



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Teija Hyvönen

VANHOJEN TERVAPÄÄLLYSTEIDEN
KÄYTTÖ HELSINKI-VANTAAN
LENTOASEMAN UUDISRAKENNUS- JA
PERUSKORJAUSHANKKEISSA.

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Teija Hyvönen
Opinnäytetyön nimi	Vanhojen tervapäällysteiden käyttö Helsinki- Vantaan lentoaseman uudisrakennus- ja peruskorjaushankkeissa
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	60 + 5 liitettä
Ohjaaja	Tom Lipkin

Kivihiiliterva nimistä ainetta on käytetty tierakenteissa bitumin sijaan sideaineena 50-luvulta eteenpäin noin 70-luvulle asti. Suomessa sen käyttö on tietyistä rajoittunut lähinnä suurten teollisuuskenttien ja lentoasemien päällysterakenteissa kulutuspuolella sijaitsevaan tukikerrokseen, jota nimitetään ABK-kerrokseksi. Tässä kerroksessa se on ollut sepelin seassa sidosaineena. Kivihiiliterva on nykyään todettu syöpävaaralliseksi yhdisteeksi ja sen käyttö on päällysterakentamisessa lopetettu. Vanhoja päällysterakenteita korjattaessa tullaan tietyissä paikoissa kontaktiin kyseisen aineen kanssa nykyäänkin. Tällainen tilanne on myös valitsemassani kohteessa: Helsinki-Vantaan lentoasema.

Työni käsittelee mahdollisuutta hyödyntää osa tästä kivihiilitervaisesta tukikerroksesta käyttämällä stabilointimenetelmää ja sijoittamalla käsitelty massa takaisin kohteeseen, josta se on jouduttu alun perin poistamaan. Nykyisen lentoaseman ympäristöluvan mukaan löydetty materiaali kuljetetaan vaarallisen jätteen käsittelyluvan omaavalle jäteasemalle loppukäsittelyyn.

Kantavana ajatuksena työssäni on, että vanhojen tervapäällysteiden hyödyntäminen voisi lievittää ympäristöön kohdistuvaa taakkaa vähentämällä puhtaiden raaka-aineiden kulutusta ja samalla vähennettäisi jäteasemille tuotavan loppusijoitettavan jätteen määrää.

Olen lainannut työssäni Ruotsin liikenneviraston ja Ruotsin geologisen viraston yhteistyönä tekemien stabilointihankkeiden tuloksia. Työn suoritustapa on kirjallisuusanalyysi ja tukena työssä asiantuntijoita ympäristö- sekä päällysterakentamisen puolelta yhtiöistä: Lemminkäinen Infra Oy, WSP Finland, Finavia Oyj.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
1.1	Projektin tausta, tarkoitus ja tavoitteet.....	9
2	KIVIHIILITERVA.....	12
2.1	PAH-yhdisteet ja muut haitalliset aineet kivihiilitervassa.....	14
2.2	Riskitarkastelua.....	15
2.3	Kivihiilitervan käyttö Helsinki-Vantaan lentoasemalla.....	17
2.3.1	Tutkimusraportit lentoaseman alueelta.....	18
3	LENTOASEMAN PÄÄLLYSTYKSEN EROT VERRATTUNA MAANTIEPÄÄLLYSTYKSEEN.....	20
4	LAINSÄÄDÄNTÖ JA YMPÄRISTÖLUPA.....	22
4.1	Pilaantuneet maat.....	22
4.2	Jättemääritelmä ja varastointi.....	23
4.3	Mara-asetus.....	24
4.4	Riskinarviosta.....	24
5	KIVIHIILITERVAN TUTKIMUSMENETELMÄT.....	26
5.1	Tervapäällysteiden käsittely muualla maailmassa.....	27
5.2	Kvalitatiiviset testit.....	27
5.2.1	Spraymaali- ja UV-valotesti.....	27
5.2.2	Hajutesti.....	28
5.3	Ympäristön tila.....	28
5.3.1	Näytteidenotto kiinteästä aineesta.....	29
5.3.2	Näytteidenotto vedestä.....	29
5.3.3	Kemialliset analyysit.....	31
6	STABILOINNIN SOVELTUVUUS JA LAADUNHALLINTA.....	32
6.1	Perustutkimukset.....	33
6.2	Laadunvalvontatutkimukset.....	34
6.3	Jälkiseuranta.....	38

6.4	Havainnot Ruotsin hankkeista	41
6.4.1	Stabilointikokeilut Bitumi+Sementti ja Bitumi sideaineina	42
6.4.2	Stabiloidun terva-asfaltin käyttökohteet ja käsittelymenetelmät	45
6.4.3	Jälkiseuranta	47
7	YHTEENVETO	51
7.1	Alueiden ennakkotutkinta	52
7.2	Löytyneiden tervaimetysskerrosten käsittelyvaihtoehdot	52
7.3	Välivarastointi	53
7.4	Sijoituskohteet	54
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	56
	LÄHTEET	58

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Bitumin ja kivihiilitervan (brai de houille) haitta-ainepitoisuuksia. /40. s.55/	13
Kuva 2. Bentso(a)pyreenin suhde PAH17-yhdisteisiin kivihiilitervassa. Tulokset Englannin päällystenäytteistä ympäri maata. /36. s. C2/	14
Kuva 3. Vihreällä alueet, joilla ei ole kivihiilitervaa. Violetilla alueet, joilta voi löytyä kivihiilitervaa. Vaalean sinisellä alueet, joilta kivihiiliterva on poistettu..	18
Kuva 4. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014 Pohjavesien haitta-aineiden määrittäminen.	30
Kuva 5. VTT tiedotteita 2245 liite 8.	36
Kuva 6. Stabilointikokeilussa käytetyn asfalttirouheen PAH-yhdiste pitoisuudet.	42
Kuva 7. Karsinogeenisten PAH- yhdisteiden liukoisuudet näytteiden keskinäisessä vertailussa 64 päivän aikana.	43
Kuva 8. Muiden PAH-yhdisteiden liukoisuudet näytteiden keskinäisessä vertailussa 64 päivän aikana.....	44
Kuva 9. Teoreettinen laskettu arvio pitkän ajan liukoisuuksista. L/S 200 vastaa 100 vuotta epäorgaanisilla aineilla, näyte on bitumistabiloidusta terva-asfaltista.	45
Kuva 10 PAH-yhdisteiden pitoisuuksien vaihtelua riippuen materiaalien koostumuksista.	46
Kuva 11. Tie 348 tietoja stabiloinnista.....	47
Kuva 12. Pima-asetuksen (214/2007) mukaiset raja-arvot.....	48
Kuva 13. PAH-yhdisteet ryhmitettynä molekyylipainon mukaan.	49
Kuva 14. Naturvårdverket:n määrittämät raja-arvot PAH-yhdisteryhmille tutkimuksen aikana vuodesta 2008 ja nykyiset muuttuneet raja-arvot suluissa...	50
Kuva 15. Vertailuarvot ennen tervamateriaalien sijoittamista. Tie 348.....	61
Kuva 16. Vertailuarvot ennen tervamateriaalien sijoittamista. Tie 348.....	62
Kuva 17. Seurantanäytteitä v. 2004. Tie 348.	63
Kuva 18. Seurantanäytteitä v.2005. Tie 348	63
Kuva 19. Seurantanäytteitä Tie 348	64
Kuva 20. Mitattuja PAH- pitoisuuksia alemmassa taulukossa ennen tervamateriaalien hyödyntämistä. Ylemmässä Mikrotox- testin tuloksia.....	67

Kuva 21. Mitattuja PAH- yhdisteiden pitoisuuksia ennen tervamassojen hyödyntämistä kohteessa.....	68
Kuva 22. Seurantatuloksia vuoteen 2011 asti.	69
Kuva 23. Seurantatuloksia vuoteen 2008 asti, loput tulokset seuraavassa kuvassa.	70
Kuva 24. Seurantatuloksia (jatkoa edelliseen kuvaan) vuoteen 2011 asti.....	71
Kuva 25. Seurantatuloksia vuoteen 2008 asti. Loput tulokset seuraavassa kuvassa.	72
Kuva 26. Seurantatuloksia (jatkoa edelliseen kuvaan), vuoteen 2011 asti. Alempana eriteltyinä BTEX- yhdisteiden pitoisuudet vuodelta 2004 kahdesta näytteenottopisteestä.	73
Kuva 27. Kuvassa vasemmalta alkaen: Näytteen nimi, irtotiheys, tiivistyksen jälkeinen tiheys, tyhjättila, vetolujuus.....	75
Kuva 28. Analysoitu liukoisuus V- Utan.	76
Kuva 29. Analysoitu liukoisuus V -Bi.	77
Kuva 30. Laskettu kumulatiivinen liukoisuus V- Utan.	78
Kuva 31. Laskettu kumulatiivinen liukoisuus V- Bi.	78
Kuva 32. Laskettu kumulatiivinen liukoisuus V- Cem.	79
Kuva 33. Karsinogeenisten PAH- yhdisteiden liukoisuudet näytteiden keskinäisessä vertailussa 64 päivän aikana.	79
Kuva 34. Muiden PAH-yhdisteiden liukoisuudet näytteiden keskinäisessä vertailussa 64 päivän aikana.....	80
Kuva 35. Teoreettinen laskettu arvio pitkän ajan liukoisuuksista. L/S 200 vastaa 100 vuotta epäorgaanisilla aineilla.	81
Taulukko 1. 16PAH-yhdisteet eriteltyinä.	15
Taulukko 2. Stabiloinnin soveltuvuuden arviointi.....	34
Taulukko 3. Stabiloinnin laadunvalvonta	37
Taulukko 4. Stabiloinnin jälkiseuranta, ympäristöominaisuudet	39
Taulukko 5. Teknisiä ominaisuuksia ja laatutasoja stabiloidun massan sijoituskelpoisuuden laadun arviointiin ja massan laadunvalvontaan.....	40

LIITELUETTELO

LIITE 1. Stabiloitujen materiaalien hyödyntämisen seuranta Ruotsissa.

LIITE 2. Ohjeistus UV-valotestin suoritusta varten.

LIITE 3. Testimenetelmäluettelo.

LIITE 4. Vesistö tutkimuksia tiialueista, joissa hyödynnettiin tervamateriaaleja.

LIITE 5. Stabilointikokeita eri stabilointiaineilla.

1 JOHDANTO

Tämä työ käsittelee vanhojen tervapäälysteiden mahdollista hyödyntämistä lentoaseman rakennushankkeissa. Työssä selvitetään todennäköiset alueet, joilla 1950–1970-luvuilla on käytetty kivihiilitervaa bitumin sijaan sideaineena. Työssä käsitellään myös mahdollisuutta hyödyntää vanhoja tervakerroksia stabiloituna vahvikekerroksena määrättyissä kohteissa. Kivihiiliterva luokitellaan nykyään vaaralliseksi jätteeksi, jolloin se toimitetaan löydettyäessä vaarallisen jätteen käsittelyluvat omaavalle jätelaitokselle. Mahdollinen muutos käytäntöihin edesauttaisi kivihiilitervan hyödyntämistä. Toimeksiantajina ovat Finavia Oyj sekä Lemminkäinen Infra Oy.

Finavia Oyj on Suomen valtion täysin omistama julkinen osakeyhtiö, jonka tehtävä on ilmailun edistämiseksi ylläpitää ja kehittää yhtenäistä ja yhteensovitettua valtion lentoasemaverkostoa ja Suomen lennonvarmistusjärjestelmää. /12/

Lemminkäinen Infra Oy on osa Lemminkäinen Oyj- konsernia. Lemminkäinen Infra Oy keskittyy infra- ja päälysterakentamisen tuottamiseen. /27/

1.1 Projektin tausta, tarkoitus ja tavoitteet

Finavian omistaman lentoasema-alueen korjausten aikana on löydetty kivihiilitervaa sisältäviä maita. Kivihiilitervaa on käytetty 1950-luvulta lähtien asfaltin sideaineena bitumin sijaan joissakin paikoissa. Lentoasemaa rakennettiin 1950-luvulta alkaen, jolloin on oletettavaa, että näitä alueita korjattaessa puretaan vanhoja asfalttikerroksia niin syvältä, että puretusta asfaltista tullaan löytämään kivihiilitervaa myös tulevaisuudessa. Aiemmin tervalla pilaantuneet ja sekoittuneet asfalttirouhekasat on toimitettu ulkopuoliselle jätteenkäsittelijälle ja tästä on koitunut merkittäviä kustannuksia Finavialle.

Kun päälysteitä joudutaan purkamaan, yritetään tervaiset kerrokset tunnistaa ja erotella suoraan omaan kasaansa. Tämän tarkoitus on erottaa pilaantuneet materiaalit puhtaista, jotta saadaan hyödynnettyä puhdas, purettu asfaltti

esimerkiksi maanrakentamisessa ja vuoden ympäri ilmenevissä hätäpaikkaustarpeissa. Tämän vuoksi ympäristölupa lentoaseman alueella käsittää puhtaan asfalttirouheen hyödyntämisluvat tiettyyn rajaan asti. Pilaantuneet purkujätteet toimitetaan edelleen loppukäsittelyyn. Lajittelun tekee hankalaksi lentoasemalla työskentely, jossa aikataulut ovat tiukat ja joustoa ei ole mahdollista saada lyhyellä varoitusajalla lentoliikenteen sujuvuuden takaamiseksi esimerkiksi tilanteessa, jossa tervaisia päällystekerroksia löytyy yllättäen rakennusvaiheessa.

Koska tervakerroksia löytyy edelleen huomattavia määriä, on tullut aiheelliseksi tutkia mahdollisuus hyödyntää tulevaisuudessa mahdollisesti purettavaa, tervansekaista päällystemateriaalia lentokenttäalueen korjaushankkeissa. Kivihiiliterva sisältää PAH-yhdisteitä reilusti enemmän, kuin on sallittu valtioneuvoston säätämässä asetuksessa, joka ohjaa eräiden jätteiden hyödyntämistoimia maanrakentamisessa (Mara-asetus). Sen mukaan hyödyntäminen ei tule kyseeseen.

Vaarallisen jätteen luvanvaraisessa hyödyntämisessä voidaan yksittäistapauksissa käyttää harkintaa. Asiasta tarkemmin kappaleessa 4. /20/

Tavoitteena pienemmissä pitoisuuksissa (PAH<1000 mg/kg) olisi toimintatavan muutos nykyiseen pois kuljetukseen. Uudessa toimintatavassa tervapäällystettä ei tarvitsisi kuljettaa pois loppukäsittelyyn, vaan tässä työssä myöhemmin esitetty kylmästabilointimenetelmä olisi ehdotettu käsittelyvaihtoehto. Käsittelyä ei tehtäisi kaikella löytyvällä tervapäällysteellä, vaan ainoastaan tietyissä tapauksissa. Tervapäällysteet pyritään edelleen erottelemaan tarkasti puhtaista purkumateriaaleista, mutta tervapitoisia kerroksia vääjäämättä sekoittuu ajoittain purkamistöiden yhteydessä puhtaisiin jätteisiin. Tällaisissa tapauksissa kasat sisältävät jonkin verran tervaa ja koska lajittelu esimerkiksi rouhekasasta on hyvin hankalaa, voisi tällaisen tapauksen kyseessä ollessa mitata rouhekasän keskimääräisen PAH-yhdiste pitoisuuden ja sen perusteella joko stabiloida tai kuljettaa pois. Ehdoton peruste käytölle olisi saada todistus, ettei stabiloiduista tervapäällysteistä liukene haitta-aineita ympäristöön.

Kansainvälisissä tutkimuksissa on tuloksia kerätty useiden vuosien ajan tervapäälysteiden stabiloinnin osalta, kun ne on käytetty rakentamisessa sidotun pintakerroksen alla sidottuna tukikerroksena. Tutkimuksia on tehty mm. Ruotsissa, Saksassa, Hollannissa, Englannissa ja Uudessa-Seelannissa.

EU:n yhteishankkeessa, nimeltään DIRECT MAT, on myös tutkittu kivihiilitervaa sisältävän vanhan päällystemateriaalin uudelleenkäyttöä. Hankkeesta enemmän luettavaa, asiasta kiinnostuneelle, löytyy lähteen osoitteesta. /29/

Tässä työssä käsitellään tutkimustuloksia lähinnä Ruotsista vuosilta 2001–2011.

2 KIVIHIILITERVA

Kivihiilitervan sisältämät haitta-aineet tutkitaan perustutkimuksissa laaja-alaisesti. Tärkeimmät määritettävät haitta-aineet ovat PAH-yhdisteet. Ne toimivat indikaattorina kivihiilitervan toteamisessa. PAH-yhdisteiden määritykset liukoisuustesteillä ovat hankalia ja testimenetelmiä on jouduttu soveltamaan normaalisti epäorgaanisten aineiden määrittämisestä orgaanisille.

Kivihiiliterva on jäännöstuote, jota saadaan, kun kivihiiltä kuumennetaan hapettomassa tilassa eli pyrolyysillä (kuivatistaamalla). Kivihiiltä käytettiin aiemmin kaasun ja koksen saamiseksi kaupunkien lämmitysjärjestelmiä (kaupunkikaasua) varten. Jäännöstuote, raakaterva, sisältää vettä, kevyitä, keskiraskaita ja raskaita öljyjakeita, pikeä ja vapaata hiiltä. Kun raakatervaa tislataan, erottuvat vesi ja kevyet öljyt ja jäljelle jääneet jäännöstuotteet muodostavat erilaisia kombinaatioita. Näistä kombinaatioista koostuu tieterva. Tietervan koostumus ja ominaisuudet vaihtelevat riippuen hiilen alkuperästä, sen sisältämien eri öljylaatujen ja pien suhteutuksesta, sekä itse tislusprosessista. /10/

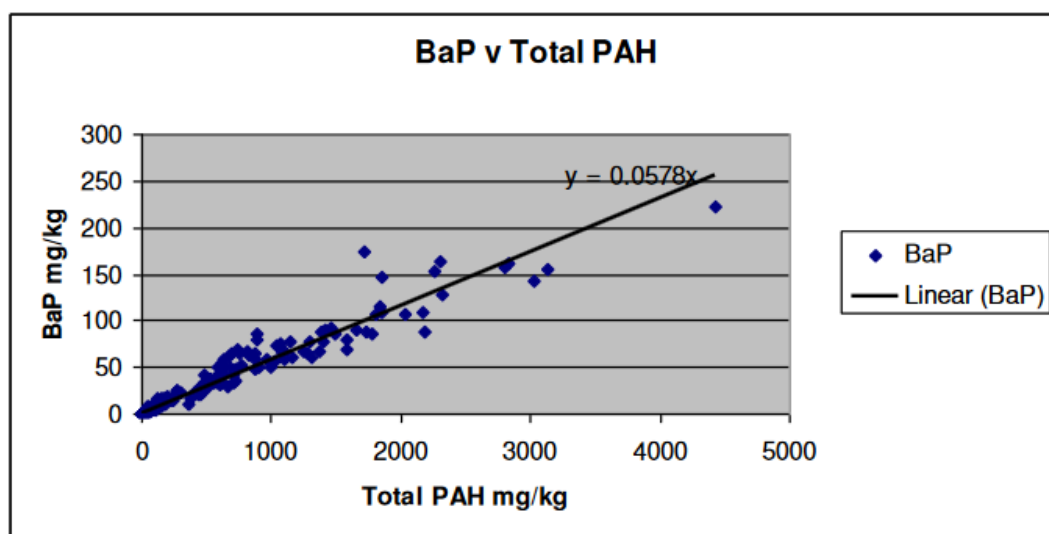
Tableau 6 : Concentrations en HAP (ppm ou $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) dans du bitume et du brai de houille (en ppm de BSM) (Brandt, de Groot *et al.* 1985).

