksen aikana. Haitta-aineiden kokonaispitoisuudet ovat seurantamittausten perusteella (liite 2) melko vakiintuneita eikä kokonaispitoisuuksissa ole todettu suuria poikkeamia eri määrityskerroilla. Myös pH ja sähkönjohtavuus ovat vakiintuneita, materiaalille tyypillisillä tasoilla.

Analyysit on tehty akreditoidussa testauslaboratoriossa standardimenetelmin. Riskinarviossa on lähtöparametrien arvoina käytetty suurimpia todettuja kriittisten haitta-aineiden liukoisuuksia, joten analyysien mittaustarkkuudessa olevat epävarmuudet ovat merkityksettömän pieniä siihen verrattuna.

Vaahtolasille on tehty sekä läpivirtaustesti että ravistelutesti samasta näytteestä, ja tulokset olivat yhteneviä. Näin ollen myös ravistelutestituloksia voidaan käyttää riskinarviossa. Läpivirtaustesti, jossa suodosfraktioita kerätään kumulatiiviseen kiinteä-neste suhteeseen 10 l/kg asti, enustaa liukoisuutta lyhyellä ja keskipitkällä välillä.

7.2 Kulkeutumislaskennan ja ympäristöolosuhteiden epävarmuudet

Kohteissa, joissa vaahtolasia tyypillisesti käytetään tässä riskinarviossa esitetyissä käyttötarkoituksissa, maalajit ovat routivia tai kantavuudeltaan heikkoja (savet, siltit, hienoainesmoreenit). Varsinaisilla pohjaveden muodostumisalueilla maalajit ovat karkeampia, joten käytännössä vaahtolasin käyttö tulee kyseeseen lähinnä pohjavesialueiden reuna-alueilla tai kaukosuojavyöhykkeillä. Koska tämä riskinarvio ei ole kohdekohtainen, on kriittisten haitta-aineiden kulkeutumisesta pohjaveteen tehty eri skenaarioita, joissa maaperäolosuhteet poikkeavat toisistaan (silttimoreeni, savi, hiekka).

Maaperän huokoisuus on suuri hienoissa lajittuneissa maalajeissa kuten savissa ja silteissä. Toisaalta ominaispidätyminen on myös suuri eli savet ja siltit pidättävät vettä kapillaarisesti, mutta kyseiset muodostumat luovuttavat huonosti pohjavettä (alhainen ominaisantoisuus). Tällaisissa muodostumissa ei käytännössä synny hyödynnettävissä olevaa pohjavettä. Ainoastaan kyseeseen tulee peitteinen pohjavesialue, jossa pohjavesiesiintymä sijaitsee tiiviiden vettä läpäisemättömien maakerrosten (savien) peitossa. Tällöin vaahtolasista ei kuitenkaan ole riskiä pohjaveden laadulle, koska arseenin tai antimonin kulkeutuminen savikerroksen läpi pohjavesimuodostumaan ei ole merkittävää, sillä kyseiset aineet pidätyvät merkittävässä määrin savimineraaleihin.

Läpivirtaustestissä määritetään haitta-aineiden liukoisuus tutkittavan materiaalin läpi suotautuvaan veteen, joten menetelmä sopii mallintamaan hyvin tierakenteen läpi suotautuvaan veteen liukenevien haitta-aineiden pitoisuuksia. Läpivirtaustesti kuvaa tilannetta, jossa materiaali on vedellä kyllästyneissä olosuhteissa ja jossa ilman hapen vaikutusta haitta-aineiden liukenemiseen ei ole kontrolloitu. Tierakenteessa routaeristeenä tai kevennysmateriaalina oleva vaahtolasi on vain ajoittain ja osittain kyllästynyt vedellä, jolloin haitta-aineiden uuttuminen on rajoitettua. Tierakenteessa vaahtolasin raekoko on 0-60 mm, kun taas liukoisuustesteissä näyte on murskattu: läpivirtaustestissä 0-10 mm raekokoon ja ravistelutestissä 0-4 mm raekokoon. Näin ollen liukoisuustestit todennäköisesti yliarvioivat haitta-aineiden liukoisuuksia, koska murskatun, tutkitun näytteen reaktiivinen pinta-ala on suurempi kuin todellisessa rakenteessa.

Kulkeutumislaskennassa oletetaan, että tien rakennekerrosten läpi suotautuu tasaisesti koko tierakenteen pinta-alan osalta L/S 10 l/kg vastaava vesimäärä. Todellisuudessa päällysteen läpi imeytyvä vesimäärä ei suotaudu tasaisesti tierakenteen läpi, vaan suotautuminen tapahtuu päällysteessä olevien halkeamien kautta. L/S 10 l/kg mukaisen vesimäärän suotautumiseen kuluva aika riippuu suuresti päällysteen kunnosta. Mikäli päällyste on eheä, suotautumista ei tapahdu käytännössä lainkaan ja näin ollen 10 % imeytymiskertoimen käyttö yliarvioi vaikutuksia. Vaahtolasin käyttö tierakenteessa nimenomaan vähentää päällysteen vaurioitumista, joka aiheutuu routimisen tai painumien seurauksena. Myös sorateillä hienoaines tiivistää tienpinnan hyvin heikosti vettä läpäiseväksi, joten 10 % imeytymiskerroin on konservatiivinen arvio läpäisevyydestä.

Lisäksi vaahtolasirakenne soratiellä on käytännössä erittäin epätodennäköinen rakenneratkaisu. Arviossa on edelleen oletettu, että suotautuvan veden haitta-aineet sekoittuvat tasaisesti pohjamaakerrokseen. Todellisuudessa pohjamaassa on pitoisuusvaihtelua sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti riippuen miten suotautuva vesi tierakenteessa ja pohjamaassa liikkuu.

Taulukko 7. Karkea arvio ajasta, joka kuluu L/S 10 l/kg mukaisen vesimäärän suotautumiseen tierakenteen läpi

Skenaario	Parametri	Parametri
skenaariot 1, 2 ja 3	vaahtolasin massa tierakenteessa (kuiva)	220 000 kg
	vaahtolasin pinta-ala tierakenteessa	1000 m ²
	L/S 10 l/kg vastaava vesimäärä vaahtolasin pinta-alaa kohti	2 200 000 l/1000 m ²
	L/S 10 l/kg vastaavan vesimäärän suotautumisen kesto (oletus, että 10 % vuosisadannasta (640 l/ m ² a) suotautuu tierakenteen läpi)	34 vuotta
skenaariot 4 ja 5	vaahtolasin massa tierakenteessa (kuiva)	660 000 kg
	vaahtolasin pinta-ala tierakenteessa	10 000 m ²
	L/S 10 l/kg vastaava vesimäärä vaahtolasin pinta-alaa kohti	6 600 000 l/10 000 m ²
	L/S 10 l/kg vastaavan vesimäärän suotautumisen kesto (oletus, että 10 % vuosisadannasta (640 l/ m ² a) suotautuu tierakenteen läpi)	10 vuotta

Kulkeutumislaskennassa oletetaan, että kriittiset haitta-aineet kulkeutuvat tierakenteen alla olevaan 0,5 m tai 1,0 m paksuiseen pohjamaahan, jossa muodostuu tasapaino pohjamaan huokosveden ja maa-aineksen pitoisuuksien välillä. Todellisuudessa pysyvää tasapainoa ei luonnon olosuhteissa todennäköisesti saavuteta, sillä ympäristön olosuhteet muuttuvat ajallisesti ja paikallisesti. Myös vaahtolasista uuttuvat kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet suotovedessä pienenevät ajan kuluessa. Tierakenteesta kulkeutuvien kriittisten haitta-aineiden pidäytyminen pohjamaahan riippuu mm. maalajista, sen sisältämistä savimineraaleista, orgaanisesta aineksesta sekä alumiinin ja raudan oksidien/hydroksidien määrästä, maaperän pH:sta ja hapetus-pelkistysolosuhteista. Maa-vesi jakautumiskerroin, jota käytetään huokosveden ja maa-aineksen pitoisuuksien arvioimiseen tasapainotilassa kertoo yleisellä tasolla kriittisten haitta-aineiden vesiliukoisuudesta, mutta ei kohdekohtaisesta tilanteesta.

Kulkeutumisarviossa tehty oletus siitä, että vaahtolasista vapautuvat arseeni ja antimoni sitoutuvat tai pidätyvät silttimoreeni- tai savi-pohjamaassa oleviin savimineraaleihin, on hyvin perusteltavissa oleva hypoteesi. Arseeni ei yleensä esiinny maaperässä kationisena (positiivisesti varautuneena), vaan muodostaa kompleksisia anioneja tai esiintyy pelkistyneenä puolimetallina. Näiden negatiivisesti varautuneiden anionien sitoutuminen maaperään on tehokkainta happamissa oloissa, jolloin raudan ja alumiinin oksihydroksidit sekä savimineraalit ovat positiivisesti varautuneita (Heikkinen, P., 2000). Myös antimonin osalta on todettu savipitoisuuden vähentävän antimonin kulkeutuvuutta maaperässä (Smolander, E., 2010). Routivissa maalajeissa ja pehmeiköillä, joissa vaahtolasia käytetään, maalaji on runsaasti hienoinen (savimineraaliainesta) sisältävää silttiä, silttimoreenia tai savea, joissa on paljon vapaita sitoutumispaikkoja ioneille. Karkeammissa maa-lajitteissa kuten hiekassa kilpailu vapaista sitoutumispaikoista muiden ionien kanssa on kovempaa, sillä savimineraaleja on vähemmän.

Kulkeutumislaskennassa on edelleen laskettu kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet pohjavedessä pohjamaan huokosveden pitoisuuksien ja laimenemiskertoimen perusteella. Laimenemiskertoimen arvoon vaikuttaa merkittävimmin pohjaveden virtausnopeus. Pohjaveden virtausnopeus on puolestaan yleensä sitä suurempaa, mitä jyrkempi on hydraulinen gradientti ja mitä suurempi on maaperän vedenläpäisevyys. Tiiviissä, hienoissa lajittuneissa maalajeissa (savet, siltit) pohjaveden virtausnopeus on hitaampaa ja pitoisuuksien laimenemista ei merkittävästi tapahdu toisin kuin karkeissa maalajeissa (hiekkä, sora), joissa laimeneminen on tehokkaampaa. Tämän vuoksi vaahtolasin tyypillisissä käyttökohteissa (skenaariot 2-5) arseenin ja antimonin pitoisuudet pohjavedessä ovat suurempia kuin hiekka-pohjamaassa (skenaario 1). Tulosten tarkastelussa on erityisesti huomattava, että skenaarioissa 2-5 pohjavesi ei ole hyödynnettävissä olevassa muodos-

tumassa (alhaisen ominaisantoisuuden vuoksi), jolloin varsinaista pohjaveden pilaantumiseriskiä ei aiheudu. Varsinaisessa pohjavesimuodostumassa (skenaario 1), jossa maa-aines on hiekkaa, kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet jäävät merkityksettömän alhaisille tasoille, vaikka laskenta-parametrien arvot on valittu konservatiivisesti eli kulkeutumisriskiä yliarvioiden.

