

Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutuksien perusteella

Timo Riipi
VTT Valmistustekniikka



ISBN 951-38-5151-6
ISSN 1235-0605

ISBN 951-38-5152-4 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1997

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, telekopio 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, telefax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, telefax + 358 9 456 4374

VTT Valmistustekniikka, Laiva- ja konetekniikka, Tekniikantie 12, PL 1705, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 5888

VTT Tillverknings teknik, Skepps- och maskinteknik, Teknikvägen 12, PB 1705, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 5888

VTT Manufacturing Technology, Maritime and Mechanical Engineering, Tekniikantie 12, P.O.Box 1705,
FIN-02044 VTT, Finland
phone international + 358 9 4561, fax + 358 9 456 5888

Toimitus Kerttu Tirronen

LIBELLA PAINOPALVELU OY, ESPOO 1997

Riipi, Timo. Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutuksien perusteella [Selection of dredging and disposal techniques based on soil characteristics and environmental effects]. Espoo 1997, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1853. 66 s. + liitt. 40 s.

UDK 627.74:504.05

Avainsanat dredging, environmental effects, environmental impacts, spoil areas, soil properties

TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli selvittää eri ruoppaus- ja läjitystekniikoiden soveltuvuutta ympäristövaikutuksien kannalta ja löytää Suomen oloihin soveltuvia, ympäristöystävällisiä ja taloudellisia ruoppaus- ja läjitysmenetelmiä.

Mikäli maakerros koostuu karkearakeisista maalajeista eikä sijaitse alueella, jossa on tai on ollut saastuttavia lähteitä ja mikäli ruoppausmassat läjitetään pohjamateriaaliltaan ruoppausmassaa vastaavalle alueelle, perustuu ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta lähinnä taloudellisiin tekijöihin kuten eri tekniikoiden tuottoon (ruopattavuuteen). Kivisiin ja tiiviisiin maakerrokseen sopivat pääasiassa vain kauhatyyppiset ruoppaajat ja löyhiin maihin sekä kauha- että imuruoppaajat. Mikäli maalaji on hienorakeista ja on todennäköistä, että materiaali sisältää saasteita, valitaan ruoppaus- ja läjitystekniikka maalajin ruopattavuuden (tuoton) lisäksi samentumisen ja sedimentin karkaamisen määrän sekä saastuneiden maiden käsittelystä aiheutuvien lisäkustannuksien perusteella. Pienin parannuksin tavanomainen kauharuoppaus - proomukuljetus - vesiläjitystekniikka soveltuu vähän ympäristölle haitallisille tai vähän saastuneille maille. Hyvin saastuneille maille olisi parasta käyttää valikoivaa ruoppaustekniikkaa ja läjittää massat eristetylle alueelle, joko veden pohjaan akkumulaatioalueelle peittäen, rannalle tai maalle. Ruoppausalueelle jääneet puhtaammat massat voidaan ruopata tavanomaisilla tekniikoilla.

Taloudellisista syistä Suomessa kannattaa käyttää mahdollisimman paljon jo olemassa olevaa kauharuoppaajakalustoa. Käytössä oleva imuruoppauskalusto ei ole omiaan saastuneiden maiden ruoppaukseen, koska sen varustus on puutteellinen ja ruoppaus epätarkkaa. Imuruoppaajia voidaan kuitenkin tietyin varauksin käyttää maalle tai rannalle läjityksessä (putkikuljetus suoraan läjitysalueelle) mikäli ylijäämävesi ja siinä olevat mahdollisesti saastuneet partikkelit puhdistetaan huolellisesti. Avovesiläjityksessä voidaan käyttää silttiverhoja sekä peittämistekniikkaa vähentämässä ympäristövaikutuksia. Ohuiden kerroksien kuorivien erikoisruoppaustekniikoiden käyttö on perusteltua, mikäli saastuminen keskittyy ylimpään ohueen sedimenttikerrokseen. Tällöin ylin kerros kannattaa ruopata erikseen, jolloin puhdistettavat ja muuten jatkokäsitteltävät massamäärät pysyvät alhaisina ja siten laskevat kustannuksia. Mikäli olosuhteet ovat edulliset ja käsitteltävät saasteet orgaanisia, voidaan saastunut sedimentti myös käsitellä paikallaan (in-situ) tai ruoppauskohteen läheisyydessä (ex-situ). Tekniikka perustuu lähinnä luonnon omaan hajottamismekanismiin, jota autetaan luomalla kohteeseen mm. bakteereille edulliset olosuhteet. Mikäli saasteita ei voida käsitellä itse paikalla ja mikäli saastumisaste on suuri, on saasteet läjitettävä eristetyksi tai puhdistettava muualla.

Riipi, Timo. Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutuksien perusteella [Selection of dredging and disposal techniques based on soil characteristics and environmental effects]. Espoo 1997, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1853. 66 p. + app. 40 p.

UDC 627.74:504.05

Keywords dredging, environmental effects, environmental impacts, spoil areas, soil properties

ABSTRACT

The objective of this research was to study the efficiency and environmental effects of dredging and disposal techniques and find environmental and economical dredging and disposal methods suitable for Finnish conditions.

The efficiency of dredgers to dredge the sediment and the aspects related to contaminated sediments became the most important criteria for selection based on soil characteristics. The grain-size distribution and organic content were found to be the best criteria to evaluate the contamination of different sediments. This is important because contamination is the major cause in negative environmental effects of dredging. The evaluation of environmental effects of different techniques is mainly based on the suspension and lost sediment rates of the equipment. An estimate of economics was made for rough estimate of the costs of environmental dredging

When the dredged material is coarse-grained, and it is not located in an area with known pollution sources, it can be disposed in open water at a site with the same type of bottom sediment as the dredged material. In this case, the selection of dredging and disposal technique will be based only on economical aspects, including the efficiency of technique to dredge a specific material. Bucket type dredgers are appropriate for most granular sediments, including dense sediment layers. Suction dredgers are suitable mainly for loose sediment layers. If the material is fine-grained and there is a possibility that the material is contaminated, resuspension rates and total sediment losses during dredging and disposal, together with economical aspects, will be the most important criteria in selecting a dredging and disposal technique. Traditional methods, e.g., the bucket dredging with barge transportation and open water disposal, are suitable for clean sediments characterized by low contamination levels and low environmental risks. If the sediment is contaminated and has therefore high environmental risks, the best solution is to use environmental dredging equipment and confined disposal techniques including open-water disposal with subaqueous capping using clean material.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
1. JOHDANTO	7
2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	8
3. SUOMEN MERIALUEIDEN POHJASUHTEET.....	8
3.1 YLEISTÄ.....	8
3.2 MAAKERROKSET	8
3.3 YLEISPIIRTEINEN KUVAUS ERI ALUEISTA SUOMESSA	9
4. RUOPPAUS- JA LÄJITYSTEKNIIKAT	11
5. RUOPPAUSTEKNIIKOIDEN SOVELTUVUUS ERI MAALAJEIHIN	12
6. RUOPPAUKSEN JA LÄJITYKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	15
6.1 YLEISTÄ.....	15
6.2 RUOPPAUKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	15
6.2.1 Materiaalin irrotuksen vaikutukset.....	15
6.2.2 Materiaalin noston vaikutukset	15
6.2.3 Ruoppaajatyypin vertailu.....	16
6.3 LÄJITYKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	21
6.3.1 Materiaalin kuljetuksen vaikutukset	21
6.3.2 Saasteiden leviäminen läjitettäessä veteen.....	21
6.3.3 Tyhjennysvaiheen vaikutukset	21
6.3.4 Läjityksen välittömät vaikutukset läjitysalueella	21
6.3.5 Läjityksen pidempiaikainen tarkastelu.....	22
6.3.6 Maalläläjityksen vaikutukset.....	23
6.4 RUOPPAUKSEN YMPÄRISTÖHAITTOIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	24
6.5 ALUSLIIKENTEEEN HAITAT VERRATTUNA RUOPPAUKSEN HAITTOIHIN.....	24
6.6 SAASTUNEEN MAA-AINEKSEN MERKITYS YMPÄRISTÖHAITTOJEN ARVIOINNISSA.....	25
6.7 SEDIMENTIN SAASTUMISASTEEN ARVIOINTI.....	27
6.7.1 Hollantilaiset arviointitavat.....	27
6.7.2 Kanadalainen arviointimenettely St.Lawrence-joen sedimenteille	29
6.7.3 Suomalaisen SAMASE-projektin saastuneisuusasteen mukainen luokittelu	31
6.7.4 Veden kiintoainespitoisuuden perustuva ympäristövaikutusten arviointi.....	31
7. YMPÄRISTÖÄ VÄHEMMÄN KUORMITTAVAT RUOPPAUS- JA LÄJITYSTEKNIIKAT	32
7.1 RUOPPAUKSEN TYÖVAIHEISSA TAPAHTUNUT KEHITYS	32