HAPs	Bitume (min-max) ppm	Brai de houille (min-max) ppm
Phenanthrene	0,32-7,3	19 850-25 700
Anthracene	0,01-0,32	4 600-7 310
Fluoranthene	0,1-0,72	29 000-36 000
Pyrene	0,17-1,5	21 300-27 200
Chrysene	0,8-3,9	11 200-24 510
Perylene	0,04-3,9	2 770-3 500
Benzo(k)fluoranthene	nd-2,2	5 250-6 010
Benzo(a)pyrene	0,22-1,8	11 360-15 170
Benzo(g,h,i)perylene	1,2-5,7	3 430-3 530
Anthanthrene	nd-0,11	1 231-1 728
Dibenzo(a,i)pyrene	nd-0,6	127-164
Coronene	nd-0,4	nd-120

nd : non détecté, en dessous de la limite de détection (LOD)

Kuva 1. Bitumin ja kivihiilitervan (brai de houille) haitta-ainepitoisuuksia. /40. s.55/

Vaikka kivihiiliterva ja bitumi muistuttavat fysikaalisilta ominaisuuksiltaan toisiaan, eroavat ne erityisesti PAH-yhdisteiden pitoisuuksiltaan. Kivihiilitervassa pitoisuudet ylittävät bitumin pitoisuudet jopa satatuhatkertaisesti. Näistä yhdisteistä erityisesti bentso(a)pyreenin (BaP) pitoisuudet ovat vahvasti yhteydessä kivihiilitervan määrään. Englantilaisessa tutkimuksessa todetaan, että 50 mg/kg pitoisuus BaP vastaa 865 mg/kg PAH17 (PAH16- ryhmä ja lisäksi Koroneeni) Koska tieterva sisältää myös muita aineita, pidetään BaP-kivihiiliterva suhteena noin 50:1000 mg/kg. Tämä suhdeluku on suuntaa antava.



Kuva 2. Bentso(a)pyreenin suhde PAH17-yhdisteisiin kivihiilitervassa. Tulokset Englannin päällystenäytteistä ympäri maata. /36. s. C2/

Suomessa ei ole käytetty Ahvenanmaata lukuun ottamatta kivihiilitervaa sisältävää tiemateriaalia uudelleen. Syy, miksi tässä työssä käsitellään pääasiassa PAH-yhdisteitä, on se, että kivihiilitervan osalta yleensä niiden pitoisuus ylittää merkittävässä määrin asetetut ohje-arvot.

2.1 PAH-yhdisteet ja muut haitalliset aineet kivihiilitervassa

Kivihiiliterva sisältää PAH-yhdisteitä, joista osa on todetusti karsinogeenisiä.

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH) muodostuvat kahdesta tai useammasta yhteen fuusioituneesta bentseenirenkaasta. PAH-yhdisteitä syntyy epätäydellisen palamisen seurauksena ja niitä esiintyy laajalti elinympäristössämme. /11/

Kivihiilitervassa on myös fenoleita, jotka eivät ole PAH-yhdisteitä, mutta liukenevat niitä herkemmin veteen ja ovat myrkyllisiä vesieliöille. /13/

PAH-yhdisteitä on jaoteltu erilaisiin ryhmiin, mutta yleisimmin käytössä on 16-PAH niminen ryhmä, joka tässä työssä käytetyissä tutkimuksissa on jaoteltu pienempiin ryhmiin riippuen siitä, ovatko aineet karsinogeenisiä vai eivät.

Taulukko 1. 16PAH-yhdisteet eriteltyinä.

Karsinogeeniset	Muut
Bentso(a)antraseeni	Naftaleeni
Kryseeni	Antraseeni
Bentso(b)fluoranteeni	Asenaftyleeni
Bentso(k)fluoranteeni	Fluoreeni
Bentso(a)pyreeni	Fenantreeni
Indeno(1,2,3-cd)pyreeni	Fluoranteeni
Dibentso(a,h)antraseeni	Pyreeni
	Bentso(g,h,i)peryleeni
	Asenafteeni

2.2 Riskitarkastelua

Tässä perehdytään lähinnä PAH-yhdisteiden tuottamaan riskiin, sillä kivihiiliterva sisältää myös runsaasti öljyjakeita, mutta niiden aiheuttama riski on paremmin tunnettu ja käsitelty jo olemassa olevassa ympäristöluvassa, osana bitumisten asfaltinpurkujätteiden hyödyntämistä. Bitumi ja terva eroavat toisistaan erityisesti PAH-yhdisteiden pitoisuuksilta. Bitumissa määrät ovat satoja mg/kg, mutta kivihiilitervassa jopa sadan tuhannen mg/kg ylittäviä.

PAH-yhdisteet voivat kulkeutua ympäristöön, jolloin ne ovat terveysriski ihmisille ja eliöille. PAH-yhdisteet voivat kulkeutua maaperässä esimerkiksi suotovesien välityksellä ja joutua näin pohjavesiin pilaten niitä. Myös maaperä voi saastua, sillä osa haitallisista yhdisteistä jää maa-ainekseen. PAH-yhdisteet ovat haihtuvia, osa herkemmin ja osa heikommin.

Ihmisiin kohdistuva riski PAH-yhdisteitä koskien ovat ihokontakti, yhdisteitä sisältävän ilman hengitys, silmien kautta kulkeutuminen, sekä nieltynä elimistöön joutuminen.

Nykytilanteessa voidaan lentoaseman alueelta otettujen näytteiden perusteella sanoa, että tervakerrokset eivät maaperässä ollessaan kymmenien vuosien ajan ole aiheuttaneet ympäristölle riskiä, sillä näytteissä ei havaittu syvyysuuntaista kulkeutumista saatikka kerrosten vierestä otetuista näytteistä suuria pitoisuuksia PAH-yhdisteitä tai muita haitta-aineita, jotka voivat olla tervasideonniaisia. Näin ollen voidaan olettaa, ettei sivuttaissuuntaista kulkeutumista myöskään ole tapahtunut. Tutkimuksista lisää myöhemmin kohdassa 2.3.1. /8/

Kun kerroksia lähdetään purkamaan, haitta-aineet voivat levitä ympäristöön, jos purkujätteitä ei kerätä tarkasti. Kun materiaali on kaivettu tiiviin pinnan alta, se altistuu enemmän sateille ja valolle ja se on pienempinä paloina, jolloin pinta-ala johon vesien vaikutus kohdistuu kasvaa. Tämä tulee ottaa huomioon mahdollisen väliavarastoinnin aikana.

Ihmisten terveyttä koskevaa riskiä ei juuri ole normaalissa purkukäytännössä. Asfalttityössä käytetään suojaimia puhtaan asfaltin kanssa, eikä tervamateriaalin kanssa työskentely ulkona tuo haihtuvien yhdisteiden kannalta riskejä toimissa. Riski kasvaa vain, jos tervaa lämmitetään. Silloin PAH-yhdisteiden haihtuvuus lisääntyy. Mutta jos tervakerrokset tunnistetaan purkuvaiheessa, ne osataan erottaa omaksi purkujättekasakseen ja niiden uusiokäyttöä kuumamenetelmällä ei tapahdu. Henkilöt, jotka työskentelevät kentällä täytyy ohjeistaa oikein tervaisten kerrosten tunnistamisessa ja käsittelyssä.

Myöhemmin kappaleessa 6.4 todetaan, että bitumistabiloinnilla saadaan haitta-aineiden liukeneminen pieneneään 50 % suhteellisen korkeilla PAH-yhdisteiden pitoisuuksilla (n.4000 mg/kg). Lentoaseman alueilla pitoisuudet ovat näytteiden perusteella useimmissa tapauksissa matalammat, jolloin voidaan olettaa, että vanhan tervakerroksen hyödyntäminen stabiloituna vähentää haitta-aineiden kulkeutumiseen liittyvää riskiä pitkällä aikavälillä vähintään puoleen nykyisestä.

Haitta-aineiden kulkeutuminen vesiin muodostaa osaltaan riskin, jolloin se voidaan minimoida sijoittamalla stabiloitu materiaali tarpeeksi kauas pohjavesien muodostumisalueista, tulvariskialueista, sekä Päijännetunnelin vaikutusalueesta.

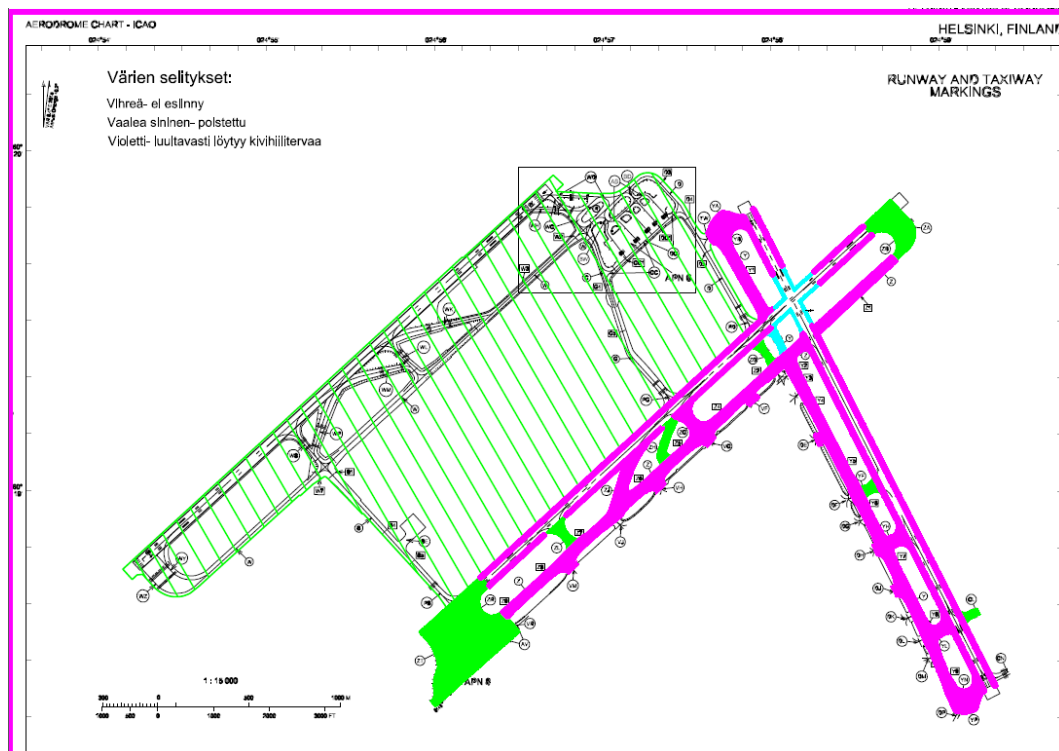
Sijoituskohteet tulisi valita sen mukaan, että niissä stabiloitu materiaali voi olla pitkiä aikoja ilman tarvetta muokata rakenteita. Muokkaus saattaa rikkoa stabiileja rakenteita, jolloin sadevedet tai maaperän luontainen kosteus pääsee vaikuttamaan enemmän kerroksiin.

2.3 Kivihiilitervan käyttö Helsinki-Vantaan lentoasemalla

Kivihiilitervaa on käytetty lentoaseman kiitoteiden ja rullausteiden rakentamisessa 1950-luvulta lähtien. Tiedossa on, että sitä on käytetty vielä 1970-luvulla Suomessa rakentamisessa, mutta tarkkaa tietoa ei ole, milloin sen käyttö Helsinki-Vantaan lentoasemalla loppui. /10/

Kivihiilitervaa on käytetty tervaimetyssepellyksenä, eli se on ollut sideaineena sepelissä, jota on käytetty kulutuskerroksen alla eräänlaisena sidottuna kantavana kerroksena rullausteilla, sekä kiitoteiden reuna-alueilla eli jireissä. Löytyneiden tervaisten kerrosten sijaintien mukaan on arvioitu alueet, joissa sitä on luultavimmin käytetty. Arvioiden mukaan rullausteilla käyttö on ollut koko leveydellä ja kiitoteilla jireissä noin 7m leveydellä. Vuonna 2012 uusittiin rullaustie Y väliltä Y2–YF ja vuonna 2013 YF–Y9. Kummankin urakan aikana todettiin tervan imeytyskerroksia asfaltin alla ja ne jätettiin purkamatta.

Osa tervamateriaaleista on purettu rakenteista vuonna 2015 peruskorjausten yhteydessä. Kohteesta RWY 15- ja RWY 04R-risteyksestä poistettiin kiitoteiden reunoilta 150m säteellä löydetyt kivihiilitervat. Samana vuonna korjattiin TWY Y väliltä RWY 04R ja TWY Z, jolloin poistettiin tervan imeytyskerrokset kohteesta. Vuonna 2016 rullaustie Z:n korjauksessa löydettiin myös kivihiilitervaa, mutta se jätettiin purkamatta.



Kuva 3. Vihreällä alueet, joilla ei ole kivihiilitervaa. Violetilla alueet, joilta voi löytyä kivihiilitervaa. Vaalean sinisellä alueet, joilta kivihiilitervaa on poistettu.

2.3.1 Tutkimusraportit lentoaseman alueelta

Lentoasemalla on tehty useita Finavian teettämiä tutkimuksia, joista on saatu viitteitä yllä olevan kuva 3 perusteiksi. Rullaustie Z:n ja Y:n kohdilla on todetusti tervakerroksia ja muilla alueilla, jotka ovat violetilla värillä kuvattuina, on hyvin todennäköistä, että vanhoja tervaisia kerroksia löydetään.

Näytteitä lentoasemalta on otettu vuonna 2014. Niitä otettiin kaikkiaan 160 kpl, joista 52:ssa havaittiin kivihiilitervaa kerroksissa. Näytteet otettiin TWY Z-alueelta ja niistä on saatu tietoja yllä olevan kuva 3 kartan perusteeksi.

Vuonna 2014 tutkittiin maaperää TWY Z-alueella, jotta saatiin selvitettyä maaperän tilaa ja tervaimetyyskerroksen mahdolliset liukenevuudet ympäröivään maaperään. Tutkimus suoritettiin kaivinkoneavusteisesti koekuoppia kaivamalla. Näytekuoppia kaivettiin kuusi kappaletta, joista kolme sijaitsi rullaustien

asfalttipinnan alueella ja kolme rullaustien vieressä päällystämättömällä maaperällä. Yhteenvedossa todetaan maakerrokset koekuoppien osalta pilaantumattomiksi, paitsi tervaimetyskerroksissa. Osassa koekuoppien alueella oli asfaltissa halkeamia, josta vettä oli mahdollisesti päässyt suotautumaan maaperään. Se ei tulosten perusteella ollut kuitenkaan vaikuttanut haitta-aineiden liikkumiseen syvyysuunnassa. Syvyysuuntaista liikkumista haitta-aineilla ei tutkimusten tuloksissa juurikaan esiinny. Tervaimetyskerroksen paksuus on 5 cm tutkittujen kuoppien osalta.

Tervaimetyskerros sijaitsi heti asfaltin alapuolella kantavan kerroksen pinnassa. Tulokset PAH16-pitoisuuksista vaihtelivat imeytyskerroksissa. Osassa pitoisuudet olivat sadoissa mg/kg, mutta korkeimmillaan yhdessä näytteessä pitoisuudet olivat kymmenissä tuhansissa mg/kg. Eroja pitoisuuksissa voi aiheuttaa näytteenottoalue, sillä se ei välttämättä ole rajautunut täysin tervakerrokseen vaan mukaan on tullut tervattomia kerroksia. Näyte ei välttämättä ole myöskään täysin onnistuneesti homogenoitu ja pieni osa näytteestä, joka analysoidaan, on voinut olla lähes pelkkää kivihiilitervaa.

Vuonna 2015 teetettiin Kiitotie 04 oikean asfalttirouheen hyötykäyttölausunto. Myös näissä koetuloksissa osassa näytteistä todettiin PAH-yhdisteitä raja-arvot ylittäviä määriä. PAH-yhdisteitä löytyi kiitoteiden risteyskohdasta.

Tästä johtuen teetettiin lisätutkimuksia kiitoteiden risteysalueelta puretuista väliavarastoiduista asfalttimassoista. Näytteissä todettiin kohonneita pitoisuuksia PAH-yhdisteitä. Tulokset vaihtelivat välillä PAH16 0,59-873 mg/kg. Risteysalueelta puretut massat on poistettu kivihiilitervakerroksineen ja toimitettu loppukäsittelyyn ulkopuoliselle jätteenkäsittelijälle.

Ylläolevat tiedot on saatu teetettyjen tutkimusten raporteista, joita ei julkaista. Osa tutkimuksista teetettiin Lemminkäisellä ja osa WSP Finlandilla.

3 LENTOASEMAN PÄÄLLYSTYKSEN EROT VERRATTUNA MAANTIEPÄÄLLYSTYKSEEN

Asfalttinormeissa ei aseteta vaatimuksia lentokenttien päällysteille. Lentokenttien kiitoteiden ja asematasojen päällysteiden osalta Suomessa noudatetaan kansainvälisiä ICAO:n määräyksiä, joihin liittyvät kansalliset sovellusohjeet antaa Finavia/6/. Lentorasema päällystäminen eroaa tiepäällystämisestä olennaisesti siten, että lentoraseman päällystevaatumukset ovat erilaiset, jolloin asfaltin koostumusta täytyy mieltää eri näkökulmasta. Tiepäällystyksessä tärkeimpiä päällystettä kuluttavia tekijöitä ovat suuret liikennemäärät ja raskaan liikenteen osa siitä, sekä autojen nastarenkaiden aiheuttama kulutus tien pinnalla. Lentorasemalla ei ole nastarengaskulutusta ja liikennemäärien vaikutukset ovat vähäiset verrattuna lentokoneiden aiheuttamaan pistemäiseen painekuormitukseen.

Päällyste koostuu kiviaineksesta ja sideaineesta. Lentoraseman päällysteet pyritään tekemään mahdollisimman korkealuokkaisista raaka-aineista, jolloin päällysteen käyttöikä voidaan laskea kymmeneenkin vuoteen verrattuna maantierakentamisessa, jossa käyttöikä vaihtelee suuresti liikennemääriltään eroavilla teillä. Finavian tavoite on pitää asfalttipintojen elinkaari mahdollisimman pitkänä, koska kiitoteiden ja asematasojen sulkeminen peruskorjauksen takia on aina äärimmäisen hankalaa. Tiepäällystyksessä suurimmalla kulutuksella olevat moottoritiet joudutaan uusimaan jopa vuosittain tietyistä kohdista, mutta 5 vuotta on keskimääräinen elinikä vilkkaasti liikennöidyillä pääväylillä. /7/

Yleensä tiepäällystyksessä käytetään asfalttibetonia (AB) tai myös lisänä sitovan kerroksen asfalttibetonia (ABS). Muun muassa raskaan liikenteen ja suurempien liikennemäärien kuormittamilla teillä, sekä teollisuusalueiden kentillä käytetään näiden lisäksi myös kantavan kerroksen asfaltti betonia (ABK) pintakerrosten tukena.

Lentoaseman liikennealueella, sekä asematasoilla päällystekerroksia on useita. Kerroksia täytyy olla enemmän, sillä päällysteeseen kohdistuva kuormitus on suurta lentokoneiden suuren massan vuoksi, jolloin deformaatio (kulutus) kestävyys on tärkeää. Alueilla, joilla lentokoneet rullaavat, on kerroksia aina vähintään kolme.

Tiepäällystyksessä suositetaan nykyään kierrätysasfalttia, sillä se tukee kestävän kehityksen periaatteita ja säästää ympäristöä vähentäen tarvetta käyttää neitseellistä raaka-ainetta. Vanhaa purettua asfalttia käytetään uudestaan jopa 50 % uudessa asfaltissa. Lentoasemalla ei käytetä uusioasfalttia liikennealueilla tai asematasoilla. Huoltotieverkostossa ja erilaisilla välivarastointikentillä sitä kuitenkin voidaan käyttää. /3/

4 LAINSÄÄDÄNTÖ JA YMPÄRISTÖLUPA

Koska ihmisten toiminta perustuu luonnonvarojen käyttöön, lainsäädännöllä pyritään ylläpitämään tasoa, jolla kestävä kehitys toteutuu. Tulevia sukupolvia varten halutaan säilyttää mahdollisuus terveelliseen ympäristö- ja luonnonvarojen käyttöön. Asioiden ympäristö- ja terveysvaikutuksia on vaikea arvioida pitkällä tähtäimellä, jonka vuoksi ympäristölainsäädäntö on rakennettu joustavaksi kokonaisuudeksi, joka pohjaa vahvasti EU:n ympäristölainsäädäntöön.

Kivihiilitervaisten kerrosten hyödyntäminen tällä hetkellä rakentamisessa ei ole mahdollista ilman erillistä lupaa tai lisäystä olemassa olevaan ympäristölupaan. Näytteet, joista kivihiilitervaa on löytynyt Helsinki-Vantaan lentoasemalta, ylittävät annetun rajan PAH-arvoiltaan, jolloin hyödyntäminen sellaisenaan ei ole mahdollista.

