

PILAANTUNEEN SEDIMENTIN KÄSITTELY

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristöteknologia
Ympäristötekniikka
Opinnäytetyö
31.5.2006
Elina Rouhiainen

Lahden ammattikorkeakoulu
Tekniikan laitos
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

ROUHIAINEN ELINA: Pilaantuneen Sedimentin Käsittely

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 33 sivua, 6 liitesivua

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena oli selvittää sedimentin ruoppauksen ja käsittelyn nykyiset käytännöt niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Työ koostuu kirjallisuusselvityksestä sekä laboratoriossa suoritetuista kokeista.

Kirjallisuusselvityksessä selvitettiin pilaantuneiden sedimenttien määrää ja laatua Suomessa. Lisäksi selvitettiin, miten pilaantuneita sedimenttejä voitaisiin kunnostaa. Työssä selvitettiin myös ulkomailla tehtyjä hankkeita. Kirjallisuustiedot koottiin alan kirjallisuudesta, ympäristöviranomaisilta sekä alalla toimivilta yrityksiltä.

Kirjallisuusselvitys osoitti, että varsinaisia pilaantuneen sedimentin kunnostuksia on tehty Suomessa vähän. Menetelmät, joita on käytetty sedimentin käsittelyyn, ovat aikaa ja tilaa vieviä. Uutena menetelmänä sedimentin käsittelyssä, joka soveltuu myös pilaantuneille sedimenteille, on geotuubi. Menetelmässä on kuitenkin vielä kehittämistä.

Koejärjestelyjen tavoitteena oli soveltaen testata LakeCleaNeR:n kehittämää haitta-ainepienpuhdistamoa ruopatun sedimentin veden erottamiseen ja haitta-aineiden poistoon erotettavasta vedestä. Oleellista oli selvittää, olisiko erotettu vesi riittävän puhdasta, jotta se voitaisiin johtaa takaisin vesistöön tai maastoon. Pienpuhdistamon toiminta perustuu suodatukseen turpeen ja hiekan avulla. Turpeen öljyinsidontakyky määritettiin analysoimalla turpeen läpi suodatetut näytteet kaasukromatografilla.

Turpeen soveltuvuutta sedimentin veden erottamiseen testattiin laskemalla turpeen läpi sedimenttiä, jonka oli annettu laskeutua tunnin ajan. Laskeutuksella saatiin karkeimmat materiaalit pois. Koe tehtiin lisäksi saostuskemikaalien kanssa, jolloin myös pienemmät hiukkaset saatiin erotettua, ennen kuin vesi laskettiin turvepatsaan läpi. Ilman saostuskemikaaleja tehdyissä kokeissa turve tukkeutui, eikä menettely toiminut sen takia kunnolla. Kokeita jatkettiin saostuskemikaalien kanssa, jolloin menetelmä toimi ja mineraaliöljy saatiin osaksi turpeen avulla suodatettua pois vedestä.

Avain sanat: sedimentti, pilaantunut sedimentti, turve, ruoppaus

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology
Degree Program of Environmental Technology

ROUHIAINEN ELINA: Treatment of Contaminated Sediments

Bachelor's Thesis in environmental engineering, 33 pages, 6 appendices

Spring 2006
ABSTRACT

The objective of my study was to examine ways to treat contaminated sediments and find out whether peat could be used for this purpose. The work was commissioned by Finnenco Ltd, a firm of environmental consultants in Lahti.

The study was ordered because there was a desire to find new means of treating contaminated sediments, to replace currently used methods, which take a lot of time and space. Peat was hoped to be a solution to separate water from dredged sediment.

Among the issues investigated there were for example legislation and other official regulations, fulfilled projects, as well as the most common ways used abroad. The Finnish authorities have not drawn up any limiting or objective values to treat contaminated sediments in the lake districts, contrary to projects to treat marine sediments.

In the empirical part a mini refinery, developed for grey sewage, was tested to separate water from dredged sediments. The experiments were carried out on the laboratory scale. Moreover it was tested, whether water could lead back to environment after separating.

The study of sources showed that the existing means of treating contaminated sediment take a lot of time and space. Lack of space can result in a problem in many cases in the inland waters. Peat seems not to be a feasible solution in the separation of water from dredged sediments.

Key words: sediment, contaminated sediment, peat, dredge

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SEDIMENTTI	2
	2.1 Pilaantuneiden sedimenttien määrä ja laatu Suomessa	3
	2.2 Haitta-aineet sedimentissä	4
	2.2.1 Metallit	5
	2.2.2 Hiilivedyt	5
	2.2.3 Orgaaniset tinayhdisteet	6
3	RUOPPAUSTA JA LÄJITYSTÄ OHJAAVA LAINSÄÄDÄNTÖ	7
4	PILAANTUNEEN SEDIMENTIN KUNNOSTUKSEN MAHDOLLISET KÄYTÄNNÖT	10
	4.1 Sedimentille ei tehdä toimenpiteitä	10
	4.2 Peittäminen	10
	4.3 Ruoppaus	11
5	RUOPPAUSTEKNIIKAT	12
	5.1 Imuruoppaus	13
	5.2 Kauharuoppaus	14
	5.2.1 Kuokkakauharuoppaus	14
	5.2.2 Kahmarikauharuoppaus	15
6	RUOPPAUSMASSOJEN KÄSITTELY	16
	6.1 Veden poisto	16
	6.2 Geotuubi	17
	6.3 Saostuskemikaalit	19
	6.4 Läjitys	20
	6.5 Pilaantuneen massan käsittely	22
7	KOEJÄRJESTELYT	23
	7.1 Kuiva-aine	23
	7.2 Hehkutusjäännös	24
	7.3 Veden imeytyminen turpeeseen	25
	7.4 Laskeutuskoe	25

7.5	Öljyn imeytyminen turpeeseen	25
8	TULOKSET	28
8.1	Kuiva-aine	28
8.2	Hehkutusjäännös	29
8.3	Veden imeytyminen turpeeseen	29
8.4	Laskeutuskoe	30
8.5	Öljyn imeytyminen turpeeseen	31
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	32
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	37

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena oli selvittää sedimentin ruoppauksen ja käsittelyn nykyiset käytännöt. Menetelmien selvittämisellä haluttiin erityisesti kartoittaa nykyiset mahdollisuudet käsitellä pilaantunutta sedimenttiä. Tiedot koottiin alan kirjallisuudesta, ympäristöviranomaisilta sekä alalla toimivilta yrityksiltä. Koejärjestelyjen tavoitteena oli soveltaen testata LakeCleaaneR:n kehittämää harmaiden jätevesien pienpuhdistamoja ruopatun sedimentin veden erottamiseen ja haitta-aineiden poistoon erotettavasta vedestä. Pienpuhdistamon toiminta perustuu turpeeseen ja hiekkaan. Turpeen öljynsidontakykyä analysoitiin kaasukromatografilla.

Vesistöjen ja rantojen läheisyydet houkuttelevat yhä enemmän pientalorakentamiseen sekä virkistyskäyttöön. Aiemmin, usein teollisuuden käytössä olleet alueet, kaipaavat kuitenkin toimenpiteitä ennen niiden käyttöönottoa uuteen tarkoitukseen. Myös teollisuudelle, jotka toimivat edelleen vesistöjen läheisyydessä, asetetaan vaatimuksia niin maaperän kuin järven pohjassa olevan sedimentinkin puhdistamiseen. Maaperän puhdistamista on pidetty selvempänä jo pidempään, mutta yhä useammin kiinnitetään huomiota myös sedimentin puhtauteen.

Sedimentin käsittely sisävesillä on kuitenkin koettu haasteelliseksi. Sedimentin kuivatus sekä sedimentistä erotetun veden käsittely tuovat hankkeisiin omat hankaluutensa. Sisävesillä ongelmia lisää tilanpuute. Ruoppausmenetelmiä on kehitetty niin, että niistä löytyy sopiva vaihtoehto myös pilaantuneelle sedimentille. Suomessa varsinaisia pilaantuneen sedimentin puhdistusruoppauksia on tehty vähän. Saastuneiden sedimenttien kartoitus -hankkeessa pilaantuneita kohteita todettiin kuitenkin olevan yli 600, joten puhdistusruoppausten määrän arvioidaan nousevan (Salo, Verta, Kalevi 2001, 2-8).

Työssä ei ole käsitelty ruoppauksesta tai haitta-aineista aiheutuvia ympäristöhaittoja, ongelmia tai ympäristövaikutuksia.

2 SEDIMENTTI

Nykysuomen sanakirjan mukaan sedimentti on veden, tuulen ja jäätikön mukana kulkeutuneista aineksista syntynyt kerrostuma tai liete (Sadeniemi, 1996). Järven pohjalle kerrostunut sedimentti voidaan jakaa alkuperän mukaan kahteen osaan: valuma-alueelta tulevaan alloktioniseen sekä järvessä syntyneeseen autoktoniseen osaan. Sedimenttiin usein kasaantuu tieto järven historiasta, aina sen synnystä tähän päivään. Kerrokset pinnassa ovat sedimentoituneet hiljattain ja syvemmälle mentäessä sedimentti on aina vanhempaa. Sedimentti koostuu mineraaliaineksesta, kuten savesta, hiekasta ja sorasta sekä eri hajoamisvaiheissa olevasta orgaanisesta aineksesta.

Järviin tulee jatkuvasti uutta elollista ainesta, joka kuollessaan muodostaa siis sedimenttiä. Eläinten aineenvaihdunnassa tästä hajoaa kuitenkin merkittävä osa. Hajotustoiminnan pitävät yllä bakteerit ja osin myös sienet. Bakteereja on paljon aivan sedimentin pinnan yläpuolella, mutta eniten niitä on sedimentin pintakerroksissa, ylimmissä senttimetreissä. Bakteerien määrä voi olla kymmenistä tuhansista miljooniin yhdessä millilitrassa vettä. Vuodessa sedimenttiä muodostuu yleensä muutama millimetri. Muodostumisnopeuteen vaikuttavat mm. järven rehevyys, virtausolosuhteet ja pohjan muodot. (Helminen, Mäkinen, Horppila, Perttula 1995, 40–47)

2.1 Pilaantuneiden sedimenttien määrä ja laatu Suomessa

Teollisuus on aikaisemmin sijoittunut usein vesistöjen läheisyyteen, mikä on monessa tapauksessa aiheuttanut niin maaperän kuin sedimentinkin pilaantumista. Vielä vesistöjen lähellä olevalta teollisuudelta edellytetäänkin usein, etenkin muuttostöiden yhteydessä, maaperän ja sedimentin mahdollisen pilaantuneisuuden selvittämistä. Mahdollisesti pilaantuneiden sedimenttien sijaintia ja määrää selvitettiin ympäristöhallinnossa laaditussa Saastuneiden sedimenttien kartoitus -hankkeessa. Selvitystä tehtiin pilaantuneita maa-alueita koskevan, Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti eli SAMASE -tietokannan pohjalta. Koska pilaaviksi toiminnoiksi tunnistetaan nykyisin myös muita toimialoja, jotka eivät sisältyneet SAMASE -kartoitukseen, pilaantuneiden sedimenttien määrästä ja sijainnista ei ole tarkkoja tietoja. (Ympäristöministeriö 2004, 10–11)

Velvoitetarkkailu on edellyttänyt teollisuudelta jätevesien tarkkailua 60-luvulta lähtien. Tarkkailu on kuitenkin kohdistunut vain kemikaalipitoisuuksiin vedessä. Vasta 90-luvulla huomio kiinnittyi siihen, että yhdisteet voivat sitoutua veden kiintoainekseen ja siten sedimentoitua vesistön pohjalle. Kun saastuneita maa-alueita kartoitettiin vuonna 1994, havaittiin useita kohteita, joissa vesistö oli myös saastunut. Koska monet ympäristölle haitalliset aineet, kuten metallit sekä orgaaniset yhdisteet, ovat luonnossa varsin pysyviä, voitiin olettaa, että teollisuudesta vuosikymmenten saatossa joutuneet aineet mahdollisesti lähtevät esim. ruoppauksen yhteydessä liikkeelle. Tämän takia Suomen ympäristökeskus, SYKE, aloitti vuonna 1996 esiselvityksen saastuneiden sedimenttien kartoittamiseksi Ympäristöministeriön toimeksiannosta. Esiselvityksessä tavoitteena oli selvittää saastuneiden sedimenttien sijainti ja määrät, saastumista aiheuttavat toiminnot sekä haitalliset yhdisteet ja raskasmetallit, jotka ovat mahdollisesti kertyneet sedimentteihin. Tavoitteena esiselvityksessä oli koota tieto yhdeksi tietokannaksi alueellisilta ympäristökeskuksilta. Ympäristökeskuksilta saadun tiedon laatu vaihteli huomattavasti, joten tuloksia ei voitu pitää kovin luotettavina.