7.1.1 Yleinen kehitys.....	32
7.1.2 Kauharuoppaajat	32
7.1.3 Imuruoppaajat	34
7.2 ESIMERKKEJÄ YMPÄRISTÖÄ VÄHEMMÄN KUORMITTAVISTA TEKNIKOISTA	35
7.2.1 Yleistä	35
7.2.2 Ruoppausalukset	36
7.2.3 Silttiverhot.....	45
7.2.4 Kuljetustekniikat	45
7.2.5 Läjitystekniikat.....	46
8. YMPÄRISTÖÄ VÄHEMMÄN KUORMITTAVAN RUOPPAUKSEN KUSTANNUKSIEN ARVIOINTI.....	49
8.1 YLEISPERIAATTEET	49
8.2 RUOPPAAMISEN KUSTANNUKSET	50
8.2.1 Yleistä	50
8.2.2 Ruoppaajien siirtokustannukset	50
8.2.3 Ruoppauskustannukset.....	50
8.2.4 Alueen eristämiskustannukset.....	51
8.2.5 Tutkimuskustannukset	51
8.2.6 Terveystenhoito, varotoimenpiteet sekä välineiden puhdistaminen	52
8.3 RUOPATUN MASSAN KULJETUSKUSTANNUKSET	52
8.4 LÄJITYSKUSTANNUKSET	52
8.5 SAASTEIDEN PUHDISTUSKUSTANNUKSET.....	53
8.6 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIEN HUOMIOONOTTAMISESTA AIHEUTUVA RUOPPAUKSEN JA LÄJITYKSEN KUSTANNUSTASON MUUTOS	54
9. SUOMEEN SOVELTUVIA SAASTUNEIDEN SEDIMENTTIEN RUOPPAUS- JA LÄJITYSMENETELMIÄ	55
9.1 YLEISTÄ.....	55
9.2 ESIMERKKEJÄ TEKNIKOISTA	55
10. JOHTOPÄÄTÖKSET	59
11. EHDOTUKSET JATKOTUTKIMUKSISTA	60
KÄYTETYT LYHENTEET	62
LÄHDELUETTELO	63
LIITTEET 1 - 17	

1. JOHDANTO

Vesistöjen pohjamateriaalit eivät ole välttyneet ihmisen keksintöjen saastuttavalta vaikutukselta. Euroopan satama-altaissa on jo pitkään havaittu ruoppauksien yhteydessä, että pohjasedimentti sisältää suuria PCB-, lyijy- ja raskasmetallipitoisuuksia. Ruoppauksissa tämä saastunut maa-aines nostetaan vesistöjen pohjasta, jolloin osa saasteista voi päästä sekoittumaan veteen. Ruopattu maa-aines päätyy läjityksessä vesistöön tai maalle.

Vesistöön läjitettäessä sedimentit sekoittuvat veteen ja osa saasteista huuhtoutuu vesivirtojen mukana kuljetettavaksi. Läjitysalueen ollessa stabiili jäävät loput saasteet paikoilleen tai sitten ajahtuvat läjitysalueen stabiliteetin ylittyessä kiintoainekseen sitoutuneena vesivirtojen mukana.

Maalle läjitettämisen yleisin vaihtoehto on ollut käyttää läjitysallasta, jonka seinämien rajoittamaan alueeseen ruopatut massat voidaan sijoittaa. Suuren vesipitoisuuden omaavat läjitysmassat on pyritty joko saostamaan tai muulla tavalla jatkokäsittämään. Maalle läjittäminen vaatii suuren alueen, jonka löytyminen nykyoloissa voi olla vaikeaa varsinkin kun läjitysalue on itse asiassa jonkinlaisen ongelmajätteen kaatopaikka. Vesistöön läjittämiseen verrattuna on maalle läjittäminen kuljetus- ja siirtotekniikoiden kalleuden ja läjitykseltään rakennustöiden vuoksi myös paljon kalliimpaa.

Tämänhetkisiä laajemmasti tunnettuja ruoppaus- ja läjitystekniikoita on pidetty ympäristöä kuormittavina. Tässä työssä on kartoitettu olemassa olevien ruoppaus- ja läjitystekniikoita ja niiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia.

Ongelmaa tutkittiin Suomen, ja erityisesti rannikkoalueiden, sedimenttialueiden näkökulmasta, sillä suurimmat ongelmat ovat mm. Euroopassa aiheutuneet juuri suurten asutus- ja teollisuuskeskittymien vaikutusalueella olevien jokisuistojen ja satama-alueiden ruoppauksista.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää Suomen oloihin soveltuvia taloudellisia ja ympäristöä vähän kuormittavia ruoppaus- ja läjitystekniikoita. Tutkimuksen tuloksena on selvitys ruoppaus- ja läjitystekniikoiden edellytyksistä ruoppauksesta syntyviin ympäristövaikutuksiin nähden.

2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus suoritettiin kirjallisuusselvityksenä sekä tutustumalla Hollannissa ja Belgiassa ruoppaus- ja läjitystekniikoihin. Pääpaino ruoppaus- ja läjitystekniikoiden teknisten edellytysten tutkimisessa oli kartoittaa olemassa olevaa tekniikkaa huomioiden maalajien ominaisuudet Suomessa.

Lähdeaineisto on pääosin Pohjois-Amerikasta ja liittyy lähinnä Suurten Järvien (Great Lakes) saastuneiden sedimenttien puhdistusprojekteihin. Paljon materiaalia saatiin Kanadan ympäristöhallitukselta (Environment Canada), Yhdysvaltojen armeijan pioneereilta (US. Army Corps of Engineers) sekä Yhdysvaltojen ympäristöhallitukselta (US. Environment Agency). Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC) on myös julkaissut runsaasti alaa koskevia raportteja.

Hollantiin ja Belgiaan suuntautuneella matkalla tutustuttiin ympäristöä vähän kuormittaviin ruoppaus- ja läjitystekniikoihin sekä saastuneiden ruopattujen sedimenttien puhdistustekniikoihin. Matkalla nähtiin mm. ympäristöystävällistä ruoppausta saastuneessa kanaalissa, erilaisia sedimenttien läjitykseen sekä puhdistukseen liittyviä tekniikoita sekä saatiin aiheeseen liittyvää materiaalia suoraan yrityksiltä ja tutkimuslaitoksilta.

3. SUOMEN MERIALUEIDEN POHJASUHTEET

3.1 YLEISTÄ

Suomen rannikkoalueen tutkitut pohjasuhteet havainnollistavat, millaisia maakerroksia ruoppauksissa tulee vastaan. Pääasiallisesti Suomen rannikoilla on jokisuistoissa sekä saariston suojaamilla alueilla pääimmäisenä pohjamateriaalina savea ja liejua. Avomerelle päin mentäessä moreenin ja kivisten maiden osuus kasvaa. Syvemmällä on moreenia ja kalliota, joten uudisrakennusruoppaukseen vaaditaan lähes aina kauharuoppaajaa. Suomalainen ruoppauskalusto onkin pääasiassa kauhatyypistä. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa on vesien pohjalla runsaasti kiviä, moreenia ja louhittavaa kalliota, joihin kauharuoppaajat parhaiten pystyvät.

3.2 MAAKERROKSET

Merialueiden maakerroksissa on yleensä pääimmäisenä suojaisille alueille sedimentoitunutta liejusavea. Sen alla on usein muuta savea, silttiä, hiekkaa, soraa, moreenia ja lopulta peruskalliota. Aktiivisemmilla vesillä saattaa pohja muodostua moreenista (Taulukko 1).