4.1 Pilaantuneet maat

Suomi noudattaa lainsäädännössään EU:n direktiivejä. Tässä työssä käsiteltävään aiheeseen liittyvää lainsäädäntöä löytyy ympäristönsuojelulaista (527/2014), luonnonsuojelulaista (1096/1996), jätelaista (646/2011), vesilaista (587/2011) sekä maankäyttö- ja rakennuslaista (132/1999). Näihin liittyvät asetukset, kuten esimerkiksi mara-asetus (403/2009) ja pima-asetus (214/2007) sisältävät tarkennuksia lakeihin. Asetusten soveltamisohjeista löytyy konkreettiset ohjeet lakien noudattamiselle. Tässä tapauksessa ympäristöministeriön julkaisuista, jotka on mainittu alla.

Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta, Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014, sisältää ohjeen pima-asetuksen noudattamisesta. Aiemmassa pima-ohjeessa olleet kaivettujen maa-ainesten luokittelua, käsittelyä ja hyödyntämistä koskevat tekstit on pääsääntöisesti poistettu tästä ohjeesta ja niitä koskevia tulkintoja esitetään erillisessä ympäristöministeriön maa-aineksia koskevassa ohjeistuksessa (mara-asetus).

Tärkeä ohjeistus löytyy myös Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2016, Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi. REACH-asetus (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, EY N:o 1907/2006) kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista ja CLP-asetus (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures, EY N:o 1272/2008) liittyen luokitukseen, merkintöihin ja pakkaamiseen antavat jätteen vaaraominaisuuksien luokittelun perusteet, joita ohjeistus 1/2016 tulkitsee.

4.2 Jättemääritelmä ja varastointi

Kivihiiliterva luokitellaan jätenimikkeelle: 17 03 bitumiseokset, kivihiiliterva ja – tervatuotteet. Yllä oleva jätenimike on määritetty vaaralliseksi jätteeksi, jollei jätelain 7 §:n tai 112 §:n nojalla yksittäistapauksessa toisin päätetä. Laissa mainitaan myös seuraavaa:

”Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus voi jätteen haltijan hakemuksesta tai omasta aloitteestaan yksittäistapauksessa päättää, että 6 §:n 3 momentin nojalla annetussa valtioneuvoston asetuksessa vaaralliseksi jätteeksi luokiteltu jäte ei ole vaarallista jätettä, jos jätteen haltija osoittaa luotettavasti, ettei kyseisellä jätteellä ole yhtään vaaraominaisuutta ja ettei tämä ole seurausta jätteen laimentamisesta.”
/20/

Päätöksen tekee aluehallintovirasto, jos kysymys on sen toimivaltaan kuuluvasta ympäristöluvanvaraisesta toiminnasta. Asia voidaan tällöin käsitellä osana vireillä olevaa ympäristölupa-asiaa. /20/ Lentoaseman ympäristöluvan käsittelee AVI.

Jäteominaisuus on kuitenkin ympäristöministeriön julkaisun 11/2011 mukaan tässä tapauksessa pysyvä, sillä materiaalia täytyy stabiloida, jotta siitä saadaan hyödynnettävää rakennusmateriaalia. Julkaisussa on viitattu viralliseen lopulliseen Euroopan yhteisöjen komission päätökseen. /33/

Vaaralliseksi luokitellun jätteen väliaikainen varastointipaikka, jossa jätettä varastoidaan kerrallaan yli 50 tn (ja jäte on tarkoitus toimittaa muuhun käsittelyyn kuin metallien kierrätykseen tai talteenottoon), luokitellaan direktiivilaitokseksi.

Tällainen laitos vaatii aina ympäristöluvan toiminnalleen. Tähän seikkaan kiinnitetään huomiota, mikäli hyödyntäminen tulee kyseeseen. /21, s.15/

Ympäristölupa tarvitaan ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan ja luvan saaneen toiminnan päästöjä tai niiden vaikutuksia lisäävään tai muuhun olennaiseen toiminnan muuttamiseen. Luvan tarpeesta säädetään ympäristönsuojelulaissa. Ympäristöluvan voi saada riskiarvion kautta.

Tämänhetkiset ympäristöluvat Helsinki-Vantaan lentoaseman alueella eivät kata kivihiilitervaa sisältävän materiaalin käsittelyä. Tärkeimpänä syynä tähän on Suomen lainsäädäntö.

4.3 Mara-asetus

Ympäristöluvan osio, jossa käsitellään jätteen hyödyntämistä rakentamisessa Helsinki- Vantaan lentoasemalla pohjaa jäteasetuksen (1072/1993) myöhemmin päivitetty jätelaiksi (646/2011) ja ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan säädettyyn valtioneuvoston asetukseen (591/2006) eli ns. mara-asetukseen. /16/

Asetusta on päivitetty sittemmin, lähinnä liitteiden osalta. Päivitetyin asetus on (403/2009). Mara-asetus, joka ohjaa eräiden rakentamisesta syntyvien materiaalien hyödyntämistä, sisältää liitteen jossa on lueteltu raja-arvot materiaalin hyödyntämistä varten, sekä ohjeistuksen perustutkimuksia varten ja laadunvarmistusjärjestelmään. Asetuksessa on määritetty PAH-yhdisteiden summapitoisuus 20 mg/kg. Raja-arvo on määritetty betonisen purkujätteen arviointia varten, mutta sitä sovelletaan myös tässä tapauksessa, sillä samaa ohjetta sovelletaan bitumiselle asfalttimurskalle, jonka kaltaista tervainen sepeli on. /15/

4.4 Riskinarviosta

Ympäristöhallinnon riskinarviointi ohjeissa 6/2014 mainitaan että, perustelluista syistä ohje-arvoista voidaan poiketa ja käyttää pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa laskennallisia riskinarviointimalleja.

Eräänä tärkeimmistä seikoista käsiteltäessä purkujätteen hyödyntämistä maanrakennuksessa pidetään kohteita, jonne materiaalia sijoitetaan. Kohteen tulee olla sellainen, ettei ole hyväksyttävän rajan ylittävää riskiä kohdistuen ihmisten terveyteen tai ympäristöön. Myös oikea tarve materiaalin hyödyntämiselle on painotettu ohjeistuksissa. Tällä halutaan esimerkiksi välttää jätteen dumpaamista jäteveroa kiertääkseen. VTT:n tuottaman ohjeistuksen mukana tulevassa liitteessä maa-ainesten stabiloinnin arvioinneissa PAH16 rajana käytetään bitumistabiloinneissa 200 mg/kg pitoisuudesta. Kuitenkin tutkimukset osoittavat, että tätä suuremmilla pitoisuuksilla on tehty stabilointeja, joiden jälkiseurannassa on todettu stabiloinnin olevan onnistunut ja haitta-aineiden kulkeutuminen ympäristöön on niin pientä, ettei siitä koidu riskiä ympäristölle. /14, 1/

Tervasepelin hyödyntämistä tukee jätelaissa mainittu etusijajärjestyksen noudattaminen. Vaarallisen jätteen luvanvaraisessa hyödyntämisessä voidaan yksittäistapauksissa käyttää harkintaa. /20/

Materiaalia voidaan tehokkaasti muokata kylmästabiloimalla niin, etteivät haitta-aineet pääse siirtymään ympäristöön sellaisella volyyymilla, että se kasvattaisi ympäristön pilaantumisriskiä.

Tutkimustuloksia on hyödynnetty Ruotsista ja myös sivuttu hieman Uuden Seelannin kokeiluja, lähinnä nämä tulokset on mainittu Ruotsin tutkimusten tukena. Näissä tutkimuksissa on mainittu osaltaan myös Saksa ja Hollanti, kaikki maita joissa on käytetty suuria määriä kivihiilitervaa tierakenteissa. Maista osa kuuluu EU:n lainsäädännön piiriin ja ne ovat myöntäneet lupia kivihiilitervan osalta niin, että sitä saa nykyisellään käyttää tierakenteessa kierrätettynä kylmästabiloituna materiaalina pitoisuuksien ollessa maksimissaan 1000 mg/kg. Syyt ovat pitkälti samat jokaisella maalla. Halutaan säästää teiden korjaustoimissa jätekustannuksissa ja samalla hyödyntää olemassa olevaa materiaalia rakentamisessa.

5 KIVIHIILITERVAN TUTKIMUSMENETELMÄT

Kun on aihetta epäillä kivihiilitervaa löytyvän työmaalta, varmistetaan aineen läsnäolo. Tarvitaan ympäristön tilaa selvittäviä tutkimuksia, sekä purettavan asfaltin tutkimuksia. Vasta tulosten jälkeen voidaan harkita hyödyntämistä. Jos haitta-ainepitoisuudet ovat maltilliset, voidaan tehdä stabilointikokeita ja jos ne onnistuvat, hakea lupaa käyttää stabiloituja materiaaleja rakentamisessa. Kun massa on saatu stabiloitua onnistuneesti ja mahdollisesti uusiokäytetty siihen soveltuvissa kohteissa, tulee tilannetta tarkastella tietyin väliajoin jälkiseurannassa osana laadunvalvontaa. Tässä työssä on mainittu stabiloinnin soveltuvuutta ajatellen VTT:n tiedotteita 2245. Se ohjeistaa toimintaa käsittely- ja puhdistuskäytännölle koskien tavanomaisimpia pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmiä. /14/

Kivihiilitervan todentamiseen on erilaisia menetelmiä, joista osaa voidaan käyttää työmailla suoraan kvalitatiivisena testinä. Ne eivät kerro kivihiilitervan ominaisuuksista ja haitta-ainepitoisuuksista, mutta jos on aihetta epäillä löytyneen aineen olevan kivihiilitervaa esimerkiksi ennakkotiedosta, että rakentaessa on aikanaan voitu käyttää kivihiilitervaa sideaineena päällystyksissä, voidaan tehdä ennakkokokeita. Näillä kokeilla kivihiilitervan todentaminen on helppoa ja halpaa.

Asia joka kielii kivihiilitervan läsnäolosta, on haju. Kivihiiliterva haisee vuosienkin jälkeen pistävältä. Haistelu ei kuitenkaan ole suositeltava testimenetelmä, sillä kivihiiliterva sisältää korkeita pitoisuuksia PAH-yhdisteitä, joista osa on karsinogeenisiä ja ne voivat kulkeutua elimistöön hengityksen kautta. Haju kuitenkin on niin voimakas, että tyynellä ilmalla kivihiilitervaa sisältävä rouhekasa haisee metrien päähän. Laboratoriokokeita PAH-yhdisteiden toteamiseksi täytyy tehdä, jotta saadaan tarkasti selville tervan sisältämät haitta-aineet.

5.1 Tervapäällysteiden käsittely muualla maailmassa

Purettun kivihiilitervaisen sepelin haitta-ainepitoisuuden rajat ovat yksi huomioitava asia, mutta VTT:n ja SGI:n hyödyntämistä koskevan ohjeistuksen mukaan seurannassa tärkeintä on haitta-aineiden kulkeutuminen ympäristöön ja etenkin vesistöön. Tätä testataan standardoiduilla testeillä. /17/

Myös Uuden Seelannin hallitus on tutkinut kivihiilitervaisten tiemateriaalien hyödyntämismahdollisuuksia, joiden tulokset tukevat Ruotsin saamia tuloksia

Ruotsin geologinen instituutti (Statens geotekniska institut SGI) on yhteistyönä Ruotsin VTI:n (Statens väg- och transportforskningsinstitut) kanssa suorittanut laajoja tutkimuksia jotka on rahoittanut Ruotsin liikennevirasto (Trafikverket).

Ruotsissa on käytetty tietervaa vuosikymmenten ajan tieverkoston rakentamiseen, jonka vuoksi siellä on nyttemmin teetetty tutkimuksia purettavaksi tulevien teiden materiaalien hyödyntämisestä uudelleenrakentamisessa. Seuraavissa kappaleissa käsitellään eri todentamis- tutkimusmenetelmiä.

5.2 Kvalitatiiviset testit

Kvalitatiivisella eli laadullisella testillä tarkoitetaan tässä tapauksessa alustavia kokeita, joita voidaan suorittaa helposti ja nopeasti jopa kenttäolosuhteissa. Näillä voidaan todeta PAH-yhdisteiden läsnäolo näytteessä ja suuntaa antavasti tulkita pitoisuuksia.

5.2.1 Spraymaali- ja UV-valotesti

Kivihiilitervan voi todeta spraymaali- ja UV-valokokeella. Koetta varten tarvitaan liuotinpohjainen valkoinen spraymaali ja UV-lamppu. Koe suoritetaan pimennetyssä tilassa, jotta mahdolliset värimuutokset valkoisessa maalissa erottuvat UV-valon avulla. /10/

PAH-yhdisteet liukenevat maalissa olevaan liuottimeen ja näkyvät valkoiseen väriin sekoittuessaan keltaisena. Keltainen on PAH-yhdisteiden luonnollinen väri ja, jos PAH-pitoisuus näytteessä on korkea, näkyy väri hyvin luonnonvalossa.

Värin erottaa parhaiten UV-valon avulla. PetroFlag-kenttätesti, joka on suunniteltu öljyhiilivetyjen kokonaispitoisuuksien määrittämiseen indikoi myös PAH-yhdisteiden läsnäolon reagenssiaineen muuttuessa kellertäväksi PAH-yhdisteistä. /10, 37/

Työohje /Liite 2/

Värimuutosten tulkitseminen helpottuu, jos omaa selkeästi PAH-yhdisteitä sisältävän näytteen värimuutoksen vertailukohteena. Joissain tapauksissa haalean keltainen sävy tai keltaisia pisteitä voi ilmestyä, vaikka PAH-yhdisteitä ei näytteessä olekaan. Jos näytettä säilytetään pitkän aikaa, voi näytteeseen muodostua keltaisenvihreä värisävy, oli näytteessä PAH-yhdisteitä tai ei. Tästä syystä analyysi täytyy tehdä mahdollisimman nopeasti maalin suihkutuksen jälkeen. (30 sek. kuluessa) Testi on epävarma, jos näytteet sisältävät vähemmän, kuin 50–100 mg/kg PAH-yhdisteitä. /10/

Ruotsin ohjeistuksessa jatkoanalyysiin lähtevä näyte testattiin ensin alustavasti UV- valotestillä, ja testatusta määrästä koottiin yhteen 5 kg materiaalia, jotka osoittivat merkkejä tervapitoisuudesta ja joiden värimuutokset olivat yhtäläisiä./1/

On olemassa tuote nimeltä PAK-marker, joka on kehitetty PAH-yhdisteiden tunnistamista varten samoissa käyttökohteissa, kuin yllä oleva spraymaali-UV-valotesti. PAK-markerin kanssa testaus tehdään samankaltaisesti. /35/

5.2.2 Hajutesti

Väritestauksen ohella voidaan käyttää myös hajutestiä. Näyte lämmitetään 60 °C. Jos tervan hajua ei ilmene, näyte ei todennäköisesti sisällä kivihiilitervaa. /10/

5.3 Ympäristön tila

Ympäristön tilaa arvioidessa käytetään tarkempia testejä, kuin yllämainitut. Jos merkkejä kivihiilitervasta on havaittu, lähetetään näytteitä kvantitatiivisia testejä varten. Testeillä mitataan tarkemmin aineiden pitoisuuksia näytteistä. Tällaiset

testit vaativat yleensä laboratorio-olosuhteet ja laitteistot, sekä tulosten saaminen voi kestää useita päiviä. PAH- yhdisteiden analyysit ovat hintavia.

5.3.1 Näytteidenotto kiinteästä aineesta

Maasta ja päällysteistä otetaan näytteitä, kun selvitetään maaperän ja päällysteiden tilaa. Samalla nähdään, missä esimerkiksi tervakerrokset sijaitsevat tierakenteessa. Maaperänäytteet otetaan nimensä mukaisesti maaperästä ja päällystenäytteet päällystekerroksista. Näytteitä otetaan myös stabilointihankkeen jälkiseurannassa, jolloin nähdään, onko stabiloitu massa onnistunut vai kulkeutuuko siitä haitta-aineita esimerkiksi veden mukana ympäröivään maahan.

Laboratorioilla voi tulla ongelmia hajottaa ja homogenisoida asfalttinäytteitä. Tämän vuoksi on tärkeää, että näytteen valmistus ennen lähetystä analysointiin tehdään hyvällä ja asianmukaisella tavalla. Näytteenotto suoritetaan niin että se edustaa mahdollisimman hyvin näytteistettyä materiaalierää. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että otetaan tarpeeksi monta osanäytettä, tasapuolisesti aineksesta /1/

5.3.2 Näytteidenotto vedestä

Pohjavesien laatua on tarpeen tutkia silloin kun halutaan selvittää veden saastumisastetta. Vesistä löytyvät haitta-aineet voivat kertoa esimerkiksi kivihilitervan sijainnista lähialueilla. Vesinäytteitä otetaan myös jälkiseurannassa, jos on sijoitettu tässä tapauksessa stabiloituja tervamassoja lähelle vesistöjä. Jälkiseurannassa vesinäytteistä nähdään mahdollista haitta-aineiden kulkeutumista maaperänäytteiden ohella ja näin voidaan seurata stabiloinnin onnistumista.

Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014:ssa on maininta soveltuvista näytteenottomenetelmistä koskien pohjavesiä. /38/

Aine	Menetelmästandardi	Määrittäjäraja µg/l
Aromaattiset hiilivedyt		
Bentseeni	SFS-ISO 11423-1:2011	0,15
Tolueneeni	SFS-ISO 11423-1:2011	3,6
Etyylibentseeni	SFS-ISO 11423-1:2011	0,3
Σ Ksyleenit ²⁹	SFS-ISO 11423-1:2011	3
Polyaromaattiset hiilivedyt		
Antraseeni	ISO 28540:2011	18
Naftaleeni	ISO 28540:2011 SFS-ISO 11423-1:2011	0,39
Bentso(a)pyreeni	ISO 28540:2011	0,0015
Σ PAH ₄ ³⁰	ISO 28540:2011	0,015

³⁰ Bentso(b)fluoranteenin, bentso(k)fluoranteenin, bentso(g,h,i)peryleenin ja indeno-(1,2,3-cd)-pyreenin summa.

Kuva 4. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014 Pohjavesien haitta-aineiden määrittäjä.

Valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006) Suomessa pohjavedessä esiintyville PAH-yhdisteille ei ole määritetty raja-arvoja, vaan ohjataan käyttämään bentso(a)pyreenin pitoisuutta muiden PAH-yhdisteiden indikaattorina eliöstöä koskeviin ympäristölaatuunormeihin nähden. Jos tämän aineen arvot ylittävät sallitut enimmäispitoisuudet, on tarpeen tehdä lisämäärittäjä. /28/

PAH16-yhdisteistä erillisinä on mainittu antraseeni, naftaleeni ja fluoranteeni. Näistä naftaleeni ja fluoranteeni eivät ole merkittävänä haitallisiksi tai vaarallisiksi aineiksi liitteen kohdassa C1. Muut PAH16-ryhmän yhdisteet on merkitty haitalliseksi tai vaaralliseksi. /28/

Asetuksessa mainitaan vesipuitedirektiivin ympäristölaatuunormit EQS, environmental quality standard. Näissä Bentso(a)pyreenin sallitut enimmäispitoisuudet ovat sisämaan pintavesille 0,27 µg/kg ja merivesissä, sekä muissa pintavesissä 0,027 µg/kg. Vesieliöitä tarkasteltaessa nilviäisissä 5 mg/kg tuorepainoa kohden. /24/

5.3.3 Kemiaalliset analyysit

Kemiaallisia analyyskejä täytyy tehdä, jotta saadaan tietää tutkittavan aineen ominaisuudet. Haitta-ainepitoisuudet määritetään laboratorioissa.