Kaikkiaan löytyi 685 laitosta tai kohdetta, joissa oli arvioitu haitallisten aineiden esiintymistä sedimenteissä vähintäänkin mahdolliseksi. Kohteet oli jaoteltu toimialoittain. (Salo, Verta, Kalevi 2001, 2-8.)

Määrällisesti eniten kohteita toimialoista, joiden katsottiin mahdollisesti aiheuttavan pilaantumista, olivat kaatopaikat. Samaan toimialaan kuuluivat myös muut jätteenkäsittelylaitokset sekä ruoppausmassat. Tähän toimialaan suhtauduttiin kuitenkin merkittävyyden kannalta erilaisilla aluekeskuksesta riippuen. Toiseksi eniten sedimentin pilaantumista aiheuttavana tekijänä pidettiin mekaanista puuteollisuutta, kuten sahoja ja kyllästämöitä. Lisäksi lähes yhtä paljon laitoksia tai kohteita oli metalliteollisuuden, kemiallisen metsäteollisuuden, jäteveden puhdistamoiden, korjaamo, konepaja ja romuttamatoiminnan sekä kemian- ja muoviteollisuuden aloilla. Mahdollisesti saastumista aiheuttavat kohteet sijoittuvat suurten kaupunkien, kuten Tampereen, Helsingin, Lahden ja Kouvolan, ympärille. Sedimentin pilaantuneisuuden pahimpina aiheuttajina selvityksen mukaan pidettiin kloorattuja hiilivetyjä, öljyjä ja metalleja. (Salo, Verta, Kalevi 2001, 2-8.)

2.2 Haitta-aineet sedimentissä

Haitta-aineet kerääntyvät vedessä usein sedimentin hienoainepartikkeleihin ja orgaaniseen ainekseen ja voivat siirtyä veteen kuormituksen loppumisen jälkeenkin vielä useita vuosikymmeniä (Hakala, Välimäki 2003, 151). Ruoppauksessa ja läjityksessä haitta-aineet joutuvat uuteen ympäristöön ja tällöin niiden fysikaaliset, kemialliset tai biologiset ominaisuudet saattavat muuttua. Nämä muutokset tulisi huomioida, kun valitaan ruoppausmassan sijoituspaikkaa ja laaditaan seurantaohjelmaa. Haitta-aineiden pitoisuuksiin sedimentissä vaikuttavat aineen ominaisuudet ja käyttömäärät. (Ympäristöministeriö 2004, 12.) Haitta-aineiden aiheuttamiin ympäristöhaittoihin laajuuden suhteen vaikuttaa kemikaalien kulkeutumistaipumus.

Monet tekijät vaikuttavat ympäristöön päässeiden kemikaalien käyttäytymiseen. Eniten eliöille aiheuttaa riskejä kuitenkin se, mikäli yhdisteet ovat biosaatavassa,

eli sellaisessa muodossa, jolloin ne voivat siirtyä eläimeen. Kemikaalin pitoisuutta ympäristössä ei siis voida suoraan verrata sen aiheuttamaan riskiin. Aineen bio-saatavuuteen vaikuttaa se, miten kemikaalit kiinnittyvät sedimenttiin. Lisäksi bio-saatavuuteen vaikuttavat vesi- ja rasvaliukoisuus sekä haihtuvuus. (Lyytikäinen 2004.) Ympäristölle haitallisimpia ovat kemikaalit jotka eivät hajoa tai hajoavat vain hyvin hitaasti luonnossa ja kertyvät eliöihin. (Ympäristöministeriö 2004, 12.) Pohjaeläimet, jotka käyttävät sedimentissä olevaa orgaanista ainesta ravinnokseen, ovat keskeinen tekijä sedimenttiin sitoutuneiden kemikaalien rikastumiseen eli siirtymiseen ravintoketjussa ylöspäin. (Lyytikäinen 2004).

2.2.1 Metallit

Metallit ovat alkuaineita, jotka jaetaan kevyt- ja raskasmetalleihin. Metallit ovat raskasmetalleja, mikäli sen tiheys on suurempi kuin 5 g/cm^3 . Metalleja, joita pidettiin mahdollisena sedimentin saastuttajina, olivat Suomen saastuneiden sedimenttien kartoituksessa kromi (Cr), kupari (Cu), arseeni (As), lyijy (Pb) ja sinkki (Zn) (Salo ym. 2001). Raskasmetalleista myrkyllisiä ovat arseeni, kadmium (Cd), kromi, kupari, elohopea (Hg), vanadiini (V), nikkeli (Ni), lyijy ja sinkki (Tietoa eri ilmansaasteista 2006). Luontoon joutuneet raskasmetallit ovat valtaosin peräisin hiilivoimaloista, teollisuudesta, lannoitteiden epäpuhtauksista sekä liikenteestä. (Raskasmetallit 2006)

2.2.2 Hiilivedyt

Hiilivedyt ovat yhdisteitä, jotka koostuvat hiilestä ja vedystä. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä, Pohjakallio 2003, 232) Hiilivetyjä eli erilaisia polttonesteitä sekä öljyjä pidetään mahdollisesti sedimenttiä pilaavana haitta-aineena useiden toimialojen kohdalla. (Salo ym. 2001, 4-5)

Hiilivetyä sanotaan aromaattiseksi, kun siinä esiintyy bentseenirengas. Kun useita bentseenirenkaita liittyy yhteen, muodostuu polyaromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä. (Antila ym. 2003, 236) PAH -yhdisteet muodostuvat orgaanisen mate-

riaalin epätäydellisenä palamisena. Ne ovat veteen liukenemattomia, joten joutuessaan vesistöihin ne kiinnittyvät partikkeleihin ja vajoavat sedimenttiin. PAH-yhdisteillä on myös taipumus rikastua ravintoketjussa. PAH-yhdisteet ovat usein myrkyllisiä. (PAH-yhdisteet ympäristössä ja ravinnossa 2006.)

Klooratut hiilivedyt kuuluvat halogenoitujen hiilivetyjen ryhmään. Halogenoiduissa hiilivedyissä on hiilen ja vedyn lisäksi jokin halogeeni, kloori (Cl), fluori (F), bromi (Br) tai jodi (I). Klooratuista hiilivedyistä ympäristövaikutuksiltaan tunnetuimpia ovat dikloori-difenyylitrikloorietaani eli DDT, PCB eli polyklooratut bifenyylit sekä polyklooratut dioksiinit ja furaanit. Klooratut hiilivedyt ovat kemiallisesti pysyviä, ja ne rikastuvat helposti ravintoketjussa. Rikastuminen johtuu siitä, että monet klooratut hiilivedyt ovat rasvaliukoisia, eivätkä ne siten poistu elimistöistä. (Klooratut hiilivedyt 2006.) Koska kloorattujen hiilivetyjen on todettu aiheuttavan ympäristö- ja terveysongelmia, niiden käyttöä on nykyisin rajoitettu. (Antila ym. 2003, 236.)

2.2.3 Orgaaniset tinayhdisteet

Ajankohtaisena haitta-aineena orgaanisista tinayhdisteistä voidaan pitää tributyyliä (TBT). Vuoden 2003 alussa TBT-pitoisten maalien käyttö antifouling- eli kiinnittymisenestoaineena kiellettiin useissa maissa, kuten myös Suomessa. Suomessa käyttöä on rajoitettu jo vuodesta 1991. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.) Antifouling-valmisteita käytetään veneissä sekä vedenalaisissa rakenteissa. Sen tarkoituksena on estää vesieliöiden kiinnittyminen pinnoille. (Antifouling-valmisteet 2006.) Orgaanisia tinayhdisteitä on käytetty maalien lisäksi massa- ja paperiteollisuudessa sekä maataloudessa (Ympäristöministeriön työryhmä 2006).

Orgaaniset tinayhdisteet ovat veteen heikosti liukenevia, joten ne sitoutuvat tiukasti sedimentin orgaaniseen ainekseen. Ne ovat hajoavia, mutta etenkin kylmissä ja hapettomissa sedimenteissä hajoaminen on hidasta. TBT:n hajoamistuotteet ovat vähemmän myrkyllisiä kuin itse TBT. Jo hyvin pieninä pitoisuuksina tributyyliä on osoitettu aiheuttavan monenlaisia ympäristöhaittoja. Lisäksi vastaavanlaisia vaikutuksia on todettu olevan trifenyylitinalalla (TPhT). Useimmille ve-

sieliöille TBT ja TPhT ovat erittäin myrkyllisiä, ja orgaanisista tinayhdisteistä ne ovatkin myrkyllisimpiä. Orgaanisilla tinayhdisteillä on todettu olevan taipumus kertyä eliöstöön, mutta niiden rikastumista ravintoketjussa ei ole todettu. Vaikka TBT:n on todettu kertyvän eliöihin, eliön siirtyessä puhtaaseen ympäristöön ja ravintoon, TBT poistuu elimistöstä varsin hyvin. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.)

Helsingin vesialueella tehdyssä kartoituksessa havaittiin pitoisuuksien vaihtelevan huomattavasti lyhyelläkin välimatkalla. Tämä tulisi huomioida suunniteltaessa näytteenottoa pilaantuneisuuden laajuuden selvittämiseksi. Koska orgaaniset tinayhdisteet sitoutuvat tiukasti sedimentin orgaaniseen ainekseen, voi ympäristölle aiheutua ongelmia vielä yhdisteiden käytön lopettamisen jälkeen. Ongelmat voivat ilmetä usean vuoden jälkeenkin, esimerkiksi ruoppausten tai veneiden aiheuttamien potkurivirtausten takia. Orgaaniset tinayhdisteet ovatkin ongelmana lähinnä vilkkaasti liikennöidyllä väylillä, suurissa satamissa ja pienvenesatamien läheisyydessä. Myös telakoilta on kulkeutunut maalin poistamisen ja uudistamisen yhteydessä orgaanisia tinayhdisteitä vesistöön. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.)

3 RUOPPAUSTA JA LÄJITYSTÄ OHJAAVA LAINSÄÄDÄNTÖ

Ympäristölupavirastolta tarvitaan lupa tai sinne on vähintään tehtävä ilmoitus ruoppauksesta, mikäli ruoppaus ei ole vähäinen. Vähäisenä ruoppauksena sisävesialueilla pidetään kohteita, jolloin ruopattavan massan määrä on alle 100 m³. (Ympäristöministeriö 2004, 5.) Ruoppaushankkeen suunnitteluvaiheessa olisi välttämätöntä kuunnella toimenpidealueen rajanaapureita, maanomistajia ja vesialueen omistajia, jolloin toteutusvaiheessa välttyään turhilta ongelmilta (Mäkiäho 2003, 24–26.)

Ruoppausta ja läjitystä ohjaavat vesilaki (264/1961) ja vesiasetus, VA 85 a §, ympäristönsuojelulaki YSL (86/2000), ympäristönsuojeluasetus (169/2000), luonnonsuojelulaki (1096/1996), maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) ja merensuojelulaki (1415/1994). Lisäksi kaatopaikkoja koskevassa valtioneuvoston pää-

töksessä (861/1997) on merkittäviä ruoppausmassan sijoittamista koskevia päätöksen soveltamisalan rajauksia. (Ympäristöministeriö 2004, 6, 47–48.)

Ympäristöministeriön laatima ruoppaus- ja läjitysohje esittää sedimentin pilaantuneisuuden arviointiin kaksi haitta-ainetasoa, jotka on esitetty taulukossa 1. Taso 1 luokitellaan haitattomaksi ruoppausmassaksi, jolloin se on mereen läjityskelpoista. Haitta-ainepitoisuuksiltaan tason 2 ylittävää ruoppausmassaa pidetään haitallisuuden takia pääsääntöisesti mereen läjityskelvottomana. Kuitenkin, jos ruoppausmassan sijoittaminen maalle on ympäristön kannalta huonompi vaihtoehto, voidaan ruoppausmassat sijoittaa mereen. Mahdollisesti pilaantuneen ruoppausmassan, jonka haitta-ainepitoisuudet asettuvat tasojen 1 ja 2 väliin ns. ”harmaalle alueelle”, läjityskelpoisuus mereen on arvioitava tapauskohtaisesti. Ruoppausmassan meriläjitystä koskevia laatukriteerejä ei voida sellaisinaan soveltaa sisävesiin. Sisävesillä läjityskelpoisuus tulisi määrittää aina tapauskohtaisesti, mikäli metallien pitoisuudet ylittävät luonnolliset taustapitoisuudet tai orgaanisten aineiden pitoisuudet ylittävät meriläjityksen tason 1 (Ympäristöministeriö 2004, 20–23.)