3.3 YLEISPIIRTEINEN KUVAUS ERI ALUEISTA SUOMESSA

SUOMENLAHTI

Tavallisesti saarten läheisyydessä on kallio- ja moreenipohja, saarten välissä rauhallisissa syvänteissä kerrostuvaa liejusavea ja muualla postglasiaalista savea. Inkoon ja Kirkkonummen edustalla merenpohja on savea ja mutaa, Helsingin edustalla saarten läheisyydessä pohjamateriaali on kalliota, moreenia ja saarten välistä löytyy postglasiaalista savea. Kallvikin edustalta kaakkoon on 5 km:n pituinen ja 2 km:n levyinen kaistale hiekkaa ja soraa. Muuten Vuosaaren edustalla on 5 km:iin asti merelle postglasiaalista savea ja tuoretta liejusavea.

SAARISTOMERI, Turun edusta

Alueen kallioperä on rikkonaista ja korkeuserot suuria (Niemelä et al. 1987). Merialueilla alimpina kerroksina on kalliota ja moreenia, päällä kerrallista savea (myöhäisglasiaalista), tämän päällä liejusavea, joka tasoittaa syvänteet. Lisäksi joitakin kerroksia on erodoitunut voimakkaissa virtauspaikoissa ja kulkeutunut uusille sijoille. Matalikoilla usein kalliopohja ja saaret useimmiten kalliosaaria (Häkkinen 1990). Karkeasti määritellen Saaristomerellä esiintyy pintamateriaalina pääasiassa kerrostuvaa liejusavea suojaisilla alueilla ja postglasiaalisavea tai kalliota alueilla, joilla virtaukset ovat voimakkaampia.

SELKÄMERI, rannikko 20 mpk avomerelle

Pohjalla pääasiassa moreenia, sekä vähäisiä savialueita. Porin edustalla on pääasiassa hiekkaa, sekä joitakin savialueita. (Ignatius et al. 1980).

PERÄMERI, rannikko 20 mpk avomerelle

Pietarsaaren ja Kokkolan edustalla on pääasiassa moreenia ja vähäisiä savialueita. Raahen edustalla on moreenia ja vähäisiä hiekka-alueita. Oulun kaupungin edustalla pohjoiseen päin rantaviivaa myötäillen on noin 15 mpk pitkä ja 3 mpk leveä kaistale moreenia ja vähäisiä hiekka-alueita. Tästä kaistaleesta seuraavana meren puolella luoteeseen suuntautuvana on noin 10 mpk leveä ja noin 30 pitkä kaistale savea, jossa on siellä täällä vähäisiä hiekka-alueita. Lumijoenselkä on savea ja silttiä. Muualla Perämeren pohjukassa on Kemiin asti hiekkapohja. Tornion edustan pohjaa peittää savi.

Taulukko 1. Suomen rannikkomerialueille tyypillisiä merenpohjan maalajeja (Häkkinen 1990).

<p>RESENTTI LIEJUSAVI</p> <p>Merenpohjan rauhallisiin altaisiin nykyisin kerrostuva löyhä vesipitoinen lieju tai liejusavi. <i>Recent clays and muds (active sedimentation).</i></p>
<p>POSTGLASIAALISAVI</p> <p>Merenpohjalle mannerjäätikön sulamisen jälkeen kerrostunut usein heikosti kerroksellinen pohjan painanteita tasaava liejuinen savi. <i>Postglacial clays and muds ("basin fill"), subrecent, non-deposition.</i></p>
<p>GLASIAALISAVI tai SILTTI</p> <p>Jääkauden aikana kerrostunut kerrallinen ja heikosti kerroksellinen siltti tai savi. Kerrostuman rakenteen myötäilevät alla olevan pohjan muotoja. <i>Glacial clays and silts (homogenous and varved), erosion and/or non- deposition.</i></p>
<p>MOREENI JA GLASIAALISAVI JÄÄNTEITÄ</p> <p>Osittain erodoitunut glasiaalisavi tai -siltti, jonka karkeampi aines on rikastunut pohjan pintaan jäänekerrokseksi, erottuen usein huonosti löyhästä moreenista. <i>Till and glacial clay erosional remains.</i></p>
<p>UUDELLEEN KERROSTUNUT HIEKKA/HUUHTOUTUNUT HIEKKA</p> <p>Meren käynnin harjumuodostumasta tai moreenista irrottamaa ja uudelleen kerrostamaa hiekkaa, jota esiintyy toisinaan jopa nuorenkin savikerrostuman päällä. <i>Outwashed sands</i></p>
<p>HIEKKA JA SORA</p> <p>Mannerjäätikön sulavesivirtojen kerrostama hiekka- ja soramuodostuma, joka on morfologialtaan selväpiirteinen kokonaisuus. <i>Glaciofluvial sand and gravel.</i></p>
<p>MOREENI</p> <p>Mannerjäätikön kerrostama aines, jonka koostumus voi vaihdella löyhästä glasialakustrisesta sekasedimentistä betonimaiseen pohjamoreeniin. <i>Till.</i></p>
<p>KALLIO</p> <p>Paljas tai hyvin ohuen kerrostuman peittämä kallio. <i>Bedrock outcrops</i></p>

4. RUOPPAUS- JA LÄJITYSTEKNIIKAT

Ruoppauksella tarkoitetaan materiaalin poistamista tai siirtämistä veden pohjasta. Ruoppaus suoritetaan ruoppaajilla joiden perustyyppinä ovat kauharuoppaajat ja imuruoppaajat. Kauharuoppaajat ovat mekaanisia yhdellä tai useammalla kauhalla varustettuja ja yleensä lautalle asennettuja kaivinkoneen kaltaisia laitteita. Imuruoppaajat puolestaan ovat pumpuilla ja imuputkilla varustettuja ja useinmiten omin voimin kulkevia aluksia. Ne irrottavat materiaalin pohjasta ruoppauspään avulla ja imevät irronneen materiaalin yhden tai useamman imuputken avulla ylös lastirumaan tai veden päälliseen putkistoon.

Ruopattu materiaali kuljetetaan pois ruoppauspaikalta läjityspaikalle erilaisilla tekniikoilla. Kauharuoppaajan kanssa käytetään yleensä proomuja ja imuruoppaajan kanssa putkistokuljetusta. Jotkut imuruoppaajat pumppaavat massan ruumaansa ja kuljettavat siten ruopatun materiaalin itse läjityspaikalle.

Läjitys voi tapahtua joko veteen tai maalle. Rakennusmateriaaliksi kelpaavia maita ja louhetta käytetään hyväksi aallonmurtaajien ja laitureiden rakentamisessa. Rakennusmateriaaliksi kelpaamattoman sedimentin läjityspaikkoina ovat useimmiten olleet vesistöjen syvänteet, mutta erilaisista ympäristöhaitoista johtuen on läjitystä siirretty rakennettuihin altaisiin. Altaat voivat sijaita rannalla osittain veteen rajoittuen tai kokonaan kuivalla maalla. Läjityksessä tarvitaan kalustoa jolla materiaali voidaan siirtää altaisiin. Maalle läjityksessä materiaali yleensä siirretään proomuista kaivinkoneilla tai vastaavilla kuorma-autoihin tai nostetaan suoraan läjitysaltaaseen. Imuruoppaajaan ruumassaan kuljettama massa puolestaan voidaan ottaa vastaan erityisessä syöttöpisteessä, josta materiaali kuljetetaan kiinteitä putkia pitkin altaaseen. Mikäli imuruoppaajan oma kuljetusputkisto on riittävän pitkä ja pumput tarpeeksi tehokkaat ei läjitykseen tarvita välttämättä lisälaitteita.

5. RUOPPAUSTEKNIKOIDEN SOVELTUVUUS ERI MAALAJEIHIN

Ruoppaustekniikoiden soveltuvuutta erilaisiin maalajeihin arvioitiin saadun lähdeaineiston perusteella. Ruoppaajien valinnassa tuottavuudella voidaan hyvin arvioida laitteen soveltuvuutta kulloiseenkin ruopattavaan maahan. Tuottavuus kuvaa tekniikan soveltuvuutta hyvin, sillä se ottaa huomioon ruopattavuuden lisäksi myös mm. kauhojen täyttöasteen. Myös kuljetuskaluston soveltuvuutta arvioitiin lyhyesti.

Suomalaisen lähteen (Kandolin 1986) perusteella imuruoppaajat soveltuvat lähinnä eloperäisiin ja hienorakeisiin maalajeihin ja karkearakeisissa korkeintaan kivisiin maakerroksiin (Taulukko 2). Pisto- ja kuokkakauharuoppaaja tulevat toimeen kaikissa kaivuluokissa, mutta eloperäisissä maalajeissa tuottavuutta laskee materiaalin kauhassa pysymättömyys.