Liukkaudentorjuntaan ja sorateiden pölynsidontaan käytettävien kloridien tiedetään lisäävän liuenneiden metallien määrää pohjavedessä (*Hellstén, P. et al, 2002*). Mahdolliseksi syyksi on esitetty kloridien aiheuttama veden alkaliteetin laskua ja siitä välillisesti seuraavaa maaperän ja pohjaveden happamoitumista, minkä seurauksena metalleja liukenee pohjaveteen. Koska vaahtolasi on emäksistä (suodoksen pH noin 10), vaahtolasin käyttö alueilla, joissa käytetään klorideja liukkaudentorjunnassa, ei lisää happamoittavaa vaikutusta, vaan päinvastoin neutraloi sitä. Näin ollen tiesuolauksen ja vaahtolasin käytön yhteisvaikutuksien ei arvioida olevan ympäristön kannalta epäedullista.

Suomessa on alueita esimerkiksi Pirkanmaalla, joissa pohjaveden arseenipitoisuudet ovat huomattavasti arseenin mediaanipitoisuutta ja pohjaveden ympäristölaatunormia suurempia johtuen alueen maa- ja kallioperän poikkeuksellisen korkeista arseenin pitoisuuksista. Tällaisilla alueilla vaahtolasista peräisin oleva arseeni ei käytännössä lisää pohjaveden kuormitusta.

8. RISKINARVION JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä riskinarviossa on tarkasteltu tilannetta, jossa vaahtolasia on käytetty pohjaveden muodostumisalueella tierakenteessa. Pohjaveden muodostumisalueilla maalajit ovat tyypillisesti läpäiseviä sora- ja hiekka-alueita. Tämä tilanne on vaahtolasin käyttökohteena epätodennäköinen, sillä geoteknisistä syistä hiekka- tai sora-alueilla ei ole tarvetta vaahtolasin käytölle, mutta tarkastelu on esitetty riskinarviossa vaahtolasin pohjaveteen kohdistuvien vaikutusten arvioimiseksi. Lisäksi riskinarviossa on tarkasteltu kahden tyypillisen vaahtolasin käyttösovelluksen vaikutuksia pohjaveden laatuun; vaahtolasin käyttö routaeristeenä tie- katu- ja kenttärakenteissa sekä kevennysmateriaalina tie- ja katurakenteissa pehmeiköillä. Tyypillisesti kevennysrakenteissa käytettävä vaahtolasin kerrospaksuus on suurempi kuin routaeristerakenteissa.

Vaahtolasin haitta-aineiden kulkeutuminen voi tapahtua vain veteen liuenneena ja kriittisiksi haitta-aineiksi riskinarviossa todettiin arseeni ja antimoni. Kriittisten haitta-aineiden kulkeutumisesta pohjaveteen on laadittu eri skenaarioita, joissa maaperäolosuhteet poikkeavat toisistaan (hiekka, silttimoreeni, savi).

Kulkeutumislaskennan tulosten perusteella vaahtolasin käyttö tierakenteessa ei aiheuta pohjaveden pilaantumisriskiä alueilla, joissa pohjamaa on vettäläpäisevää maa-ainesta kuten hiekkaa tai soraa. Kyseisen kaltaisilla pohjavedenmuodostumisalueilla pohjavedenvirtaus laimentaa kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet merkityksettömän alhaiselle tasolle, vaikka pohjaveden tarkkailupiste sijoitettaisiin tierakenteen välittömään läheisyyteen. Pitoisuuksia on verrattu pohjaveden ympäristön laatuunormeihin (VNa 341/2009) ja talousveden laatuvaatimuksiin (STM 461/2000).

Alueilla, joissa pohjamaa on hienoaainesta sisältävää maalajia kuten silttimoreenia, silttiä tai savea, kriittisten haitta-aineiden pitoisuudet saattavat nousta pohjamaan huokosvedessä luontaista taustapitoisuutta korkeammaksi, mikäli tierakenteen vaahtolasikerros on paksu ja vaahtolasista pääsee uuttumaan haitta-ainepitoisia suotovesiä. Pohjavesimuodostuma ei ole kuitenkaan käytännössä hyödynnettävissä kyseisen kaltaisissa maalajeissa huonon ominaisantoisuuden vuoksi, joten varsinaista pohjavesiesiintymän pilaantumista ei pääse tapahtumaan ja merkittävää pohjavedenpilaantumisriskiä ei ole tunnistettavissa. Tämän kaltaisia alueita ei luokitella pohjaveden muodostumisalueiksi, vaan kyseeseen tulee lähinnä pohjavesialueiden kaukosuojavyöhykkeet tai muut suoja-alueet. Mikäli kyseessä olisi peitteinen pohjavesialue, jossa esiintymä sijaitsee tiiviiden vettä läpäisemättömien maakerrosten (savien) peitossa, vaahtolasista ei kuitenkaan ole riskiä pohjaveden laadulle, koska arseenin tai antimonin kulkeutuminen savikerroksen läpi pohjavesimuodostumaan ei ole merkittävää, sillä kyseiset aineet pidättyvät merkittävässä määrin savimineraaleihin.

Kulkeutumisriskinarviossa ei todettu vaahtolasin käytöstä aiheutuvaa pohjavedenpilaantumisriskiä päällystetyissä tierakenteissa eikä sorateilla. Joka tapauksessa vaahtolasirakenne soratiellä on käytännössä erittäin epätodennäköinen rakenneratkaisu.

Suomessa on alueita esimerkiksi Pirkanmaalla, joissa pohjaveden arseenipitoisuudet ovat huomattavasti arseenin mediaanipitoisuutta ja pohjaveden ympäristölaatuunormia suurempia johtuen alueen maa- ja kallioperän poikkeuksellisen korkeista arseenin pitoisuuksista. Tällaisilla alueilla vaahtolasista peräisin oleva arseeni ei käytännössä lisää pohjaveden kuormitusta.

9. LÄHDEKIRJALLISUUS

Heikkinen, Päivi, Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä, Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150, Espoo 2000

Hellstén P., et al., Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen, Suomen ympäristö 552, Helsinki 2002

Lahermo, Pertti, et al. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaaliskemiallinen laatu vuonna 1999, Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 155, Espoo 2002

Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi, Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007

Mälkki, Esko, Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö, Tampere, 1999

Petkovic, G. et al, Acceptance limits for the content of pollutants in recycled materials in road construction. Norwegian Roads Recycling R&D program. Norwegian Public Roads

Ramboll Finland Oy, Foamit® -vaahtolasin rakennusohje, Uusioaines Oy, 2011

Rantamäki, Martti, Jääskeläinen, Raimo, Tammirinne, Markku, Geotekniikka, Helsinki, 2004

Reinikainen, Jussi, Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet, Suomen ympäristö 23/2007

Smolander E, et al. Maaperän ja pohjaveden suojeleminen kivääri- ja pistooliampumaradoilla. Aaltoyliopiston raportti 2010

Taulukko 1. Vaahtolasin teknisiä ominaisuuksia. (Foamit® -vaahtolasin rakennusohje, Uusioaines Oy, 2011)

Ominaisuus	Vaihteluväli kirjallisuudessa	FOAMIT® Mitoitusarvot
Raekoko	10–50 / 10–60 mm	10-60 mm
Tiheys (irtokuiva)	180–230 kg/m ³	185 ± 15 kg/m ³
Tiheys (kuiva, tiivistetty)*	225–290 kg/m ³	200-250 kg/m ³
Tiheys (kostea, pitkäaikaisesti tierakenteessa)	270–530 kg/m ³	350 kg/m ³
Tiheys, pitkäaikaisesti veden alla (<1 vuosi)		600 kg/m ³
Tiheys, pysyvästi veden alla		1000 kg/m ³
Tilavuuspaino (nostemitoitus)		3 kN/m ³
Tilavuuspaino (pysyvästi veden alla)		10 kN/m ³
Kitkakulma	36–45°	45°
pH-arvo		10
Tiivistyskerroin		≥1,10
**Vedenimeytyminen		
Lyhytaikainen (4 vk)	30–60 paino-%	60 paino-%
Pitkäaikainen (52–68 vk)	40–116 paino-%	
Puristuslujuus		
10 %:n kokoonpuristuma		0,34 MPa
20 %:n kokoonpuristuma	0,77–0,92 MPa	

* tiheys riippuu tavoitetiiviydestä

** näyte vesiupotuksessa

	Yksikkö	Vaahtolasi Näyte 2/2011	Vaahtolasi Näyte 29.3.2011	Vaahtolasi Näyte (Fe 2 %) 21.4.2011	Vaahtolasi Näyte (Fe 3 %) 21.4.2011	Vaahtolasi Näyte (Fe 2%) 9.5.2011	Vaahtolasi 11.5.	Vaahtolasi 11.5.	Vaahtolasi 12.5.	SVP _{pV}	PIMA kynnysarvo (VNa 214/2007)	Norjalaiset raja-arvot	
							Rautaoksidi 2%	Rautaoksidi 4%	Ferrihydroksidi 2%				
Liukoisuusominaisuudet L/S-suhteessa 10													
Testimenetelmä		2-v. ravistelut.	2-v. ravistelut.	2-v. ravistelut.	2-v. ravistelut.	läpivirtaust.	2-v. ravistelut.	2-v. ravistelut.	2-v. ravistelut	2-v. ravistelut.			
Arseeni	mg/kg	1,6	2,6	0,75	1,4	0,88	0,979	1,1	1,1	1,1			
Barium	mg/kg	0,39	0,16	0,11	0,13	0,35	0,18	0,14	0,13	0,14			
Kadmium	mg/kg	<0,020	<0,020	<0,02	<0,02	0,002	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020			
Kromi	mg/kg	0,042	0,046	0,048	0,047	0,057	0,037	0,033	0,025	<0,020			
Kupari	mg/kg	0,095	0,12	0,070	0,042	0,097	<0,020	0,039	0,034	0,023			
Elohopea	mg/kg	<0,003	<0,003	<0,003	0,003	0,0019	<0,003	0,003	<0,003	0,004			
Molybdeeni	mg/kg	0,051	0,058	0,12	0,064	0,05	0,055	0,051	0,044	0,053			
Nikkeli	mg/kg	0,090	0,028	0,030	<0,02	0,002	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020			
Lyijy	mg/kg	0,14	0,16	0,57	0,044	0,033	0,05	0,032	0,036	0,071			
Antimoni	mg/kg	1,9	1,1	0,51	0,57	0,45	0,44	0,43	0,43	0,51			
Seleeni	mg/kg	0,022	0,043	<0,02	0,022	0,023	0,037	0,022	0,028	0,025			
Sinkki	mg/kg	<0,020	<0,020	0,020	<0,02	0,19	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020			
Vanadiini	mg/kg					0,16							
Kloridi	mg/kg					2,9							
Fluoridi	mg/kg					2,7							
Sulfaatti	mg/kg					48							
Kokonaispitoisuudet													
Arseeni	mg/kg	8,5	7,5	13	13	12	6,5	6,3	3,4	10	5	30	
Barium	mg/kg	2,6	23	16	24	31	28	28	23				
Kadmium	mg/kg	0,46	<0,2	0,35	0,22	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	5	1	2	
Kromi	mg/kg	8,5	7,4	11	18	10	13	13	8	1000	100	550	
Kupari	mg/kg	<10	<10	14	19	12	<10	10	<10	10000	100	200	
Elohopea	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	5	0,5	1	
Molybdeeni	mg/kg	<2	<2	3,6	4,4	3,1	<2	<2	<2				
Nikkeli	mg/kg	7,4	5,5	16	20	12	7	8	4	40	50	50	
Lyijy	mg/kg	23	37	27	29	34	31	28	23	100	60	800	
Antimoni	mg/kg	3,6	2,8	6,6	6,5	4,7	1,9	1,6	0,92	4	2	150	
Seleeni	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
Sinkki	mg/kg	<5	<5	<5	<5	<5	5,5	6,6	7,3	3000	200	200	
Muut ominaisuudet													
pH	-	10,4	10,9	10,9	11,1	9,8	10,7	10,7	10,8				
Sähkönjohtavuus	mS/m	19	16	17	23	16	16	16	20				
Liukoisuustestimenetelmät: 2-vaiheinen ravistelutesti (SFS-EN 12457-3) ja läpivirtaustesti (CEN/TS 14405) Analyysit: F, Cl, SO4 (SFS-EN ISO 10304-1); metallit (ISO 17294-2, EPA 3051A, SFS-EN ISO 15587-1) SVP _{pV} Maaperän suurin vaikutukseton pitoisuus talousvetenä käytettävän pohjaveden pilaantumisriskin kannalta (Reinikainen, J. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet, Suomen ympäristö, 23/2007) PIMA kynnysarvo: Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (VNa 214/2007) Norjalaiset raja-arvot vaahtolasille: Petkovic, G. et al, Acceptance limits for the content of pollutants in recycled materials in road construction. Norwegian Roads Recycling R&D program. Norwegian Public Roads Administration.													