Jotta haitta-ainepitoisuuksia voidaan vertailla mm. raakoostumukseltaan erilaisten sedimenttien välillä, näytetulokset on normalisoitava. Näytteestä mitattu haitta-ainepitoisuus korjataan normalisoinnissa, muuntokaavaa käyttäen, vastaamaan ns. standardisedimenttiä. Suomessa standardisedimentissä on 10 % orgaanista ainesta ja 25 % savea. Normalisointi on yleistynyt vasta vuonna 2002. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.)

TAULUKKO 1. Ruoppausmassojen laatukriteerit normalisoiduille pitoisuuksille.
(Ympäristöministeriö 2004, 22.)

Aine	Taso 1 (Suomi) mg/kg kuiva-ainetta	Taso 2 (Suomi) mg/kg kuiva-ainetta
elohopea (Hg)	0,1	1
kadmium (Cd)	0,5	2,5
kromi (Cr)	65	270
kupari (Cu)	50	90
lyijy (Pb)	40	200
nikkeli (Ni)	45	60
sinkki (Zn)	170	500
arseeni (As)	15	60
Polyaromaattiset hiilivedyt eli PAH:t		
naftaleeni	0,01	0,1
antraseeni	0,01	0,1
fenantreeni	0,05	0,5
fluoranteeni	0,3	3
bentso(a)antraseeni	0,03	0,4
kryseeni	1,1	11
bentso(k)fluoranteeni	0,2	2
bentso(a)pyreeni	0,3	3
bentso(ghi)peryleeni	0,8	8
indeno(123-cd)pyreeni	0,6	6
mineraaliöljy	50	1500
DDT + DDE +DDD	0,01	0,03
	µg/kg kuiva-ainetta	µg/kg kuiva-ainetta
PCB:t (IUPAC-numerot)		
28	1	30
52	1	30
101	4	30
118	4	30
138	4	30
153	4	30
180	4	30
tributyylitina (TBT)	3	200
	ng WHO-TEQ/kg	ng WHO-TEQ/kg
dioksiinit ja furaanit (PCDD ja PCDF)	20	500

4 PILAANTUNEEN SEDIMENTIN KUNNOSTUKSEN MAHDOLLISET KÄYTÄNNÖT

Saastunut sedimentti voidaan joko ruopata ja puhdistaa tai peittää. Vaihtoehtona voi myös olla se, ettei toimenpiteitä tehdä lainkaan saastuneen sedimentin puhdistamiseksi tai saastuneisuuden leviämisen ehkäisemiseksi. Kun valitaan käsittelytapaa, on otettava huomioon, miten virtaukset vaikuttavat haitallisten aineiden leviämiseen ja kuinka paljon haitallisia aineita mahdollisesti leviää. Ruoppauksen aikana sedimenttiä leviää lähialueelle joka tapauksessa, joten suunnitteluvaiheessa tulee arvioida, kuinka paljon sedimenttiä leviää ja onko tämä määrä riittävän pieni, jotta ruoppaus voidaan suorittaa. Oleellista on selvittää, onko mahdollista puhdistaa pilaantunut sedimentti vai siirtyykö ongelma vaan toisaalle. (Laasonen 2000, 30.)

4.1 Sedimentille ei tehdä toimenpiteitä

Mikäli sedimentin käsittelystä aiheutuu huomattavaa haittaa ympäristölle tai kustannukset sedimentin kunnostuksessa nousevat kohtuuttomiksi, voidaan pilaantunut sedimentti jättää paikalleen. Ensin on kuitenkin varmistuttava siitä, etteivät haitta-aineet pääse lähtemään liikkeelle ja ettei haitta-aineita pääse lisää sedimenttiin. Suunnitteluvaiheessa tuleekin huomioida virtauksen vaihtelut ja mm. mahdollisten tulvien aiheuttamat muutokset sedimentin kulkeutumisessa. Toimenpiteitä jättäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi silloin, kun luonnollinen sedimentaatio hautaa haitta-aineet. Haitallisen aineen laimeneminen voi olla myös nopeaa, jolloin voidaan pitää vaihtoehtona sitä, ettei alueella tehdä toimenpiteitä. Toimenpiteitä jättäminen edellyttää usein seuranta-ohjelman laatimista ja toteuttamista. Seurantaohjelman avulla varmistutaan siitä, etteivät haitta-aineet leviä ympäristöön. (U.S. Environmental Protection Agency 1993.)

4.2 Peittäminen

Tarkoituksena peittämisessä on eristää pilaantunut sedimentti muusta ympäristöstä peittämällä alue esim. hiekalla ja soralla. Peittämisrakenne voi koostua useam-

masta eri kerroksesta, jotka erotetaan geotekstiileillä. Rakenteella pyritään estämään haitallisten aineiden liikkeellelähtö. Suunnitteluvaiheessa tuleekin huomioida alueen virtausten vaikutukset peittomateriaaliin sekä pilaantuneeseen sedimenttiin. Peittokerroksen paksuus voi vaihdella alueen ominaisuuksien mukaan vajaasta metristä useaan metriin. Peittomateriaalin on laskeuduttava nopeasti ja suoraan peitettävän alueen päälle ja pysyttävä siinä. Ennen peittämisen aloittamista tulee varmistua siitä, että alueen pohja kannattaa peittorakenteet. (U.S. Environmental Protection Agency 1993.)

Peittäminen voi tulla kysymykseen silloin, jos ruoppauksesta aiheutuvat kustannukset tai ympäristövaikutukset nousevat liian suuriksi ja toimenpiteitä jättäminen ei ole mahdollista. Peittämistä voidaan toteuttaa vain ns. akkumulaatio- eli kertymäpohjilla, jonne muutenkin kerääntyy hydrofobisia eli vesipakoisia aineita ja raskasmetalleja (Ympäristöministeriön työryhmä 2006). Lähiympäristön olosuhteita on seurattava laadittavan ohjelman mukaan, että voidaan varmistua haitta-aineiden paikallaan pysyminen. Pilaantuneen alueen peittäminen edellyttää seurantaohjelman lisäksi selvityksen siitä, miten haitta-aineet leviävät peittämisen aikana. (U.S. Environmental Protection Agency 1993.) Peittämistä on pidetty hyvänä ja kustannustehokkaana pitkäaikaisratkaisuna mm. USA:ssa ja Japanissa, joissa peittämisestä on yli 25 vuoden kokemus. Myös Norjassa kokemukset peittämisestä ovat olleet hyviä. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.)

4.3 Ruoppaus

Ympäristöministeriön laatiman ruoppaus- ja läjitysohjeen mukaan ruoppaus- ja läjitystoiminnalla tarkoitetaan massojen irrottamista vesistön pohjasta ja niiden nostamista, kuljettamista ja läjittämistä eli sijoittamista, joko vesialueella sijaitsevaan läjityspaikkaan tai maa-alueelle (2004, 7). Ruoppaushankkeet voivat olla mm. väylän tai satama-altaan rakentamiseksi tehtäviä uudis-, kunnossapito- tai ylläpitoruoppauksia. Hankkeet voivat olla myös kunnostusruoppauksia, joissa on tavoitteena vesistön laadun ja käyttökelpoisuuden parantaminen. Ruoppaukset voivat olla myös pienen mittakaavan ruoppauksia yksityishenkilöiden rantojen parannustöiden yhteydessä. (Ympäristöministeriö 2004, 7.) Suomessa on tehty

vähän varsinaisia puhdistusruoppauksia. Ainoastaan joitakin teollisuus-, varasto- ja satama-alueiden rantoja on kunnostettu, jotta ne soveltuisivat paremmin virkistyskäyttöön. Puhdistusruoppauksien päätavoitteena on parantaa ympäristön tilaa poistamalla haitallisia aineita sedimenteistä. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.)

Jo ruoppausmenetelmän valinnalla voidaan vähentää ruoppauksen aikana veteen siirtyvien haitallisten aineiden määrää. Ruopattavan materiaalin ominaisuudet sekä olosuhteet vaikuttavat kuitenkin oleellisesti ruoppausmenetelmän valintaan, myös haitallisen aineen ominaisuudet on huomioitava. Ruoppauksen aikana sedimentin kulkeutumista ja leviämistä pystytään vähentämään käyttämällä geotekstiilejä tai toteuttamalla ruoppaus työpatojen suojassa. Ruoppauskohteen olosuhteista on huomioitava suunnitteluvaiheessa vesisyvyys, kulkuyhteydet, virtausten suunta ja voimakkuus sekä aallonkorkeus. Mikäli ruoppaus valitaan alueen kunnostustavaksi, tulee ruoppausmenetelmän lisäksi ottaa huomioon myös sedimentin siirto ja käsittely. (Laasonen 2000, 29.)

5 RUOPPAUSTEKNIIKAT

Ennen ruoppauksen aloittamista tulee tehdä esiselvitys, jossa tutkitaan pohjasedimenttien koostumus ja ominaisuudet sekä ruopattavan alueen pohjan profiili. Pohjan profiili voidaan selvittää sisävesistöissä esim. maatumkaluotauksella. Ruopattavalta alueelta tulee ottaa sedimenttinäytteitä laboratoriotutkimuksia varten.

Laboratoriotutkimuksilla fysikaalisista ominaisuuksista tulee selvittää orgaanisen aineksen määrä (hehkutusjäännös), kuiva-ainepitoisuus ja raekoko. Nämä ominaisuudet on selvitettävä, sillä ne vaikuttavat sedimentin käyttäytymiseen ruoppauksessa ja läjityksessä. Kemialliset analyysit tulee tehdä, mikäli voidaan olettaa sedimentin olevan pilaantunutta. Esiselvitykset auttavat ruoppauksen toteutuksen ja ruoppausmassojen läjityksen suunnittelussa. Ruoppausohjelma, joka on suunniteltu huolellisesti säästää usein aikaa, ympäristöä ja kustannuksia, lisäksi viranomaiskäsittely usein nopeutuu. (Siiron 2003, 18–20.)

Ruoppaustekniikan valintaan vaikuttaa mm. ruopattavan massan laatu ja sedimentin pilaantuneisuuden taso. Tekniikat voidaan karkeasti jakaa kauhatyypiseen ruoppaukseen ja imuruoppaukseen. Kauhatyypisiä ruoppaajia ovat ketju-, pisto-, kuokka- ja kahmarikauharuoppaajat. (Majuri 2003, 22.) Pääsääntönä voidaan pitää, että kivisille ja tiiville maakerroksille sopivat kauhatyypiset ruoppausmenetelmät ja löyhille maakerroksille imuruoppausmenetelmät. (Riipi 1996). Ruoppausmenetelmistä ympäristöystävällisempinä pidetään imu- ja kahmarikauharuoppausta (Mäntylä 2004, 96). Kymijoen tehtyjen koeruoppausten perusteella kauhatyypeistä kahmarikauhalla tehty ruoppaus huononsi veden laatua vähiten (Vesivalo, Salo, Mykkänen, Aunola, Hietapakka, Malve, Verta 2002, 35).

5.1 Imuruoppaus

Imuruoppaustekniikka on hydraulinen menetelmä, joka sopii löyhän sedimentin ruoppaukseen. Ruopattu sedimentti siirretään lietteenä jatkokäsittelyyn tai loppusijoituspaikkaan. Siirrettäessä ruoppausmassoja on oltava huolellinen, ettei haitallisia aineita pääse takaisin veteen tai puhtaalle maalle. Siirtoon voidaan käyttää proomuja tai putkilinjoja. Menetelmä on herkkä mm. kiville, puiden palasille tai muille suuremmille roskille, sillä ne saattavat aiheuttaa laitteiston tukkeutumisen. (Ympäristöministeriö 2004, 8.) Imuruoppausta käytettäessä on selvitettävä rakeisuuskäyrä ruopattavasta massasta, jotta voidaan varmistua, että ruoppaus voidaan suorittaa imuruoppauksena. (Majuri 2003, 17.)

Imuruoppausmassa voidaan johtaa mm. laskeutusaltaisiin. Ruoppaushanketta suunniteltaessa tulee huomioida, että laskeutusaltaan tilantarve on suuri, jopa kolminkertainen ruopattavan massan tilavuuteen verrattuna. (Ilmavirta 1990, 352.) Laskeutuskokeen perusteella voidaan selvittää ruoppausmassan laskeutumisominaisuudet, joiden perusteella voidaan arvioida tarkemmin tarvittavan laskeutusaltan koko (Majuri 2003, 17; Mäntylä 2004, 96).