Ruotsin tutkimuksissa kiinteät näytteet analysoitiin kaasukromatografi massaspektrometrilla(GC-MS) ja vesinäytteet Mikrotox-testillä. /1/

Kaasukromatografilla erotellaan haihtuvia yhdisteitä. Tämä sopii hyvin helposti haihtuvien yhdisteiden tutkimiseen, jossa yhdisteet eivät saa hajota alle 400 asteen lämpötilassa. Tässä se oli yhdistetty massaspektrometriin, jolla voidaan mitata ionisoituneita molekyyliä ja niiden määrää aineessa. Massaspektrometri soveltuu hyvin orgaanisten aineiden tutkimiseen. Yhdistettynä nämä kaksi tutkimusmenetelmää antavat kattavamman tuloksen PAH-yhdisteiden pitoisuuksista näytteessä. /9/

Mikrotox-testiä käytettiin Ruotsissa 2002–2003 pohjavesinäytteitä analysoitaessa. Mikrotox on biologinen testausmenetelmä, jolla saadaan vesinäytteestä tai kiinteän näytteen liuotusvedestä indikaatio, jos näyte on akuutisti myrkyllinen. Tapaa voidaan käyttää orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden tutkimiseen ja se perustuu sellaisen bakteerin käyttöön, joka terveessä tilassaan hohtaa valoa. Bakteeria lisätään tutkittavaan vesinäytteeseen ja noin 15 min kuluttua tarkastetaan sen säteilemän valon kirkkausaste. Mitä myrkyllisempää vesi on, sitä vähemmän bakteereja on hohtamassa valoa ajan kuluttua. Mikrotox-testi ei kerro kuin akuutin myrkyllisyyden tilan. PAH-yhdisteitä käsitellessä vedessä olevan pitoisuuden täytyy olla melko suuri, jotta bakteerit reagoivat ja vesi on akuutisti myrkyllistä. Tämä ei kerro veden sisältämien PAH-yhdisteiden vaikutuksista pidemmällä ajanjaksolla. Vesi saattaa sisältää PAH-yhdisteitä, jotka ovat karsinogeenisiä ja mutageenisia, pieniä pitoisuuksia ja ne eivät välttämättä näy Mikrotox-testin avulla, jolloin vedelle pitkäaikaisesti altistuvat eliöt voivat saada oireita. /1/ Testi ei myöskään tarkoita, että myrkyllisyys vaikuttaa kaikkiin eliöihin. Jos testi osoittaa näytteiden sisältävän myrkyllisiä aineita, on tehtävä kemiaalliset analyysit ja muita toksikologisia testejä aineiden määrittämiseksi.

6 STABILOINNIN SOVELTUVUUS JA LAADUNHALLINTA

Jos tutkimukset tukevat hyödyntämismahdollisuutta, voidaan seuraavaksi tutkia stabiloinnin onnistumista koestabiloinnilla.

Stabiloinnissa pilaantuneeseen maa-ainekseen sekoitetaan sideainetta, jotta haitta-aineiden liikkuvuus ja liukoisuus vähenevät. Sideaineena käytetään yleensä sementtiä tai bitumia. Stabiloinnissa haitta-aineen sitoutumista maakappaleissa parannetaan tai maa-aineksen rakennetta muutetaan, jotta vesi ei pääse suotautumaan maakappaleiden väleissä olevan huokosverkoston läpi. Stabilointia käytetään metalli ja öljypitoisten maiden käsittelyyn, mutta ne soveltuvat myös muillakin haitta-aineilla pilaantuneiden maiden käsittelyyn.

Stabiloitavaa materiaalia tulee testata ennen käsittelyä sen ominaisuuksien määrittämiseksi. Niiden perusteella voidaan tehdä stabilointikokeilu soveltuvalla menetelmällä. Stabiloidusta massasta on myös tarpeen tehdä kokeita, jotta saadaan tietää, onko prosessi onnistunut ja materiaali voidaan hyödyntää uusiokäytössä.

Koska orgaanisia haitta-aineita sisältävien stabiloitujen massojen liukoisuustutkimuksista on vähemmän kokemusta, kuin epäorgaanisia haitta-aineita sisältävien materiaalien tutkimuksista, ei orgaanisille haitta-aineille voida määrittää yksiselitteisiä liukoisuuskriteerejä. Sijoituskelpoisuuden arvioinnissa suositellaan käytettäväksi sekä kokonaispitoisuuksia että liukoisuuksia. Julkaisussa VTT tiedotteita 2245 (Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta), pitoisuus- ja liukoisuustasoa voidaan pitää esimerkkeinä sijoitettavaksi soveltuvista materiaaleista. Julkaisussa sanotaan myös seuraavaa: ”Kohdekohtaisen arvioinnin perusteella voidaan hyväksyä myös nämä tasot ylittäviä arvoja.” Julkaisu on vuodelta 2004. VTT:n taulukossa mainitaan stabiloitavaksi soveltuvan materiaalin PAH-yhdisteiden pitoisuuksien olevan maksimissaan 200 mg/kg. Julkaisussa mainitaan myös Norjan lentokentällä tehty stabilointihanke, jossa käytettiin PAH-yhdisteitä sisältävää materiaalia. Norjan hankkeessa todettiin, että bitumin pitoisuuden ollessa 3%, vähenivät PAH-yhdisteistä haihtuvimpien liukoisuudet reilusti yli puolella. PAH-

kokonaispitoisuuksista ei ollut kuitenkaan mainintaa VTT:n raportissa, joten asiaa ei käsitellä tässä työssä enempää. /14/

Seuraavissa kappaleissa on lueteltu eri koemenetelmiä, joita julkaisussa VTT tiedotteita 2245 suositellaan. Taulukot 2 ja 3 ovat VTT:n julkaisussa Taulukko 3.3. Taulukot 4 sekä 5 löytyvät VTT:n julkaisusta taulukkoina 3.4 ja 3.5. Tässä työssä on jätetty alkuperäisistä taulukoista pois kohdat, jotka eivät koske bitumistabilointia. /14/

6.1 Perustutkimukset

Perustutkimuksia varten näytteet täytyy valmistella oikein, jotta niistä saadaan edustava tulos analyyseissä.

Lemminkäisen keskuslaboratorio on testannut tervapäällysteitä irrottamalla sideaineen kiviaineesta ja tutkimalla sideaineen haitta-ainepitoisuudet ja suhteuttanut tulokset käytetyn kiviainemäärän mukaan. Näin mitattuna tulokset antavat paremman kuvan sideaineen ominaisuuksista. Samalla tavalla toimittiin VTT:n laboratoriossa, jossa 5 kg:sta näytettä uutettiin sideaine ja analysoitiin sen PAH-pitoisuus.

Maa-ainesten haitta-ainepitoisuudet tutkitaan ja otetaan arvioinnissa huomioon tapauskohtaisesti (arvioperusteina maa-ainesten laatu, stabilointimenetelmä, haitta-aineiden ominaisuudet, rakenne ja sijoituskohde). /14/

Myöhemmin tässä työssä käsitellään myös ruotsalaisten tutkimusten tuloksia, joissa PAH-pitoisuudet ovat korkeammat, kuin VTT:n ohjeistuksessa.

Sijoitettaessa PAH-yhdisteitä sisältävää ainesta valvottuihin hyötykäyttökohteisiin, liukoisuuksien tulee olla alle tavanomaisen jätteen kaatopaikalle hyväksyttävää jätettä koskevat raja-arvot. /14/

Taulukko 2. Stabiloinnin soveltuvuuden arviointi

Tutkittava ominaisuus	Tutkimuksen tavoite	Koemenetelmä	Huomautukset
Haitta-ainepitoisuudet	Soveltuvuus stabiloitavaksi ja hyötykäyttäväksi/loppusijoitettavaksi	Haitta-aineiden mukaiset määritysmenetelmät	
Rakeisuus	Soveltuvuus stabiloitavaksi	SFS-EN 993-1/-2	Rakeisuusalue 0-64mm tai pienempi
Humuspitoisuus	Soveltuvuus stabiloitavaksi	GLO-85	Polttomenetelmä
Liukoisuus *	Hyötykäyttökelpoisuus	NEN 7343 ja pH-staattinen testi	

*joko ennen stabilointia stabiloitavista maa-aineksista tai jo stabiloidusta murskatusta massasta.

6.2 Laadunvalvontatutkimukset

Laadunvalvonnalla tutkitaan stabiloinnin onnistuminen. Tulosten perusteella voidaan joko hyödyntää stabiloitu massa, tai päättää loppukäsittelyyn lähettämisestä.

Hyötykäyttökohteisiin sijoitettavan stabiloidun materiaalin tulee olla kaatopaikkakelpoista vähintään tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Haitta-aineiden liukoisuuden ylärajana suositellaan käytettäväksi hollantilaisten esittämiä kelpoisuuskriteerejä diffuusiotestissä NEN 7345 liuenneiden aineiden määrälle.

/14/

Stabiloidusta massasta tulee tehdä diffuusioliukoisuustesti, jossa haitta-aineiden liukoisuuksien on oltava alle VTT tiedotteita 2245 liitteen 8 raja-arvojen. /14/ Liitteessä ei ole annettu absoluuttista raja-arvoa diffuusiotestin tuloksia koskien,

vaan mainittu, että PAH-pitoisuus saa käsiteltävässä maa-aineksessa olla viisinkertainen kohteen luvanmukaisiin määriin verrattuna. Haihtuvimmille PAH-yhdisteille määrä on rajoitettu 2–3 kertaiseen määrään.

Finavian tämän hetkisen ympäristöluvan mukaan PAH-yhdisteitä sisältävän maa-aineksen raja-arvona yhdisteille on 20 mg/kg. Näin ollen pitoisuudet saisivat olla noin 100 mg/kg ja haihtuvimpien osalta noin 40–60 mg/kg. Ympäristöluvassa mainitaan asfaltin tavanomaisesta laadusta poikkeavien aineiden liukoisuuksista (L/S=10 l/kg), että niiden on oltava pysyvän jätteen kaltaiset.

Taulukko 2 Taustatietoja orgaanisten haitta-aineiden stabiloitaviksi hyväksyttävien pitoisuuksien arvioimiseksi.

	Pitoisuus käsiteltävässä maa-aineksessa (mg/kg)	Liukoisuus stabiloidusta massasta (mg/m ²)
Raskasöljy, voiteluöljyt		
Pilaantuneen maan luokitus ongelmajätteeksi	10 000	
5 x maaperän raja-arvo	10 000	
PAH (16 EPA)		
Ellefsen & Westby (2003), bitumistabilointi (3 % bitumia)	5x kohteessa hyväksyttävä ohjearvo, haihtuvimmille PAH:eille 2-3 x kohteessa hyväksyttävä ohjearvo	
Hollannin maaperän kunnostustavoitearvo ei-herkillä alueilla (PAH ₁₀) ²	40	
Hollannin suurin sallittu (PAH ₁₀)-pitoisuus maarakentamisessa hyötykäytettäville materiaaleille ³	75	
10 x Hollannin toimenpidearvo	400	
Hollannin sijoitusluokkien 1A ja 1 B kriteerien mukaisesti arvioitujen liukoisuusraja-arvot*		1(1A)/4(1B)
PCB (7 kongeneerin summa)**		
Saksassa puisto- ja virkistysalueille esitetty lisätutkimuksia edellyttävä pitoisuus maaperässä	2	
Ruotsin maaperän tavoitearvo ei-herkillä alueilla	7	
Ongelmajätteen luokituksen raja-arvo	50	
10 x Samase-raja-arvo	5	
		0,05

* Hollannissa ei ole esitetty liukoisuusraja-arvoja PAH-yhdisteille. Esitetyt arvot on saatu käyttämällä samoja laskentaperiaatteita kuin epäorgaanisten haitta-aineiden liukoisuusraja-arvoja laskettaessa. Laskentaperiaatteet on esitetty viitteessä Mulder, E. 1997. Re-use of sieve sand from demolition waste. In: Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H. (ed). Waste Materials in Construction. Studies in Environmental Science 71.

** POP-yhdiste, jatkossa otettava huomioon Tukholman sopimuksen vaatimukset käsittelylle.

² Kooper, W. 1999. From funnel to sieve. Remediation goal appraisal process. Ministerie van volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

³ Bolk, H. & van der Zwan, J. 2000. Thermal conversion of tar containing asphalt integrated into the abstract production process in combination with energy recovery and reuse of minerals. 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress Barcelona 2000 – Proc.0222.uk

Kuva 5. VTT tiedotteita 2245 liite 8.

Ruotsin VTI:n toimesta tutkittiin vuonna 2001-2003 haitta-ainepitoisuuksia diffuusio-liukoisuustestillä pohjautuen myös yllämainittuun hollantilaiseen testimenetelmään. /17/

Taulukko 3. Stabiloinnin laadunvalvonta

Tutkittava ominaisuus	Tutkimuksen tavoite	Koemenetelmä	Huomautukset
Liukoisuus stabiloidusta näytteestä	Haitta-aineiden liukoisuus rakenteesta pitkän ajan kuluessa	NEN 7345	Bitumilla sidotuille näytteille modifioitu testi
Halkaisuvetolujuus (Bitumilla sidotut massat)	Massan koossapysyvyys rakenteessa veden, kuormien ja jäätymsulamis-syklarasittamana	PANK-4202	
Tarttuvuusluku (Bitumilla sidotut massat)	Massan vedenkestävyys	PANK 4301	
Vedenläpäisevyys	Varmistaa, että massan vedenläpäisevyys alittaa eri rakenteille määritetyt rajat	ASTM D 5084-97	
Pakkasenkestävyys	Massan koossapysyvyys rakenteessa veden ja jäätymsulamis-syklarasittamana	ASTM D 560-96	Yksinkertaistettuna

Toistuvan kastumisen ja kuivumisen kesto	Massan koossapysyvyys rankenteessa kosteus-kuivumis-vaihtelujen rasittamana		
Indeksikoheet:	Stabiloidun massan tiivistymisen ja tiiveyden määrittäminen	Proctor/ GLO-85	Tulossa EN-standardi prEN 13286-2
Maksimikuivairtoisuus, optimivesipitoisuus			
Indeksitiiveys		ICT	Vaatii koejärjestelyn kuvauksen
Tiivistyneisyys		Proctor ICT/ PANK-4115	Vaatii koejärjestelyn kuvauksen

6.3 Jälkiseuranta

Jälkiseurannassa todetaan stabiloinnin pitkäkestoinen toimivuus vertaamalla hyötykäyttökohteen ympäristön luonnollisia taustapitoisuuksia stabiloinnin jälkeen mahdollisesti muuttuneisiin pitoisuuksiin. Seuraavat taulukot 3 ja 4 ovat VTT:n julkaisussa numerolla 3.4 ja 3.5.

Taulukko 4. Stabiloinnin jälkiseuranta, ympäristöominaisuudet

Tutkittava ominaisuus ja testisuositus	Sijoituskelpoisuuden arviointi	
	Hyötykäyttökohteet	Tavanomaisen(epäorg.) jätteen kaatopaikka*
Haitta-aineiden pitoisuudet maa-aineksessa:		
Haitta-aineiden kokonaispitoisuudet maa-aineksessa tunnettava ja otettava huomioon arvioinnissa		
Haihtuvat haitta-aineet (VOC)	< maaperän ohjearvo tai osoitettava soveltuvuus riskitarkastelun perusteella	
Puolihaihtuvat haitta-aineet (Semi-VOC)	< maaperän raja-arvo tai riskitarkastelu	
PAH₁₆	< 200mg/kg**	
PCB (7 kongeneerin summa)	< 5mg/kg	
Liukoisuus:		
Diffuusioliukoisuus (NEN 7345 tai vastaava, myös laadunvalvonnassa)	Liukoisuudet alle hollantilaisen sijoitusluokan 1B ohjearvojen PAH< 4 mg/kg PCB< 0,05 mg/kg	Liukoisuudet alle hollantilaisen sijoitusluokan 1B ohjearvojen tai jatkossa hyväksyttävien kaatopaikkakelpoisuusraja-arvojen
Hyötykäyttökohteissa vaihtoehtoisesti a) tai b)		

a) Ennen stabilointia Kolonnitesti prEN 14405 pH-staattinen testi	a) Pysyvän/ tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuus kriteerit* *	
b) Stabiloidusta murskatusta materiaalista: Kolonnitesti prEN 14405 (myös laadunvalvonnassa) pH-staattinen testi	b) Pysyvän jätteen/ tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuus kriteerit* ***	

** haihtuvimpien yhdisteiden (naftaleeni, fenantreeni, antraseeni) pitoisuudet < 2x kyseisen haitta-aineen ohje-arvo. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2016 ohjeistaa käyttämään PAH16 määrittämiseen SFS-ISO 18287:2007 määrittämissä rajoilla 7,5 mg/kg ka.

**** Tavanomaisissa hyötykäyttökohteissa alitettava lievennetyt pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuus kriteerit, valvotuilla alueilla, kuten kaatopaikka-alueet, tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuus kriteerit.

Taulukko 5. Teknisiä ominaisuuksia ja laatutasoja stabiloidun massan sijoituskelpoisuuden laadun arviointiin ja massan laadunvalvontaan.

Tutkittava ominaisuus ja testisuositus	Sijoituskelpoisuuden arviointi	
	Hyötykäyttökohteet	Tavanomaisen (epäorg.) jätteen kaatopaikka*
Tekniset ominaisuudet:		
Halkaisuvetolujuus (bitumilla sidotut materiaalit)	> 100 kPa (+ 10 °C)	> 100 kPa/s

Tarttuvuusluku (bitumilla sidotut materiaalit)	$\geq 50 \%$	$\geq 50 \%$
Vedenläpäisevyys	$\leq 10^{-9}$ m/s	$\leq 10^{-8}$ m/s
Pakkasenkestävyys ASTM D560-96 tai vastaava**	Kriteeri: Massahäviö 12 sykliä $\leq 5 \%$	Ei rajoituksia jos on suojattu jäätymiseltä
Pakkasenkestävyys ASTM D560-96 tai vastaava***	Kriteeri: Lujuushäviö Lujuus kokeen jälkeen $> 65 \%$ vertailulujuudesta	Ei rajoituksia jos on suojattu jäätymiseltä
Pintasuojaus	ABT tai muu vastaavan suojan antava tiivistekerros	

* Toistaiseksi, kunnes materiaaleille esitetään kaatopaikkakelpoisuuden ohjeavrot. Koskee ainoastaan kaatopaikkasijoitusta alueille, joilla on kyseisen kaatopaikkaluokan mukaiset pohjarakenteet.

** Toistaiseksi, kunnes tarkoitusta varten löytyy yksinkertaisempi menettely.

*** Lujuuden pysyvyyden kautta määritetty. Esimerkiksi jäähdytys-sulatuskokeen jälkeen puristuslujuuden (tai halkaisuvetolujuuden) oltava $\geq 65 \%$ vertailuarvosta. Halkaisuvetolujuus on suositeltavampi kuin puristuslujuus, koska puristuslujuuden herkkyys säröilylle, halkeamille, tms. on huonompi.

6.4 Havainnot Ruotsin hankkeista

Ruotsin liikenneviraston toimesta VTI ja SGI toteuttivat yhteistyönä useita tutkimuksia, jotka liittyivät tervaisten päällystekerroksien kierrätykseen tienrakentamisessa vuosina 2001–2011. Ohjeistuksena tervaisten materiaalien hyödyntämiselle julkaistiin Vägverket publikation 2004:90 ”Hantering av tjärhaltiga beläggningar.”. Julkaisu pohjautui vuosina 2001–2004 tehtyihin tervaa sisältävien aineiden stabilointikokeiluihin tieverkostossa ja niiden vuosittaisiin tutkimusraportteihin ja yhteenvetoihin. Samalla tutkittiin tervamassojen välivarastoinnin vaikutuksia. Hanketta jatkettiin vuoteen 2011 asti, jotta saatiin kattavat pitkäaikaiset seurantatulokset terva-asfaltin hyödyntämisen vaikutuksista ympäristöön. /1/

Oppaassa: På väg igen/10/, jossa käsitellään tervapäällysteiden uudelleenkäyttöä stabiloituna, mainitaan myös, että PAH-yhdisteitä yli 1000 mg/kg pitoisuuksia voitaisi käyttää mahdollisesti, jos asia tutkitaan perusteellisesti.

6.4.1 Stabilointikokeilut Bitumi+Sementti ja Bitumi sideaineina

SGI:n raportissa Varia 522, vuodelta on tutkittu bitumin ja sementin soveltuvuuksia stabilointimateriaaleiksi. Terva-asfaltti, jota näytteissä käytettiin stabilointiin, oli vanhasta Västeråsin tiestä. Sen PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat kahdessa näytteessä 5298 mg/kg ja 4097 mg/kg. Niiden keskiarvo oli 4698 mg/kg. /Kuva 6/

Tabell 2. Totalhalter av 16 PAH i samlingsprov av materialet från Västerås.

Typ av PAH	Totalhalt		
	Prov 1/, mg/kg TS	Prov 2/, mg/kg TS	Medel, mg/kg TS
Naftalen	70	101,2	86
Acenaftylen	34	37,7	36
Acenaften	61	59,8	61
Fluoren	230	225,3	228
Fenantren	990	873,7	932
Antracen	250	216,1	233
Fluoranten	920	643,8	782
Pyren	680	459,8	570
Benso(g,h,i)perylen	140	115,0	128
Benso(a)antracen*	460	303,5	382
Chrysen*/Trifenylen a/	420	262,1	341
Benso(b)fluoranten*	250	285,1	268
Benso(k)fluoranten*	260	96,6	179
Benso(a)pyren*	280	211,5	246
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	200	174,7	188
Dibenso(a,h)antracen*	53	30,8	42
Σ Cancer. PAH (* ovan)	1923	1364,4	1644
Σ Övriga PAH	3375	2732,4	3054
Total-16PAH	5298	4097	4698

Prov 1/: Resultatinformation från Västerås kommun, Valter Tillgren. Provberedning, extrahering och analys utförda av Miljölaboratoriet i Nyköping AB (Milab, numera ALcontrol).