Tutkimustodistus

1/1

Projekti: 82130243/1

Ramboll Finland Oy/Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi: Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus

Näytteenottopvm:

Näytteenottopiste: vaahtolasi

Näyte saapui: 23.2.2011

Näytteenottaja:

Analysointi aloitettu: 23.2.2011

Tutkimustulokset

Määrittäminen	11SS00388	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
Esikäsittely, jauhatus	ok		
pH maa/kiinteä	10,4		RA2036
Esikäsittely, mikroaaltohajotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	3,6	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	8,5	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	2,6	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	0,46	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	8,5	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<10	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	23	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	<2	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	7,4	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<5	mg/kg ka	RA3000

Ramboll Analytics

Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/2

Ramboll Finland Oy/Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi: Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus, 2-vaiheinen ravistelutesti

Näytteenottopvm:

Näyte saapui: 1.3.2011

Näytteenottaja:

Analysointi aloitettu: 1.3.2011

Tutkimustulokset

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	vaahtolasi, L/S=2	vaahtolasi, L/S=10		
Näyttenumero	11SS 00406	11SS 00407		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	11,1	10,3		
pH-loppu	10,7	10,4		
Sähkönjohtavuus	59	19	mS/m	RA2013*
Metallit 1	tehty	tehty		
Antimoni (Sb)	0,82	1,9	mg/kg ka	RA3000*
Arseeni (As)	1,1	1,6	mg/kg ka	RA3000*
Barium (Ba)	0,093	0,39	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*
Kromi (Cr)	<0,020	0,042	mg/kg ka	RA3000*
Kupari (Cu)	0,038	0,095	mg/kg ka	RA3000*
Lyijy (Pb)	0,053	0,14	mg/kg ka	RA3000*
Molybdeeni (Mo)	0,041	0,051	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	0,034	0,090	mg/kg ka	RA3000*
Seleen (Se)	<0,020	0,022	mg/kg ka	RA3000*
Sinkki (Zn)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000*

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

2/2

Projekti: 82130243/2

* FINAS -akkreditoitu menetelmä. Mittausepävarmuus ilmoitetaan tarvittaessa. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

Ramboll Analytics



Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

1/1

Projekti: 82130243/3

Ramboll Finland Oy/Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi: Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus

Näytteenottopvm:

Näytteenottopiste: vaahtolasi

Näyte saapui: 29.3.2011

Näytteenottaja:

Analysointi aloitettu: 29.3.2011

Tutkimustulokset

Määrittäminen	11SS00652	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
Esikäsittely, jauhatus	ok		
pH maa/kiinteä	10,9		RA2036
Esikäsittely, mikroaaltohajotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	2,8	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	7,5	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	23	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	7,4	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<10	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	37	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	<2	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	5,5	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<5	mg/kg ka	RA3000

Ramboll Analytics

Sami Tyrväinen
FM, kemisti, 020 755 7934

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/4

Ramboll Finland Oy/Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi: Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus, 2-vaiheinen ravistelutesti

Näytteenottopvm:

Näyte saapui: 29.3.2011

Näytteenottaja:

Analysointi aloitettu: 29.3.2011

Tutkimustulokset

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	vaahtolasi, L/S=2	vaahtolasi, L/S=10		
Näyttenumero	11SS 00653	11SS 00654		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	10,9	10,5		
pH-loppu	11,2	10,8		
Sähkönjohtavuus	55	16	mS/m	RA2013
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,61	1,1	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	2,1	2,6	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	0,045	0,16	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	<0,020	0,046	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	0,044	0,12	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	0,075	0,16	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,051	0,058	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	0,028	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	0,034	0,043	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Sami Tyrväinen
FM, kemisti, 020 755 7934

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/9

Ramboll Finland Oy/Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus	Näytteenottopvm:	
Asiakkaan viite:	Fe 2 %	Näyte saapui:	21.4.2011
Näytteenottopiste:	vaahtolasi Fe 2 %	Analysointi aloitettu:	21.4.2011
Näytteenottaja:			

Tutkimustulokset

Määrittäminen	11SS00829	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	99	m-%	RA4016
Esikäsittely, jauhatus	ok		
pH maa/kiinteä	10,9		RA2036
Esikäsittely, mikroaaltolahotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	6,6	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	13	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	16	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	0,35	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	11	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	14	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	27	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	3,6	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	16	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<5	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Ilpo Lahdelma
FL, kemisti, 020 755 7851

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu

ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Finland Oy/Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus, 2-vaiheinen ravistelutesti		
Asiakkaan viite:	Fe 2 %	Näytteenottopvm:	
		Näyte saapui:	21.4.2011
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	21.4.2011

Tutkimustulokset

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	vaahtolasi	vaahtolasi		
	Fe 2 %, L/S=2	Fe 2 %, L/S=10		
Näytenumero	11SS 00830	11SS 00831		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	10,7	10,4		
pH-loppu	11,1	10,7		
Sähkönjohtavuus	54	17	mS/m	RA2013
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,21	0,51	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	0,70	0,75	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	0,025	0,11	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,02	<0,02	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	0,026	0,048	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<0,02	0,070	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	0,028	0,57	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,11	0,12	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,02	0,030	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<0,02	<0,02	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<0,02	0,020	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Ilpo Lahdelma
FL, kemisti, 020 755 7851

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu

ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/11

Ramboll Finland Oy/Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus		
Asiakkaan viite:	Fe 3 %	Näytteenottopvm:	
Näytteenottopiste:	vaahtolasi Fe 3 %	Näyte saapui:	21.4.2011
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	21.4.2011

Tutkimustulokset

Määrittäminen	11SS00832	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
Esikäsittely, jauhatus	ok		
pH maa/kiinteä	11,1		RA2036
Esikäsittely, mikroaaltolahotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	6,5	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	13	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	24	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	0,22	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	18	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	19	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	29	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	4,4	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	20	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<5	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Ilpo Lahdelma
FL, kemisti, 020 755 7851

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu

ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Finland Oy/Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus, 2-vaiheinen ravistelutesti		
Asiakkaan viite:	Fe 3 %	Näytteenottopvm:	
		Näyte saapui:	21.4.2011
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	21.4.2011

Tutkimustulokset

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	vaahtolasi	vaahtolasi		
	Fe 3 %, L/S=2	Fe 3 %, L/S=10		
Näyttenumero	11SS 00833	11SS 00834		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	10,9	10,6		
pH-loppu	11,3	10,9		
Sähkönjohtavuus	75	23	mS/m	RA2013
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,30	0,57	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	1,2	1,4	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	0,031	0,13	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,02	<0,02	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	0,022	0,047	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<0,02	0,042	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	<0,02	0,044	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,061	0,064	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,02	<0,02	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<0,02	0,022	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<0,02	<0,02	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Ilpo Lahdelma
FL, kemisti, 020 755 7851

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu

ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistus

1/1

Projekti: 82130243/13

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi: Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus

Näytteenottopvm:

Näytteenottopiste: vaahtolasi näyte 3.5 / 5-7mm

Näyte saapui: 9.5.2011

Näytteenottaja:

Analysointi aloitettu: 9.5.2011

Tutkimustulokset

Määrittäminen	11SS00917	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
pH maa/kiinteä	9,8		RA2036
Esikäsittely, mikroaaltohajotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	4,7	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	12	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	31	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	10	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	12	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	34	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	3,1	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	12	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<5	mg/kg ka	RA3000

Ramboll Analytics

Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Lisätiedot Tehdään PIKANA !!

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/14

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus, 2-vaiheinen ravistelutesti	Näytteenottopvm:	
		Näyte saapui:	9.5.2011
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	9.5.2011

Tutkimustulokset

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	vaahtolasi näyte 3.5 5-7mm, L/S=2	vaahtolasi näyte 3.5 5-7mm, L/S=10		
Näytenumero	11SS 00918	11SS 00919		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	10,0	10,1		
pH-loppu	10,7	10,5		
Sähkönjohtavuus	48	16	mS/m	RA2013
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,296	0,44	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	0,79	0,979	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	0,053	0,18	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	<0,020	0,037	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	0,032	0,050	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,047	0,055	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<0,020	0,037	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Lisätiedot Tehdään PIKANA !!

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistus

1/1

Projekti: 82130243/15

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus	Näytteenottopvm:	
Asiakkaan viite:	Rautaoksidi 2%	Näyte saapui:	11.5.2011
Näytteenottopiste:	Rautaoksidi 2%	Analysointi aloitettu:	11.5.2011
Näytteenottaja:			

Tutkimustulokset

Määrittäminen	11SS00937	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
Esikäsittely, jauhatus	ok		
pH maa/kiinteä	10,7		RA2036
Esikäsittely, mikroaaltolahotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	1,9	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	6,5	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	28	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	13	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<10	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	31	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	<2	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	7,0	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	5,5	mg/kg ka	RA3000

Ramboll Analytics

Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/16

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus, 2-vaiheinen ravistelutesti		
Asiakkaan viite:	Rautaoksidi 2%	Näytteenottopvm:	
		Näyte saapui:	11.5.2011
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	11.5.2011

Tutkimustulokset

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	Rautaoksid i 2 %, L/S=2	Rautaoksid i 2 %, L/S=10		
Näyttenumero	11SS 00938	11SS 00939		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	10,9	10,3		
pH-loppu	11,2	10,7		
Sähkönjohtavuus	58	16	mS/m	RA2013
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,26	0,43	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	0,86	1,1	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	0,043	0,14	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	<0,020	0,033	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<0,020	0,039	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	<0,020	0,032	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,045	0,051	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<0,020	0,022	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu

ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistus

1/1

Projekti: 82130243/19

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus	Näytteenottopvm:	
Asiakkaan viite:	Rautaoksidi 4%	Näyte saapui:	11.5.2011
Näytteenottopiste:	Rautaoksidi 4%	Analysointi aloitettu:	11.5.2011
Näytteenottaja:			

Tutkimustulokset

Määrittäminen	11SS00943	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
Esikäsittely, jauhatus	ok		
pH maa/kiinteä	10,7		RA2036
Esikäsittely, mikroaaltolahotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	1,6	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	6,3	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	28	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	13	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	10	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	28	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	<2	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	7,8	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	6,6	mg/kg ka	RA3000

Ramboll Analytics

Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/20

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus, 2-vaiheinen ravistelutesti		
Asiakkaan viite:	Rautaoksidi 4%	Näytteenottopvm:	11.5.2011
		Näyte saapui:	11.5.2011
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	11.5.2011