5.2 Kauharuoppaus

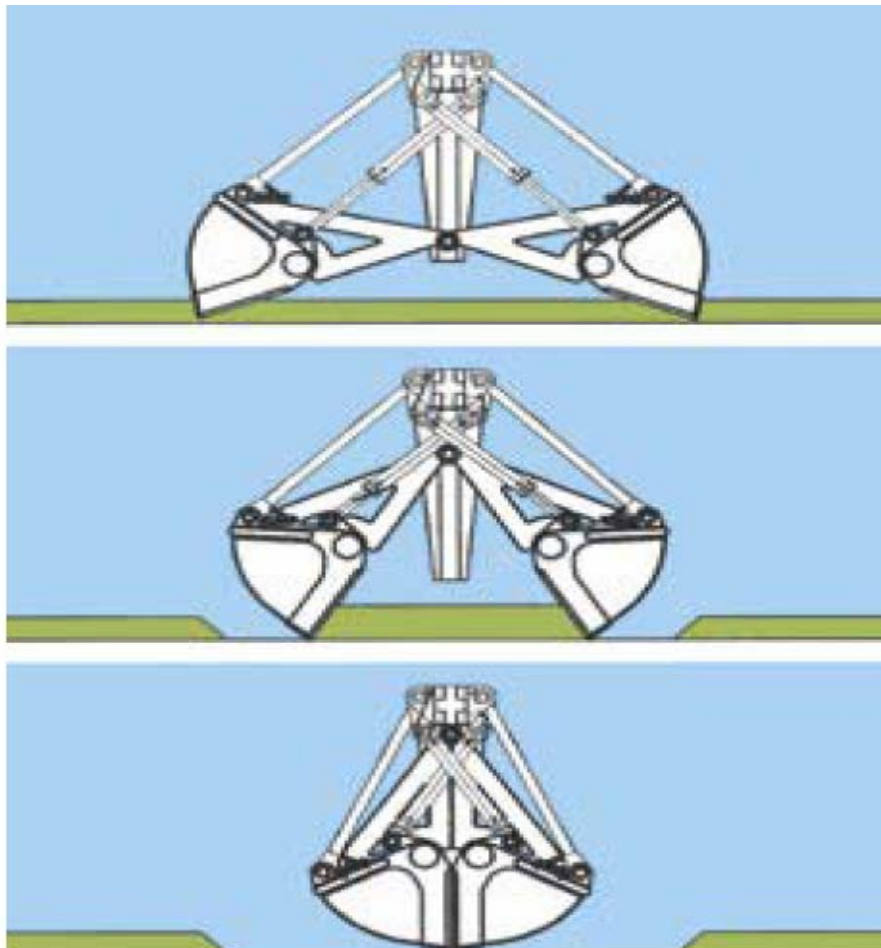
Tiiviiden sedimenttien poistamiseen soveltuvat mekaaniset ruoppauslaitteistot, kauharuoppaajat. Kauhatyyppejä ovat mm. kuokka-, pisto- ja kahmarikauha. Kauharuoppausta käytettäessä ruopattu massa on kuivempaa kuin imuruoppaustekniikoita käytettäessä, joten jatkotoimenpiteet saattavat olla edullisempia. Työnopeus on imuruoppausmenetelmään verrattuna hitaampi. Kauhatyypillä ja ruoppaajan ammattitaidolla on merkitys kiintoaineen vapautumiseen ruoppaustyön aikana, mikä kannattaa huomioida ruopattaessa pilaantuneita sedimenttejä. (Ympäristöministeriö 2004, 7-8.)

5.2.1 Kuokkakauharuoppaus

Kuokkakauha voi olla avoin tai suljettu. Avointa kuokkakauhaa käytetään yleensä maanrakennustöissä, mutta sitä käytetään myös vedenalaisissa ruoppaustöissä, mikäli tarvitaan irrotusvoimaa. Tällaisia kohteita ovat esim. väylien ruoppaustyöt, jolloin on kaivettava moreenia tai räjäytettyä kalliolouhetta. Saastuneiden, moreenia ja räjäytettyä kalliolouhetta sisältävien sedimenttien kaivuun soveltuu siihen kehitetty suljettu kuokkakauha. (Vesivalo ym. 2002, 11)

5.2.2 Kahmarikauharuoppaus

Kahmarikauha soveltuu materiaalin siirtoon etenkin silloin, mikäli ruopattavan massan leikkauslujuus on alhainen. Nykyään hydraulisiin kaivukoneisiin saa hydraulisesti sulkeutuvan kahmarikauhan, jolloin voidaan kaivaa myös maalajeja, joilla on suurempi leikkauslujuus. Suljettu kahmarikauha soveltuu pilaantuneiden sedimenttien ruoppaukseen, koska massaa ei pääse huuhtoutumaan kauhan sulkeutumisen jälkeen nostettaessa sitä vesimassan läpi. Kahmarikauhan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1. (Vesivalo ym. 2002, 11)



KUVIO 1. Kahmarikauhan toimintaperiaate. (Riskien hallinta ruoppaus- ja läjityshankkeissa 2005)

6 RUOPPAUSMASSOJEN KÄSITTELY

Puhdistettavien massojen määrän minimoimiseksi ruopattu aines tulee käsitellä ennen puhdistusta. Käsittely on veden poistamista ja sedimentin lajittelua eri kokoluokkiin. (Laasonen 2000, 43.) Pilaantuneiden sedimenttien kohdalla ruopausmenetelmänä käytetään usein imuruoppausta, jolloin massan vesipitoisuus on suuri ja se erityisesti vaatii vedenpoistoa, ennen massan käsittelyä ja loppusijoitusta. Imuruoppausliete sisältää vettä yleensä n. 80–90 % ja kiintoainesta vain n. 10–20% (Ilmavirta 1990, 352).

6.1 Veden poisto

Vedenpoisto tapahtuu tavallisesti niin, että sedimentti siirretään laskeutusaltaisiin. Laskeutusaltaissa veden poisto perustuu siihen, että partikkelit laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta, jolloin vesi saadaan johdettua pois. Uutta tekniikkaa vedenpoistosta ruopatusta massasta edustaa geotuubi, joka soveltuu erityisesti pilaantuneille sedimenteille. Partikkelien laskeutumista voidaan tehostaa saostuskemikaaleilla niin laskeutusaltaissa kuin geotuubimenetelmässäkin. Suodatusmenetelmiä vedenpoistossa voidaan pitää yhtenä vaihtoehtona veden erottamiseen. Suodatusmenetelmistä eniten on käytetty hihna-, imu- sekä painesuodatusta. Vaatimuksia vedenpoistolle lisää se, että poistetun veden on oltava riittävän puhdasta, ennen kuin se voidaan johtaa takaisin vesistöön tai maaperään. Vedenpoistossa kannattaa huomioida se, että haitalliset aineet sitoutuvat usein hienojakoiseen materiaaliin, jolloin karkeampia maalajeja voidaan mahdollisesti käsitellä lähes saastumattomina. (Laasonen 2000, 43–44.)

6.2 Geotuubi

Geotuubia on käytetty jonkin verran Keski-Euroopassa, mutta Suomessa se on vielä uusi tekniikka. Geotuubi on lieriön muotoinen säkki, joka on valmistettu muovista. (Nerg 2005, 24–25) Tyhjä geotuubi on esitetty kuvassa 1 ja täysi kuvassa 2. Muovi voi olla esimerkiksi polypropyleenia, polyesteriä, polyesteri/polyetyyleeniä tai polypropyleeniä/polyetyyleeniä. Geotuubi on veto-/venytyskestävä, sen saumat kestävät painetta ja lisäksi se on UV-, kemikaali-, sekä happo- ja emäskestävä. Geotuubi voidaan mitoittaa kunnostettavan kohteen mukaan, yhdestä kymmeneen tuhanteen kuutiometriin. Ennen varsinaista kohteen kunnostusta selvitetään riippusäkkikokeena geotekstiili, jota voidaan käyttää kohteessa, sekä saostuskemikaalien laatu ja määrä. (Takala, Itkonen, Tuomi, Koponen, Salomies, Huuskonen 2005).



KUVIO 2. Tyhjä geotuubi (Nerg 2005)

Toimintaperiaatteena geotuubissa on se, että hieno aines jää geotuubin sisälle, kun taas vesi purkautuu ulos geotuubin pienistä rei'istä. Alussa hienoainesta voi päästä veden mukana ulos tuubirakenteesta, mutta työn edetessä hienoaines tukkii rei'kiä, jolloin ulos ei pääse enää niin paljon hienoainesta. Näin geotuubista ulos johdettavan veden laatu paranee. Hienoaineksen saostumista voidaan edistää lisäämällä sedimenttiin saostuskemikaaleja. Saostuskemikaalit tulee testata jokaiselle sedimentille erikseen, näin saadaan paras mahdollinen saostuma. Geotuubin alla tulee olla allasrakenne, joka voidaan muotoilla esimerkiksi maamassoilla. Altaan pohja voi olla kalteva veden johtamisen helpottamiseksi. Altaan pohjalle tulee laittaa suodatinkangas sekä muovi, jotta geotuubeista tuleva vesi saadaan johdettua sille tarkoitettuun paikkaan. (Nerg 2005, 24–25)



KUVIO 3. Täytetty geotuubi (Nerg 2005)

Ongelmia geotuubimenetelmässä aiheuttaa mm. helposti tukkeutuva siirtoputki. Työn hidastumista aiheutuu silloin, kun geotuubi on lähes täysi. Geotuubin ollessa lähes täysi ruoppausta joudutaan hidastamaan tai jopa keskeyttämään, jotta vesi

ehtii poistua geotuubista. Loppuvaiheessa tuubin repeämisvaara on suurempi. Mikäli sedimentistä otettu näyte ei edusta ruopattavaa sedimenttiä, voi tämä aiheuttaa ongelmia työn aikana, esim. massan kuivuminen voi viedä odotettua kauemmin. (Nerg 2005, 26–27). Golder Associates Oy:n tekemien tutkimusten mukaan haitta-aineet pidättäytyvät geotuubiin lähes sataprosenttisesti. Kokeessa testattiin useampia geotuubimateriaaleja (PET, GT, PET/PE). Kokeessa käytettiin merisedimenttiä. Tulokset tutkimuksesta on esitetty taulukossa 2. Saostuskemikaalien lisäämisellä ei näyttänyt olevan suurta vaikutusta haitta-aineiden pidättäytymiseen. Tutkimus tehtiin riippusäkkikokeena. (Takala ym. 2005)

TAULUKKO 2. Golder Associates Oy:n tekemän tutkimuksen tulokset haitta-aineiden pidättäytymisestä geotuubiin. (Takala ym. 2005)

Haitta-aine	Pitoisuus sedimentissä mg/kg ka	Pidättyminen säkkiin					
		Ei flokkulanttia			+flokkulantti		
		PET	GT	PET/PE	PET	GT	PET/PE
TBT	0,37	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
PCB 7	0,18	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
As	7,3	99,9 %	99,8 %	99,9 %	99,9 %	99,9 %	99,9 %
Hg	1,7	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Zn	390	100 %	99,9 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Pb	110	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

6.3 Saostuskemikaalit

Ruopatun massan ominaisuudet ja hiukkasjakauma voivat vaihdella paljon eri kohteissa. Laskeutuksessa ongelmana on usein hienojakoinen materiaali. Hienojakoinen materiaali, joka voi olla jopa kolloidikokoa (0,1 - 0,001 mm), ei selkeydy kohtuullisessa ajassa, vaan kulkeutuu purkuvesistöön. Hiukkasten vajoamisnopeuteen pätevän Stokesin lain mukaan hiukkaskoko on merkittävin vaikuttaja laskeutumisen nopeuteen; hiukkaskoon kaksinkertaistuttua laskeutumisen nopeus nelinkertaistuu. Ruoppausmassan selkeytymistä voidaan nopeuttaa partikkelien kokoa kasvattamalla kemikaalien avulla. Selkeyttäminen alkaa siis kemikaalien lisäämisellä,

jolloin hiukkaset koaguloituvat eli liittyvät yhteen. Hiukkaset flokataan, eli liitetään yhteen sekoittamalla massaa. Liikkeen pysähtyttyä hiukkaset alkavat laskeutua. (Majuri 2003, 33–34.)