Ulkomaisissa lähteissä oli esitelty suosituksia ruoppaajien soveltuvuudesta erilaisiin Keski-Euroopan pohjaolosuhteisiin. Liitteessä 1 on PIANC:in vuonna 1972 esittämä arvio ruoppaajien soveltuvuudesta eri maalajeihin. Hiekan ruoppaaminen onnistuu kaikilta ruoppaajilta hyvin ja soran ruoppaaminen vähintään kohtalaisesti. Liitteessä 2 on PIANC:in vuoden 1989 arvio ruoppaajien soveltuvuudesta eri maalajeihin ylläpitoruoppauksessa. Mikäli hiekka on ehtinyt sementoitua, on käytettävä ketju-, kuokka- tai pistokauhaa. Eniten vaihtoehtoja mahdollistaa löyhän hiekan ruoppaus, johon soveltuvat lähes kaikki ruoppausmenetelmät.

British Standards Institution (1991) on esittänyt myös suosituksia sekä ylläpitoruoppauksen, että uudisrakennusruoppauksen kaluston valintaa maalajien perusteella (Liitteet 3 ja 4). Liitteestä 3 nähdään, että imuruoppaajat ovat sopivia kaikkien maalajien ylläpitoruoppaukseen ja soveltuvat ylläpitoruoppaukseen lähteen mukaan siis paremmin kuin kauharuoppaajat. Liitteestä 4 käy ilmi että uudisrakennusruoppauksessa mm. soran ruoppauksessa on yhdentekevää, mitä tekniikkaa käytetään. Mikäli joudutaan ruoppaamaan soraa vaikeammin ruopattavia maakerroksia, korostuu kauharuoppaajien parempi pystyvyys kivisiin ja koviin maakerroksiin.

Eri ruoppaajille suositelluista ruopattavan sedimentin ominaisuuksista on koottu taulukko 3. Siinä ilmoitetaan kunkin ruoppaajatyypin suositellut työskentelyyläraajat materiaalin partikkelikoolle ja maakerroksen leikkauslujuudelle.

Ruoppaajien pystyvyyttä voidaan arvioida osittain koneteknisestä selvityksestä. Kuokkakauharuoppaajien pystyvyyttä kuvaa mm. varsivoima, joka kuvaa puomille saatavaa voimaa ja joka on keskimäärin luokkaa 70 - 80 kN/kauhan leveys-m. Noin 80kN/m:n voimalla pystytään moreeniin, mutta ei välttämättä pakkaantuneeseen moreeniin, kun käytetään normaalikauhaa. Kapeammalla kauhalla kavennetaan ja pienennetään leikkauspintaa ja saadaan siten aikaan parempi pystyvyys moreeniin. Leikkuri-imuruoppaajilla vastaava leikkausvoima on koneen leikkausterässä ja sen on oltava myös suurin piirtein 70 kN/leikkurin kehämetri.

Taulukko 2. Kandolinin (1986) arvio eri ruoppausmenetelmien sopivuudesta eri kaivuluokkiin.

Kaivuluokka	Imuruoppaaja	Ketjukauha- ruoppaaja	Pisto- ja kuokkakauha- ruoppaaja	Kahmarikauha- ruoppaaja
E1	++	++	+	++
E2	++	++	+	++
E3	+ Puisuus heikentää tulosta	++	+	++
H1	++	++	++	++
H2	+	++	++	++
H3	+	++	++	++
K1	++	++	++	++
K2	+	++	++	++
K3	ei mahdollista	+/--	++	+
M1	ei mahdollista	--	++	--
M2	ei mahdollista	--	++	ei mahdollista ilman irrotusta
M3	ei mahdollista	ei mahdollista ilman irrotusta	+	ei mahdollista ilman irrotusta
T1	++	++	+	++
T2	+/--	++	++	++
T3	ei mahdollista	--	+	--
T4	ei mahdollista	--	+	+
L1	ei mahdollista	++	++	++
L2	ei mahdollista	+	++	++
L3	ei mahdollista	--	+	+

Merkkien selitykset:

++ hyvin, + kohtalaisesti, -- huonosti, +/-- kohtalaisesti/huonosti.

Taulukko 3. BSI:n eri ruoppaajille suosittelemat ruopattavan materiaalin suurimmat partikkelikoot ja maakerroksen leikkauslujuudet (BSI 1991).

RUOPPAAJATYYPPI	SUURIN PARTIKKELIKOKO (mm)	SUURIN MAAKERROKSEN LEIKKAUSLUJUUS (kN/m ²)
Laahaimuruoppaaja	500	75
Imuruoppaaja	200	-
Leikkuri-imuruoppaaja	500	500
Kauhapyörä-imuruoppaaja	450	400
Paikallaan pysyvä imuruoppaaja	150	-
Kahmarikauha (hopperi-tyyppi)	450	100
Kahmarikauha (ponttoni)	3500	300
Ketjukaularuoppaaja	2500	350
Kuokkakauharuoppaaja (hydraulinen)	3000	450
Pistokaularuoppaaja (mekaaninen)	2500	500

©Kopioitu BSI:n luvalla. Koko standardin BS 6349: 5:1991 kopio on saatavissa Suomen Standardisoimisliitosta.

6. RUOPPAUKSEN JA LÄJITYKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

6.1 YLEISTÄ

Ruoppaus vaikuttaa ympäristöönsä muokkaavana rakennustoimintana. Alue, jota ruopataan uudisrakennuskäyttöön, menettää alkuperäisen olomuotonsa. Työn aikana melu häiritsee sekä ihmisiä että eläimiä. Veden samentuminen, happipitoisuuden lasku ja massojen läjittäminen veden pohjaan hidastavat tai jopa estävät luonnontilaiseen veteen tottuneiden eliöiden ja eläinten normaaleja toimintoja.

Ruoppauksella on myös positiivisia ympäristövaikutuksia. Positiivisia vaikutuksia on vaikea käyttää hyväksi arviointimenettelyssä, sillä positiiviset vaikutukset ovat liian subjektiivisia, jotta kaikki asianosaiset osapuolet voisivat ne yhtäaikaaisesti hyväksyä. Tekniikkoiden arviointi on siis helpointa perustaa negatiivisten vaikutusten arviointiin.

6.2 RUOPPAUKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Ruoppaus ja läjitystoiminnasta aiheutuu ympäristövaikutuksia, joista suurin osa johtuu veden samentumisesta ja saastuneen kiintoaineksen pääsemisestä veteen. Orgaanista ainesta sisältävän materiaalin ruoppauksessa saattaa liukoisen hapen pitoisuus laskea alueella. Haitallisia yhdisteitä karkaa läjityksessä kiintoaineksen mukana sekä liukenemalla yms. Seuraavassa arvioidaan eri vaiheiden merkitystä kiintoaineksen karkaamiseen ja saasteiden muuhun leviämiseen.

6.2.1 Materiaalin irrotuksen vaikutukset

Materiaalin irrotusvaiheessa ruoppaajan kauha tai imupää sekoittaa sedimenttiä ja aiheuttaa pysty- ja vaakasuuntaisia virtauksia lähellä pohjaa. Osa sedimentistä (pienimmät partikkelit) suspensoituu ja liettyy, mistä seuraa veden samentumista. Mikäli suspensoitunut sedimentti sisältää saasteita voivat saasteet levitä virtojen mukana pitkiäkin matkoja. Osa irrotetusta sedimentistä putoaa kauhasta tai ei joudu imupään imettäväksi. Tällöin voidaan puhua "karanneesta" sedimentistä. Hienorakeisemmat "karanneet" sedimentit suspensoituvat ja liettyvät, sekä kulkeutuvat pohjalla ns. suspensiokuormana. Karkeampirakeisempi materiaali kulkeutuvat pitkin pohjaa ns. pohjakuormana.

6.2.2 Materiaalin noston vaikutukset

Kauhatyypisessä ruoppauksessa kauhan nostaminen vedessä aiheuttaa pääasiassa turbulenttisia pystyvirtauksia. Nostovaiheessa virtaukset ovat voimakkaampia kuin irrotusvaiheessa, minkä vuoksi sedimenttiä irtoaa ja nousee ylös pohjasta. Osa sedimentistä suspensoituu, osa vajoaa takaisin pohjaan. Noston aikana kauhasta putoaa sedimenttiä, josta osa suspensoituu ja osa vajoaa pohjalle. Kaikki tämä aiheuttaa samentumista ja mahdollistaa pohjakulkeutumisen maa-aineksen

rakenteen rikkouduttua helpommin siirreltäviksi partikkeleiksi. Siirrettäessä maata proomuun tai massapumppuun voi maa-ainesta jälleen pudota veteen.