Tutkimustulokset

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	Rauta- oksidi 4 %, L/S=2	Rauta- oksidi 4 %, L/S=10		
Näytenumero	11SS 00944	11SS 00945		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	10,9	10,3		
pH-loppu	11,1	10,6		
Sähkönjohtavuus	53	16	mS/m	RA2013
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,27	0,43	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	0,80	1,1	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	0,035	0,13	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	<0,020	0,025	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<0,020	0,034	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	<0,020	0,036	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,040	0,044	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	0,024	0,028	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistus

1/1

Projekti: 82130243/21

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus	Näytteenottopvm:	
Asiakkaan viite:	Ferrihydroksidi 2%	Näyte saapui:	12.5.2011
Näytteenottopiste:	Ferrihydroksidi 2%	Analysointi aloitettu:	12.5.2011
Näytteenottaja:			

Tutkimustulokset

Määrittäminen	11SS00946	Yksikkö	Menetelmä
Kuiva-aine	100	m-%	RA4016
Esikäsittely, jauhatus	ok		
pH maa/kiinteä	10,8		RA2036
Esikäsittely, mikroaaltolahotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 1	ok		
Antimoni (Sb)	0,92	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	3,4	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	23	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,2	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	8,0	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<10	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	23	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	<2	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	4,2	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	7,3	mg/kg ka	RA3000

Ramboll Analytics

Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/22

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, vaahtolasin tutkimus, 2-vaiheinen ravistelutesti		
Asiakkaan viite:	Ferrihydroksidi 2%	Näytteenottopvm:	12.5.2011
		Näyte saapui:	12.5.2011
Näytteenottaja:		Analysointi aloitettu:	12.5.2011

Tutkimustulokset

			Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	Ferri- hydrok- sidi 2 % L/S=2	Ferri- hydrok- sidi 2 % L/S=10		
Näytenumero	11SS 00947	11SS 00948		
MÄÄRITYKSET				
Esikäsittely, ravistelu L/S 10		ok		RA2066
Esikäsittely, ravistelu L/S 2	ok			RA2066
pH-alku	10,7	10,5		
pH-loppu	11,0	10,7		
Sähkönjohtavuus	83	20	mS/m	RA2013
Metallit 1	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,30	0,51	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	0,77	1,1	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	0,048	0,14	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	0,003	0,004	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<0,020	0,023	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	0,020	0,071	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,049	0,053	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<0,020	0,025	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics



Anna-Mari Lyytinen
FM, kemisti, 020 755 7860

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Jakelu ANML
marjo.ronkainen@ramboll.fi

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/23

Ramboll Finland Oy / Luopioinen
 Marjo Ronkainen
 Vohlisaarentie 2 B
 36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi: Uusioaines Oy, Vaahtolasitutkimus SFS-EN 14405, perkolaatio

Näytteenottopvm: 13.5.2011

Näyte saapui: 13.5.2011

Näytteenottaja: Analysointi aloitettu: 13.5.2011

Tuhkat

						Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	1+2 =1. suodos., vaahto-lasi, L/S 0,2	2. suodos vaahto-lasi, L/S 0,5	3. suodos vaahto-lasi, L/S 1,0	4. suodos vaahto-lasi, L/S 2,0	5. suodos vaahto-lasi, L/S 5,0		
Näytenumero	11YA 00282	11YA 00283	11YA 00284	11YA 00285	11YA 00286		
MÄÄRITYKSET							
Analyysikosteus	<0,1					m-%	DIN 51718
Esikäsittely, perkolaatiotesti	ok						CEN/TS 14405
pH	9,7	9,8	9,8	10,1	9,8		RA1017
Sähkönjohtavuus 25°C	41,0	36	34	28	19	mS/m	RA1005
Kloridi (Cl)	0,63	0,45	0,25	0,20	<0,5	mg/l	SFS-EN ISO 10304-1mod.
Fluoridi (F)	0,60	0,37	0,16	0,13	<0,25	mg/l	SFS-EN ISO 10304-1mod.
Sulfaatti (SO4)	15	13	13	9,6	5,9	mg/l	SFS-EN ISO 10304-1mod.
Tilavuus	152	200	346	618	1938	ml	
Metallit 2	ok	ok	ok	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,13	0,12	0,11	0,099	0,054	mg/l	RA3000
Arseeni (As)	0,29	0,26	0,22	0,17	0,11	mg/l	RA3000
Barium (Ba)	0,028	0,021	0,025	0,018	0,021	mg/l	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	mg/l	RA3000
Kadmium (Cd)	0,0003	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	mg/l	RA3000
Koboltti (Co)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	mg/l	RA3000
Kromi (Cr)	0,007	0,007	0,004	0,004	0,006	mg/l	RA3000
Kupari (Cu)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	mg/l	RA3000
Lyijy (Pb)	0,009	0,008	0,009	0,007	0,003	mg/l	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,017	0,015	0,014	0,010	0,006	mg/l	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	mg/l	RA3000
Seleen (Se)	0,006	0,006	0,006	0,005	0,003	mg/l	RA3000
Sinkki (Zn)	0,24	0,050	0,041	<0,005	0,014	mg/l	RA3000
Vanadiini (V)	0,047	0,043	0,039	0,031	0,020	mg/l	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

2/2

Projekti: 82130243/23

Tuhkat

Näytteenottopisteet

6. suodos
vaahto-
lasi,
L/S 10

Näytenumero

11YA
00287

MÄÄRITYKSET

Analyysikosteus

Esikäsittely, perkolaatiotesti

pH

9,7

Sähkönjohtavuus 25°C

10

Kloridi (Cl)

0,17

Fluoridi (F)

0,31

Sulfaatti (SO₄)

2,1

Tilavuus

3295

Metallit 2

ok

Antimoni (Sb)

0,021

Arseeni (As)

0,038

Barium (Ba)

0,050

Elohopea (Hg)

<0,0002

Kadmium (Cd)

<0,0002

Koboltti (Co)

<0,001

Kromi (Cr)

0,006

Kupari (Cu)

<0,01

Lyijy (Pb)

0,002

Molybdeeni (Mo)

0,002

Nikkeli (Ni)

<0,002

Seleen (Se)

0,001

Sinkki (Zn)

0,010

Vanadiini (V)

0,008

Yksikkö

Menetelmä

m-%

DIN 51718
CEN/TS 14405
RA1017

mS/m

RA1005

mg/l

SFS-EN ISO
10304-1mod.

mg/l

SFS-EN ISO
10304-1mod.

mg/l

SFS-EN ISO
10304-1mod.

ml

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

mg/l

RA3000

Ramboll Analytics



Minna Rantanen

tutkimusinsinööri, ins. AMK, +358 20 755 7958

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Lisätiedot Läpivirtaustesti. Näyte pakattu isoon kolonniin.

Jakelu

marjo.ronkainen@ramboll.fi; anna-mari.lyytinen@ramboll.fi

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

1/2

Projekti: 82130243/23

Ramboll Finland Oy / Luopioinen
Marjo Ronkainen
Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Uusioaines Oy, Vaahtolasitutkimus SFS-EN 14405, perkolaatio
	Näytteenottopvm:
	Näyte saapui: 13.5.2011
Näytteenottaja:	Analysointi aloitettu: 13.5.2011

Tuhkat

						Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottopisteet	1+2 =1. suodos., vaahto-lasi, L/S 0,2	2. suodos vaahto-lasi, L/S 0,5	3. suodos vaahto-lasi, L/S 1,0	4. suodos vaahto-lasi, L/S 2,0	5. suodos vaahto-lasi, L/S 5,0		
Näytenumero	11YA 00282	11YA 00283	11YA 00284	11YA 00285	11YA 00286		
MÄÄRITYKSET							
Analyyssikosteus	<0,1					m-%	DIN 51718
Esikäsittely, perkolaatiotesti	ok						CEN/TS 14405
pH	9,7	9,8	9,8	10,1	9,8		RA1017
Sähkönjohtavuus 25°C	41	36	34	28	19	mS/m	RA1005
Kloridi	0,15	0,29	0,42	0,53	2,0	mg Cl/kg ka	RA2018
Fluoridi	0,14	0,25	0,34	0,41	1,2	mg F/kg ka	RA2018
Sulfaatti	3,5	7,5	15	20	38	mg SO4/kg ka	RA2018
Metallit 2	ok	ok	ok	ok	ok		
Antimoni (Sb)	0,030	0,068	0,13	0,18	0,34	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	0,068	0,15	0,27	0,36	0,69	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	<0,020	<0,020	0,026	0,037	0,099	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Koboltti (Co)	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	0,026	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	0,046	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	0,022	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	<0,020	<0,020	<0,020	0,022	0,040	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	0,056	0,072	0,094	0,096	0,14	mg/kg ka	RA3000
Vanadiini (V)	<0,020	0,024	0,045	0,063	0,12	mg/kg ka	RA3000

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

2/2

Projekti: 82130243/23

Tuhkat

Näytteenottopisteet 6. suodos
vaahto-
lasi,
L/S 10
Näytenumero 11YA
00287

MÄÄRITYKSET

Analyyssikosteus		m-%	DIN 51718
Esikäsittely, perkolaatiotesti			CEN/TS 14405
pH	9,7		RA1017
Sähkönjohtavuus 25°C	10	mS/m	RA1005
Kloridi	2,9	mg Cl/kg ka	RA2018
Fluoridi	2,7	mg F/kg ka	RA2018
Sulfaatti	48	mg SO4/kg ka	RA2018
Metallit 2	ok		
Antimoni (Sb)	0,45	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	0,88	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	0,35	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	<0,003	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Koboltti (Co)	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	0,057	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	0,097	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	0,032	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	0,050	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	<0,020	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	0,023	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	0,19	mg/kg ka	RA3000
Vanadiini (V)	0,16	mg/kg ka	RA3000

Ramboll Analytics



Minna Rantanen
tutkimusinsinööri, ins. AMK, +358 20 755 7958

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Lisätiedot Läpivirtaustesti. Näyte pakattu isoon kolonniin.**Jakelu** marjo.ronkainen@ramboll.fi; anna-mari.lyytinen@ramboll.fi

Skenaario 1, Pohjaveden muodostumisalue

Vahtolasista uuttuva As ja Sb pitoisuus, joka kulkeutuu 0,5 metrin paksuiseen pohjamaahan (hiekk)

Parametrit		
100	m	Tien pituus (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen pituus)
10	m	Tien leveys (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen leveys)
1,0	m	Vahtolasirakenteen paksuus tierakenteessa
0,220	t/m3	Vahtolasin tiheys
220 000	kg	Vahtolasin massa
0,5	m	hiekk-pohjamaan (vajovesivyöhykkeen) paksuus
2,0	t/m3	hiekan märkätiheys
1 000 000	kg	hiekanpohjamaan massa

Taulukko 1.

Haitta-aine	Vahtolasin suurin	Vapautuva haitta-ainemäärä vahtolasirakenteesta L/S-suhteessa 10 l/kg	Vahtolasista vapautuneen haitta-aineen pitoisuus hiekassa*	SVPpv	PIMA kynnysarvo	Luontainen taustapitoisuus Suomessa**
	todettu liukoisuus L/S-suhteessa 10 l/kg					
	mg/kg	mg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arseeni, As	2,6	572 000	0,572	10	5	1 (0,1-25)
Antimoni, Sb	1,9	418 000	0,418	4	2	0,02 (0,01-0,2)

SVPpv = suurin vaikutukseton pitoisuus pohjaveden pilaantumisriskin kannalta
PIMA kynnysarvo = ylittävät pitoisuudet laukaisevat maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointitarpeen
* Oletus: vahtolasirakenteen suotoveden As ja Sb sitoutuvat siMr savimineraaleihin
**Lähde: Reinikainen, Jussi, Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet, Suomen ympäristö, 23/2007

Savesta vapautuva haitta-ainepitoisuus huokosvedessä luontainen taustapitoisuus huomioiden

$$C_w = C_s / \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a \cdot H}{\rho} \right]$$

(1)

- Cs = pitoisuus maaperässä, mitattu [mg/kg]
- Cw = pitoisuus huokosvedessä, [mg/l]
- Kd = maa-vesi -jakautumiskerroin, ainekohtainen [l/kg]
- θw = veden täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
- θa = ilman täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
- H = Henryn lain vakio, ainekohtainen [-]
- ρ = maa-aineksen tiheys [kg/l].