Prov 2/: Provberedning och extrahering utförda av VTI. Analys utförd av ALcontrol.

a/: Chrysen och trifenylen kunde ej särskiljas i analysen av prov 2. Värdet ansatt att gälla för chrysen.

Kuva 6. Stabilointikokeilussa käytetyn asfalttirouheen PAH-yhdiste pitoisuudet.

Raportin yhteenvedossa todettiin bitumin ja bitumi+sementti stabilointien vähentävän PAH-yhdisteiden liukoisuuksia n.50 %, kuten ilmenee kahdesta alla olevasta liukoisuuskäyrästä.

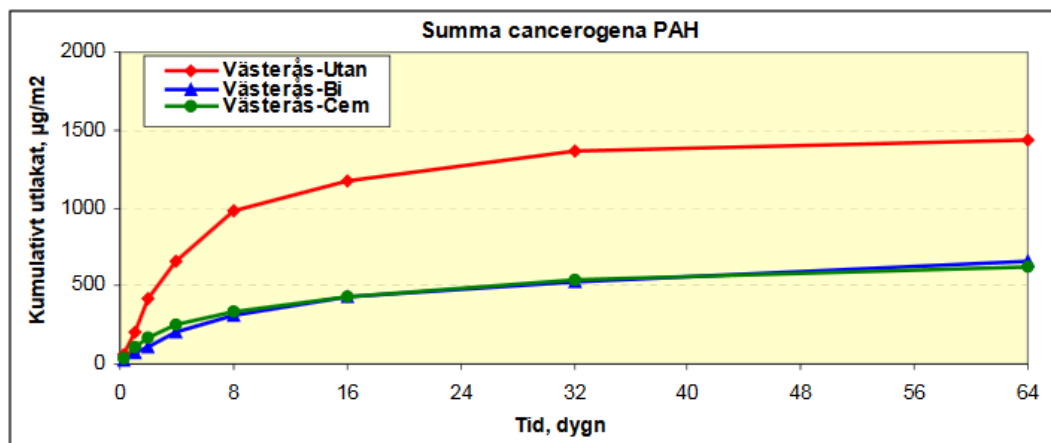


Diagram 1. Ackumulerat ytutlakat, i $\mu\text{g}/\text{m}^2$, av summa cancerogena PAH under 64 dygn från Västerås-Utan, Västerås-Bi och Västerås-Cem.

Kuva 7. Karsinogeenisten PAH- yhdisteiden liukoisuudet näytteiden keskinäisessä vertailussa 64 päivän aikana.

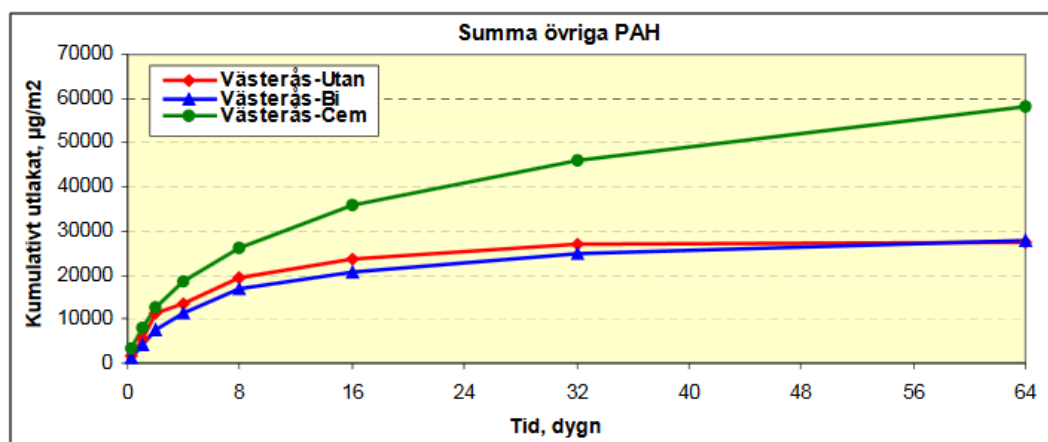


Diagram 2. Ackumulerat ytutlakat, i $\mu\text{g}/\text{m}^2$, av summa övriga PAH under 64 dygn från Västerås-Utan, Västerås-Bi och Västerås-Cem.

Kuva 8. Muiden PAH-yhdisteiden liukoisuudet näytteiden keskinäisessä vertailussa 64 päivän aikana.

Alla olevassa kuvassa on laskettu pitkän ajan teoreettiset liukoisuudet koekappaleista. /39/

Tabell 4:7 Teoretiskt maximalt utlakat vid L/S 200 av enskilda PAHer, baserat på deras maximala löslighet i vatten.

PAH	Max. löslighet, 25 °C, mg/l A/	Teoretiskt max. utlakat, mg/kg material, L/S 200	Totalhalt, Rapport Tabell 2, mg/kg TS	Justerat teoretiskt tot utlakat, mg/kg, L/S 200	% utlakat av totalinnehåll
Naftalen	31	6200	86	86	100
Acenaftylen	3,9	780	36	36	100
Acenaften	3,8	760	61	61	100
Fluoren	1,9	380	228	228	100
Fenantren	1,1	220	932	220	24
Antracen	0,05	10	233	10	4,3
Fluoranten	0,26	52	782	52	6,6
Pyren	0,13	26	570	26	4,6
Benso(a)antracen*	0,011	2,2	222	2,2	0,99
Chrysen*/Trifenylen	0,002	0,4	361	0,4	0,11
Benso(b)fluoranten*	0,0015	0,3	353	0,3	0,085
Benso(k)fluoranten*	0,0008	0,16	174	0,16	0,092
Benso(a)pyren*	0,004	0,8	236	0,8	0,34
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0,062	12,4	228	12,4	5,4
Benso(g,h,i)perylen	0,0003	0,06	158	0,06	0,038
Dibenso(a,h)antracen*	0,0005	0,1	42	0,1	0,24
Σ cancer. PAH (* ovan)	0,082	16,4	1644	16,4	1,0
Σ övriga PAH	42,1	8428	3054	719	24
Σ 16PAH	42,2	8444	4698	735	16

A/ Brown m. fl., 1999.

Kuva 9. Teorettinen laskettu arvio pitkän ajan liukoisuuksista. L/S 200 vastaa 100 vuotta epäorgaanisilla aineilla, näyte on bitumistabiloidusta terva-asfaltista.

Västerås–Cem-kokeissa huomattiin, että sementti nosti suotovesien pH:ta, jonka todettiin lisäävän muidenkin ei-tervasidonnaisten haitta-aineiden liukenemista. Bitumistabilointi pidätti haitta-aineet parhaiten. Tehdyistä koekappaleista ja liukoisuustesteistä enemmän liitteessä. /39, Liite 5/

Seuraavassa kappaleessa esitetyt stabiloinnit tehtiin bitumilla näiden tutkimusten tulosten johdosta.

6.4.2 Stabiloidun terva-asfaltin käyttökohteet ja käsittelymenetelmät

Stabilointi tehtiin kantavan kerroksen materiaaleille, joissa käytettiin tervaista-asfalttirouhetta. Pintakerrokset olivat joko uutta asfalttia tai kierrätysasfalttia, mutta eivät sisältäneet tervaa.

Tieosiot, joita on käsitelty tutkimuksissa ovat:

Tie 90, Skarped–Näsåker, etappi 1.

Pyörä- ja kävelyteitä Västeråsissa.

Tie 825, Saltea–Binböle.

Tie 348, Bredbyn–Kubbe–Solberg.

Alla olevassa kuvassa on taulukoitu PAH-yhdisteiden pitoisuuksia. Ne ovat tarkemmin eriteltynä kohdekohtaisissa selostuksissa.

Kohde	PAH-16 mg/kg		
	Kaivettu	Murskattu	Stabiloitu
Tie 825	341	135	118 ja 141
Tie 90	382	611	288 ja 624
Pyörä- ja kävelytiet Västerås	221	475	ei tiedossa
Tie 348, Kubbe-Solberg	2350	1052	n.1000

Kuva 10 PAH-yhdisteiden pitoisuuksien vaihtelua riippuen materiaalien koostumuksista.

Tässä työssä käydään läpi vain viimeinen listan kohde, Tie 348. Tämä siksi, koska sen stabiloidun massan pitoisuus on korkein, jolloin nähdään, onko stabilointi onnistunut kohteessa.

Tie 348 välillä Kubbe–Solberg käytettiin stabilointiin keskilämmintä stabilointia alennetulla lämpötilalla. /1, 31/

Pitoisuus kaivetun asfaltin kohdalla oli analysoitu porapaloista, joista oli otettu erilleen tervaiset kerrokset. Niiden pitoisuudet ylittivät 2300 mg/kg, mutta koska rakennekerrokset hyödynnettiin myös muilta osin, otettiin murskatuista, yhdistetyistä kerroksista näytteet ja tällöin PAH16-pitoisuudet olivat 1864 mg/kg.

Murskatun asfaltin PAH-yhdisteiden pitoisuus taulukossa edustaa välivarastoidusta massasta otettua näytettä. /1, 31/

Korkeammat PAH-pitoisuudet johtuvat käytetystä vanhasta materiaalista, jossa noin 81 % käytetystä sideaineesta oli kivihiilitervaa. /1, 31/

Tässä työkohteessa haluttiin minimoida tervan haju työstettäessä materiaaleja, joten puolilämmin stabilointi tehtiin n.50 asteen lämpötilassa. Tässä kohteessa massan lämmitykseen käytettiin höyryä. Normaalisti voisi käyttää 70–80 asteen lämpötilaa. /1, 31/

Tietoja kokeilusta:	
Toteutus aika	Syksyllä 2003 ja Kesällä 2004
Tien liikennemäärä	300-1000 ajoneuvoa päivässä, josta raskaan liikenteen osuus 11%
Tieosuuden pituus	2650m
Tien leveys	7m
Stabilointitapa	Puolilämmin käsittely kohteessa
Granula	0-27mm, jäljelläoleva bitumipitoisuus n. 2,8%
Lisättävä kiviaines	15% 0-16mm sepeli
Lisättävä sideaine	2,3% V6000
Lopullinen sideainepitoisuus	n. 5%
Kantava kerros	100kg/m ² puolilämpimällä menetelmällä
Kulutuserros	100 kg/m ² MJOG16, 3,8% sideainepitoisuus
PAH-pitoisuus ylöskaivetussa päällystemateriaalissa	2350 mg/kg 16-PAH
PAH-pitoisuus välivarastoidussa granulassa	1052 mg/kg 16-PAH

Kuva 11. Tie 348 tietoja stabiloinnista.

6.4.3 Jälkiseuranta

Kaikissa kohteissa tervaiset uusiokäyttömateriaalit käytettiin sidottuna kantavana kerroksena, jonka päälle levitettiin uutta asfalttia kulutuskerrokseksi.

Missään tieosioissa ei todettu PAH-yhdisteiden ylittävän vuonna 2011 voimassa olevia rajoituksia. Epäherkille maille raja-arvot olivat: Karsinogeeniset PAH-yhdisteet 7 mg/kg ja muut PAH-yhdisteet 40 mg/kg. /1/

Polyaromaattiset hiilivedyt mg/kg		
Kynnysarvo	Alempi ohjearvo	Ylempi ohjearvo
Antraseeni		
1	5 (e)	15 (e)
Bentso(a)antraseeni		
1	5 (e)	15 (e)
Bentso(a)pyreeni		
0,2	2 (t)	15 (e)
Bentso(k)fluoranteeni		
1	5 (e)	15 (e)
Fenantreeni		
1	5 (e)	15 (e)
Fluoranteeni		
1	5 (e)	15 (e)
Naftaleeni		
1	5 (e)	15 (e)
PAH16		
15	30 (e)	100 (e)

Kuva 12. Pima-asetuksen (214/2007) mukaiset raja-arvot.

Verrattuna Suomen pima-asetuksessa olevaan taulukkoon, jossa arvioidaan maaperän pilaantuneisuutta, eivät stabiloinnin jälkeisen seurannan tulosten PAH16-yhdisteet ylittäneet Suomen alempia ohje-arvoja Ruotsin projekteissa.

Näytteet otettiin päällystekerrosten alta ja päällystetyn tien vierestä päällystämättömästä alueesta. Suurimmassa osassa näytteitä PAH-yhdisteiden pitoisuudet alittivat myös herkimmille maa-alueille asetetut rajat ja osassa näytteitä ei havaittu PAH-yhdisteitä lainkaan. Niissä tapauksissa joissa PAH-yhdisteitä havaittiin, olivat todetut pitoisuudet noin puolen metrin syvyydestä lähellä kantavaa kerrosta. Syvyys suunnassa kulkeutumista ei havaittu mitattavia pitoisuuksia. Poikkeustapauksissa, joissa havaittiin PAH-pitoisuuksia syvemmissä kerroksissa, olivat näytteet, jotka otettiin näiden havaintokohtien yläpuolelta, puhtaita PAH-yhdisteistä. Selitys pitoisuuksille on luultavasti vanhoissa tervakerroksissa, joista oli ajan mittaan liuennut haitta-aineita maaperään. Ne PAH-yhdisteiden pitoisuudet, joita todettiin tutkittujen teiden alueilta, eivät noudattaneet mitään kaavaa tai kuviota löytymispaikan tai

näytteenottoajankohdan mukaan. Tästä päätellen todetut PAH-yhdisteet eivät olleet lienneet päällystemateriaaleista, vaan niiden esiintymät johtuivat muista syistä. PAH-yhdisteitä todettiin kaikista näytteistä yhteensä 14 %:ssa, joista 3 %:n pitoisuudet ylittivät herkille maa-alueille asetetut raja-arvot. Mitkään pitoisuudet eivät ylittäneet epäherkän maankäytön raja-arvoja. /1/

Pilaantumiselle herkkiä alueita ovat tärkeät pohjavesialueet ja niiden muodostuma-alueet, sekä luonnonsuojelualueet. Vähemmän herkkiä alueita ovat esimerkiksi teollisuus- ja varastoalueet.

Nämä pätevät aikavälillä 1996–2008. Maaperänäytteiden seuranta toteutettiin viimeiseksi vuonna 2007. Vesistä otettiin näytteitä vielä tämän jälkeen vuoteen 2011 asti.

Ruotsin raja-arvot herkkien ja epäherkkien maiden PAH-pitoisuuksille on jaettu nykyään kolmeen ryhmään riippuen 16-PAH-yhdisteen molekyylipainosta. /22/

PAH-L: Matala molekyylipaino	PAH-M: Keskipainava molekyylipaino	PAH-H: Korkea molekyylipaino
Naftaleeni Asenaftyleeni Asenafteeni	Fluoreeni Fenantreeni Antraseeni Fluoranteeni Pyreeni	Bentso(a)antraseeni Kryseiini Bentso(b)fluoranteeni Bentso(k)fluoranteeni Bentso(a)pyreeni Dibentso(ah)antraseeni Bentso(ghi)peryleeni Indeno(123cd)pyreeni

Kuva 13. PAH-yhdisteet ryhmitettynä molekyylipainon mukaan.

Yhdisteryhmä	Herkästi pilaantuva maa-alue	Ei-herkkä maa-alue	Perustuu
	mg/kg	mg/kg	
PAH-L	3	15	CCME, 1999I, RIVM, 2001e, Jensen and Svedrup, 2003 och ECB, 2003b
	(3)	(15)	
PAH-M	3	20	Jensen and Svedrup, 2003
	(10)	(40)	
PAH-H	1	10	RIVM, 2001e
	(2,5)	(10)	

Kuva 14. Naturvårdverket:n määrittämät raja-arvot PAH-yhdisteryhmille tutkimuksen aikana vuodesta 2008 ja nykyiset muuttuneet raja-arvot suluissa.

Maaperän tilaa tutkittiin tervamateriaalien hyödyntämisen jälkeen useita vuosia, ottamalla maaperänäytteitä tien kohdalta ja tien vierestä. Tutkimuksia varten otettiin ensin perustila vertailunäytteet, ennen kuin uusiokäytettävät materiaalit sijoitettiin. Pitoisuustulokset löytyvät tämän työn kohdasta **Liite 1**.

Yhdessäkään kohteessa ei havaittu epäherkän maankäytön raja-arvoja ylittäviä pitoisuuksia. Myöskään pohjavesinäytteissä ei havaittu Suomen pintavesiä koskevia raja-arvoja ylittäviä määriä PAH-yhdisteitä. Pohjavesien näytteenottotuloksia **Liite 4**. /1/

7 YHTEENVETO

Kivihiilitervaa sisältävän maan tai imeytyssepin lajittelu on osoittautunut ongelmalliseksi. Työmaiden aikataulut ovat usein tiukat, jolloin aikaa vievä purkujätteen lajittelu ei ole mahdollista niin tarkasti, kuin olisi suotavaa. Kestävä kehitys hakee nimenomaan ratkaisuja, jotka ovat toimivia ympäristölle, sekä mahdollistavat kannattavan liiketoiminnan. Tämä selvitys on osaltaan tehty sitä varten, että saadaan lisää tietoutta tulevissa korjaus- tai uudisrakennusurakoissa mahdollisten tervaimetyskerrosten olemassaolosta jo etukäteen ja näin osataan ennakoida ja suunnitella eri työvaiheet sopiviksi, jotta vältetään joko purkamasta kivihiilitervaisia kerroksia tai pystytään tarvittaessa purkamaan ne niin, että mahdollisimman pieni osuus puhdasta purkujätettä sekoittuu pilaantuneeseen materiaaliin. Tällä pyritään minimoimaan kustannuksia ja ympäristövaikutuksia.

Tervaimetyskerrosten hyödyntäminen rakentamisessa vähentäisi negatiivisia ympäristövaikutuksia, sillä materiaaleja ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja loppukäsittelyyn. Korkeita haitta-ainepitoisuuksia sisältäviä tervaisia materiaaleja loppukäsittellään harvoissa paikoissa Suomessa, sillä yleensä ne poltetaan korkeissa lämpötiloissa PAH-yhdisteiden poistamiseksi. Kaikilla jätelaitoksilla ei ole luvan mukaisia laitteita poltto varten, sillä niiden rakentaminen on kallista ja itse käsittely kuluttaa paljon energiaa. Tämä lisää myös puhdistettavia polttoaasupäästöjä. Ainoa Suomessa oleva korkealämpöpolttokattila on Fortum Riihimäellä. Yleensä tervaiset materiaalit stabiloidaan, jotta ne kelpaavat kaatopaikoille loppusijoitettavaksi. /32/

On todettu, että PAH-päästöt saadaan pienemmän stabiloimalla bitumilla ja sementillä, tai vain toisella näistä. Stabilointimateriaaleista suositeltavin on bitumivaaho tai bitumiemulsio, sillä sementti lisää alkalisuutta, joka korreloi suoraan DOC (Dissolved Organic Carbon)- päästöjen kanssa. Tämä puolestaan lisäsi PAH-yhdisteiden, kuin myös muiden ei tervasidonnaisten aineiden liukenevuutta. Näiden kahden stabilointiaineen suhteutuksia on tutkittu mm.

Ruotsissa ja Uudessa Seelannissa (jonka tutkimukset pohjautuivat tässä työssä esiteltyihin Ruotsin tutkimuksiin) /4/.

7.1 Alueiden ennakkotutkinta

Ohjeistus päällystysten purkamiseen on selkeä, silloin kun tiedetään tarkalleen tervaimetyskerrosten olemassaolosta ja sijainnista.

Jos tiedossa on, että tervaisia kerroksia on työmaalla, on helppo suunnitella purkaminen vaiheittaiseksi. Lentoasemalla on käytetty ainoastaan tervaimetytys sepeliä rakenteissa heti päällysteen alla.