Oikean kemikaalin ja määrän löytämiseksi tulee tehdä esikokeita. Laskeutuskokeiden avulla, laboratorio-olosuhteissa, voidaan etsiä sopiva saostuskemikaali ja määrä. Ruoppauslietteen saostamiseen voidaan käyttää epäorgaanisia saostuskemikaaleja kuten alumiinisulfaattia, ferrisulfaattiliuosta tai polyalumiinikloridiliuosta. Niiden käyttö on helppoa, mikä on tärkeää, koska olosuhteet läjitysalueella eivät ole aina parhaat mahdolliset. Polyalumiinikloridiliuoksen ominaisuuksia pidetään erinomaisena juuri ruoppauslietteen käsittelyyn. Sen selkeytystehoa pidetään erittäin hyvänä ja flokin muodostumista ja laskeutumista nopeana. Ruoppauslietteen laadunvaihtelujen ei ole todettu vaikuttavan saostusominaisuuksiin polyalumiinikloridiliuosta käytettäessä. Myöskään ruoppauslietteen pH-arvo ei ole todettu muuttuvan juuri lainkaan polyalumiinikloridiliuoksen vaikutuksesta.

Saostukseen voidaan käyttää myös orgaanisia kemikaaleja, polymeerejä. Polymeerit voidaan jakaa luonnossa esiintyviin ja synteettisiin polymeereihin. Orgaanisten saostuskemikaalien etuina on se, että käytettävät kemikaalimäärät ovat pieniä. Polymeerit eivät myöskään vaikuta pH-arvoon. Polymeerejä käytettäessä flokki on myös suuri ja se laskeutuu nopeasti. Epäorgaanisia ja orgaanisia saostuskemikaaleja voidaan käyttää myös yhdessä. (Majuri 2003, 34–35.)

Läjityksen yhteydessä saostuskemikaalit voidaan lisätä suoraan ruoppaajan paineputkeen. Vaihtoehtona on myös syöttää kemikaalit esiselkeytysaltaan jälkeen, josta ruoppausmassa johdetaan jälkiselkeytysaltaaseen. Mikäli käytetään kemikaalin syöttöä suoraan paineputkeen, tulee syöttökohta määrittää kemikaalin reaktioherkkyyden perusteella. (Majuri 2003, 35–36.)

6.4 Läjitys

Läjitys eli massan sijoittaminen tapahtuu sille sopivalle paikalle, joko vesistöön tai maalle. Mikäli mahdollista, laskeutus ja läjitys voi tapahtua samalla paikalla.

Ruopatudun massan kuljetus ja siirto tapahtuu pumppujen, putkiston proomujen ja kuljetusajoneuvojen avulla. Vesipitoisuus, joka saattaa olla jopa yli 90 % imuruoppauksessa, asettaa erityiset ehtonsa massojen siirtämiselle. Maanomistajalta tai vesialueen omistajalta on pyydettävä aina suostumus läjitykseen. Läjityksen aiheuttamia haittavaikutuksia ympäristölle on minimoitava niin kaivu-, kuljetus- kuin läjitysvaiheessakin. (Mäkiäho 2003, 24–26). Läjitysallas on oltava riittävän suuri, eikä alue saa joutua veden alle missään vaiheessa. Myös mahdolliset tulvat on huomioitava läjityspaikkaa valittaessa. (Majuri 2003, 21.) Mikäli mahdollista, tulee ruoppausmassa hyödyntää täyttönä esim. rakenteessa. Jos ruoppausmassaa ei voida hyödyntää, on läjitysalue yleensä maisemoitava vuoden kuluessa ruoppauksesta. (Mäkiäho 2003, 24–26.)

Ruoppausmassan läjitys maalle tulee kyseeseen silloin, kun ruoppaus- ja läjitysalueen välimatka on kohtuullinen. Etenkin vesipitoisen massan kuljetus nostaa kustannuksia huomattavasti, joten sen sijoittaminen on hyvä suunnitella tarkkaan. Mikäli mahdollista, ruoppausmassa voidaan hyödyntää esim. kaivantojen täyttönä, meluvallin rakenteena, kaatopaikan tiivisteinä, maisemointikerroksena, vihertöissä tai satamakentän täyttönä. Mikäli hyötykäyttö ei ole mahdollista, esim. pilaantuneisuuden takia, tulee massat sijoittaa maankaatopaikalle tai mahdolliseen jatkokäsittelyyn ja loppusijoitukseen asianmukaiseen paikkaan. (Mäkiäho 2003, 24–26.)

Merialueilla suoritettavan ruoppauksen yhtenä vaihtoehtona on sedimentin läjittäminen mereen. Tällöin läjitys tapahtuu sellaiselle alueelle, josta läjitetyt massat eivät lähde liikkeelle. Vesiläjityksen etuja ovat mm. kustannusten edullisuus sekä maiseman säilyminen ennallaan. Lisäksi etuna on se, että vesiläjitys on työtekniisesti yksinkertainen. Huonoista ominaisuuksista voidaan mainita se, ettei ruoppausmassaa saada hyötykäyttöön. Lisäksi ruoppausmassa aiheuttaa sameutta, kiintoaineksen ja oletetusti ravinteiden leviämistä läjityspaikan ympäristöön.

Vesiläjityksen onnistumisen todentaminen on epävarmaa ja näytteenotto tarkkailua varten hankalaa. (Mäkiäho 2003, 24–26)

Hallitukseksi vesialueelle läjittämiseksi kutsutaan sitä, kun ruoppausmassa eristetään peittämällä tai kapseloimalla. Tätä menetelmää hyödynnetään silloin kun pohjasedimentti on lievästi pilaantunutta ja maalle läjittäminen ei tule kysymykseen esim. ympäristöllisistä, taloudellisista tai työteknisistä syistä. Etuina hallituksessa vesiläjätyksessä ovat alhaiset siirtokustannukset ja vähäiset maisemahaitat. Haittana on se, ettei ruoppausmassaa voida hyötykäyttää. Lisäksi ruoppausmassan peittäminen puhtailla maa-aineksilla edistää kiintoaineiden, ravinteiden sekä epäpuhauksien sekoittumista veteen ja saa siten aikaan veden samentumista. Jälkiseuranta on myös hankalaa.

6.5 Pilaantuneen massan käsittely

Pilaantunut sedimentti voidaan käsitellä mahdollisen vedenpoiston jälkeen pilaantuneiden maiden tapaan viranomaisvaatimukset täyttäen.

Stabilointi on mahdollista, mikäli löytyy sopiva kohde, jossa massa voidaan hyötykäyttää, esim. kenttä- ja satamarakenteena. (Mäntylä 2004, 95–98). Stabiloinnin tarkoituksena on estää haitta-aineiden kulkeutuminen sidosaineen esim. sementin, bitumin tai bentoniitin avulla. Sopivan sidosaineen löytäminen ja sekoitussuhde tulee selvittää laboratoriokokein ennen stabilointia. Liukoisuustestillä varmistetaan haitta-aineiden liukenemattomuudesta. (Vahanne 2005)

Muun muassa sedimenteille, joissa on korkea pitoisuus orgaanisia tinayhdisteitä, sopii terminen eli lämpökäsittely. Tällöin sedimentiltä vaaditaan lisäksi alhaista vesipitoisuutta ja kohtuullista määrää. Terminen eli lämpökäsittely perustuu haitallisten yhdisteiden haihduttamiseen lämmön avulla. Kaksivaiheisessa käsittelyssä haitalliset yhdisteet ensin haihdutetaan irti maa-aineksesta, jonka ne hajotetaan jälkipolton avulla. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.)

Biologista hajoamista käsittelymenetelmänä on kokeiltu mm. Belgiassa, TBT Clean Life –hankkeessa. Biologiseen hajoamiseen perustuvaa käsittelymenetelmää pidettiin toimivana, mutta se vaatii lämpimien olosuhteiden lisäksi pitkän käsittelyajan sekä paljon tilaa. Sedimentin pesua eli märkäerotusta testattiin myös

TBT Clean Life –hankkeessa. Haitta-aineet siirtyvät märkäerotuksessa liuenneena pesunesteeseen. Märkäerotuksen etuna on nopeus, mutta kiinteän aineen osuuden lisääntyessä puhdistustulokset heikkenivät huomattavasti. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.)

Ruopattujen sedimenttien kunnostaminen vaatii usein eri toimenpiteiden yhdistämistä ja lisäksi myös erotetun veden käsittelyä, sillä haitta-aineita voi olla myös erotetussa vedessä. Veden käsittelyyn on käytetty mm. otsonia, kemiallista hapettamista sekä aktiivihiihtä. (Ympäristöministeriön työryhmä 2006.) Myös geotubimentelmän on todettu soveltuvan pilaantuneesta sedimentistä erotetun veden käsittelyyn. Tämän työn tutkimusosiossa selvitettiin turpeen soveltuvuutta veden erottamiseen ruopatusta sedimentistä sekä erotetun veden käsittelyyn.

7 KOEJÄRJESTELYT

Laboratoriokokein kokeiltiin turvesuodatuksen toimivuutta pilaantuneen sedimentin kuivatukseen ja erotetun veden käsittelyyn. Tutkimuksilla ratkaistiin menetelmän tekniseen toteuttamiseen liittyviä seikkoja. Laboratoriossa tehdyissä tutkimuksissa sedimentistä määritettiin kuiva-aine ja hehkutushäviö. Lisäksi veden imeytymistä turpeeseen selvitettiin yksinkertaisilla laboratoriokokeilla. Kahden saostuskemikaalien käyttäytymistä tutkittiin laskeutuskokeilla. Varsinaisena koejärjestelynä selvitettiin sedimentistä erotetun veden suodattumista turpeen läpi. Suodattuneesta vedestä määritettiin mineraaliöljypitoisuus kaasukromatografilla. Laboratoriossa tehdyissä kokeissa käytettiin aidosta pilaantuneesta kohteesta, vanhasta tukkialtaasta, otettua sedimenttiä. Näytteet otettiin 25.1.2006.

7.1 Kuiva-aine

Sedimentin kuiva-aine pitoisuus määritettiin, koska öljymäärityksen tulokset ilmoitetaan kuiva-ainetta kohti. Kuiva-aine määritettiin standardin 3008, veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen, mukaisesti. Näytteet punnittiin alumiinivuokiin ja tarkat lukemat kirjattiin muistiin (märkä-

paino). Näytteet olivat uunissa 105 °C 20 tuntia, jonka jälkeen ne laitettiin eksikaattoriin kahdeksi tunniksi. Tämän jälkeen näytteet punnittiin uudestaan (kuivapaino). Kuiva-aine laskettiin kaavalla 1.

$$X_2 = \frac{m_2 - m_1}{m} \quad (1)$$

$X_2 =$	kuiva-aine, mg/g
$m_1 =$	astian massa, mg
$m_2 =$	astian ja sedimentinäytteen kuivatun jäännöksen yhteenlaskettu massa, mg
$m =$	määritykseen käytetty sedimentinäytteen määrä, g

Kertomalla tulos sadalla, saadaan kuiva-aine prosentti.

7.2 Hehkutusjäännös

Hehkutusjäännös määritettiin standardin 3008, veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen, mukaisesti. Hehkutusjäännös kuvaa näytteen orgaanisen aineen määrää (Pallonen 2004). Hehkutusjäännös määritettiin kahdesta neljän gramman näytteestä, jotka olivat olleet uunissa 105 °C 20 tuntia. Näytteet punnittiin posliiniupokkaisiin, jonka jälkeen ne siirrettiin polttouuniin, jonka lämpötilaa nostettiin vaiheittain 550 °C:een. Näytettä hehkutettiin 550 °C:ssa kaksi tuntia. Hehkutuksen jälkeen näytteet olivat eksikaattorissa tunnin ajan. Tämän jälkeen näytteet punnittiin. Hehkutusjäännös laskettiin kaavalla 2.

$$Y_3 = \frac{m_2}{m_1} * 100 \quad (2)$$

Y_3 = hehkutusjäännös, mg/g kuiva-ainetta kohti laskettuna
 m_1 = sedimenttinäytteen kuivatun jäännöksen massa, mg
 m_2 = sedimenttinäytteen hehkutusjäännöksen massa, mg

7.3 Veden imeytyminen turpeeseen

Veden imeytymistä turpeeseen testattiin lisäämällä samaan määrään turvetta (5 g) eri määrät vettä (2.5, 5, 10, 15, 20 ja 30 g). Turve-vesiseoksen annettiin imeytyä 10 minuuttia, jonka jälkeen sen annettiin valua siivilässä 5 minuuttia. Tämän jälkeen näyte punnittiin.