Imutyypisessä ruoppauksessa massa nostetaan putkea pitkin hopperiin tai pumpataan eteenpäin putkistoon. Putkea pitkin tapahtuva nosto ei aiheuta juurikaan sedimentin karkaamista eikä pyörteitä, koska putken rakenne on tiivis (Imu itsessään ja imupään liikkeet aiheuttavat alhaalla putkenpäässä virtauksia ks. irrotuksen vaikutukset). Ainoastaan, mikäli pumpun nosto häiriintyy (roskat yms.), saattaa osa sedimentistä valua takaisin pohjaan. Tällöin on luonnollisesti seuraamuksena hienoimman irtonaisen maa-aineksen runsasta suspensoitumista. Mikäli alueella on pohjavirtauksia, kulkeutuu karkeampaa irrotettua ainesta virtojen mukana pohjaa pitkin.

6.2.3 Ruoppaajatyypien vertailu

Seuraavassa erityyppisiä ruoppaajia vertaillaan lähinnä kirjallisuuden perusteella ja arvioidaan työnaikaisen kiintoaineksen karkaamisen perusteella. Esimerkkinä kauharuoppaajista tarkastellaan kahmarikauharuoppaajaa ja imuruoppaajista leikkuri-imuruoppaajaa.

Kahmarikauharuoppaajan kauha lasketaan joko vaijerin varassa tai se on edellä mainittujen kauhatyypien tapaan kiinteän puomin päässä. Leikkauksen aikana ei ole pysty- tai sivusuuntaista liikettä. Kauhaa veteen laskettaessa huuhtoutuvat siihen jääneet maa-ainekset ja saavat veden samentumaan. Pohjaan isku aiheuttaa pohjan sekoittumista ja lisää suspensoitumista. Maan leikkauksen aikana ei tapahdu suuria aineksen karkaamisia. Kauhan irrottaessa maa-ainesta pääsee osa maasta putoamaan takaisin, osa siirtyy kauhan alla ja vieressä syrjään. Kauhan sulkeutuessa osa maasta karkaa kauhan sulkeutumisen aiheuttamasta paineen muutoksesta. Noustessaan ylös sedimentistä kauha saa aikaan voimakkaita ylöspäin suuntautuvia virtauksia aiheuttaen sedimentin suspensoitumista. Avaimesta kauhasta saattaa irrota matkalla paljon maa-ainesta. Kauhan noustua vedestä vesi poistuu siitä huuhdellen samalla kauhan päälle jäänyttä maata. Siirron aikana putoaa maa-ainesta (kuva 1).

Leikkuri-imuruoppaajan veteen laskettu imu ja leikkauspäätä kannattava puomi suorittavat viuhkamaista etenemisliikettä työn aikana. Imu- ja leikkauspään kulkiessa sivulta sivulle syntyy pyörteitä, joiden vaikutuksesta konsolidoitumaton hienorakeinen maa-aines suspensoituu herkästi. Leikkaus- ja irrotusvaiheessa maa-aines häiriintyy 0,5 - 1 m leikkutasoilla. Maa ja vesimassa sekoittuvat melko voimakkaasti, mutta se kuuluu ruoppaajan työskentelytekniikkaan. Seos imetään putkeen, jolloin melko pieni osa irronneesta massasta pääsee karkaamaan. Leikkurin nopeutta lisättäessä karkaaminen kasvaa (Liite 5). Vedessä nostettaessa massa kulkeutuu putkea pitkin ylös, eikä karkaamisia tapahdu. Mikäli pumppaus katkeaa tahattomasti kesken imun, laskee imupaine putkessa ja sedimentti valuu takaisin veden pohjaan aiheuttaen samentumista. Pumppaus läjitysalueelle on käytännössä suljettu systeemi, mutta pieniä määriä sedimenttiä voi karata huonoista putkiliitoksista. (Mikäli ruoppaaja olisi imuhopperi, tapahtuisi samentumista työn aikaisessa hopperin ylivuodattamisessa).



Kuva 1. Suurikokoinen kahmarikauha lastaamassa proomua Suurilla Järvillä Chicagossa. Kauhasta putoaa runsaasti materiaalia (TU Delft 1995).

Sedimenttiä karkaa erilaisia määriä ruoppaajatyypistä ja ruopattavasta materiaalista riippuen. Esimerkkinä olleen kahmarikauhan jokaisessa työvaiheessa sedimenttiä karkaa jonkin verran. Imuruoppaamisessa karkaamista tapahtuu puolestaan vain leikkaus- ja irrotusvaiheissa sekä hopperin ylivuodosta. Kahden edellä vertailun ruoppaajatyypin samentava vaikutus eri vesisyvyyksissä on esitetty taulukossa 4. Taulukosta havaitaan selkeästi ruoppaajatyypien eroavuus eli tavallinen imuruoppaaja (ei imuhopperi) samentaa vain alinta vesimassaa suljetun materiaalin nostotavan vuoksi. Kauhamallisen ruoppaajan ongelmana on kauhan avonaisuus ja sedimentin karkaaminen kaikissa työvaiheissa. Tätä voidaan vähentää muuttamalla kauhan rakennetta suljetummaksi ja mieluiten tiiviiksi.

Taulukossa 5 verrataan kolmea Pohjois-Amerikassa laajassa käytössä olevaa ruoppaajatyyppeä. Imuhopperin havaitaan aiheuttavan eniten kiintoainespitoisuuden nousua, mikäli hienoainespitoista vettä on juoksutettu yli laidan. Selkein havainto taulukosta 5 on ylijuoksituksen estämisen sekä kahmarikauhan rakenteen sulkemisen vaikutus kiintoaineksen vapautumiseen. Ruoppaushetkellä on hopperimallisen kahmarikauharuoppaajan läheisyydessä mitattu 90 - 105 mg/l kiintoainespitoisuuksia (Pennekamp et al. 1990). Tausta-arvo oli mittaushetkellä 50 mg/l, joten kiintoainespitoisuus nousi noin 50 mg/l.

Taulukko 4. Samentumisalue imu- ja kauharuoppaajalla. Raja-arvoksi valittu 10mg/l. (Hayes et al. 1988).

Syvyys % (0 = pinta, 100 = pohja)	Leikkuri-imuruoppaaja (10 mg/l samentumisalue, m ²)	Kahmarikauha (10 mg/l samentumisalue, m ²)
5	0	6800
50	0	7200
80	0	--
95	4800	14000

Taulukko 5. Suspensoituneen kiintoaineksen määrä kolmella eri perustekniikalla (USACE 1986).

Ruoppaajatyyppe	Etäisyys alavirtaan - Suspensoituneen kiintoaineksen pitoisuus, mg/l (Suspensoituneen kiintoaineksen pitoisuus mukautettu tausta-arvoihin)		
	≤ 100 ft (30, 48 m)	≤ 200 ft (60, 96 m)	≤ 400 ft (121, 92 m)
Leikkuri-imuruoppaaja	25 - 250	20 - 200	10 - 150
Hopperi			
Ylijuoksutus	250 - 700	250 - 700	250 - 700
Ei ylijuoksutusta	25 - 200	25 - 200	25 - 200
Kahmarikauha			
Avoin malli	150 - 900	100 - 600	75 - 350
Tiivis malli	50 - 300	40 - 210	25 - 100

Kahmarikauharuoppaajan vesitiiviys ei pelkästään riitä, vaan olennaista on kiinnittää huomiota työn suoritustarkkuuteen. Taulukossa 6 havaitaan suureen ruoppausmäärään yltäneen vesitiiviin kauhan aiheuttaneen suhteellisestikin suuren kiintoainespitoisuuden nousun. Jostain syystä avoin malli oli ilman silttiverhoa suljettua parempi. Syy voi mahdollisesti olla ensimmäisen sukupolven suljetuissa kauhoissa, joissa sulkeutumisesta aiheutunut painepurkaus aiheuttaa pohjasedimentin suspensoitumista. Uudemmissa malleissa paineventtiilit estävät suurimman osan paineen muodostumisesta sulkeutumisvaiheessa.