Parametrit		
100	l/kg	Kd, arseeni
85	l/kg	Kd, antimoni
0,32	-	hiekan huokoisuus n (n = θw+θa)
0,21	-	
		veden täyttämien huokosten osuus θw
0,11	-	ilman täyttämien huokosten osuus θa (vain muutamia %:ja huokoisuudesta, merkityksetön veden täyttämien huokosten osuuteen verrattuna)
0	-	Henryn lain vakio, arseeni
0	-	Henryn lain vakio, antimoni
2,0	kg/l	hiekan märkätiheys

Taulukko 2.

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus savessa sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cs	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cw1	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vain vahtolasin kuormituksen, Cw2
	mg/kg	mg/l	mg/l
Arseeni, As	1,572	0,0157	0,0057
Antimoni, Sb	0,438	0,0051	0,0049

Huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuva haitta-ainepitoisuus

$$C_{gw} = C_w \times DF_{gw}$$

(5)

C_{gw}

C_w

DF_{gw}

= pitoisuus pohjavedessä [mg/l]

= pitoisuus huokosvedessä [mg/l]

= laimenemiskerroin huokosveden ja pohjaveden välillä [-].

$$DF_{gw} = \frac{L_{gw} \cdot I}{v_{gw} \cdot d_{mix} + (L_{gw} + x) \cdot I}$$

(6)

L_{gw}

I

v_{gw}

d_{mix}

x

= "pilaantuneen" alueen pituus pohjaveden virtaussuunnassa [m]

= pohjaveteen imeytyvän veden määrä [m/a]

= pohjaveden virtausnopeus [m/a]

= sekoittumiskerroksen paksuus pohjavedessä [m]

= etäisyys "pilaantuneen alueen" reunasta tarkkailupisteeseen [m]

Parametri			
100	m	Lgw, hiekka-pohjamaan pituus	
0,064	m/a	I, pohjaveteen imeytyvän veden määrä, 10 % vuosisadannasta (640 mm/a) (Ilmatieteenlaitoksen tilastoja v. 1971-2000: Helsinki 641,6 mm/a; Jyväskylä 637,8 mm/a; Sodankylä 507,4 mm/a).	
muuttuja, kts. kuvaaja	m/a	vgw, pohjaveden virtausnopeus	
1	m	dmix, sekoittumiskerroksen paksuus	
5	m	etäisyys tarkkailupisteeseen	

Taulukko 3. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen sekä vaahtolasin että luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,001	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,034	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,00002	0,001	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,00001	0,0002	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

Taulukko 4. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain vaahtolasin kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,001	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,034	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,00001	0,0002	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,000005	0,0002	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

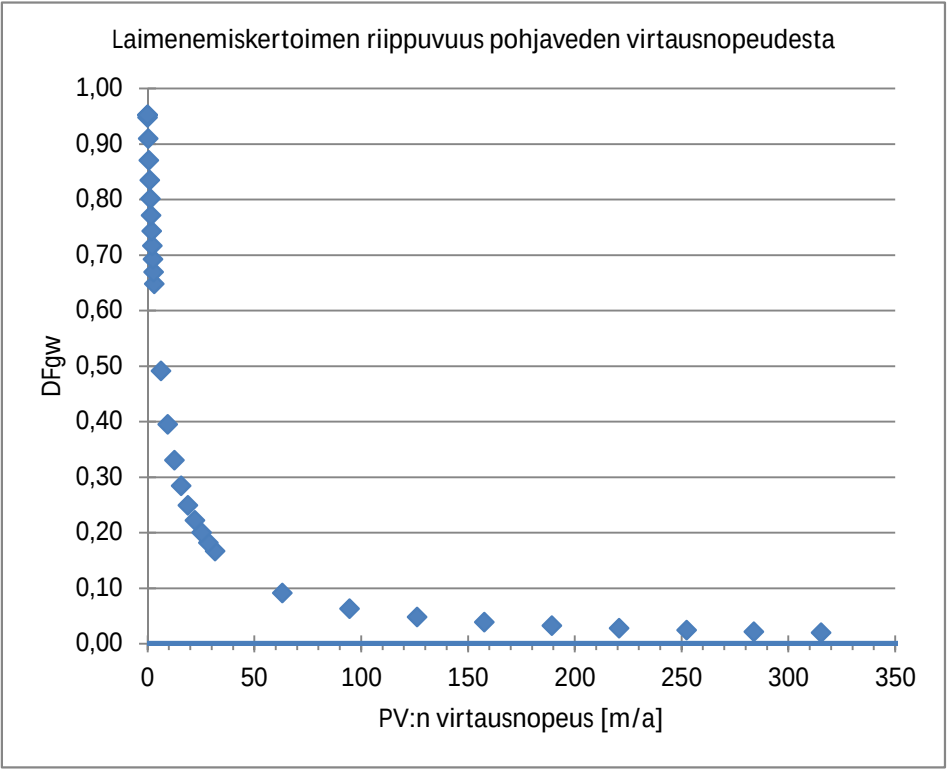
Taulukko 5. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,001	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,034	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,00001	0,0003	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0000002	0,00001	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

* Lahermo, P. et al. Tuhat kaivoa -Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999, Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 155, Espoo

Taulukko 6. Laimenemiskertoimen riippuvuus pohjaveden virtausnopeudesta

k	vgw	DFgw
m / s	m / a	-
1,00E-02	315360	0,000020
1,00E-03	31536	0,000203
1,00E-04	3154	0,002025
1,0E-05	315	0,02
9,00E-06	284	0,02
8,00E-06	252	0,02
7,00E-06	221	0,03
6,00E-06	189	0,03
5,00E-06	158	0,04
4,00E-06	126	0,05
3,00E-06	95	0,06
2,00E-06	63	0,09
1,0E-06	32	0,17
9,00E-07	28	0,18
8,00E-07	25	0,20
7,00E-07	22	0,22
6,00E-07	19	0,25
5,00E-07	16	0,28
4,00E-07	13	0,33
3,00E-07	9	0,40
2,00E-07	6	0,49
1,0E-07	3,2	0,65
9,00E-08	2,8	0,67
8,00E-08	2,5	0,69
7,00E-08	2,2	0,72
6,00E-08	1,9	0,74
5,00E-08	1,6	0,77
4,00E-08	1,3	0,80
3,00E-08	0,9	0,83
2,00E-08	0,6	0,87
1,0E-08	0,32	0,91
1,0E-09	0,032	0,95
1,00E-10	0,003	0,95
1,00E-11	0,00032	0,95
1,00E-12	0,00003	0,95
arviossa käytetty arvo	182,5	0,034
arviossa käytetty arvo	5475	0,001



Suomessa pohjaveden virtausnopeus:
Hiekassa pohjaveden virtausnopeus on luokkaa 0,5-5 m/vrk eli 182,5-1825 m/a
soralajitteiden määrän lisääntyessä 2-15 m/vrk eli 730-5475 m/a
(Lähde: Mälkki, E. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö, Tampere, 1999)

Vedenläpäisevyyskertoimien arvoja:
Hiekka 10⁻⁴...10⁻⁶ m/s
Sora 10⁻²...10⁻⁴ m/s
(Lähde: Rantamäki, M. et al. Geotekniikka, Helsinki 2004)

Skenaario 2 Kevennysrakenne pehmeiköllä

Vahtolasista uuttuva As ja Sb pitoisuus, joka kulkeutuu 0.5 metrin paksuiseen pohjamaahan (savi)

Parametrit		
100	m	Tien pituus (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen pituus)
10	m	Tien leveys (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen leveys)
1,0	m	Vahtolasirakenteen paksuus tierakenteessa
0,220	t/m3	Vahtolasin tiheys
220 000	kg	Vahtolasin massa
0,5	m	savi-pohjamaan (vajovesivyöhykkeen) paksuus
1,5	t/m3	saven märkätiheys
750 000	kg	savi-pohjamaan massa

Taulukko 1.

Haitta-aine	Vahtolasin suurin todettu liukoisuus L/S-suhteessa 10 l/kg	Vapautuva haitta-ainemäärä vahtolasirakenteesta L/S-suhteessa 10 l/kg	Vahtolasista vapautuneen haitta-aineen pitoisuus savessa*	SVPpv	PIMA kynnysarvo	Luontainen taustapitoisuus Suomessa**
	mg/kg	mg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arseeni, As	2,6	572 000	0,763	10	5	1 (0,1-25)
Antimoni, Sb	1,9	418 000	0,557	4	2	0,02 (0,01-0,2)

SVPpv = suurin vaikutukseton pitoisuus pohjaveden pilaantumisriskin kannalta
PIMA kynnysarvo = ylittävät pitoisuudet laukaisevat maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointitarpeen
* Oletus: vahtolasirakenteen suotoveden As ja Sb sitoutuvat siMr savimineraaleihin
| **Lähde: Reinikainen, Jussi, Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittysperusteet, Suomen ympäristö, 23/2007

Savesta vapautuva haitta-ainepitoisuus huokosvedessä luontainen taustapitoisuus huomioiden

$$C_w = C_s \Bigg/ \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a \cdot H}{\rho} \right]$$

(1)

- C_s

= pitoisuus maaperässä, mitattu [mg/kg]
- C_w

= pitoisuus huokosvedessä, [mg/l]
- K_d

= maa-vesi –jakautumiskerroin, ainekohtainen [l/kg]
- θ_w

= veden täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
- θ_a

= ilman täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
- H

= Henryn lain vakio, ainekohtainen [-]
- ρ

= maa-aineksen tiheys [kg/l].

Parametrit		
100	l/kg	Kd, arseeni
85	l/kg	Kd, antimoni
0,5	-	saven huokoisuus n (n = θw+θa)
0,5	-	veden täyttämien huokosten osuus θw (vesi nousee kapillaarisesti pohjavesivyöhykkeestä)
0	-	ilman täyttämien huokosten osuus θa (vain muutamia %:ja huokoisuudesta, merkityksetön veden täyttämien huokosten osuuteen verrattuna)
0	-	Henryn lain vakio, arseeni
0	-	Henryn lain vakio, antimoni
1,5	kg/l	saven märkätiheys

Taulukko 2.