7.4 Laskeutuskoe

Sedimentin laskeutumisominaisuuksia saostuskemikaalien avulla selvitettiin laskeutuskokeella. Kolmeen dekanterilasiin lisättiin 250 ml sedimenttiä sekä 250 ml järvivettä, jotta saatiin imuruopattavan massan tapainen näyte. Näyte sekoitettiin hyvin ja sekoittamista jatkettiin magneettisekoittimen avulla kemikaalin lisäämisen jälkeen vielä 15 minuuttia. Yksi näyte laskeutettiin ilman saostuskemikaalia. Kahteen näytteeseen lisättiin saostuskemikaalia (PAX-18 ja PAX-XL60) 400 µl. Sedimentin laskeutumista ja veden kirkastumista seurattiin silmämääräisesti. Kemikaaleina käytettiin Kemiran Kemwater PAX-18 ja Kemwater PAX-XL60 saostusaineita, joiden tuotetiedot on esitetty liitteessä 1.

7.5 Öljyn imeytyminen turpeeseen

Sedimentistä, sekä sedimentistä erottuneesta vedestä määritettiin mineraaliöljypitoisuus kaasukromatografilla ennen kokeen alkua. Sedimentistä, sekä sedimentistä erottuneesta vedestä otettiin kaksi rinnakkaista näytettä. Mineraaliöljymääritys tehtiin Mervi Pulkkisen laatiman ohjeen, vesi-, maa- ja sedimenttinäytteiden

mineraaliöljyn määrittäminen kaasukromatografisesti (GC-FID), mukaisesti. Integrointi tehtiin välillä nonaani – terakontaani. Mineraaliöljypitoisuuden määrittämissä vesinäytteille menetelmässä on 0,10 mg/l ja sedimentinäytteille 10 mg/kg ka.

Akryyliputkeen lisättiin 50 g turvetta. Putken päässä oli korkki, jossa oli 4, kahden millimetrin reikää. Ennen varsinaisen näytteen kaatamista, turve kasteltiin kaatamalla putkeen 100 ml järvivettä. Sedimentistä tehtiin imuruopattavan massan tapainen seos lisäämällä 100 ml vettä, sedimenttiin, jota oli 100 ml. Sedimentti-vesi sekoitettiin, jonka jälkeen sen annettiin laskeutua tunnin ajan. Tunnin laskeutumisen jälkeen selkeästi erottunut vesikerros, joka oli noin 100 ml, pipetoi-
tiin putkessa olleen turvemassan (50 g) läpi. Edellä mainitut toimenpiteet toistettiin viisi kertaa, eli turpeen läpi meni noin 500 ml vettä. Koe tehtiin sekä ilman, että saostuskemikaalin kanssa. Koejärjestely on esitetty kuviossa 4.



KUVIO 4. Koejärjestely turpeen soveltuvuudesta sedimentin käsittelyyn.

Myös turpeen tukkeutumista seurattiin kokeen aikana, koska sedimentti sisältää paljon hienojakoista ainesta, jonka epäiltiin tukkivan veden pääsy turpeen läpi. Turvemassan läpi valunut vesi otettiin talteen, ja siitä määritettiin mineraaliöljypitoisuus. Mineraaliöljypitoisuus sedimentistä laskettiin kaavalla 4 ja vedestä kaavalla 5. Laskuihin tarvittava mineraaliöljypitoisuus standardisuorasta laskettiin kaavalla 3. Kaava 3 saadaan kalibrointisuorasta, joka on esitetty kuviossa 5.

$$Y = 0,6755x - 31,832$$

$$x = \frac{Y + 31,832}{0,6755}, \quad (3)$$

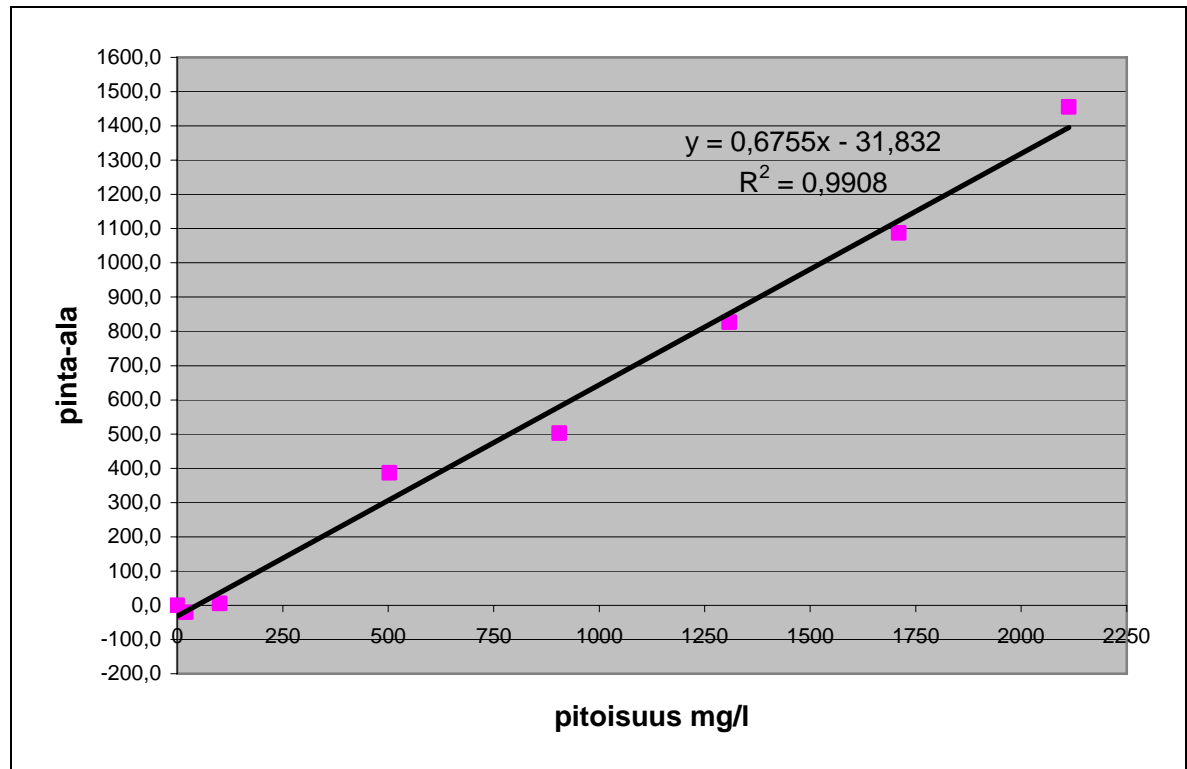
Y:n arvot saadaan kaasukromatografian tuloksista.

$$C_M = \frac{(C - C_0) * V * LK}{M}, \quad (4)$$

jossa C_M = maanäytteen mineraaliöljypitoisuus (mg/kg ka)
 C = Standardisuorasta laskettu mineraaliöljyn pitoisuus maanäytteelle ($\mu\text{g/ml}$)
 C_0 = standardisuorasta laskettu mineraaliöljyn pitoisuus nollanäytteelle ($\mu\text{g/ml}$)
 V = uuttoliuoksen tilavuus (2 ml)
 LK = laimennoskerroin
 M = punnitun maanäytteen massa kuiva-ainetta kohti (g ka)

$$C_v = \frac{(C - C_0) * V * LK}{M}, \quad (5)$$

jossa C_v = vesinäytteen mineraaliöljypitoisuus (mg/l)
 C = Standardisuorasta laskettu mineraaliöljyn pitoisuus vesinäytteelle ($\mu\text{g/ml}$)
 C_0 = standardisuorasta laskettu mineraaliöljyn pitoisuus nollanäytteelle ($\mu\text{g/ml}$)
 V = uuttoliuoksen tilavuus (1,5 ml)
 LK = laimennoskerroin
 M = punnitun vesinäytteen paino (g = ml)



KUVIO 5. Kalibrointisuora

8 TULOKSET

Sedimentin, jota oli laskeutettu tunnin ajan ilman saostuskemikaalia, suodattaminen turpeen läpi ei onnistunut kohtuullisessa ajassa. Koe tehtiin kuitenkin myös saostuskemikaalin kanssa. Tällä kokeella haluttiin selvittää, tuleeko mineraaliöljy pienimpien hiukkasten mukana erotettuun veteen. Öljyn imeytymistä turpeeseen on tutkittu mm. Lahden tutkimuslaboratoriossa, joten tiedettiin, että turve pystyy pidättämään öljyä öljy-vesiseoksesta. Lahden tutkimuslaboratorion tulokset on esitetty liitteessä 2.

8.1 Kuiva-aine

Sedimentinäytteestä punnittiin 4 gramman näytteitä kolme kappaletta ja 10 gramman näytteitä kaksi kappaletta. Kuiva-ainemäärityksen tulokset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Kuiva-ainemäärityksen tulokset

	Märkäpaino/g	Kuivapaino/g	Kuiva-aine (KA)/%
Näyte 1	3,9950	1,0346	25,9
Näyte 2	4,1448	1,0212	24,6
Näyte 3	4,0251	0,9556	23,7
Näyte 4	10,0286	2,3921	23,9
Näyte 5	10,0361	2,2901	22,8
Keskiarvo			24,2

8.2 Hehkutusjäännös

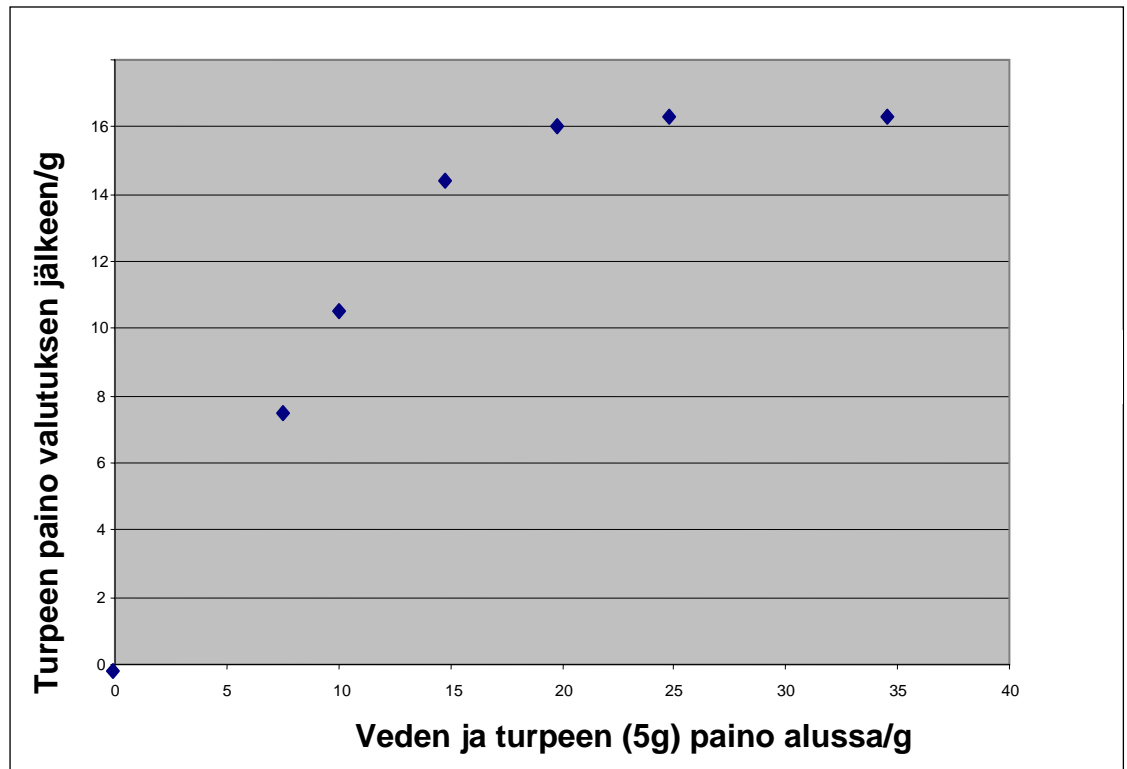
Hehkutusjäännöstä varten punnittiin kaksi näytettä. Hehkutusjäännöksen tulokset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Hehkutusjäännöksen tulokset

	Kuivamassa/mg	Hehkutusjäännös/mg	hehkutusjäännös %
Näyte1	4030,4	1885,2	46,8
Näyte2	4016,0	1643,5	40,9
Keskiarvo			43,8

8.3 Veden imeytyminen turpeeseen

Kokeessa turpeen määrä pysyi vakiona (5 g). Suoritettujen kokeiden mukaan vettä näyttäisi imeytyvän 5 grammaan turvetta noin 15 grammaa. Tulokset on esitetty kuviossa 6.