Ennakkotutkimukset ennen rakentamisen aloittamista ovat keino selvittää tervaimetyskerroksen olemassaolo ja millä syvyydellä se sijaitsee. Koepalojen poraaminen päällystekerrosten paksuudelta riittää pintakerrosten uusintojen kohdalla, mutta jos tiedossa on syvempien kaivantojen tekemistä, on tarpeen tutkia maaperän tilaa syvemältä. Tämä on yksi keino saada tietoon mahdolliset pilaantuneet kerrokset, joiden käsittelyn suunnittelu voidaan aloittaa jo ennen varsinaisen työmaan alkamista. /10/

Esimerkiksi asfalttikerrosten jyrsinät voidaan rajoittaa tiettyyn syvyyteen ja näin kuoria kerros kerrokselta pois puhtaat asfalttirouheet. Se, onko aikaa ja mahdollisuutta tehdä työtä näin tarkasti on eri asia. Tarkkarajainen purkaminen vaatii aikaa, joka vaikuttaa kustannuksiin.

7.2 Löytyneiden tervaimetyskerrosten käsittelyvaihtoehdot

Asfalttirouhetta joka sisältää kivihiilitervaa ei saa käyttää uudestaan kuumamenetelmillä, sillä kuumennettaessa lisääntyvät PAH-päästöt merkittävästi. Sopivin käytettävä metodi on kylmämenetelmä. /10/

Myös keskilämmintä stabilointimenetelmää on käytetty Ruotsissa, jolloin uudelleenkäytettävä massa lämmitetään 50–80 asteiseksi. Tämä pienentää materiaalin tyhjätilaa ja voidaan käyttää pehmeämpää sideainetta sisältävää materiaalia hyödyksi. Menetelmästä todetaan myös, että sitä voi käyttää aiemmin

kylmä- ja lämpökäsitellyille materiaaleille. Tätä menetelmää käytettäessä lisättävä sideaine tulisi olla pehmeää bitumia. /30/

Kylmästabilointi voidaan tehdä sekoitinjyrsimellä in situ tai on site, jos käytössä on erillinen sekoitin, jolloin jyrsittäessä vanhoja kerroksia, jyrsinrouheeseen sekoitetaan samalla stabilointimateriaalit ja se levitetään samalla jyrsintäkohteeseen. Toinen vaihtoehto on ex situ, kaivaa tervaimetyysmateriaali ylös maasta ja viedä se väliavarastointipaikkaan, josta se voidaan syöttää murskaimen läpi ja kuljettaa käyttökohteeseen, jossa se edelleen kylmästabiloidaan paikalleen. Kylmämenetelmää käytettäessä sekoitettava sideaine on Ruotsissa ollut bitumiemulsiota tai vaahtobitumia. Pehmeää bitumia voidaan myös käyttää. /30/

Tervaista materiaalia ei voi sijoittaa kulutuskerrokseksi pölyyntymisriskin vuoksi, vaan tiiviin kulutuskerroksen alle sidottuna. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi huoltotiet, joissa ei välttämättä ole putkistoja tien alla. Ne ovat helppoja käyttökohteita stabilointia ajatellen. Materiaalia joudutaan luultavasti väliavarastoimaan, jos käyttökohteet eivät ole samoja, kuin purkukohteet. Kylmästabiloinnissa ohjeistettiin väliavarastoimaan purettu uudelleenkäytettävä tiemateriaali, sillä sen murskaaminen ja sekoittaminen oli tärkeä työvaihe, jotta materiaali olisi mahdollisimman homogenoitunutta ja kiviaineksen pinta saadaan mahdollisimman tarttuvaksi. /30/

Kylmästabilointi Ruotsin kokeiden mukaan toteutuu parhaiten vaahtobitumin avulla. Bitumiemulsio, jota on myös käytetty stabilointiin, täytyy koostua melko pehmeästä bitumista muotoiltavuuden takia, kun taas vaahtobitumissa voidaan käyttää kovempaa bitumia, joka parantaa sitovuutta ja stabiiliutta. Sen jälkiseurantakokeissa on havaittu PAH-yhdisteiden liukenevan vähemmän. /19/

7.3 Väliavarastointi

Tervakerrokset tulee väliavarastoida niin, että ne ovat tiiviin päällystetyn kerroksen päällä ja mieluiten peitettynä. Lentoasemalla peittämistä kankaalla ei turvallisuusriskien vuoksi suositella.

Jos tiedetään, että materiaalia tarvitsee välivarastoida, on suositeltavaa irrottaa PAH-yhdisteitä sisältävät kerrokset ennemmin isoina paloina irti. Tämä vähentää kaikkien välivarastoinnin työvaiheiden kohdalla mahdollista pölyntymistä ja materiaalin leviämistä ympäristöön. Lisäksi mitä isompi kappalekoko, niin sitä pienempi reaktiivinen pinta, jolloin sateen vaikutus haitta-aineiden liukenevuuteen vähenee. Toisaalta lentoaseman alueella käytetään usein jyrshintämenetelmää, jolloin pölyntymistä voi hallita kastelemalla pintoja jyrshittäessä. Pölyntyminen ei myöskään vaikuta suuresti, sillä kentillä tuulee aina jonkin verran, jolloin pölypilviä ei pääse muodostumaan/19/

Välivarastoitua tervakerrosta voidaan välivarastoida ennen käyttöä korkeintaan kolme vuotta Suomen lainsäädännön mukaan.

Ruotsin E4-moottoritien kunnostuksessa välivarastoitu tervamateriaali valmisteltiin uudelleenkäyttöön juuri ennen sen sijoittamista tierakenteeseen. Siihen sekoitettiin vaahtobitumi, sekä tartukkeena amiini-pohjaista ainetta. Raportissa todettiin valmistellun materiaalin säilyvän hyvänä noin kuukauden. Suositus oli, että seuraava kerros sijoitetaan käytetyn uusiotervamassan päälle mahdollisimman pian, jotta estetään mahdollisten sateiden tunkeutuminen stabiloituun kerrokseen. /19/

Välivarastointikohteelle täytyy tehdä oma välivarastointisuunnitelmansa ja jos varastoitava materiaali on tervaista, tulee suotovesien haitta-ainepitoisuuksia tarkkailla ja suotovedet kerätä talteen jatkokäsiteltäväksi.

7.4 Sijoituskohteet

Sijoituskohteet stabiloidulle massalle ovat suositusten mukaan tiiviin kulutuskerroksen alla, jolloin sadevesi ei pääse suotaantumaan suoraan stabiiliin kerrokseen ja riski haitta-aineiden liukenemiseen pienenee. Stabiloitu massa tulee myös sijoittaa niin, ettei se sijaitse pohjavesialueilla tai mahdollisilla tulvariskialueilla. Helsinki-Vantaan lentoaseman alueelta on ympäristölupia varten tutkittu pohjavesien virtausalueet ja vesien kertymäalueet, sekä Päijännetunnelin vaikutusalue. Ehdotuksena on sijoittaa stabiilia materiaalia

niiden ulkopuolelle jääville alueille huoltoteiden tukikerroksiksi ja mahdollisten välivarastointipaikkojen tukikerroksiksi. Välivarastopaikoille alueella voi tulla tarvetta rakentamisen yhteydessä, sillä alueella on riski löytää esimerkiksi erilaisia lentokoneen jäänestoon käytettyjen aineiden pilaamia maita, sekä vanhoja polttoainejäämiä tai huoltorakennusten kohdilta eri kemikaalijäämiä. Välivarastointiin käytettäviä alueita voi käyttää myös lumenkeräyskenttänä tarvittaessa. Myös paikoitusalueet voivat olla hyviä kohteita tervamateriaalin hyödyntämiselle.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä on hyödynnetty laajoja tutkimuksia, joita on teetetty useassa eri maassa paikallisen hallinnon ympäristöelinten toimesta, jolloin tutkimustulokset ovat luotettavia. Yhteenvedona voi todeta kivihiilitervan hyödyntämisen olevan suositeltava toimenpide, kun ajatellaan sen purkamisesta, kuljetuksesta, mahdollisesta välivarastoinnista ja loppukäsittelystä koituvia kustannuksia ja ympäristövaikutuksia kuljetusten hiilidioksidipäästöjen ja raaka-aineiden kulutuksen kannalta. Helsinki-Vantaan lentoaseman ympäristö on hyvä käyttökohde stabiloiduille massoille, sillä sitä ei ole kaavoitettu asuinalueeksi, jolloin ihmisten terveyteen kohdistuvaa riskiä ei ole ja ympäristöön kohdistuva riski on pieni, kun käyttökohteet pidetään turvallisen etäällä pohjaveden muodostumisalueista, sekä mahdollisista tulvariskialueista. Lentoaseman alue on hyvin tutkittua ja tarkkaan kartoitettua aluetta, sillä sitä varten hankitut ympäristöluvut ovat vaatineet huolellista paneutumista ympäristön tilaan ja mahdollisten pilaantumista aiheuttavien riskitekijöiden arviointiin.

Vaikka tervapäällysteisen tien purkujäte luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi, sitä voidaan hyödyntää kylmästabiloimalla. Stabiloinnissa poistetaan jätteen vaaraominaisuus, jolloin siitä tulee hyödynnettävä tuote. Tutkimuksissa on osoitettu tällaisen hyödyntämisprosessin tuloksia jälkiseurannan kautta ja ne ovat tukeneet hyödyntämistä. Jälkiseurannassa on todettu stabiilin tervapäällystekerroksen nostavan tien käyttöikä ja lisäävän kantavuutta paremmin, kuin vertailuna normaalisti tienpohjana käytettävä sitomaton kalliomurske. /1/

Kylmästabiloinnin vaatimaa ammattitaitoa ja kalustoa löytyy Suomesta. Suomessa ei ole stabiloitu kivihiilitervaisia materiaaleja, paitsi Ahvenanmaalla, mutta muita pilaantuneita asfalttirouheita kylläkin.

Jos kivihiilitervaa sisältävä materiaali stabiloidaan oikein, siitä todetusti liukenee veteen tai maaperään merkityksettömiä määriä PAH-yhdisteitä. Asia on laajasti tutkittu mm. Ruotsin liikenneviraston eli Trafikverket:n toimesta (aiemmin Vägverket).

Myös tutkimukset Lentoaseman alueelta tukevat hyödyntämistä ajatellen materiaalin käyttöä, sillä perustutkimukset näytteenoton yhteydessä eivät osoittaneet vanhojen tervakerrosten sisältämien haitta-aineiden levinneen vuosikymmenten aikana ympäristöön.

Bitumilla stabilointi parantaa aineiden pysyvyyttä rakenteessa, jolloin materiaali on käyttökelpoista rakentamiseen. VTT:n tiedotteita 2245:ssä todetaan seuraavaa: ”Pilaantuneet maamassat tulee ensisijaisesti käsitellä siten, ettei niitä tarvitse poistaa kohteesta. Mikäli tämä ei ole mahdollista, käsitellään pilaantuneet maamassat hyötykäyttöön soveltuviksi.”/14/

Lentoaseman alue on sopiva ympäristö Suomessa uuden materiaalin hyödyntämiskokeiluun. Lentoasema on suljettu ympäristö ja siellä työskenteleviä tahoja valvotaan tarkemmin kuin kenties yleisillä alueilla tai yksityisillä tahoilla suoritettavilla hankkeilla. Valvonnan tehokkuus lisää työohjeiden ja oikeiden teknikoiden käytön varmuutta ja pienentää riskiä väärin työmenetelmien käyttöön.

Kivihiilitervaa sisältävää ainesta on hyötykäytetty onnistuneesti muualla, niin että ympäristö- ja terveysriskit ovat todettu merkityksettömiksi, joten tutkimustulosten hyödyntäminen Suomessa olisi myös ympäristötaloudellista. /1/

Vanhan päällysteen uudelleen käyttö olisi luontoa säästävää, sillä sen kiviaines korvaa neitseellisen kiviaineksen Tämä vähentää tarvetta louhia kallioita tai ottaa soraa harjuista. Stabiloitu tervasepeli omaa paremman kantavuuden, kuin sitomaton kantava kerros, jolloin sitä riittää ohuempi kerros tiellä ja näin ollen saadaan korvattua suurempi määrä soraa tai kalliomursketta. Kalliomurske ei ole uusiutuva luonnonvara, jolloin sen käyttöä on mahdollisuuksien mukaan parempi korvata kierrätetyllä kiviaineksella. Sora on kallis rakennusmateriaali ja sen lähteet ovat mm. veden kierrolle arvokkaita harjuja. Suomen harjut suodattavat juomavesiämme ja niiden käyttö rakentamiseen siirtää veden puhdistuksen laitoksille, joka lisää energiankulutusta ja näin ollen päästöjä.

LÄHTEET

/1/ Ruotsin Liikenneviraston verkkosivut. Viitattu 9.12.2016. Miljöuppföljningar av återvunnen tjärasfalt 2001-2011. <https://trafikverket.ineko.se/en/tv000209>

/2/ Ruotsin Liikenneviraston verkkosivut. Viitattu 16.12.2016.
<http://www.trafikverket.se/om-oss/kontakt/Om-webbplatsen/Andra-sprak/Suomi-Finska/Tietoa-Liikennelaitoksesta/>

/3/ Janne Vuori. Asfaltin laatuvaatimukset lentokentällä. Liite työselityksiin. 2015.

/4/ Reconstruction of coal tar- contaminated roads by in- situ recycling using foamed bitumen stabilisation. Uuden- Seelannin liikenneviraston verkkosivut. Viitattu 10.1.2017.

<https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/research/reports/388/docs/388.pdf>

/5/ <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Teollisuus--ja-kuluttajakemikaalit/REACH---asetus/>

/6/ ASKO Asfalttialan koulutusohjelma, asfalttinormit ja standardit. Pank Ry:n verkkosivut. Viitattu 21.11.2016. <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/muut-julkaisut/opinnaytteet-ja-muut-selvitykset/asko-asfalttialan-koulutusohjelma>

/7/ Rakennusteollisuus verkkosivut. Viitattu 21.11.2016.
<https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/ajankohtaista/esitysaineistot/ymparistopaiva-23.10.2015/asfaltti--monikayttoinen-ja-uudistuva.pdf>

/8/ Christian Tallsten. Rullaustie Z Maaperänäytteenotto Tutkimusraportti. 9.5.2014.

/9/ Opetushallituksen verkkosivusto. Viitattu 15.12.2016.
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat.html>

/10/ Svenska kommunförbundet.2004. På väg igen. Stockholm. EO Print, Stockholm- Hammarby.

/11/ Työterveyslaitoksen verkkosivut. Viitattu 21.11.2016.
http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/PAH-yhdisteet_ja_niiden_esiintyminen/Sivut/default.aspx

/12/ Tietoa Finaviasta. Johto, hallinto ja liiketoimet. Finavia Oyj:n verkkosivut. Viitattu 22.11.2016. <http://www.finavia.fi/fi/tietoa-finaviasta/johto-ja-hallinto/>

/13/ Adeptus Environmental Consultants verkkosivut. Viitattu 22.11.2016.
<http://adeptus.co.uk/reuse-road-planings-containing-coal-tar-pahs-permit/>

/14/ VTT tiedotteita 2245. Viitattu 28.1.2017.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2245.pdf>

- /15/ Valtionneuvoston asetus 403/2009.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090403>
- /16/ Valtionneuvoston asetus 591/2006
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>
- /17/ Statens geotekniska institut (SGI) julkaisu varia 542. Ytutlakning av återvunnen asfalt innehållande stenkolstjära. 2004.
<http://www.swedgeo.se/globalassets/publikationer/varia/pdf/sgi-v542.pdf>
- /18/ Vägverket:n julkaisu 90:2004. Hantering av tjärhaltiga beläggningar.
<http://www.asfaltskolan.se/res/PDF/vvpublikation20049hanteringtjrhaltbelggn.pdf>
- /19/ VTI:n julkaisuja 9-2007. Återvinning av tjärasfalt och krossad asfaltbeläggning vid motorvägsbygget på E4 via Markaryd. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670345/FULLTEXT01.pdf>
- /20/ Jätelaki. 17.6.2011. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>
- /21/ Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2016.
http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74873/OH_1_2016.pdf?sequence=1
- /22/ Naturvårdsverket Rapport 5976. 2009. Riktvärden för förorenad mark
Modellbeskrivning och vägledning
<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5976-7.pdf?pid=3574>
- /23/ Re-Road verkkosivut. Viitattu 20.1.2017.
file:///C:/Users/305424/Downloads/Re-Road_Test_Methods_for_Environmental_Characterization_of_Reclaimed_Asphalt_D1.6_Enell.pdf
- /24/ Kettunen Henri. Silikonikumisen passiivisen näytteenottimen käyttö PAH-yhdisteiden monitorointiin pohjavedestä. 2016.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/111323/Kettunen_Henri.pdf?sequence=1
- /25/ Helsinki- Vantaan lentoaseman ympäristölupa koskien eräiden jätteiden hyödyntämistä, välivarastointia ja murskausta. 2012. Aluehallintoviraston verkkosivut. Viitattu 28.11.2016.
http://www.avi.fi/documents/10191/56816/esavi_paatos_57_2012_1-2012-03-27.pdf
- /26/ Valtionneuvoston asetus 202/2006
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060202#Pidm1964992>
- /27/ Lemminkäisen verkkosivut. Viitattu 13.12.2016.
<http://www.lemminkainen.fi/lemminkainen/yritys/>

- /28/ Valtioneuvoston asetus 1022/2006.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20061022#P5>
- /29/ Direct-Mat verkkosivusto. Viitattu 15.1.2017. <http://direct-mat.fehrl.org/?m=1>
- /30/ VTI notat 12-2002. Miljöpåverkan vid kall och halvvarm återvinning av tjärhaltiga beläggningssmassor. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670068/FULLTEXT01.pdf>
- /31/ VTI notat 45-2002. Kall och halvvarm återvinning av tjärhaltiga beläggningssmassor- påverkan på omgivningsmiljö. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670132/FULLTEXT01.pdf>
- /32/ EKOKEM verkkosivusto. Viitattu 26.1.2017.
<http://www.ekokem.com/fi/tietoja-meista/tietoja-toiminnastamme/prosessikuvaukset/>
- /33/ Ympäristöministeriön raportteja 11/2011. Maanrakentamisen uusiomateriaalit. Ympäristökelpoisuuden osoittaminen ja tuotteistaminen. UUMA-projekti. 2011.
<http://www.uuma2.fi/sites/default/files/Maarakentamisen%20uusiomateriaalit%20%E2%80%93%20YMa11%20%E2%80%93%202011.pdf>
- /34/ Euroopan yhteisöjen komissio. 2007. Komission tiedonanto neuvostolle ja euroopan parlamentille. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0059:FIN:FI:PDF>
- /35/ Impact test equipmentin verkkosivusto. Viitattu 17.2.2017.
<http://www.impact-test.co.uk/products/5280-pak-marker-spray-can-400ml/>
- /36/ The Association of Directors of Environment, Economy, Planning and Transport (ADEPT). <https://www.adeptnet.org.uk/documents/managing-reclaimed-asphalt-v2016>
- /37/ Ympäristöohjeita 1/2014.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42681/YO_2014.pdf?sequence
- /38/ Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf?sequence=1
- /39/ Statens geotekniska institut (SGI) julkaisu varia 522. Ytutlakning av återvunnen asfalt innehållande stenkolstjära. 2002.
<http://www.swedgeo.se/globalassets/publikationer/varia/pdf/sgi-v522.pdf>
- /40/ Anses (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety) raportti 2008-SA-0410.Sivu 55.
<https://www.anses.fr/fr/system/files/CHIM2008sa0410Ra.pdf>

LIITE 1

Stabiloitujen materiaalien hyödyntämisen seuranta Ruotsissa.

Tie 348 Kubbe- Solberg

Tabell 10-26 Referensprovtagning och analys av PAH i fast material, sektion 9/990, 12/000 och 12/050, år 2002 och 2003.

Enhet mg/kg	Prov tagna i vägen					Bredvid vägen	
	2002	2002	2002	2003	2003	2002	2002
Sektion 9/990							
Nivå, cm	53	90	125			50	80
Prov, nr	3:3	3:4	3:5			3:1	3:2
PAH, summa cancerogena	0,80 ^a	<0,15	<0,15			<0,15	<0,15
PAH, summa övriga	<2; ≥1,2	<2	<2			<2	<2
sektion 12/000	2002	2002	2002	2003	2003	2002	
Nivå, cm	50	60	102	110	120	60	
Prov, nr	4:2	4:3	4:4	4:5	4:6	4:1	
PAH, summa cancerogena	0,17	0,15	3,3	<0,2	<0,2	<0,15	
PAH, summa övriga	<2; ≥0,09	<2	6,7	<0,2	<0,2	<2	
Sektion 12/050							2002
Nivå, cm							50
Prov, nr							5:1
PAH, summa cancerogena							0,15 ^b
PAH, summa övriga							<2 ^c

^aSe bilaga 5 till rapport 2001-2004 (Jacobson och Larsson, 2005).