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus savessa sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cs	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cw1	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vain vahtolasin kuormituksen, Cw2
	mg/kg	mg/l	mg/l
Arseeni, As	1,763	0,0176	0,0076
Antimoni, Sb	0,577	0,0068	0,0065

Huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuva haitta-ainepitoisuus

$$C_{gw} = C_w \times DF_{gw} \tag{5}$$

C_{gw} = pitoisuus pohjavedessä [mg/l]
 C_w = pitoisuus huokosvedessä [mg/l]
 DF_{gw} = laimenemiskerroin huokosveden ja pohjaveden välillä [-].

$$DF_{gw} = \frac{L_{gw} \cdot I}{v_{gw} \cdot d_{mix} + (L_{gw} + x) \cdot I} \tag{6}$$

L_{gw} = "pilaantuneen" alueen pituus pohjaveden virtaussuunnassa [m]
 I = pohjaveteen imeytyvän veden määrä [m/a]
 v_{gw} = pohjaveden virtausnopeus [m/a]
 d_{mix} = sekoittumiskerroksen paksuus pohjavedessä [m]
 x = etäisyys "pilaantuneen alueen" reunasta tarkkailupisteeseen [m]

Parametri		
100	m	Lgw, savi-pohjamaan pituus
0,064	m/a	I, pohjaveteen imeytyvän veden määrä, 10 % vuosisadannasta (640 mm/a) (Ilmatieteenlaitoksen tilastoja v. 1971-2000: Helsinki 641,6 mm/a; Jyväskylä 637,8 mm/a; Sodankylä 507,4 mm/a).
muuttuja, kts. kuvaaja	m/a	vgw, pohjaveden virtausnopeus
1	m	dmix, sekoittumiskerroksen paksuus
5	m	etäisyys tarkkailupisteeseen

Taulukko 3. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen sekä vaahtolasin että luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,91	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatu normit (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,016	0,017	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0062	0,0064	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

Taulukko 4. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain vaahtolasin kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,91	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatu normit (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,007	0,007	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0059	0,0062	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

Taulukko 5. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,91	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatu normit (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,009	0,009	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0002	0,0002	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

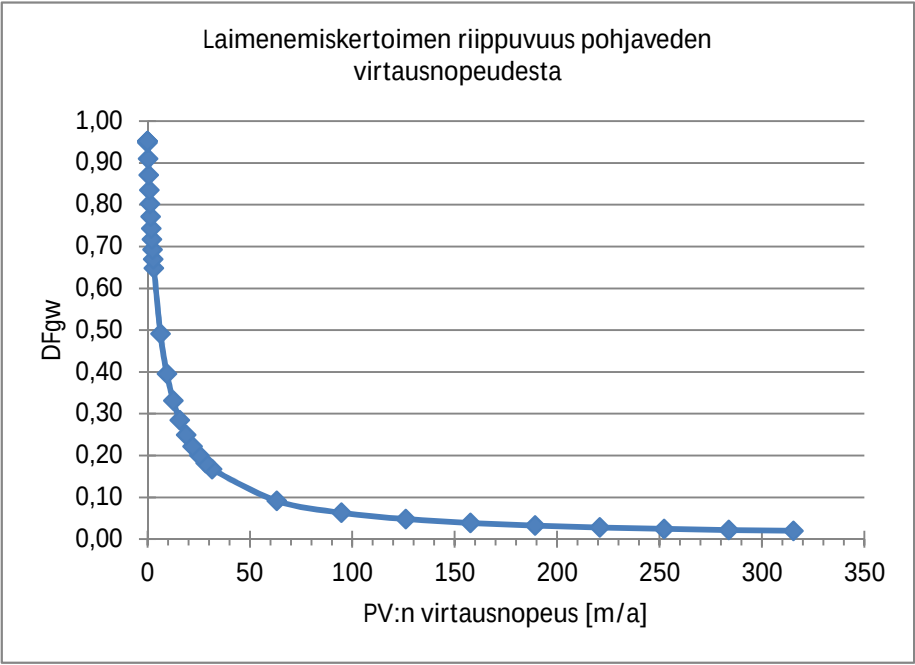
* Lahermo, P. et al. Tuhat kaivoa -Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999, Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 155, Espoo 2002

Taulukko 6. Laimenemiskertoimen riippuvuus pohjaveden virtausnopeudesta

k	vgw	DFgw
m / s	m / a	-
1,0E-05	315	0,02
9,00E-06	284	0,02
8,00E-06	252	0,02
7,00E-06	221	0,03
6,00E-06	189	0,03
5,00E-06	158	0,04
4,00E-06	126	0,05
3,00E-06	95	0,06
2,00E-06	63	0,09
1,0E-06	32	0,17
9,00E-07	28	0,18
8,00E-07	25	0,20
7,00E-07	22	0,22
6,00E-07	19	0,25
5,00E-07	16	0,28
4,00E-07	13	0,33
3,00E-07	9	0,40
2,00E-07	6	0,49
1,0E-07	3,2	0,65
9,00E-08	2,8	0,67
8,00E-08	2,5	0,69
7,00E-08	2,2	0,72
6,00E-08	1,9	0,74
5,00E-08	1,6	0,77
4,00E-08	1,3	0,80
3,00E-08	0,9	0,83
2,00E-08	0,6	0,87
1,0E-08	0,32	0,91
1,0E-09	0,032	0,95
1,00E-10	0,003	0,95
1,00E-11	0,00032	0,95
1,00E-12	0,00003	0,95

Suomessa pohjaveden virtausnopeus:
Savissa ja savimoreeneissa pohjaveden virtausnopeus on käytännössä nolla.
(Lähde: Mälkki, E. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö, Tampere, 1999)

Vedenläpäisevyyskertoimien arvoja:
Savi 10⁻⁸...10⁻¹⁰ m/s
(Lähde: Rantamäki, M. et al. Geotekniikka, Helsinki 2004)



Skenaario 3 Kevennysrakenne pehmeiköllä

Vahtolasista uuttuva As ja Sb pitoisuus, joka kulkeutuu 1.0 metrin paksuiseen pohjamaahan (savi)

Parametrit		
100	m	Tien pituus (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen pituus)
10	m	Tien leveys (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen leveys)
1,0	m	Vahtolasirakenteen paksuus tierakenteessa
0,220	t/m3	Vahtolasin tiheys
220 000	kg	Vahtolasin massa
1,0	m	savi-pohjamaan (vajovesivyöhykkeen) paksuus
1,5	t/m3	saven märkätiheys
1 500 000	kg	savi-pohjamaan massa

Taulukko 1.

Haitta-aine	Vahtolasin suurin todettu liukoisuus L/S-suhteessa 10 l/kg	Vapautuva haitta-ainemäärä vahtolasirakenteesta L/S-suhteessa 10 l/kg	Vahtolasista vapautuneen haitta-aineen pitoisuus savessa*	SVPpv	PIMA kynnysarvo	Luontainen taustapitoisuus Suomessa**
	mg/kg	mg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arseeni, As	2,6	572 000	0,381	10	5	1 (0,1-25)
Antimoni, Sb	1,9	418 000	0,279	4	2	0,02 (0,01-0,2)

SVPpv = suurin vaikutukseton pitoisuus pohjaveden pilaantumisriskin kannalta
PIMA kynnysarvo = ylittävät pitoisuudet laukaisevat maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointitarpeen
* Oletus: vahtolasirakenteen suotoveden As ja Sb sitoutuvat siMr savimineraaleihin
**Lähde: Reinikainen, Jussi, Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet, Suomen ympäristö, 23/2007

Savesta vapautuva haitta-ainepitoisuus huokosvedessä luontainen taustapitoisuus huomioiden

$$C_w = C_s / \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a \cdot H}{\rho} \right]$$

(1)

- C_s
- = pitoisuus maaperässä, mitattu [mg/kg]
- C_w
- = pitoisuus huokosvedessä, [mg/l]
- K_d
- = maa-vesi -jakautumiskerroin, ainekohtainen [l/kg]
- θ_w
- = veden täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
- θ_a
- = ilman täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
- H
- = Henryn lain vakio, ainekohtainen [-]
- ρ
- = maa-aineksen tiheys [kg/l].

Parametrit		
100	l/kg	Kd, arseeni
85	l/kg	Kd, antimoni
0,5	-	saven huokoisuus n (n = θw+θa)
0,5	-	veden täyttämien huokosten osuus θw (vesi nousee kapillaarisesti pohjavesivyöhykkeestä)
0	-	ilman täyttämien huokosten osuus θa (vain muutamia %:ja huokoisuudesta, merkityksetön veden täyttämien huokosten osuuteen verrattuna)
0	-	Henryn lain vakio, arseeni
0	-	Henryn lain vakio, antimoni
1,5	kg/l	saven märkätiheys

Taulukko 2.

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus savessa sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cs	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cw1	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vain vahtolasin kuormituksen, Cw2
	mg/kg	mg/l	mg/l
Arseeni, As	1,381	0,0138	0,0038
Antimoni, Sb	0,299	0,0035	0,0033

Huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuva haitta-ainepitoisuus

$$C_{gw} = C_w \times DF_{gw}$$

(5)

C_{gw}

C_w

DF_{gw}

= pitoisuus pohjavedessä [mg/l]

= pitoisuus huokosvedessä [mg/l]

= laimenemiskerroin huokosveden ja pohjaveden välillä [-].

$$DF_{gw} = \frac{L_{gw} \cdot I}{v_{gw} \cdot d_{mix} + (L_{gw} + x) \cdot I}$$

(6)

L_{gw}

I

v_{gw}

d_{mix}

x

= "pilaantuneen" alueen pituus pohjaveden virtaussuunnassa [m]

= pohjaveteen imeytyvän veden määrä [m/a]

= pohjaveden virtausnopeus [m/a]

= sekoittumiskerroksen paksuus pohjavedessä [m]

= etäisyys "pilaantuneen alueen" reunasta tarkkailupisteeseen [m]

Parametri		
100	m	Lgw, savi-pohjamaan pituus
0,064	m/a	I, pohjaveteen imeytyvän veden määrä, 10 % vuosisadannasta (640 mm/a) (Ilmatieteenlaitoksen tilastoja v. 1971-2000: Helsinki 641,6 mm/a; Jyväskylä 637,8 mm/a; Sodankylä 507,4 mm/a).
muuttuja, kts. kuvaaja	m/a	vgw, pohjaveden virtausnopeus
1	m	dmix, sekoittumiskerroksen paksuus
5	m	etäisyys tarkkailupisteeseen

Taulukko 3. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen sekä vaahtolasin että luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,91	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,013	0,013	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0032	0,0033	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

Taulukko 4. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain vaahtolasin kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,91	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,003	0,004	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0030	0,0031	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

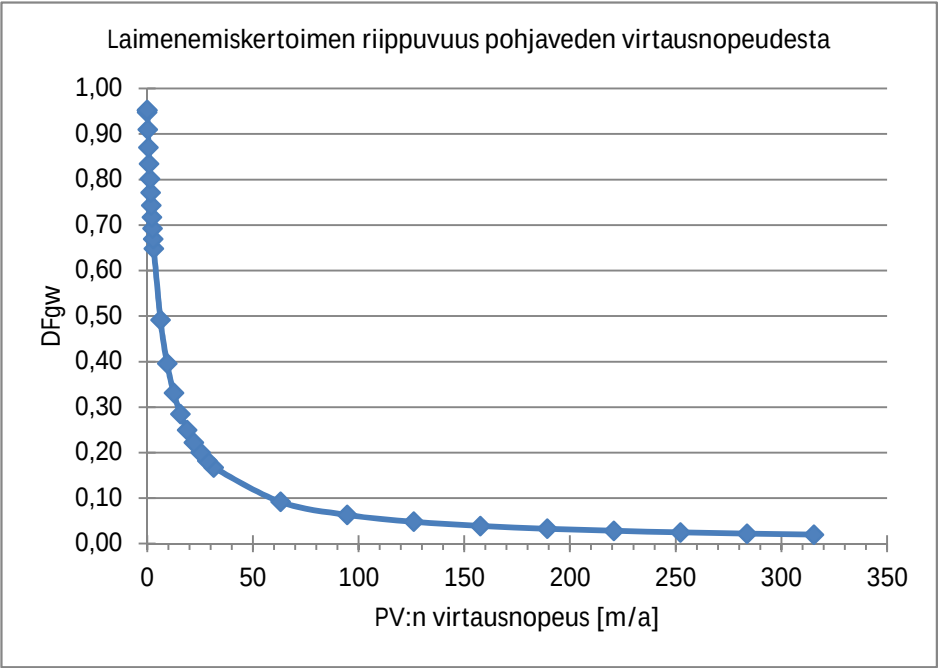
Taulukko 5. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,91	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,009	0,009	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0002	0,0002	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