KUVIO 6. Veden imeytyminen turpeeseen

8.4 Laskeutuskoe

Laskeutuskokeen perusteella saostuskemikaaleista PAX-XL60 näytti toimivan kyseessä olevan sedimentin kanssa parhaiten. Sedimenttiä laskeutui määrällisesti kaikissa lähes saman verran. Ilman saostuskemikaalia ja saostuskemikaalin PAX-18 kanssa tehdyissä kokeissa, vesi ei kuitenkaan kirkastunut. Tulokset on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Laskeutuskokeen tulokset

Aika /min	Ei saostuskemikaalia	PAX-18	PAX-XL60
15	160 ml sameaa vettä 340 ml sedimenttiä	130 ml sameaa vettä 370 ml sedimenttiä	150 ml sameahkoa vettä 350 ml sedimenttiä
30	200 ml sameaa vettä 300 ml sedimenttiä	150 ml sameaa vettä 350 ml sedimenttiä	190 ml sameahkoa vettä 310 ml sedimenttiä
60	230 ml sameaa vettä 270 ml sedimenttiä	200 ml sameaa vettä 300 ml sedimenttiä	210 ml kirkasta vettä 290 ml sedimenttiä
120	250 ml sameaa vettä 250 ml sedimenttiä	200 ml sameaa vettä 300 ml sedimenttiä	240 ml kirkasta vettä 260 ml sedimenttiä
180	250 ml sameaa vettä 250 ml sedimenttiä	200 ml sameaa vettä 300 ml sedimenttiä	240 ml kirkasta vettä 260 ml sedimenttiä
1 vrk	300 ml sameaa vettä 200 ml sedimenttiä	250 ml sameaa vettä 250 ml sedimenttiä	270 ml kirkasta vettä 230 ml sedimenttiä

8.5 Öljyn imeytyminen turpeeseen

Sedimentin päällä olleesta vedestä sekä sedimentistä määritettiin mineraaliöljypitoisuus ennen koejärjestelyiden aloittamista. Näytteitä oli kaksi rinnakkaista. Turpeen läpi suodatetusta vedestä määritettiin mineraaliöljypitoisuudet. Tulokset on esitetty taulukossa 6.

Ilman saostuskemikaalia tehdyssä kokeessa veden valuminen turpeen läpi hidastui, kun vettä oli laskettu n. 200 ml. Noin 300 ml jälkeen turve tukkeutui, eikä vettä enää tullut putkesta ulos juuri lainkaan. Koejärjestelmä peitettiin foliolla, ja se jätettiin valumaan viikonlopun ajaksi. Viikonlopun aikana turpeeseen kaadettu vesi, n. 500 ml, oli valunut sen läpi.

Koejärjestely, joka tehtiin saostuskemikaalin kanssa, toimi hyvin, Turpeen tukkeutumista ei tapahtunut.

TAULUKKO 6. Mineraaliöljymäärittysten tulokset

Näyte	Y (kaasukromatografista saatu tulos)	Standardiduorasta lasitettu pitoisuus	M (g) (näytteen paino)	Mineraaliöljypitoisuus
Vesinäyte ennen turvesuodatusta (rinnakkaisnäyte 1/2)	462,6	732,0	412,76	2,7 mg/l
Vesinäyte ennen turvesuodatusta (rinnakkaisnäyte 2/2)	72,1	153,9	430,91	0,54 mg/l
Sedimenttinäyte ennen turvesuodatusta (rinnakkaisnäyte 1/2)	1701,0	2565,5	1,543	3330 mg/kg ka
Sedimenttinäyte ennen turvesuodatusta (rinnakkaisnäyte 2/2)	1221,8	1856,0	1,876	1980 mg/kg ka
Vesinäyte turvesuodatuksen jälkeen saostuskemikaalin kanssa 2. 0-300 ml	-17,4	21,3	309,25	0,10 mg/l
Vesinäyte turvesuodatuksen jälkeen saostuskemikaalin kanssa 300–600 ml	-14,9	25,1	318,58	0,12 mg/l

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuusselvityksessä ilmeni, ettei Suomessa ole tehty montaakaan varsinaista pilaantuneen sedimentin puhdistusprojektia. Menetelmiä pilaantuneen sedimentin puhdistukseen on siten käytössä vielä vähän. Varsinaisena pilaantuneen sedimentin käsittelymenetelmänä voidaan pitää geotuubia. Kokemukset geotuubin käytöstä olivat olleet melko hyviä, muutamia ongelmia lukuun ottamatta. Puhdistustulokset olivat hyvät geotuubin käytössä.

Koejärjestelyt osoittivat, että ilman saostuskemikaalia laskeutettu vesi ei suodatunut turpeen läpi kohtuullisessa ajassa. Näin ollen ilman saostuskemikaalia turvetta ei voida hyödyntää haitta-aineiden erottamiseen ruopatusta sedimentistä. Saostuskemikaalin kanssa tehdyssä kokeessa erottunut vesi saatiin suodatettua kohtuullisessa ajassa turpeen läpi. Sedimentin päältä otetun veden mineraaliöljypitoisuus ei ollut kuitenkaan kovin korkea, joten tuloksia ei siten voida pitää kovin luotettavina. Kuitenkin Lahden tutkimuslaboratoriossa tehtyjen kokeiden tulokset vahvistavat öljyn pidättymistä turpeeseen. Lahden tutkimuslaboratoriossa tehtyjen kokeiden tulokset on esitetty liitteessä 2. Mikäli sedimentti haluttaisiin sellaisenaan saada turvemassan läpi, tulisi selvittää, nopeuttaisiko esimerkiksi paine sedimentin läpimenoa turpeessa. Myös muut haitta-aineet, kuten raskasmetallit, tulisi määrittää turpeen läpi suodatetusta vedestä.

LÄHTEET

- Antila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H., Pohjakallio, M. 2003. Tekniikan Kemia. 7. tarkistettu painos. Edita Prima Oy. Helsinki.
- Hakala, H., Välimäki, J. 2003. Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Gaudeamus Kirja, Tampere.
- Helminen, H., Mäkinen, A., Horppila, J., Perttula, P.(toim.). 1995. Järvien ympäristöekologia. Turun Yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisu A:36. Painosalama Oy, Turku.
- Ilmavirta, V. 1990. Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Yliopistopaino. Helsinki.
- Laasonen, J. 2000. Saastuneiden sedimenttien käsittelymahdollisuudet Kymijoesa ja kenttäkokeiden suunnittelu. Otamedia Oy. Espoo.
- Majuri, H. 2003. Ruoppaushankkeiden ympäristöohjeita.
- Mäkiaho, M. 2003. Ruoppausmassojen läjityksen ja kuljetuksen suunnittelu. Ympäristö ja Terveys 2/2003, 24–26.
- Mäntylä, J. 2004. Sedimenttien kunnostus ajankohtaista monissa kunnissa. Ympäristö ja Terveys 2-3/2004, 95–98.
- Nerg, N. 2005. Merenpohjasedimentin kuivatus geotuubissa. Kuntatekniikka 5/2005, 24–25.
- Riipi, T. 1996. Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutusten perusteella. Diplomityö, tiivistelmä.

Sadeniemi, M. 1996. Nykysuomen sanakirja, osa V. 14. painos. WSOY. Juva.

SFS 3008. 1990. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.

Siiron, P. 2003. Pohjan profiili ja sedimentin laatu. Ympäristö ja Terveys 2/2003, 18–20.

Vesivalo, J., Salo, S., Mykkänen, E., Aunola, T., Hietapakka, U., Malve, O., Verta, M. 2002. Kymijoen pilaantuneiden sedimenttien koeruoppaus Myllykoskella 2002. Alueelliset ympäristöjulkaisut 286. Valkealan Painokarelia Oy. Valkeala.

Takala, J., Itkonen, A., Tuomi, P., Koponen, K., Salomies, M., Huuskonen, T. 2005. Uusi ympäristöinnovaatio: Geotuubit ja pilaantuneiden sedimenttien kunnostus.
http://www.mutku.com/tekstit/Mutku_paivat2005/Pirjo_Tuomi1.pdf,
1.3.2006

Salo, S, Verta, M, Kalevi, K. 2001. Suomen saastuneiden sedimenttien kartoitus.

Ympäristöministeriö. 2004. Sedimentin ruoppaus- ja läjitysohje. Helsinki.

Elektroniset lähteet:

Antifouling –valmisteet. 2006. [online] 17.3.2006. [viitattu 25.3.2006],
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1582&lan=fi>

Klooratut hiilivedyt. 2006. [online] [viitattu 25.3.2006],
<http://www.edu.fi/oppimateriaalit/ymparistokemia/hiilivety2.html>

Lyytikäinen, M. 2004. JoY/väitös: Kemikaalien biosaatavuus pitoisuuksia suurempi riski eliöille.[online] 21.9.2004. [viitattu 19.2.2006],
http://www.joensuu.fi/lehdisto_2004/msg00236.html

PAH -yhdisteet ympäristössä ja ravinnossa. 2006.[online] [viitattu 19.2.2006],
http://www.eela.fi/ajankohtaista/muuta_r.html?Id=1057218610.html&Tuosta=1

Pallonen, R. 2004. Haitalliset aineet Kymijoen edustan merialueen sedimenteissä kesällä 2003. [online] [viitattu 19.2.2006],
<http://www.planet.fi/kyvvy/julk112.pdf>

Raskasmetallit. 2006. [online] [viitattu 19.3.2006],
<http://www.edu.fi/oppimateriaalit/ymparistokemia/metallit.html>

Vahanne, Pasi. 2005. Riskien hallinta ruoppaus ja läjitys hankkeissa. [online] 16.3.2006 [viitattu 27.3.2006],
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=120054&lan=fi>

Julkaisemattomat lähteet:

U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Selecting Remediation Techniques For Contaminated Sediment.

Pulkkinen, M. Vesi-, maa- ja sedimenttinäytteiden mineraaliöljyn määrittäminen kaasukromatografisesti (GC-FID)

Ympäristöministeriö. 2004. Saastuneiden sedimenttien kartoitus.

Ympäristöministeriön työryhmä. 2006. Orgaaniset tinayhdisteet Suomen vesialueilla.

LIITTEET

LIITE 1

kemira

Kemwater™

PAX-18

Polyalumiinikloridi Kemwater PAX-18 on vedenpuhdistuksessa käytettävä nestemäinen saostusaine, joka sisältää aktiivisia moniarvoisia alumiiniyhdisteitä.

Kemwater PAX-18 sopii juoma- ja jätevesien puhdistukseen ja sitä voidaan käyttää useimmissa puhdistusprosesseissa.

Kemialliset ja fysikaaliset tiedot

Ulkomuoto	Kellertävä neste	
Alumiini (Al ³⁺)	9,0±0,3	p-%
Aktiivinen aine (Me ³⁺)	3,3±0,1	mol/kg
Rauta (Fe ³⁺)	< 0,01	p-%
Kloridi (Cl)	21±2	p-%
OH/Al	1,2±0,1	
pH	< 1,0	
Tiheys	1370±50	kg/m ³
Viskositeetti (23 °C)	34	cP

Epäpuhtaudet: Pitoisuus tuotteessa

Arseeni (As)	< 0,05	mg/kg
Kadmium (Cd)	< 0,05	mg/kg
Kromi (Cr)	< 0,5	mg/kg
Elohopea (Hg)	< 0,02	mg/kg
Nikkeli (Ni)	< 1	mg/kg
Lyijy (Pb)	< 1	mg/kg
Antimoni (Sb)	< 0,05	mg/kg
Seleen (Se)	< 0,05	mg/kg

Laatu

Kemwater PAX-18 vastaa juomavesien käsittelyssä käytettävälle kemikaaleille asetettua standardia "European Standard EN883 *Chemicals used for treatment of water intended for human consumption*".

Käytettävät materiaalit

Kemwater PAX-18 kanssa kosketuksiin joutuvien osien tulee olla muovia (PE, PP, PVC), lasikuittuvahvisteita polyesteriä, titaania tai kumioitua terästä. Tämä on huomioitava valittaessa pumppuja, putkistoja ja varastosäiliöitä. Haponkestäviä teräslaatuja ei voi käyttää Kemwater PAX-18 kanssa.

TUOTETIEDOT

PAX-18 15.04.2005

Säilytys

Kemwater PAX-18:n säilyvyys on vähintään 6 kk. Suositeltava käyttö- ja varastointilämpötila yli 0°C. Säilytysastia tulee merkitä tuotteen teknisellä nimellä sekä varoitusmerkillä.

Toimitukset

Kemwater PAX-18 toimitetaan irtotavarana säiliöautoilla max. 42 tonnia.

Annostelu

Kemwater PAX-18 voidaan annostella kalvo-pumppuilla laimentamattomana suoraan varastosäiliöstä tai vedellä laimennettuna.

Annostelumäärien laskeminen

100 ml/m³ PAX-18 vastaa

- 137 g /m³ PAX-18
- 12,33 g /m³ Al

100 g/m³ PAX-18 vastaa

- 72,99 ml/m³ PAX-18
- 9,00 g/m³ Al

Käyttöturvallisuus

Kemwater PAX-18 ärsyttää ihoa ja silmiä. Tuotetta käsiteltäessä on käytettävä suojavaatetusta, suojakäsineitä ja silmien- tai kasvosuojainta.