^bBenso(b)fluoranten 0,053 mg/kg TS, benso(k)fluoranten 0,047 mg/kg TS, krysen/trifenyleen 0,050 mg/kg TS.

^cAlla enskilda PAH under detektionsgränsen på 0,03 mg/kg TS; bilaga 5.

Kuva 15. Vertailuarvot ennen tervamateriaalien sijoittamista. Tie 348

- Katso liite 5 raportista 2001-2004(Jacobson och Larsson, 2005)
- Bentso(b)fluoranteenia 0,053 mg/kg, Bentso(k)fluoranteenia 0,047 mg/kg, Kryseeni/Trifenyleeni 0,050 mg/kg.
- Kaikki yksittäiset PAH-yhdisteet alle määrittäysrajan 0,03 mg/kg. Ks.a)

Tabell 10-27 Referensprovtagning och analys av PAH i fast material, sektion 4/925, 6/500, 13/500 och 17/300, Kubbe-Solberg, 2003.

Enhet mg/kg TS	Prov tagna i vägen			Prov tagna vid sidan om vägen	
Sektion 4/925					
Nivå, cm	12	45	71	30	65
Prov, nr	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sektion 6/500					
Nivå, cm	17	40	80	55	65
Prov, nr	2:1	2:2	2:3	2:4	2:5
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sektion 13/500					
Nivå, cm	15	48	90	140	170
Prov, nr	3:1	3:2	3:3	3:4	3:5
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sektion 17/300					
Nivå, cm	20	49	78	95	115
Prov, nr	4:1	4:2	4:3	4:4	4:5
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Kuva 16. Vertailuarvot ennen tervamateriaalien sijoittamista. Tie 348.

Tabell 10-28 PAH-halt i fast material (mg/kg TS), sektion 12/000, 4/925, 6/500, 13/500, 17/300, Kubbe-Solberg, 2004.

Enhet mg/kg TS	Prov tagna i vägen			Prov tagna bredvid vägen	
	2004	2004	2004	2004	2004
Sektion 12/000					
Nivå, cm	20	30	40	40	60
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1,2
PAH, summa övriga	0,055	0,057	<0,2	<0,2	2,3
Sektion 4/925					
Nivå, cm	22	40	52	20	40
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	0,49	0,30
Sektion 6/500					
Nivå, cm	20	43	72	30	40
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	0,35	<0,2
PAH, summa övriga	0,17	<0,2	<0,2	1,9	<0,2
Sektion 13/500					
Nivå, cm	19	47	54	30	82
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sektion 17/300					
Nivå, cm	19	53	61	24	58
PAH, summa cancerogena	0,22	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	0,40	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Kuva 17. Seurantanäytteitä v. 2004. Tie 348.

Tabell 10-29 PAH-halt i fast material (mg/kg TS), sektion 12/000, 4/925, 6/500, 13/500, 17/300, Kubbe-Solberg, 2005.

Enhet mg/kg TS	Prov tagna i vägen			Prov tagna bredvid vägen	
	2005	2005	2005	2005	2005
Sektion 12/000					
Nivå, cm	24	36	40	25	42
PAH, summa cancerogena	0,21	1,5	0,17	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	0,65	2,6	0,33	<0,2	<0,2
Sektion 4/925					
Nivå, cm	30	60	75	26	52
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sektion 6/500					
Nivå, cm	25	58	72	30	70
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sektion 13/500					
Nivå, cm	25	70	56	33	81
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sektion 17/300					
Nivå, cm	30	44	80	33	68
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	0,24	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Kuva 18. Seurantanäytteitä v.2005. Tie 348

Tabell 10-30 PAH-halt i fast material (mg/kg TS), sektion 12/000, 4/925, 6/500, 13/500, 17/300, Kubbe-Solberg, 2007.

Enhet mg/kg TS	Prov tagna i vägen			Prov tagna bredvid vägen	
	2007	2007	2007	2007	2007
Sektion 12/000					
Nivå, cm	28	37	22	20	50
PAH, summa cancerogena	<0,53	<0,80	<0,80	4,4	0,10
PAH, summa övriga	0,069	<0,45	<0,45	5,2	0,11
Sektion 4/925					
Nivå, cm	25	50	75	30	60
PAH, summa cancerogena	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035
PAH, summa övriga	<0,045	<0,045	<0,045	<0,045	<0,045
Sektion 6/500					
Nivå, cm	23	65	110	30	60
PAH, summa cancerogena	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035
PAH, summa övriga	<0,045	<0,045	<0,045	<0,045	<0,045
Sektion 13/500					
Nivå, cm	25	50	80	30	60
PAH, summa cancerogena	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035
PAH, summa övriga	<0,045	<0,045	<0,045	<0,045	<0,045
Sektion 17/300					
Nivå, cm	25	45	80	30	65
PAH, summa cancerogena	<0,035	<0,035	<0,035	<0,35	<0,035
PAH, summa övriga	<0,045	<0,045	<0,045	<0,45	<0,045

Kuva 19. Seurantänäytteitä Tie 348

LIITE 2

Ohjeistus UV- valotestin suoritusta varten.

Työvaiheet:

1. Käytä valkoista, liuotinpohjaista spraymaalia. Suihkuta noin 2cm levyinen viiva. Käytä apuna kartonkisapluunaa, jotta saat selkeät rajat viivalle. Viivan selkeä rajaus helpottaa värierojen tunnistamista. Näytteen tulee olla kuiva, sillä kostea pinta vaikeuttaa tulosten tulkintaa.
2. Pimennä koetilaa niin paljon kuin mahdollista ja valaise näytettä UV-lampulla. Noin 30 sekunnin kuluessa värin suihkutuksesta näkyy fluoresoiva keltavihreä valo, jos näyte sisältää PAH-yhdisteitä. Värimuutos johtuu PAH-yhdisteiden sisältämän keltaisen värin irtoamisesta liuottimen ansiosta ja se näkyy sekoittuessaan valkoiseen maaliin.
3. Tervaisista massoista näkee heti keltavihreän värimuutoksen. Mitä suurempi määrä kivihiilitervaa näytteessä on, sitä intensiivisempi väri on. Asfalttinäyte, joka sisältää bitumia on sinisävyinen ja erottuu selvästi kivihiilitervan väristä.

LIITE 3

Testimenetelmäluettelo

NEN 7345:1995 Leaching Characteristics Of Solid Earthy And Stony Building And Waste Materials - Leaching Tests - Determination Of The Leaching Of Inorganic Components From Buildings And Monolithic Waste Materials With The Diffusion Test. Hollantilainen standardi diffuusioliukoisuustestille.

CEN/TC351 Draft Generic horizontal up-flow percolation test for determination of the release of substances from granular construction product. WG 1 N 162. N 0272. 2010-01-03.

SIS-CEN ISO/TS 21268-1:2009 "Soil quality- leaching procedures for subsequent chemical and ecotoxicological testing of soil and soil materials- Part 1: Batch test using a liquid to soil ratio of 2l/kg dry matter (ISO/TS21268-1:2007)".

HR-E Gamst, J., Kjeldsen, P., Christensen, T.H.: Determination of solute organic concentration in contaminated soils using a chemical-equilibrium soil column system. Water Air and Soil Pollution, 183, 2007, pp.377-389.

LIITE 4

Vesistötutkimuksia tiealueista, joissa hyödynnettiin tervamateriaaleja.

Ensin otettiin vertailunäytteet, joissa tutkittiin veden nykytila. Seuranta tehtiin vuoteen 2011 asti. Jos Mikrotox- testi suoritettiin, tuloksia verrattiin määrittämissarvoihin, joita seuraavassa kuvassa.

Tie 348

Ensimmäisissä kuvissa vesinäytteet pohjavesistä ennen terva-asfalttien sijoitusta kohteeseen.

Tabell 10-31 Analys av akut-toxicitet (Microtox) i grundvatten från utvalda grundvattenrör, naturkällor och grävda brunnar i närheten av väg 348 Kubbe – Solberg 2003 (innan återvinningsmassor lades ut).

Prov	Datum	EC; %	Minuter	Respons, vol-%
GV-rör 2:1	2003-10-24	50	5	>90
			15	>90
Seltjärn 1:66	2003-08-15	50	5	>90
			15	>90
Seltjärn 1:57	2003-08-15	50	5	>90
			15	>90
Selsmo 1:23	2003-08-15	50	5	>90
			15	>90
Åbosjö 1:12	2003-08-15	50	5	>90
			15	>90
Gv-rör 3:3	2003-10-24	50	5	>90
			15	>90

Tabell 10-32 PAH-halt i grundvatten innan återvinningsmassor lades ut, Kubbe-Solberg, 2003.

Enhet µg/l	Gv-rör 2:1 nedströms vägen	Gv-rör 2:3 uppströms vägen	Gv-rör 3:3 nedströms vägen	Gv-rör 3:5 uppströms vägen
Datum	2003-10-24	2003-10-24	2003-10-24	2003-10-24
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1	<1 ^a

^afenantren detekterades i låg halt (0,01 µg/l).

Kuva 20. Mitattuja PAH- pitoisuuksia alemmassa taulukossa ennen tervamateriaalien hyödyntämistä. Ylemmässä Mikrotox- testin tuloksia.

Tabell 10-33 PAH-halt i grundvatten från brunnar samt vatten från naturkälla, innan återvinningsmassor lades ut, Kubbe-Solberg, 2003.

Enhet µg/l	Seltjärn 1:57 Natur- källa	Seltjärn 1:66 Grävd brunn	Seltjärn 1:46/6:1 Grävd brunn	Selsmo 1:23 Grävd brunn
Datum	2003-08-28	2003-08-28	2003-09-11	2003-08-28
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<1	<1	<0,2
Datum	2003-10-24			
PAH, summa cancerogena	<0,2 ^a			
PAH, summa övriga	<1 ^b			

^aBenso(b)fluoranten 0,03 µg/l, indeno(1,2,3-cd)pyren 0,01 µg/l.

^bKrysen/trifenylen 0,02 µg/l, benso(g,h,i)perylen 0,01 µg/l, fenantren 0,02 µg/l, fluoranten 0,03 µg/l, pyren 0,02 µg/l.

Tabell 10-34 PAH-halt i grundvatten från brunnar, innan återvinningsmassor lades ut, Kubbe-Solberg, 2003.

Enhet µg/l	Selsta 1:6 Grävd brunn	Selsta 1:9 Grävd brunn	Åbosjö 1:43 Grävd brunn	Åbosjö 1:12 Grävd brunn
Datum	2003-09-11	2003-09-11	2003-09-11	2003-09-11
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1	<1

Kuva 21. Mitattuja PAH- yhdisteiden pitoisuuksia ennen tervamassojen hyödyntämistä kohteessa.

Tabell 10-35 Uppföljning av PAH-halt i grundvatten efter det att återvinningsmassor lagts ut, Kubbe-Solberg, 2004-2011.

Enhet µg/l	Gv-rör 2:1/2:2 nedströms vägen	Gv-rör 2:3 uppströms vägen	Gv-rör 3:3 nedströms vägen	Gv-rör 3:5 uppströms vägen
Datum	2004-06-03^a	2004-06-03		
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2		
PAH, summa övriga	<1 ^b	<1 ^c		
Datum	2004-09-14^d	2004-09-14	2004-09-14	2004-09-14
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1	<1
Datum	2005-09-05^a	2005-09-05	2005-09-05	2005-09-05
PAH, summa cancerogena	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PAH, summa övriga	<1	<1	<1	<1
Datum	2006-09-06	2006-09-06	2006-09-06	2006-09-06
PAH, summa cancerogena	EA ^f	EA ^f	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	EA ^f	EA ^f	<1	<1
Datum	2007-09-19^a	2007-09-19	2007-09-19	2007-09-19
PAH, summa cancerogena	<0,07	<0,07	<0,07	<0,2
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
Datum	2008-09-24^a		2008-09-24	2008-09-24
PAH, summa cancerogena	<0,2		<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1		<1	<1
Datum	2009-09-29^a		2009-09-29	2009-09-29
PAH, summa cancerogena	<0,2		<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1		<1	<1
Datum	2010-09-21^a	2010-09-21	2010-09-21	2010-09-21
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1	<1
Datum	2011-10-06	2011-10-06	2011-10-06	2011-10-06
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1	<1

^asamlingsprov från både gv-rör 2:1 och 2:2

^bpyren 0,012 µg/l

^cpyren 0,011 µg/l

^dprov från enbart gv-rör 2:1

^eprov från enbart gv-rör 2:2

^fEA=ej analyserat, gv-röret torrt.

Kuva 22. Seurantatuloksia vuoteen 2011 asti.

Tabell 10-36 Uppföljning av PAH-halt i grundvatten från brunnar samt vatten från naturkälla, efter det att återvinningsmassor lagts ut, Kubbe-Solberg, 2004.

	Seltjärn 1:57	Seltjärn 1:66	Seltjärn 1:46/6:1	Selsmo 1:23	Selsmo 1:24
Enhet µg/l	Natur- källa	Grävd brunn	Grävd brunn	Grävd brunn	Natur- källa
Datum	2004-06-03	2004-06-03	2004-09-14	2004-02-09	2004-02-09
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1 ^a	<1 ^a	<1	<1	<1
Datum	2004-09-14	2004-09-14		2004-06-03	
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2		<0,2	
PAH, summa övriga	<1	<1		<1 ^c	
Datum	2005-05-26			2004-09-14	
PAH, summa cancerogena	<0,2			<0,2	
PAH, summa övriga	<1 ^d			<1	
Datum	2005-09-05	2005-09-05		2005-09-05	
PAH, summa cancerogena	<0,1	<0,1		<0,1	
PAH, summa övriga	<1	<1		<1	
Datum	2006-09-06	2006-09-06		2006-09-06	
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2		<0,2	
PAH, summa övriga	<1	<1		<1	
Datum	2007-09-19	2007-09-19		2007-09-19	
PAH, summa cancerogena	<0,07	<0,07		<0,07	
PAH, summa övriga	<0,2	<0,2		<0,2	
Datum		2008-09-24		2008-09-24	
PAH, summa cancerogena		<0,2		<0,2	

Kuva 23. Seurantatuloksia vuoteen 2008 asti, loput tulokset seuraavassa kuvassa.

PAH, summa övriga		<1	<1
Datum	2009-09-30	2009-09-29	2009-09-30
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1
Datum	2010-09-21	2010-09-21	2010-09-21
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1
Datum	2011-10-06	2011-10-06	2011-10-06
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1

*pyren 0,012 µg/l

*pyren 0,011 µg/l

*pyren 0,013 µg/l

*fluoren 0,025 µg/l

Kuva 24. Seurantatuloksia (jatkoa edelliseen kuvaan) vuoteen 2011 asti.

Tabell 10-37 Uppföljning av PAH-halt i grundvatten från brunnar, efter det att återvinningsmassor lagts ut, Kubbe-Solberg.

Enhet µg/l	Selsta 1:6 Grävd brunn	Åbosjö 1:43 Grävd brunn	Åbosjö 1:12 Grävd brunn
Datum	2004-09-14	2004-09-14	2004-09-14
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1	<1
Datum			2005-09-05
PAH, summa cancerogena			<0,1
PAH, summa övriga			<1
Datum	2006-09-06		2006-09-06
PAH, summa cancerogena	<0,2 ^a		<0,2
PAH, summa övriga	<1 ^b		<1
Datum	2007-09-19		2007-09-19
PAH, summa cancerogena	<0,07		<0,07
PAH, summa övriga	<0,2		<0,2
Datum	2008-09-24		2008-09-24
PAH, summa cancerogena	<0,2		<0,2
PAH, summa övriga	<1		<1

Kuva 25. Seurantatuloksia vuoteen 2008 asti. Loput tulokset seuraavassa kuvassa.

Datum	2009-09-29	2009-09-29
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1
Datum	2010-09-21	2010-09-21
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1
Datum	2011-10-06	2011-10-06
PAH, summa cancerogena	<0,2	<0,2
PAH, summa övriga	<1	<1

*Två enskilda PAH detekterades (dibenso(a,h)antracen: 18 ng/l; indeno(1,2,3-cd)pyren: 14 ng/l).

*Ett enskilt PAH detekterades (benso(ghi)perylene: 18 ng/l).

Tabell 10-38 Analyserade halter av BTEX i två vattenprov från Selsmo, 2004.

BTEX	Selsmo 1:23	Selsmo 1:24
Enhet µg/l	Grävd brunn	Naturkälla
Datum	2004-02-09	2004-02-09
Bensen	<0,001	<0,001
Toluen	<0,006	<0,006
Etylbensen	<0,002	<0,002
Xylener	<0,02	<0,02

Kuva 26. Seurantatuloksia (jatkoa edelliseen kuvaan), vuoteen 2011 asti. Alempana eriteltyinä BTEX- yhdisteiden pitoisuudet vuodelta 2004 kahdesta näytteenottopisteestä.

Lopputulena kaikista vesinäytteistä voi sanoa, että stabiloiduista tervamateriaaleista ei ole liennut PAH-yhdisteitä merkityksellisiä määriä vesistöihin.

LIITE 5

Stabilointikokeita eri stabilointiaineilla.

Seuraavat kuvat on otettu raportista SGI varia 522, jossa on tarkemmin eriteltynä NEN 7345 määräyksen kulkua ja yksittäisten PAH- yhdisteiden liukoisuustuloksia. Tässä liitteessä on yhteenvedot näytteistä.

Näytteitä oli kolme kappaletta. Näytteet olivat nimeltään Västerås- Utan (V- Utan), Västerås- Cem (V- Cem) ja Västerås- Bi (V- Bi).

V- Utan ei sisältänyt stabilointiaineita. Siihen lisättiin ainoastaan 3 % vettä, kun se valmisteltiin näytteeksi. Se toimii vertailunäytteenä, josta voi seurata vanhan rakenteen liukoisuuksia ympäristöön.

V- Cem sisälsi stabilointiaineena sementtiä 2 % (Portlandinsementti) ja bitumia 3,5 %, sekä 3 % vettä. Emulsio oli 60 °C.

V- Bi sisälsi lisättynä stabilointiaineena 3,5 % bitumiemulsiota ja vettä 3 %. Emulsion lisäslämpötila oli 60 °C, muutoin materiaali oli huoneenlämpöistä.

Näytteet tiivistettiin ja niitä kuivatettiin korotetussa lämpötilassa (40 °C +/- 1 °C) 7 vuorokautta. V- Utan tyhjätila oli 20 %, V- Cem 10 % ja V- Bi 13 %.

MASSATYP PROV, NR nr	SKRYM- DENSITET g/cm³	KOMPAKT- DENSITET g/cm³	HÅLRUMS- HALT vol-%	DRAG- HÅLLFASTHET kPa
Utan tillsats, 1	2,071	2,520	17,8	-
2	2,023	-	19,7	-
3	1,934	-	23,3	-
Medelv:	2,009	2,520	20,3	-
Emulsion, 1	2,100	2,407	12,9	361
2	2,116	2,416	12,3	483
3	2,112	-	12,4	-
4	2,097	-	13,1	-
5	2,115	-	12,3	-
Medelv:	2,108	2,412	12,6	422
Emulsion + cement, 1	2,177	-	10,0	-
2	2,155	2,4185	10,9	557
3	2,184	-	9,7	618
4	2,175	-	10,1	536
5	2,170	-	10,3	-
Medelv:	2,172	2,412	10,2	570

Kuva 27. Kuvassa vasemmalta alkaen: Näytteen nimi, irtotiheys, tiivistyksen jälkeinen tiheys, tyhjätila, vetolujuus.

Liukoisuustestimenetelmänä käytettiin NEN 7345.

Tabell 2:3. Analyserade halter av PAH i enskilda lakvatten med Västerås-Utan.