* Lahermo, P. et al. Tuhat kaivaa -Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999, Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 155, Espoo 2002

Taulukko 6. Laimenemiskertoimen riippuvuus pohjaveden virtausnopeudesta

k	vgw	DFgw
m / s	m / a	-
1,0E-05	315	0,02
9,00E-06	284	0,02
8,00E-06	252	0,02
7,00E-06	221	0,03
6,00E-06	189	0,03
5,00E-06	158	0,04
4,00E-06	126	0,05
3,00E-06	95	0,06
2,00E-06	63	0,09
1,0E-06	32	0,17
9,00E-07	28	0,18
8,00E-07	25	0,20
7,00E-07	22	0,22
6,00E-07	19	0,25
5,00E-07	16	0,28
4,00E-07	13	0,33
3,00E-07	9	0,40
2,00E-07	6	0,49
1,0E-07	3,2	0,65
9,00E-08	2,8	0,67
8,00E-08	2,5	0,69
7,00E-08	2,2	0,72
6,00E-08	1,9	0,74
5,00E-08	1,6	0,77
4,00E-08	1,3	0,80
3,00E-08	0,9	0,83
2,00E-08	0,6	0,87
1,0E-08	0,32	0,91
1,0E-09	0,032	0,95
1,00E-10	0,003	0,95
1,00E-11	0,00032	0,95
1,00E-12	0,00003	0,95



Suomessa pohjaveden virtausnopeus:
Savissa ja savimoreeneissa pohjaveden virtausnopeus on käytännössä nolla.
(Lähde: Mälkki, E. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö, Tampere, 1999)

Vedenläpäisevyyskertoimien arvoja:
Savi 10⁻⁸...10⁻¹⁰ m/s
(Lähde: Rantamäki, M. et al. Geotekniikka, Helsinki 2004)

Skenaario 4, Routaeriste

Vahtolasista uuttuva As ja Sb pitoisuus, joka kulkeutuu 0.5 metrin paksuiseen pohjamaahan (silttimoreeni)

Parametrit		
1 000	m	Tien pituus (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen pituus)
10	m	Tien leveys (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen leveys)
0,3	m	Vahtolasirakenteen paksuus tierakenteessa
0,220	t/m3	Vahtolasin tiheys
660 000	kg	Vahtolasin massa
0,5	m	siMr-pohjamaan (vajovesivyöhykkeen) paksuus
2,4	t/m3	siMr:n märkätiheys
12 000 000	kg	siMr-pohjamaan massa

Taulukko 1.

Haitta-aine	Vahtolasin <u>suurin</u> todettu liukoisuus L/S-suhteessa 10 l/kg	Vapautuva haitta-ainemäärä vahtolasirakenteesta L/S-suhteessa 10 l/kg	Vahtolasista vapautuneen haitta-aineen pitoisuus siMr:ssa*	SVPpv	PIMA kynnysarvo	Luontainen taustapitoisuus Suomessa**	SSTP moreenissa***
	mg/kg	mg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arseeni, As	2,6	1 716 000	0,143	10	5	1 (0,1-25)	2,4-26
Antimoni, Sb	1,9	1 254 000	0,105	4	2	0,02 (0,01-0,2)	0,05-0,44

SVPpv = suurin vaikutukseton pitoisuus pohjaveden pilaantumisriskin kannalta
PIMA kynnysarvo = ylittävät pitoisuudet laukaisevat maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointitarpeen
SSTP = suurin suositeltu maaperän luontainen taustapitoisuus (riippuu maalajista ja alueesta)
* Oletus: vahtolasirakenteen suotoveden As ja Sb sitoutuvat siMr savimineraaleihin
**Lähde: Reinikainen, Jussi, Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet, Suomen ympäristö, 23/2007
***Lähde: Valtakunnallinen taustapitoisuusrekisteri, <http://www.geo.fi/tapir/>

Silttimoreenista vapautuva haitta-ainepitoisuus huokosvedessä luontainen taustapitoisuus huomioiden

$$C_w = C_s / \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a \cdot H}{\rho} \right]$$

(1)

Cs = pitoisuus maaperässä, mitattu [mg/kg]
Cw = pitoisuus huokosvedessä, [mg/l]
Kd = maa-vesi –jakautumiskerroin, ainekohtainen [l/kg]
θw = veden täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
θa = ilman täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
H = Henryn lain vakio, ainekohtainen [-]
ρ = maa-aineksen tiheys [kg/l].

Parametrit		
100	l/kg	Kd, arseeni
85	l/kg	Kd, antimoni
0,28	-	silttimoreenin huokoisuus n (n = θw+θa)
0,28	-	veden täyttämien huokosten osuus θw (vesi nousee kapillaarisesti pohjavesivyöhykkeestä)
0	-	ilman täyttämien huokosten osuus θa (vain muutamia %:ja huokoisuudesta, merkityksetön veden täyttämien huokosten osuuteen verrattuna)
0	-	Henryn lain vakio, arseeni
0	-	Henryn lain vakio, antimoni
2,4	kg/l	silttimoreenin märkätiheys

Taulukko 2.

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus siMr:ssa sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cs	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cw1	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vain vahtolasin kuormituksen, Cw2
	mg/kg	mg/l	mg/l
Arseeni, As	2,543	0,0254	0,0014
Antimoni, Sb	0,155	0,0018	0,0012

Huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuva haitta-ainepitoisuus

$$C_{gw} = C_w \times DF_{gw}$$

(5)

C_{gw}

C_w

DF_{gw}

= pitoisuus pohjavedessä [mg/l]

= pitoisuus huokosvedessä [mg/l]

= laimenemiskerroin huokosveden ja pohjaveden välillä [-].

$$DF_{gw} = \frac{L_{gw} \cdot I}{v_{gw} \cdot d_{mix} + (L_{gw} + x) \cdot I}$$

(6)

L_{gw}

I

v_{gw}

d_{mix}

x

= "pilaantuneen" alueen pituus pohjaveden virtaussuunnassa [m]

= pohjaveteen imeytyvän veden määrä [m/a]

= pohjaveden virtausnopeus [m/a]

= sekoittumiskerroksen paksuus pohjavedessä [m]

= etäisyys "pilaantuneen alueen" reunasta tarkkailupisteeseen [m]

Parametri		
1000	m	Lgw, silttimoreenipohjamaan pituus
0,064	m/a	I, pohjaveteen imeytyvän veden määrä, 10 % vuosisadannasta (640 mm/a) (Ilmatieteenlaitoksen tilastoja v. 1971-2000: Helsinki 641,6 mm/a; Jyväskylä 637,8 mm/a; Sodankylä 507,4 mm/a).
muuttuja,	m/a	
mts. kuvaaja		vgw, pohjaveden virtausnopeus
1	m	dmix, sekoittumiskerroksen paksuus
5	m	etäisyys tarkkailupisteeseen

Taulukko 3. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen sekä vaahtolasin että luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,67	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,99	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatinormit (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu *	Suomen porakaivojen vedenlaatu *
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,017	0,024	0,025	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0012	0,0017	0,0018	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

Taulukko 4. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain vaahtolasin kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,67	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,99	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatinormit (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu *	Suomen porakaivojen vedenlaatu *
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,001	0,001	0,001	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0008	0,0012	0,0012	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

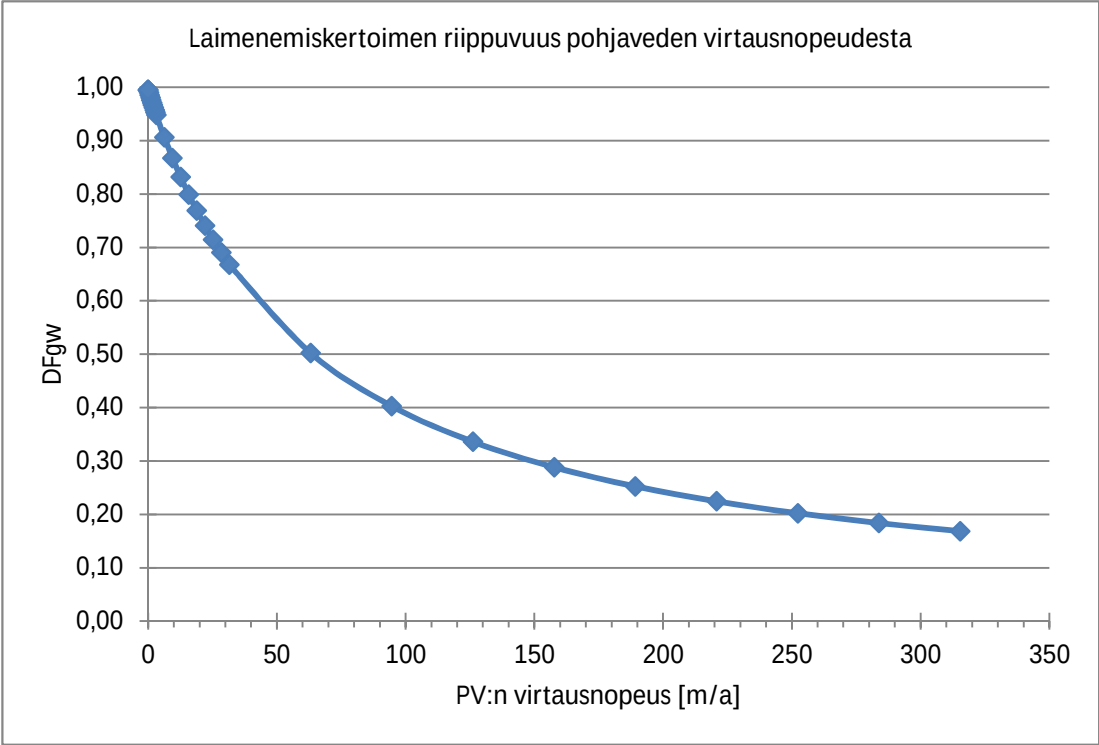
Taulukko 5. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,67	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,99	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatinormit (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu *	Suomen porakaivojen vedenlaatu *
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,016	0,023	0,024	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0004	0,0006	0,0006	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

* Lahermo, P. et al. Tuhat kaivoa -Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999, Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 155, Espoo 2002

Taulukko 6. Laimenemiskertoimen riippuvuus pohjaveden virtausnopeudesta (silttimoreenin vedenläpäisevyyskerroin k on 10⁻⁷-10⁻⁹ m/s)

k	vgw	DFgw
m / s	m / a	-
1,0E-05	315	0,17
9,00E-06	284	0,18
8,00E-06	252	0,20
7,00E-06	221	0,22
6,00E-06	189	0,25
5,00E-06	158	0,29
4,00E-06	126	0,34
3,00E-06	95	0,40
2,00E-06	63	0,50
1,0E-06	32	0,67
9,00E-07	28	0,69
8,00E-07	25	0,71
7,00E-07	22	0,74
6,00E-07	19	0,77
5,00E-07	16	0,80
4,00E-07	13	0,83
3,00E-07	9	0,87
2,00E-07	6	0,91
1,0E-07	3,2	0,95
9,00E-08	2,8	0,95
8,00E-08	2,5	0,96
7,00E-08	2,2	0,96
6,00E-08	1,9	0,97
5,00E-08	1,6	0,97
4,00E-08	1,3	0,98
3,00E-08	0,9	0,98
2,00E-08	0,6	0,99
1,0E-08	0,32	0,99
1,0E-09	0,032	0,99
1,00E-10	0,003	0,99
1,00E-11	0,00032	1,00
1,00E-12	0,00003	1,00