Ennen tuotteen käsittelyä on perehdyttävä käyttöturvallisuustiedotteeseen.



ÄRSYTTÄVÄ

Kemwater™

PAX-XL60

Polyalumiinikloridi Kemwater PAX-XL60 on vedenpuhdistuksessa käytettävä nestemäinen saostusaine, joka sisältää aktiivisia kolmiarvoisia alumiiniyhdisteitä.

Kemwater PAX-XL60 sopii juoma- ja jätevedenpuhdistukseen ja sitä voidaan käyttää useimmissa puhdistusprosesseissa. Erityisen hyvin PAX-XL60 sopii kiintoaineen poistoon.

Kemialliset ja fysikaaliset tiedot

Ulkomuoto	Kellertävä neste	
Alumiini (Al ³⁺)	7,8 _{+0,5}	p-%
Aktiivinen aine (Me ³⁺)	2,9 _{+0,2}	mol/kg
Rauta (Fe ³⁺)	< 0,01	p-%
Kloridi (Cl ⁻)	17,0 _{+2,0}	p-%
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	0,50 _{+0,05}	p-%
OH/Al	1,4 _{+0,1}	
pH	< 1,5	
Tiheys	1310 ₊₅₀	kg/m ³

Epäpuhtaudet: Pitoisuus tuotteessa

Arseeni (As)	< 0,05	mg/kg
Kadmium (Cd)	< 0,05	mg/kg
Kromi (Cr)	< 0,5	mg/kg
Elohopea (Hg)	< 0,02	mg/kg
Nikkeli (Ni)	< 1,0	mg/kg
Lyijy (Pb)	< 1,0	mg/kg
Antimoni (Sb)	< 0,05	mg/kg
Seleen (Se)	< 0,05	mg/kg

Laatu

Kemwater PAX-XL60 vastaa juomavesien käsittelyssä käytettävälle kemikaaleille asetettua standardia "European Standard EN883 Chemicals used for treatment of water intended for human consumption".

Käytettävät materiaalit

Kemwater PAX-XL60 kanssa kosketuksiin joutuvien osien tulee olla muovia (PE, PP, PVC), lasikuituvahvisteita polyesteriä, titaania tai kumioitua terästä. Tämä on huomioitava valittaessa pumppuja, putkistoja ja varastosäiliöitä. Haponkestäviä teräslaatuja ei voi käyttää Kemwater PAX-XL60 kanssa.

Säilytys

Kemwater PAX-XL60:n säilyvyys on vähintään 12 kk. Suositeltava käyttö- ja varastointilämpötila yli 0°C. Säilytysastia tulee merkitä tuotteen teknisellä nimellä sekä varoitusmerkillä.

Toimitukset

Kemwater PAX-XL60 toimitetaan irtotavarana säiliöautoilla max. 42 tonnia.

Annostelu

Kemwater PAX-XL60 voidaan annostella kalvo-pumpeilla laimentamattomana suoraan varastosäiliöstä tai vedellä laimennettuna.

Annostelumäärien laskeminen

100 ml/m³ PAX-XL60 vastaa

- 131 g /m³ PAX-XL60
- 10,22 g /m³ Al

100 g/m³ PAX-XL60 vastaa

- 76,34 ml/m³ PAX-XL60
- 7,80 g/m³ Al

Käyttöturvallisuus

Kemwater PAX-XL60 ärsyttää ihoa ja silmiä. Tuotetta käsiteltäessä on käytettävä suojavaatetusta, suojakäsineitä ja silmien- tai kasvonsuojainta.

Ennen tuotteen käsittelyä on perehdyttävä käyttöturvallisuustiedotteeseen.



ÄRSYTTÄVÄ

LIITE 2

Tutkimustodistus



LAHDEN
TUTKIMUSLABORATORIO

22.12.2000

LakeCleanER
Matti Mononen
Hämeenkatu 12 PL 37
15110 LAHTI

Viite: tarjous 56/2000

JÄTEVEDEN SUODATTIMEN PUHDISTUSTEHON SELVITYS**1. Koejärjestely**

Bensiinimoottorin jäteöljystä ja maalattujen pintojen ja lattioiden peruspuhdistusaineesta (teho-SIISTO, Kemiansalpa, Orion-yhtymä Oy Noiro) valmistettiin vesijohtoveteen seos, jossa oli 1,25 % öljyä ja 2,5 % pesuainetta. Seosta suodatettiin yhteensä 40 litraa, josta noin 12 litraa jäi suodattimeen. Seosta kaadettiin tasaisesti suodattimen päälle 10 litraa kymmenessä minuutissa, jonka jälkeen oli aina 20 – 33 minuuttia taukoa. Järjestelyllä jäljiteltiin ”huonointa mahdollista tilannetta”, missä öljyisiä työvälineitä pestään ko. pesuaineella.

Pesuaine sisältää tuoteselosteen mukaan synteettisiä tensidejä, fosfaattia, kaliumhydroksidia, alifaattisia hiilivetyjä, propanolia. Käyttöliuoksen (2,4 – 9 %) pH on 10,5.

Suodattamattoman jäteveden (tuleva vesi) lisäksi öljypitoisuus määritettiin kolmesta suodosnäytteestä: 0 – 1 l, 14 – 15 l ja 25 – 26 l. Lopuksi otettiin kolme näytettä turvesuodattimesta: pinnasta 0 – 5 cm, keskeltä 20 – 25 cm ja pohjalta 40 – 45 cm.

Öljy määritettiin kaasukromatografisesti käyttäen vesinäytteessä heksaaniuuttoa (standardiehdotus ISO/DIS 9377-4) ja turvenäytteessä asetoni/heksaaniuuttoa (standardiehdotuksen ISO/TC 190) ja FI-detektoria (”hiilivetyöljyindeksi”). Menetelmällä määritetään poolittomien hiilivetyjen summa välillä C₁₀H₂₂-C₄₀H₈₂ (dekaani-tetrakontaani).

2. Tulokset

Vesi

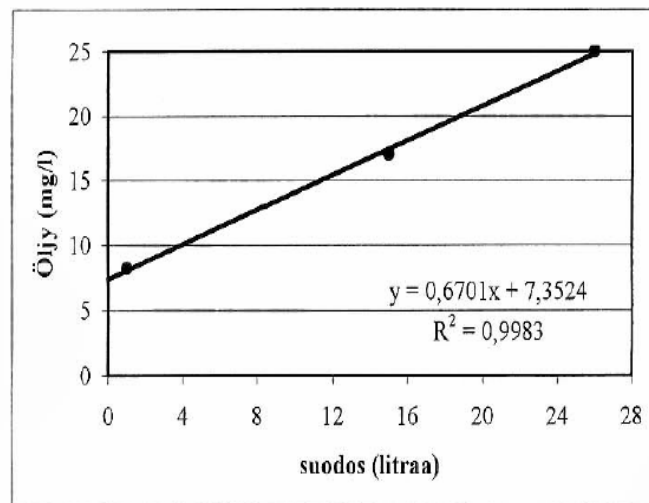
	Öljypitoisuus mg/l	Puhdistusteho
tuleva vesi	8 100	-
0 – 1 l	8,2	99,9
14 – 15 l	17	99,8
25 – 26 l	25	99,7

Turve

	Kuiva-aine %	Öljypitoisuus mg/kg (kuiva-aine)	Öljypitoisuus mg/kg (tuorepaino)
0 – 5 cm	37	260 000	98 000
20 – 25 cm	28	6 100	17 000
40 – 45 cm	23	4 800	1 100

3. Tulosten tarkastelu

Turpeella tiedetään olevan hyvä öljynsidontakyky. Tässä koejärjestelyssä tutkittiin kuinka öljy sitoutuu turvesuodattimeen, kun mukana on pesuainetta. Öljypitoisuus nousi lineaarisesti ollen lopussa 25 mg/l. Ympäristöministeriön tiedotteessa 30.9.1992 mineraaliöljypohjaisten hiilivetyjen kokonaispitoisuuden (määritettynä kokonaishiilivetypitoisuutena) ohjearvo yleiseen viemäriin johdettaville teollisuusjätevesille on 200 mg/l. Yksittäisten jätevedenpuhdistamojen asettamat raja-arvot voivat olla tiukempia: esimerkiksi < 50 mg/l. Koejärjestelyä vastaavassa käytössä turpeen öljynsidontakyky olisi riittänyt 64 litralle jätevettä ennen kuin 50 mg/l pitoisuus olisi saavutettu.



Kuva 1. Suodoksen öljypitoisuus suodatetun jätevesimäärän funktiona sekä arvoihin sovitettu regressiosuora.

Öljypitoisuus turvesuodattimen alaosassa oli alle 2 % pintakerrokseen verrattuna, joten öljynpidätyskyvyn voidaan arvioida heikkenevän lineaarisesti vielä melko suurellakin jäteveden kokonaismäärällä. Raja-arvon 200 mg/l saavuttaminen suodoksessa vaatisi noin 290 litraa jätevettä.

Jotta turvesuodattimelle voisi antaa tarkan käyttöikäsuosituksen, pitäisi tehdä jatkotutkimus, jossa suodatetaan vielä suurempi jätevesimäärä kunnes puhdistustulos huononee asetettuun raja-arvoon asti.

Lahdessa 22.12.2000

Ismo Malin

Ismo Malin
limnologi



Jari Tuominen

Jari Tuominen
laboratorion johtaja



TUTKIMUSTODISTUS

Sivu: 1

LAKECLEANER
MATTI MONONEN
HÄMEENKATU 12
15110 LAHTI

Näytenumero	Näytetyyppi	Näytepaikka/-koodi	Näytteenotto-päivä	Analyysi-päivä
1)	2000-06387-1 Maatutkimus	Turve 0-5 cm	221100	191200
2)	2000-06387-2 Maatutkimus	Turve 20-25 cm	221100	191200
3)	2000-06387-3 Maatutkimus	Turve 40-45 cm	221100	191200

Analyysi	Menetelmä	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3	Yksikkö
Öljy maa, GC		260000	6100	4800	mg/kg ka

Lausunto

Öljy määritettiin kaasukromatografisesti käyttäen asetoni/heksaaniuuttoa ja FI-detektoria standardiehdotuksen ISO/TC 190 mukaisesti ("hiilivetyöljy-indeksi").
Menetelmällä määritetään poolittomien hiilivetyjen summa välillä C10H22-C40H82 (dekaani-tetrakontaani).
Määrittäysraja öljylle on 100 mg/kg ka.

Kuiva-ainepitoisuudet olivat:

6387-1 37 %
-2 28 %
-3 23 %

Lahti 19.12.00

Lab. johtaja Jari Tuominen



Ismo Malin
Limnologi Ismo Malin

LAHDEN TUTKIMUSLABORATORIO

Niemenkatu 73 C
15210 LAHTI, FINLAND

puh. (03) 816 5130
fax (03) 816 5151



TUTKIMUSTODISTUS

Sivu: 1

LAKECLEANER
MATTI MONONEN
HÄMEENKATU 12
15110 LAHTI

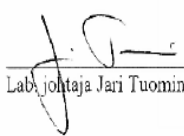
Näyttenumero	Näytetyyppi	Näytepaikka/-koodi	Näytteenotto-päivä	Analyysi-päivä
1)	2000-06386-1 Vesitutkimus	1. tuleva vesi	221100	191200
2)	2000-06386-2 Vesitutkimus	2. 0-1 l	221100	191200
3)	2000-06386-3 Vesitutkimus	4. 14-15 l	221100	191200
4)	2000-06386-4 Vesitutkimus	6. 25-26 l	221100	191200


Analyysi	Menetelmä	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3	Näyte 4	Yksikkö
Öljy vesi, GC	G15	8100	8,2	17	25	mg/l

Lausunto

Öljy määritettiin kaasukromatografisesti käyttäen heksaaniuuttoa ja FI-detektoria standardiehdotuksen ISO/DIS 9377-4 mukaisesti ("hiilivetyöljy-indeksi").
Menetelmällä määritetään poolittomien hiilivetyjen summa välillä C10H22-C40H82 (dekaani-tetrakontaani).
Määritysraja öljylle on 0,1 mg/l.

Lahti 19.12.00


 Lab. johtaja Jari Tuominen


 Limnologi Ismo Malin

LAHDEN TUTKIMUSLABORATORIO

 Niemenkatu 73 C
 15210 LAHTI, FINLAND

 puh (03) 816 5130
 fax (03) 816 5151