Taulukko 6. Veden samentumisen lisääntyminen ruoppauksesta kahmarikauharuoppaajan eri malleilla (Pennekamp, et al.1990).

Kauhamalli ja lisälaitteet	Avoin kauha	Avoin kauha, silttiverho	Vesitiivis kauha	Vesitiivis kauha, siltiverho
Kauhan tilavuus (m ³)	1, 1	2, 5	3	3
Ruopattu määrä sedimenttiä P (m ³ /h)	90	84	166	102
Kiintoaineksen lisääntyminen mittapisteessä ΔC (mg/l)	35	35	100	20
Kiintoainemäärän suhteuttaminen työmäärään (ΔC/P)*10 ⁶	0, 4	0, 42	0, 6	0, 2

Mainituissa arvioissa on käytetty kiintoaineksen karkaamisen arviointiin muutama mittauspisteen antamia hetkittäisiä kiintoainespitoisuuksia. Tarkastelemalla koko ruoppausprosessin aikaisia tuloksia on voitu laskea ruoppaajilta karanteen sedimentin määriä. Taulukossa 7 on yli 50 kirjallisuusviitteen perusteella tehty arvio sedimentin hävikistä erityyppisillä ruoppaajilla. Arvio soveltuu erikokoisten ja -tyyppisten ruoppausalusten karkeaan vertailuun pehmeän merisedimentin (lieju) ruoppauksessa hydrodynaamisesti keskimääräisen aktiivisella alueella. Liitteessä 5 on luettelo Herbichin (1991) tekemästä eri ruoppaajatyypin samentumien vertailusta.

Taulukko 7. Karanneen sedimentin (lieju) määrä (kg/ruopattu m³) erilaisilla tekniikoilla ruopattuna (Kirby & Land 1991).

Ruoppaaja	Ruoppaajan koko		
	Suuri	Keskikokoinen	Pieni
	Sedimentin hävikki (kg / ruopattu m ³)		
Imuhopperi (rajoitettu ylijuoksutus)	Tyypillisesti 15		
Imuhopperi (ei ylijuoksutusta)	Tyypillisesti 7		
Imuhopperi (ei ylijuoksutusta, suljettu systeemi)	Tyypillisesti 3 - 5		
Imuleikkuri	Likimain 6		
Imuleikkuri (hidastettu poikittaisliike ja kierrosnopeus)	Likimain 3		
Kairaimuruoppaaja (Mudcat)	-	-	5
Kairaimuruoppaaja (Mudcat) (etenemää pienennetty)	-	-	3
Pneuma	Käytännöllisesti katsoen nolla		
Kahmarikauha	12	17	25
Kahmari (suljettu malli)	11	14	20
Kahmari (suljettu malli, silttiverho)	2	3	5
Kuokkakauha	12	17	25
Kuokkakauha (silttiverho)	5	7	10
Ketjukauha	15	20	30

6.3 LÄJITYKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

6.3.1 Materiaalin kuljetuksen vaikutukset

Proomut ovat yleensä luukku- tai palkotyypisiä (hopperiproomuja). Luukkujen ja palon väliin jää rakoja ja näistä raoista pääsee hienoin (ei-koheesio) maa-aines karkaamaan kuljetusvaiheessa (USEPA 1994). Proomun hinaaja tai omin potkurein kulkeva proomu puolestaan sekoittaa matalilla vesialueilla potkurivirtauksilla pohjasedimenttiä. Imuruoppaajan kuljetusputkistosta voi liitoksien kohdalta karata maa-ainesta. Imuhopperin potkurivirrat sekoittavat pohjaa varsin paljon, sillä kyseessä on yleensä suhteellisen suuri alus.

6.3.2 Saasteiden leviäminen läjitettäessä veteen

Veteen läjitettäessä ruoppausmassa peittää alleen jäävän pohjan ja sedimentin suspensio aikaansaa erityisesti hienorakeisiin partikkeleihin sitoutuneen saasteen leviämistä. Saastetta leviää myös pohjaa pitkin kulkeutuvassa karkeammassa materiaalissa mutta ei yhtä laajalle alueelle. Useisiin lähteisiin viittaavassa tutkimuksessa (Environment Canada 1994) todettiin avoveteen läjityksen aiheuttavan hyvin vähän suspensiota ylimpiin vesikerroksiin. Tämä on sikäli tärkeä havainto, että ylempiin vesikerroksiin suspensoitunut materiaali voi kulkeutua alhaisen vajoamisnopeutensa takia huomattaviakin matkoja. Alempiin vesikerroksiin suspensoitunut vastaava materiaali tavoittaa pohjan luonnollisesti nopeammin ja ylittää tämän periaatteen perusteella lyhyemmälle etäisyydelle alkuperäisestä läjitysalueesta.

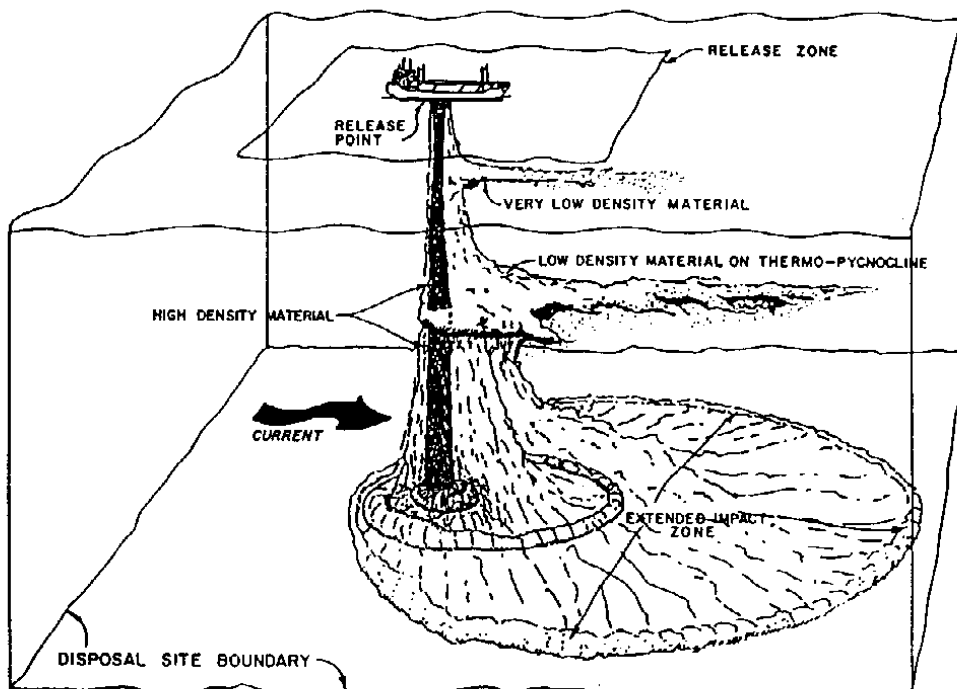
6.3.3 Tyhjennysvaiheen vaikutukset

Proomuläjityksen tyhjennysvaihe on hyvin nopea ja ohi parissa sekunnissa. Proomu kulkee tyhjennysvaiheen jälkeen jonkun matkaa ennen luukkujen (tai palkojen) sulkeutumista ja siten seinämiin kiinni jäänyt aines leviää veteen. Pohjois-Amerikassa tehtyjen tutkimusten perusteella ylempiin kerroksiin suspensoituneen sedimentin määrä oli yleisimmin 1 % läjitettävästä määrästä, vaihteluvälin oltua 1 - 5 %. Vesisyvytydet mitatuissa kohteissa olivat 14 - 67 m. Läjitetty materiaali oli silttiä, hiekkaista silttiä tai silttistä savea. Ruoppaustapana oli kahmarikauha tai imuhopperi, ja läjitys tapahtui hopperilla tai proomuista. Eroa eri kohteiden välillä ei ollut selkeästi havaittavissa, mutta viitteitä siihen, että silttisestä savesta näytti suspensio olevan prosentien, pari suurempaa kuin hiekkaisesta tai puhtaasta siltistä. Kaiken kaikkiaan määrät olivat kuitenkin melko pieniä (Environment Canada 1994).

6.3.4 Läjityksen välittömät vaikutukset läjitysalueella

Materiaalin vajoamisvaiheessa siis vain noin 1 - 5 % materiaalin tilavuudesta suspensoituu. Huomattavaa on, että suurin osa tästä materiaalista on kaikkein herkimmin saasteita sitovaa eli hienoainesta. Massa iskeytyy pohjaan ja leviää virtauksien suuntaan ulottuvaksi runsaasti kiintoainesta sisältäväksi "pilveksi".