Suomessa pohjaveden virtausnopeus:
Siltti- ja hienohiekkaluokan maissa virtausnopeudet ovat alle senttimetristä muutamaan senttimetriin vuorokaudessa.
eli 3,5...15 m/a
(Lähde: Mälkki, E. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö, Tampere, 1999)

Vedenläpäisevyyskerroimien arvoja:
Siltti 10⁻⁵...10⁻⁹ m/s
(Lähde: Rantamäki, M. et al. Geotekniikka, Helsinki 2004)

Skenaario 5, Routaeriste

Vahtolasista uuttuva As ja Sb pitoisuus, joka kulkeutuu 1,0 metrin paksuiseen pohjamaahan (silttimoreeni)

Parametrit		
1 000	m	Tien pituus (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen pituus)
10	m	Tien leveys (yhtä suuri kuin vahtolasirakenteen leveys)
0,3	m	Vahtolasirakenteen paksuus tierakenteessa
0,220	t/m3	Vahtolasin tiheys
660 000	kg	Vahtolasin massa
1,0	m	siMr-pohjamaan (vajovesivyöhykkeen) paksuus
2,4	t/m3	siMr:n märkätiheys
24 000 000	kg	siMr-pohjamaan massa

Taulukko 1.

Haitta-aine	Vahtolasin <u>suurin</u> todettu liukoisuus L/S- suhteessa 10 l/kg	Vapautuva haitta- ainemäärä vahtolasi- rakenteesta L/S- suhteessa 10 l/kg	Vahtolasista vapautuneen haitta-aineen pitoisuus siMr:ssa*	SVPPv	PIMA kynnysarvo (VNa 214/2007)	Luontainen taustapitoisuus Suomessa**	SSTP moreenissa***
	mg/kg	mg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arseeni, As	2,6	1 716 000	0,072	10	5	1 (0,1-25)	2,4-26
Antimoni, Sb	1,9	1 254 000	0,052	4	2	0,02 (0,01-0,2)	0,05-0,44

SVPPv = suurin vaikutukseton pitoisuus pohjaveden pilaantumisriskin kannalta
PIMA kynnysarvo = ylittävät pitoisuudet laukaisevat maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointitarpeen
SSTP = suurin suositeltu maaperän luontainen taustapitoisuus (riippuu maalajista ja alueesta)
* Oletus: vahtolasirakenteen suotoveden As ja Sb sitoutuvat siMr savimineraaleihin
**Lähde: Reinikainen, Jussi, Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet, Suomen ympäristö, 23/2007
***Lähde: Valtakunnallinen taustapitoisuusrekisteri, <http://www.geo.fi/tapir/>

Silttimoreenista vapautuva haitta-ainepitoisuus huokosvedessä luontainen taustapitoisuus huomioiden

$$C_w = C_s / \left[K_d + \frac{\theta_w + \theta_a \cdot H}{\rho} \right]$$

(1)

- C_s
- = pitoisuus maaperässä, mitattu [mg/kg]
- C_w
- = pitoisuus huokosvedessä, [mg/l]
- K_d
- = maa-vesi -jakautumiskerroin, ainekohtainen [l/kg]
- θ_w
- = veden täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
- θ_a
- = ilman täyttämien huokosten osuus maaperässä [-]
- H
- = Henryn lain vakio, ainekohtainen [-]
- ρ
- = maa-aineksen tiheys [kg/l].

Parametrit		
100	l/kg	Kd, arseeni
85	l/kg	Kd, antimoni
0,28	-	silttimoreenin huokoisuus n (n = θw+θa)
0,28	-	veden täyttämien huokosten osuus θw (vesi nousee kapillaarisesti pohjavesivyöhykkeestä)
0	-	ilman täyttämien huokosten osuus θa (vain muutamia %:ja huokoisuudesta, merkityksetön veden täyttämien huokosten osuuteen verrattuna)
0	-	Henryn lain vakio, arseeni
0	-	Henryn lain vakio, antimoni
2,4	kg/l	silttimoreenin märkätiheys

Taulukko 2.

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus siMr:ssa sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden, Cs	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vahtolasin kuormituksen sekä luontaisen taustapitoisuuden,	Haitta-aineen pitoisuus huokosvedessä sisältäen vain vahtolasin kuormituksen, Cw2
	mg/kg	mg/l	mg/l
Arseeni, As	2,472	0,0247	0,0007
Antimoni, Sb	0,102	0,0012	0,0006

Huokosvedestä pohjaveteen kulkeutuva haitta-ainepitoisuus

$$C_{gw} = C_w \times DF_{gw}$$

(5)

C_{gw}

C_w

DF_{gw}

= pitoisuus pohjavedessä [mg/l]

= pitoisuus huokosvedessä [mg/l]

= laimenemiskerroin huokosveden ja pohjaveden välillä [-].

$$DF_{gw} = \frac{L_{gw} \cdot I}{v_{gw} \cdot d_{mix} + (L_{gw} + x) \cdot I}$$

(6)

L_{gw}

I

v_{gw}

d_{mix}

x

= "pilaantuneen" alueen pituus pohjaveden virtaussuunnassa [m]

= pohjaveteen imeytyvän veden määrä [m/a]

= pohjaveden virtausnopeus [m/a]

= sekoittumiskerroksen paksuus pohjavedessä [m]

= etäisyys "pilaantuneen alueen" reunasta tarkkailupisteeseen [m]

Parametri		
1000	m	Lgw, silttimoreenipohjamaan pituus
0,064	m/a	I, pohjaveteen imeytyvän veden määrä, 10 % vuosisadannasta (640 mm/a) (Ilmatieteenlaitoksen tilastoja v. 1971-2000: Helsinki 641,6 mm/a; Jyväskylä 637,8 mm/a; Sodankylä 507,4 mm/a).
muuttuja, kts. kuvaaja	m/a	vgw, pohjaveden virtausnopeus
1	m	dmix, sekoittumiskerroksen paksuus
5	m	etäisyys tarkkailupisteeseen

Taulukko 3. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen sekä vaahtolasin että luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,67	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,99	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,017	0,023	0,024	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0008	0,0011	0,0012	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

Taulukko 4. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain vaahtolasin kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,67	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,99	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,000	0,001	0,001	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0004	0,0006	0,0006	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

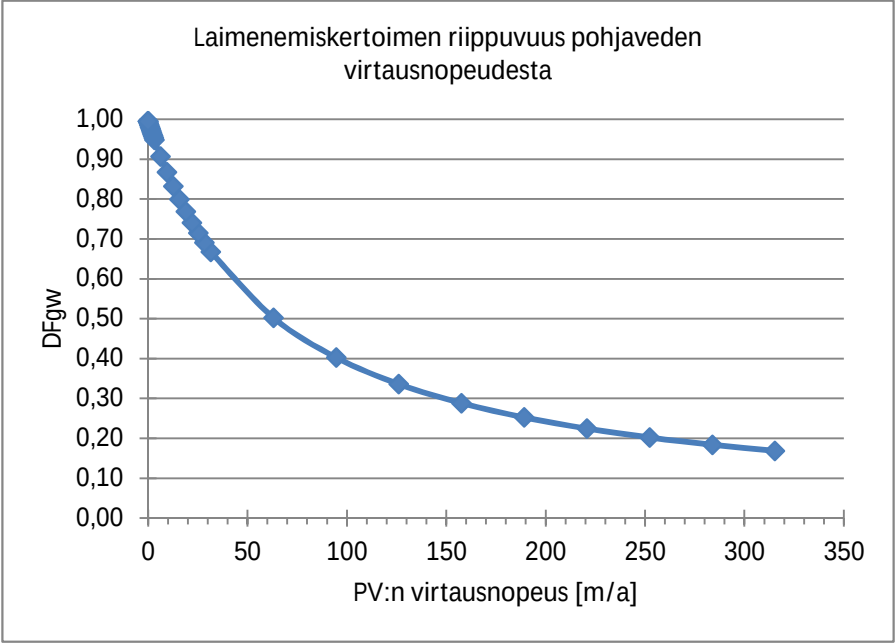
Taulukko 5. Laskennalliset pitoisuudet pohjavedessä sisältäen vain luontaisen kuormituksen

Haitta-aine	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,67	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,95	Haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä, Cgw, DFgw = 0,99	Talousveden kemialliset laatuvaatimukset (STM 461/2000)	Pohjaveden ympäristön laatuvaatimukset (VNa 341/2009)	Suomen rengaskaivojen vedenlaatu*	Suomen porakaivojen vedenlaatu*
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
Arseeni, As	0,016	0,023	0,024	0,010	0,005	mediaani 0,14 µg/l; keskiarvo 0,353 µg/l	mediaani 0,16 µg/l; keskiarvo 0,998 µg/l
Antimoni, Sb	0,0004	0,0006	0,0006	0,0050	0,0025	mediaani 0,03 µg/l; keskiarvo 0,0544 µg/l	mediaani 0,02 µg/l; keskiarvo 0,0444 µg/l

* Lahermo, P. et al. Tuhat kaivoa -Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999, Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 155, Espoo 2002

Taulukko 6. Laimenemiskertoimen riippuvuus pohjaveden virtausnopeudesta (silttimoreenin vedenläpäisevyyskerroin k on 10⁻⁷-10⁻⁹ m/s)

k	vgw	DFgw
m / s	m / a	-
1,0E-05	315	0,17
9,00E-06	284	0,18
8,00E-06	252	0,20
7,00E-06	221	0,22
6,00E-06	189	0,25
5,00E-06	158	0,29
4,00E-06	126	0,34
3,00E-06	95	0,40
2,00E-06	63	0,50
1,0E-06	32	0,67
9,00E-07	28	0,69
8,00E-07	25	0,71
7,00E-07	22	0,74
6,00E-07	19	0,77
5,00E-07	16	0,80
4,00E-07	13	0,83
3,00E-07	9	0,87
2,00E-07	6	0,91
1,0E-07	3,2	0,95
9,00E-08	2,8	0,95
8,00E-08	2,5	0,96
7,00E-08	2,2	0,96
6,00E-08	1,9	0,97
5,00E-08	1,6	0,97
4,00E-08	1,3	0,98
3,00E-08	0,9	0,98
2,00E-08	0,6	0,99
1,0E-08	0,32	0,99
1,0E-09	0,032	0,99
1,00E-10	0,003	0,99
1,00E-11	0,00032	1,00
1,00E-12	0,00003	1,00
	3,5	0,94
	15	0,81



Suomessa pohjaveden virtausnopeus:
Siltti- ja hienohiekkaluokan maissa virtausnopeudet ovat alle senttimetristä muutamaan senttimetriin vuorokaudessa.
eli 3,5...15 m/a
(Lähde: Mälkki, E. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö, Tampere, 1999)

Vedenläpäisevyyskertoimien arvoja:
Siltti 10⁻⁵...10⁻⁹ m/s
(Lähde: Rantamäki, M. et al. Geotekniikka, Helsinki 2004)