Provnummer	1176	1177	1178	1179	1180	1191	1222	1224
Laktid, enskild laksekvens, dygn	0,25	0,75	1	2	4	8	16	32
Enhet på uppmätt halt	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Naftalen	2,4	5,2	6,9	0,021	0,041	0,23	0,16	0,011
Acenaftylen	0,28	0,58	0,76	0,36	0,67	0,96	0,73	0,064
Acenaften	0,81	2,0	2,8	3,0	4,7	6,5	7,6	0,026
Fluoren	2,9	7,5	11	1,7	18	15	8,6	0,074
Fenantren	9,4	19	31	0,13	22	6,5	1,4	0,043
Antracen	1,3	3,1	4,8	0,62	5,5	4,0	2,9	0,18
Fluoranten	2,5	6,3	9,4	12	14	13	11	0,39
Pyren	1,5	3,8	5,8	7,3	8,2	8,5	8,7	4,8
Benso(a)antracen*	0,29	0,71	1,1	1,3	1,6	1,0	0,75	0,059
Chrysen*/Trifenylen	0,24	0,56	0,9	1,0	1,2	0,86	0,89	0,22
Benso(b)fluoranten*	0,086	0,26	0,36	0,36	0,56	0,28	0,36	0,33
Benso(k)fluoranten*	0,022	0,064	0,094	0,088	0,14	0,09	0,11	0,047
Benso(a)pyren*	0,032	0,12	0,16	0,14	0,25	0,13	0,20	0,19
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0,022	0,084	0,1	0,082	0,18	0,044	0,066	0,074
Benso(g,h,i)perylene	0,011	0,045	0,053	0,039	0,087	0,033	0,057	0,058
Dibenso(a,h)antracen*	0,0037	0,015	0,015	0,014	0,032	0,0096	0,015	0,014
Summa cancerogena PAH (* ovan)	0,70	1,81	2,73	2,98	3,96	2,41	2,53	0,93
Summa övriga PAH	21	48	73	25	73	55	42	5,6
Summa 16PAH	22	49	75	28	77	57	44	6,6

Kuva 28. Analysoitu liukoisuus V- Utan.

Tabell 4:3. Analyserade halter av PAH i enskilda lakvatten med Västerås-Cem.

Provnummer	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1225	1263
Laktid enskild laksekvens, dygn	0,25	0,75	1	2	4	8	16	32
Enhet på uppmätt halt	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Naftalen	10	12	12	17	23	31	35	46
Acenaftylen	0,71	0,90	0,78	1,2	1,5	1,9	2,2	2,4
Acenaften	2,3	3,1	2,9	4,3	5,3	6,6	6,7	7,7
Fluoren	7,0	9,9	9,4	13	15	19	19	24
Fenantren	14	20	19	25	29	37	37	49
Antracen	1,8	2,8	2,9	4,4	5,2	6,3	6,4	6,9
Fluoranten	3,2	4,5	4,5	5,9	6,9	8,8	8,3	9,1
Pyren	1,8	2,6	2,7	3,4	4,0	5,0	4,7	5,0
Benso(a)antracen*	0,17	0,33	0,27	0,34	0,34	0,55	0,54	0,44
Chrysen*/Trifenylen	0,20	0,33	0,33	0,41	0,43	0,52	0,51	0,41
Benso(b)fluoranten*	0,041	0,10	0,066	0,097	0,085	0,11	0,12	0,084
Benso(k)fluoranten*	0,012	0,034	0,023	0,035	0,027	0,034	0,032	0,021
Benso(a)pyren*	0,019	0,065	0,032	0,057	0,041	0,039	0,046	0,034
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0,0067	0,033	0,0070	0,020	0,0098	<0,01	<0,01	0,0097
Benso(g,h,i)perylene	0,0033	0,030	0,0045	0,017	0,0048	<0,01	<0,01	0,0073
Dibenso(a,h)antracen*	0,0012	0,0083	0,0019	0,0049	0,0020	<0,01	<0,01	0,0033
Summa cancerogena PAH (* ovan)	0,45	0,90	0,73	0,96	0,93	1,25	1,25	1,00
Summa övriga PAH	41	56	54	74	90	116	119	150
Summa 16PAH	41	57	55	75	91	117	121	151

Kuva 46. Analysoitu liukoisuus V- Cem.

Tabell 3:3. Analyserade halter av PAH i enskilda lakvatten med Västerås-Bi.

Provnummer	1172	1173	1174	1175	1181	1192	1221	1223
Laktid enskild laksekvens, dygn	0,25	0,75	1	2	4	8	16	32
Enhet på uppmätt halt	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Naftalen	2,4	5,1	6,1	3,1	0,71	0,33	0,60	0,54
Acenaftalen	0,26	0,49	0,52	0,68	0,9	0,68	1,1	1,1
Acenaften	0,71	1,5	1,8	2,4	3,7	5,1	6,9	6,9
Fluoren	2,8	5,9	6,7	9,3	14	14	14	8,5
Fenantren	7,1	15	16	21	28	10	5,7	1,5
Antracen	0,98	2,1	2,4	3,3	4,6	4,2	6,7	2,3
Fluoranten	1,5	3,1	3,4	5,3	7,2	8,6	8,7	7,0
Pyren	0,84	1,8	1,9	3,1	4,0	5,0	5,4	5,4
Benso(a)antracen*	0,12	0,24	0,24	0,5	0,55	0,6	0,42	0,48
Chrysen*/Trifenylene	0,11	0,21	0,22	0,42	0,47	0,53	0,52	0,45
Benso(b)fluoranten*	0,032	0,051	0,042	0,13	0,12	0,15	0,14	0,27
Benso(k)fluoranten*	0,0083	0,013	0,011	0,031	0,029	0,046	0,040	0,073
Benso(a)pyren*	0,011	0,017	0,013	0,044	0,038	0,069	0,082	0,14
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0,0074	0,0084	0,0029	0,012	0,01	0,023	0,025	0,06
Benso(g,h,i)perylene	0,0041	0,0044	0,0013	0,0059	0,005	0,018	0,020	0,047
Dibenso(a,h)antracen*	0,0015	0,0017	0,00077	0,0027	0,0025	0,0053	0,0058	0,014
Summa cancerogena PAH (* ovan)	0,29	0,54	0,53	1,14	1,22	1,42	1,23	1,49
Summa övriga PAH	17	35	39	48	63	48	49	33
Summa 16PAH	17	36	39	49	64	49	50	35

Kuva 29. Analysoitu liukoisuus V -Bi.

Seuraavassa laskettuna liukoisuudet jokaisesta näytteestä aritmeettisesti kumuloituvana.

Tabell 4. Beräknade kumulativt utlakade mängder (E^*) från Västerås-Utan.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^2$.

Ämne \ Kumulativa lakdygn	0,25	1	2	4	8	16	32	64
Naftalen	1,9E+02	6,1E+02	1,2E+03	1,2E+03	1,2E+03	1,2E+03	1,2E+03	1,2E+03
Acenaftylen	23	69	1,3E+02	1,6E+02	2,1E+02	2,9E+02	3,5E+02	3,5E+02
Acenaften	65	2,3E+02	4,5E+02	6,9E+02	1,1E+03	1,6E+03	2,2E+03	2,2E+03
Fluoren	2,3E+02	8,4E+02	1,7E+03	1,9E+03	3,3E+03	4,5E+03	5,2E+03	5,2E+03
Fenantren	7,6E+02	2,3E+03	4,8E+03	4,8E+03	6,6E+03	7,1E+03	7,2E+03	7,2E+03
Antracenen	1,0E+02	3,5E+02	7,4E+02	7,9E+02	1,2E+03	1,6E+03	1,8E+03	1,8E+03
Fluoranten	2,0E+02	7,1E+02	1,5E+03	2,4E+03	3,6E+03	4,6E+03	5,5E+03	5,5E+03
Pyren	1,2E+02	4,3E+02	8,9E+02	1,5E+03	2,1E+03	2,8E+03	3,5E+03	3,9E+03
Benso(a)antracenen*	23	80	1,7E+02	2,7E+02	4,0E+02	4,8E+02	5,4E+02	5,5E+02
Chrysen*/Trifenylen	19	64	1,4E+02	2,2E+02	3,1E+02	3,8E+02	4,5E+02	4,7E+02
Benso(b)fluoranten*	6,9	28	57	86	1,3E+02	1,5E+02	1,8E+02	2,1E+02
Benso(k)fluoranten*	1,8	6,9	14	22	33	40	49	53
Benso(a)pyren*	2,6	12	25	36	56	67	83	98
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	1,8	8,5	17	23	38	41	46	52
Benso(g,h,i)perylene	0,88	4,5	8,8	12	19	22	26	31
Dibenso(a,h)antracenen*	0,30	1,5	2,7	3,8	6,4	7,2	8,4	10
Summa cancerogena PAH (* ovan)	56	2,0E+02	4,2E+02	6,6E+02	9,8E+02	1,2E+03	1,4E+03	1,4E+03
Summa övriga PAH	1,7E+03	5,5E+03	1,1E+04	1,3E+04	1,9E+04	2,4E+04	2,7E+04	2,7E+04
Summa 16PAH	1,8E+03	5,7E+03	1,2E+04	1,4E+04	2,0E+04	2,5E+04	2,8E+04	2,9E+04

Kuva 30. Laskettu kumulatiivinen liukoisuus V- Utan.

Tabell 5. Beräknade kumulativt utlakade mängder (E^*) från Västerås-Bi.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^2$.

Ämne \ Kumulativa lakdygn	0,25	1	2	4	8	16	32	64
Naftalen	2,0E+02	6,3E+02	1,1E+03	1,4E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,6E+03
Acenaftylen	22	63	1,1E+02	1,6E+02	2,4E+02	2,9E+02	3,9E+02	4,8E+02
Acenaften	59	1,8E+02	3,3E+02	5,3E+02	8,4E+02	1,3E+03	1,8E+03	2,4E+03
Fluoren	2,3E+02	7,3E+02	1,3E+03	2,1E+03	3,2E+03	4,4E+03	5,6E+03	6,3E+03
Fenantren	5,9E+02	1,8E+03	3,2E+03	4,9E+03	7,3E+03	8,1E+03	8,6E+03	8,7E+03
Antracenen	82	2,6E+02	4,6E+02	7,3E+02	1,1E+03	1,5E+03	2,0E+03	2,2E+03
Fluoranten	1,3E+02	3,8E+02	6,7E+02	1,1E+03	1,7E+03	2,4E+03	3,2E+03	3,7E+03
Pyren	70	2,2E+02	3,8E+02	6,4E+02	9,7E+02	1,4E+03	1,8E+03	2,3E+03
Benso(a)antracenen*	10,0	30	50	92	1,4E+02	1,9E+02	2,2E+02	2,6E+02
Chrysen*/Trifenylen	9,2	27	45	80	1,2E+02	1,6E+02	2,1E+02	2,4E+02
Benso(b)fluoranten*	2,7	6,9	10	21	31	44	55	78
Benso(k)fluoranten*	0,69	1,8	2,7	5,3	7,7	12	15	21
Benso(a)pyren*	0,92	2,3	3,4	7,1	10	16	23	35
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0,62	1,3	1,6	2,6	3,4	5,3	7,4	12
Benso(g,h,i)perylene	0,34	0,71	0,82	1,3	1,7	3,2	4,9	8,8
Dibenso(a,h)antracenen*	0,13	0,27	0,33	0,56	0,77	1,2	1,7	2,9
Summa cancerogena PAH (* ovan)	24	69	1,1E+02	2,1E+02	3,1E+02	4,3E+02	5,3E+02	6,6E+02
Summa övriga PAH	1,4E+03	4,3E+03	7,5E+03	1,2E+04	1,7E+04	2,1E+04	2,5E+04	2,8E+04
Summa 16PAH	1,4E+03	4,4E+03	7,7E+03	1,2E+04	1,7E+04	2,1E+04	2,5E+04	2,8E+04

Kuva 31. Laskettu kumulatiivinen liukoisuus V- Bi.

Tabell 6. Beräknade kumulativt utlakade mängder (E^*_n) från Västerås-Cem.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^2$.

Ämne \ Kumulativa lakdygn	0,25	1	2	4	8	16	32	64
Naftalen	8,3E+02	1,8E+03	2,8E+03	4,3E+03	6,2E+03	8,8E+03	1,2E+04	1,6E+04
Acenaftülen	59	1,3E+02	2,0E+02	3,0E+02	4,2E+02	5,8E+02	7,7E+02	9,7E+02
Acenaften	1,9E+02	4,5E+02	6,9E+02	1,1E+03	1,5E+03	2,0E+03	2,6E+03	3,2E+03
Fluoren	5,8E+02	1,4E+03	2,2E+03	3,3E+03	4,5E+03	6,1E+03	7,7E+03	9,7E+03
Fenantren	1,2E+03	2,8E+03	4,4E+03	6,5E+03	8,9E+03	1,2E+04	1,5E+04	1,9E+04
Antracen	1,5E+02	3,8E+02	6,3E+02	9,9E+02	1,4E+03	2,0E+03	2,5E+03	3,1E+03
Fluoranten	2,7E+02	6,4E+02	1,0E+03	1,5E+03	2,1E+03	2,8E+03	3,5E+03	4,3E+03
Pyren	1,5E+02	3,7E+02	5,9E+02	8,8E+02	1,2E+03	1,6E+03	2,0E+03	2,4E+03
Benso(a)antracen*	14	42	64	93	1,2E+02	1,7E+02	2,1E+02	2,5E+02
Chrysen*/Trifenylen	17	44	72	1,1E+02	1,4E+02	1,9E+02	2,3E+02	2,6E+02
Benso(b)fluoranten*	3,4	12	17	25	32	42	52	59
Benso(k)fluoranten*	1,0	3,8	5,8	8,7	11	14	16	18
Benso(a)pyren*	1,6	7,0	10	14	18	21	25	28
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0,56	3,3	3,9	5,6	6,4	6,4	6,4	7,2
Benso(g,h,i)perylen	0,28	2,8	3,2	4,6	5,0	5,0	5,0	5,6
Dibenso(a,h)antracen*	0,10	0,79	0,95	1,4	1,5	1,5	1,5	1,8
Summa cancerogena PAH (* ovan)	38	1,1E+02	1,7E+02	2,5E+02	3,3E+02	4,4E+02	5,4E+02	6,2E+02
Summa övriga PAH	3,4E+03	8,1E+03	1,3E+04	1,9E+04	2,6E+04	3,6E+04	4,6E+04	5,8E+04
Summa 16PAH	3,4E+03	8,2E+03	1,3E+04	1,9E+04	2,7E+04	3,6E+04	4,6E+04	5,9E+04

Kuva 32. Laskettu kumulatiivinen liukoisuus V- Cem.

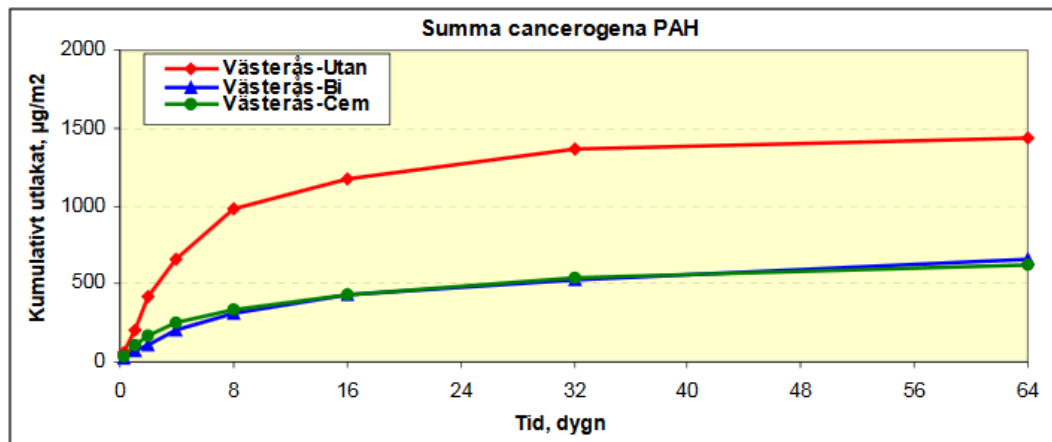


Diagram 1. Ackumulerat ytutlakat, i $\mu\text{g}/\text{m}^2$, av summa cancerogena PAH under 64 dygn från Västerås-Utan, Västerås-Bi och Västerås-Cem.

Kuva 33. Karsinogeenisten PAH- yhdisteiden liukoisuudet näytteiden keskinäisessä vertailussa 64 päivän aikana.

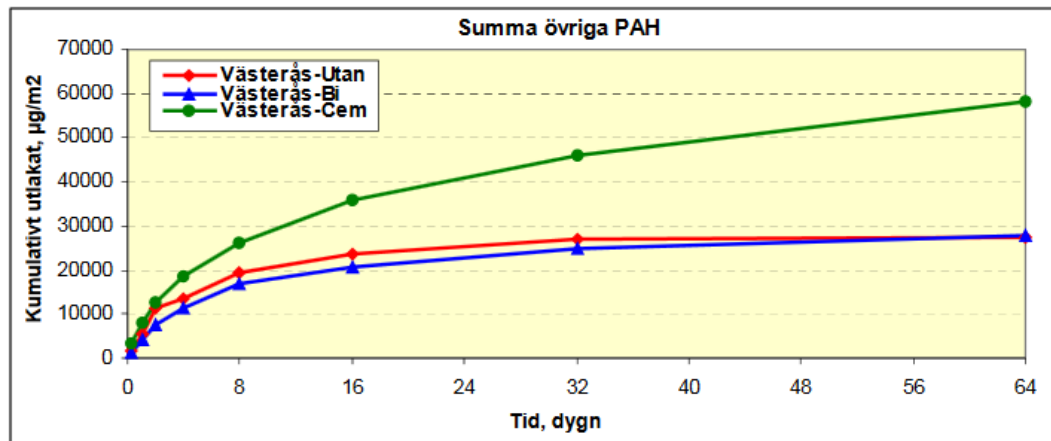


Diagram 2. Ackumulerat ytutlakat, i $\mu\text{g}/\text{m}^2$, av summa övriga PAH under 64 dygn från Västerås-Utan, Västerås-Bi och Västerås-Cem.

Kuva 34. Muiden PAH-yhdisteiden liukoisuudet näytteiden keskinäisessä vertailussa 64 päivän aikana.

Tuloksista todettiin, että V-Utan- näytteestä liukeni noin kaksi kertaa enemmän PAH- yhdisteitä, sekä karsinogeenisia, että muita. Liukoisuustesteissä todettiin myös, että V- Cem näytteen uutoveden pH oli noin 10,5, kun kahden muun näytteen pH oli V- Utan 4-6 ja V- Bi 4-5.

Naftaleenin on muun muassa todettu liukenevan nopeammin jos nesteen pH on neutraalia korkeampi (pH 10-12). Tämän huomaa yllä olevasta kuvasta, jossa muita PAH- yhdisteitä irtoaa V- Cem näytteestä enemmän kuin kahdesta muusta.

Tabell 4:7 Teoretiskt maximalt utlakat vid L/S 200 av enskilda PAHer, baserat på deras maximala löslighet i vatten.

PAH	Max. löslighet, 25 °C, mg/l A/	Teoretiskt max. utlakat, mg/kg material, L/S 200	Totalhalt, Rapport Tabell 2, mg/kg TS	Justerat teoretiskt tot utlakat, mg/kg, L/S 200	% utlakat av totalinnehåll
Naftalen	31	6200	86	86	100
Acenaftylen	3,9	780	36	36	100
Acenaften	3,8	760	61	61	100
Fluoren	1,9	380	228	228	100
Fenantren	1,1	220	932	220	24
Antracen	0,05	10	233	10	4,3
Fluoranten	0,26	52	782	52	6,6
Pyren	0,13	26	570	26	4,6
Benso(a)antracen*	0,011	2,2	222	2,2	0,99
Chrysen*/Trifenylen	0,002	0,4	361	0,4	0,11
Benso(b)fluoranten*	0,0015	0,3	353	0,3	0,085
Benso(k)fluoranten*	0,0008	0,16	174	0,16	0,092
Benso(a)pyren*	0,004	0,8	236	0,8	0,34
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0,062	12,4	228	12,4	5,4
Benso(g,h,i)perylen	0,0003	0,06	158	0,06	0,038
Dibenso(a,h)antracen*	0,0005	0,1	42	0,1	0,24
Σ cancer. PAH (* ovan)	0,082	16,4	1644	16,4	1,0
Σ övriga PAH	42,1	8428	3054	719	24
Σ 16PAH	42,2	8444	4698	735	16

A/ Brown m. fl., 1999.

Kuva 35. Teorettinen laskettu arvio pitkän ajan liukoisuuksista. L/S 200 vastaa 100 vuotta epäorgaanisilla aineilla.

Menetelmä on tehty epäorgaanisten aineiden määrittämiseen, jolloin lopullinen laskettu liukoisuus vuosien aikana ei päde, sillä orgaanisten aineiden puoliintumisaika on lyhyempi, kuin epäorgaanisten. L/S 200 vastaisi epäorgaanisilla aineilla 100 vuotta.