Noin 80 % tilavuudesta jää noin 30 m:n säteelle, ja loput leviävät esimerkiksi 20 m:n vesisyvydessä (suurimpien virtausnopeuksien ollessa 0,16 - 0,3m/s) noin 4 - 5 m:n paksuisena nopeasti liikkuvana pilvenä (pohjan läheinen kerros, jonka tiheys on suuri), jolloin noin 120 m:n säteelle jää arviolta 90 % materiaalista. Yleensä kerroksen havaittu paksuus on ollut noin 15 - 20% vesisyvyydestä (mikäli vesisyvyys on alle 70 m). Mikäli läjityskohteen pohja sijaitsee kuopassa tai on muuten ympäristöään alempana, on havaittu mainitun 30 m säteen sisälle jäävän jopa 95 % (90 - 95 %) materiaalista. Pilven liike-energian loppuessa laskeutuvat partikkelit nopeasti pohjalle. Noin 5 - 10 % materialista kulkeutuu 120 m säteisen alueen ulkopuolelle, mutta vain 1 - 5 % kulkeutuu hyvinkin kauas (Environment Canada 1994) (Kuva 2).



Kuva 2. Proomusta tai hopperista pudotetun massan leviäminen (Pequegnat et al.1980).

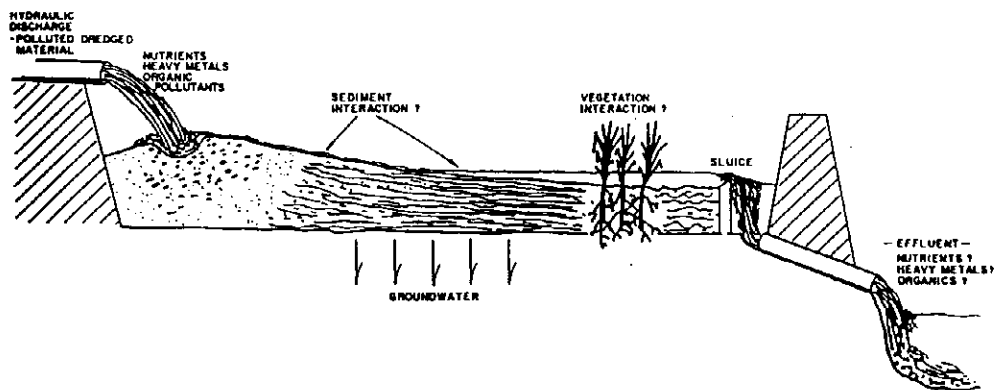
6.3.5 Läjityksen pidempiaikainen tarkastelu

Erosio kuluttaa läjitysalueita. Kiinto-ainesta leviää pitemmän ajan kuluessa ympäristöönsä joko suspensiona tai pohjakulkeutumana. Maa-aineksessa olevat myrkyt saattavat liueta tai muuten vaikuttaa negatiivisesti läjitysalueen tilaan. Massaan kaivautuvat eliöt ja eläimet altistuvat saasteille. Virtausnopeuksien kasvaessa kasvaa myös eroosion riski ja määrä. Eroosiota voidaan arvioida virtausnopeuksien perusteella.

Edellä mainittuja läjitysalueen suspensio- ja leviämistietoja ei voida soveltaa virtausolosuhteiltaan epäedullisille läjitysalueille eli alueille, joissa virtausnopeudet ovat suuria. Hienojakoinen materiaali on suositeltavinta läjittää sedimentaatiopohjille, jolloin läjitetty aines pysyy varmimmin alkuperäisillä sijoillaan. Sedimentaatiopohjalla tarkoitetaan yksinkertaistetusti veden pohjaa jonne kerääntyy sedimentoitumalla materiaalia enemmän kuin sieltä kulkeutuu pois. Läjityspaikan valinnalla on kaiken kaikkiaan olennainen merkitys ruoppauksesta aiheutuvien ympäristövaikutuksien suuruuteen.

6.3.6 Maalleläjitetyksen vaikutukset

Maalle läjitettäessä ympäristövaikutuksia aiheuttavat lähinnä hienorakeiset maat sekä saasteet, jotka leviävät joko juoksuvesien mukana tai ympäröiviin maakerrokseen imeytymällä (Kuva 3). Vajoamisvaiheessa hienojakoinen aines laskeutuu hitaasti ja voi palata ylijäämäveden mukana vesistöön. Mikäli läjitysaluetta ei eristetä geokalvoin tai muulla tavalla pohjavedestä, on saasteiden leviäminen pohjaveden kautta mahdollista. Läjitysalueen vedet voivat myös imeytyä ja saasteet siten levitä läjitysalueen maakerrokseen. Nostettaessa sedimentti ylös vedenpohjasta muutetaan mm. sedimentin happamuusolosuhteita. Tällöin on mahdollista että sedimenttiin sitoutuneet saasteet vapautuvat luontoon.



Kuva 3. Maalle läjitetyn materiaalin sisältämien saasteiden leviämisestä (Davis et al. 1990).

6.4 RUOPPAUKSEN YMPÄRISTÖHAITTOIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Kaikesta ruoppaus- ja läjitystoiminnasta ei aiheudu ympäristölle merkittävää haittaa. Maalajin ominaisuuksien takia karkearakeisten maalajien ruoppaus aiheuttaa melko vähän ympäristövahinkoja. Vahingot rajoittuvat lähinnä rakenteiden tekemisestä aiheutuneisiin elintilojen kaventumisiin. Saasteiden leviäminen on todennäköisesti olematonta. Hienorakeisessa maassa on suurin riski vakavalle saastumiselle, jolloin ruoppaamisella ja läjittämisellä voidaan aiheuttaa suurimmat vahingot ympäristölle. Ruoppaus- ja läjityspaikan sijainti ja ominaisuudet ratkaisevat olennaisesti ruoppaus- ja läjitystoiminnan ympäristövaikutuksien suuruuteen. Mikäli alueet ovat luonnontilaisia, haitat ovat todennäköisesti suurimmillaan. Vähäisemmät vaikutukset ruoppauksella on, jos työt suoritetaan liikennöidyillä alueella, koska liikenne on jo aiheuttanut ruoppaustoiminnan kaltaista ympäristöhaittaa.

6.5 ALUSLIIKENTEEN HAITAT VERRATTUNA RUOPPAUKSEN HAITTOIHIN

Ohikulkevien alusten aiheuttamat virtaukset muokkaavat vedenpohjaa ja siten levittävät mahdollisia saasteita sekä aiheuttavat samentumista ja muita ruoppaus-toiminnan haittoja vastaavia seikkoja. Alusten aiheuttamat virtaukset ovat vaikeasti mallinnettavissa, mutta niiden on kuitenkin kiistatta todettu aiheuttavan voimakasta sedimentin suspensoitumista eli maa-aineksen irtoamista ja veteen sekoittumista sedimentin leikkausjännitysten ylittäessä leikkauslujuuden erityisesti matalissa ja kapeissa väylissä (Van de Kaa 1991). Alusten aiheuttamat virtaukset aiheuttavatkin suurempaa suspensoitumista kuin mm. aallokon aiheuttama luonnollinen sekoittuminen. Esimerkkinä edellä mainitussa PIANC:ille laaditussa raportissa (Van de Kaa 1991) on todettu sisävesialusten nostavan ylös vanhempaa pahemmin saastunutta sedimenttiä 4 m:n syvyydeltä järven pohjasta. Koska haitat ovat matalissa vesissä suurimmillaan, auttaisi esimerkkitapauksessa väylän syventäminen vähentämään alusten aiheuttamaa suspensoitumista.

Verratessa ruoppauksen ja alusliikenteen aiheuttamaa suspensoitumista on tultu johtopäätökseen, että alusten aiheuttama veden samentuminen on vähintään samaa luokkaa kuin ruoppauksesta aiheutuva (Pennekamp et al. 1990). Tästä voidaan päätellä, että paljon liikennöidyillä väylillä ja satamissa ei ole kovin suurta merkitystä, millä kalustolla ruoppausta tehdään, koska tausta-arvot ovat jo valmiiksi korkeita.

Läjityssyvyydellä on olennainen merkitys laivaliikenteestä pohjaan kohdistuville haitallisille vaikutuksille. Vaikutukset ovat suurimmillaan, mikäli läjitysalue sijaitsee matalalla ja kapeikossa olevan laivaväylän lähellä. Läjityssyvyyttä lisäämällä vähennetään laivojen aiheuttamien vaikutuksien merkitystä ympäristöhaittojen muodostamisessa. Luonnonvirtausten ollessa suuria ovat myös ympäristöhaitat suurempia kuin rauhallisissa pohjissa.

6.6 SAASTUNEEN MAA-AINEKSEN MERKITYS YMPÄRISTÖHAITTOJEN ARVIOINNISSA

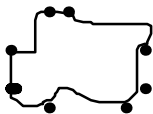
Maa-aineksen saastuneisuus eli kontaminaatio on ympäristövaikutuksiin olennaisesti vaikuttava tekijä. Puhtaan maa-aineksen ympäristövaikutukset rajoittuvat lähinnä väliaikaisiin vaikutuksiin, joita ovat mm. samentumisesta aiheutuneet yhteyttämishäiriöt. Saasteiden aiheuttamat vauriot ovat pitkäaikaisempia ja vakavampia ympäristölle. Saasteiksi luetaan alkuainemetallit, joiden pitoisuus sedimentissä on suurempi kuin luonnonpitoisuus, sekä eräät orgaaniset yhdisteet kuten orgaaniset halogeenit ja mineraalipohjaiset öljytuotteet. Saasteilla on useita tapoja esiintyä maa-materiaalissa (kuva 4):



Saaste voi olla itsessään partikkelina muiden partikkeleiden joukossa.



Saaste voi muodostaa kalvon materiaalin päälle.



Saaste voi olla materiaaliin adsorboituneena eli pintaan pidättyneenä.



Saaste voi olla materiaaliin absorboituneena eli sisään imeytyneenä.



Saaste voi olla materiaalin huokosvedessä.



Saaste voi olla kiinteänä tai nestemäisenä ja kokonaan huokokset täyttävänä.

Kuva 4. Saasteiden esiintyminen materiaalissa (Rulkens 1995).

Materiaalin huokoisuus ja pinta-ala kuvaavat yksinkertaisesti saasteen sitoutumisen mahdollisuutta. Mitä suurempi pinta-ala ja huokoisuus ovat, sitä enemmän jää "tilaa" saasteille. Eloperäisen eli orgaanisen materiaalin rakenne on löyhä ja siihen "mahtuu" siten paljon saastetta (absorboituminen). Hienorakeisessa materiaalissa puolestaan on suuri pinta-ala verrattuna tilavuudeltaan vastaavaan määrään karkeampirakeista materiaalia (adsorboituminen). Maa-aineksen ominaispinta-ala (m^2/g) kuvaakin hyvin maa-aineksen kapasiteettia adsorboida metalleja sekä orgaanisia yhdisteitä. Mitä hienompirakeisempaa ruopattava sedimentti on, sitä paremmin saasteet pystyvät siihen sitoutumaan. Huomattavaa on myös, että vesimassan epäpuhtauspitoisuudesta on noin 60 - 75 % hiukkasten muodostamaa lopun ollessa liuenneita aineita. Tämä tukee käsitystä siitä, että hienorakeisen massan mukana kulkeutuu myös saasteita ja tätä prosessia olisi vältettävä ruoppauksen yhteydessä. Esimerkiksi Ackermann (1980) on todennut hienoimpien rakeiden ja erityisesti fraktion $< 20 \mu m$ rakeiden sitovan kaikkein eniten sekä orgaanista että epäorgaanista saastetta, jolloin saastuneisuuden arviointitutkimuksien suorittamisen tulisi kohdistua kaikkein hienorakeisimpaan fraktioon.

Veteen suspensoituneet partikkelit keräävät itseensä saasteita ja lisäksi vedessä kulkeutuu itsenäisesti muita epäpuhtauksia. Nämä laskeutuvat pohjaan niitä kuljettavien virtausten laantuessa mm. jokisuistoihin. Tästä syystä sedimentaatioalueen sedimentin pintakerrokset ovat alttiimpia vastaanottamaan vieraita aineita. Mikäli tarkasteltavalla alueella ei ole ollut teollisuutta eikä muuta vesistöä mahdollisesti saastuttavaa toimintaa, kuten viemäreitä, eikä alueella ole sattunut ympäristöonnettomuuksia, voidaan sedimentti kuitenkin olettaa puhtaaksi. Mikäli alueella on ollut ja on mainittua toimintaa, tulee saasteen olemassaolo tarkistaa tutkimuksin ennen toimenpiteisiin ryhtymistä. Menettelyn tueksi tulisi tietää alueelle tulevat virtaukset. Saasteet voivat kulkeutua hyvinkin kauas kuormituspisteestä alueilla, joissa on voimakkaita virtauksia.

Sedimentaatioalueet ovat otollisimpia alueita epäsuoralle saastumiselle. Eroosioalueilta hienoaines on poiskulkeutunut ja ne ovat siten myös puhtaampia saasteista. Sedimentaation voimakkuuden mukaan saastuneen sedimentin paksuus voi vaihdella sentistä kymmeneen senttiin. Osa sedimentistä suspensoituu eli lietty vedessä mukana kuljetettavaksi laskeutuakseen jälleen muualle. Täten kerroksen paksuutta ei voida suoraan määrittää alueelle tulevan sedimentin määrällä.

Mikäli maa-aines on silttiä karkeampirakeisempaa ja/tai se on sijainnut eroosioalueella, on se erittäin todennäköisesti puhdasta. Mikäli maa-aines on silttiä tai sitä hienorakeisempaa, mutta on sijainnut alueella, jossa ei ole ollut saastuttavia lähteitä (mukaanlukien tunnetut ympäristöonnettomuudet), on todennäköistä, että se on vain hyvin vähän saastunut. Tällöin tarvetta saasteen tutkimiseen ei ole. Lisäksi mikäli ruoppausalueella ei ole todettu saastumista ja ruoppausmassaa käytetään aallokon syömän rannan korjaamiseen rannan alkuperäistä massaa vastaavalla materiaalilla, voidaan toimenpide suorittaa ilman massan saastumisen tutkimusta. Myös mikäli ruoppaus on pienimittakaavaista (alle 10 000 tonnia vuodessa) ja satunnaista eikä alueella ole tiedossa sedimentin saastumista, ei testaamiseen ole tarvetta (HELCOM 1992). HELCOM:in suositus vastaa paljolti mm. lähteessä U.S.C. 1977 esitettyä säädöstä.

Tapauksissa, joissa saastumisen riski on todennäköinen, on arvioitava sedimentin saastuminen tutkimalla alueen teollisuuden rakenne ja muut mahdolliset saastelähteet saasteen luonteen karkeaksi arvioimiseksi ennen varsinaisten kenttäkokeiden suorittamista. Kun tiedetään mahdolliset saasteet, on niitä helpompi lähteä etsimään erilaisten pohjatutkimusten ja näytteiden oton avulla. Kartoitus alueelta suositellaan HELCOM:in (1992) mukaan suoritettavan näytteiden otolla ruopattavasta maasta ja mieluiten kairausydännäytteitä käyttäen. Mikäli saasteiden esiintymissyvyys ei ole suuri, voidaan pintanäytteitä pitää riittävinä. Näytteenottoa proomuista ei pidetä suotavana. Mikäli alue on homogeeninen, voidaan taulukon 8 lukuja pitää sopivina yksittäisten näytteenottopisteiden määränä.

Taulukko 8. Viitteellinen näytteenottopisteiden määrä ruoppausalueen saastumisen arvioimisessa. Suljetuilla alueilla näytteitä otettava enemmän kuin suuremman vedenvaihtuvuuden alueilla (HELCOM 1992).

Ruopattava määrä m ³	Näytteenottopisteiden lukumäärä
≤ 25 000	3
25 000 - 100 000	4 - 6
100 000 - 500 000	7 - 15
500 000 - 2 000 000	16 - 30
>2 000 000	10 näytteenottopistettä lisää / 1 000 000 m ³

6.7 SEDIMENTIN SAASTUMISASTEEN ARVIOINTI

6.7.1 Hollantilaiset arvointitavat

Ruoppauksen ja läjityksen ympäristövaikutukset riippuvat sedimentin saastumisasteesta. Mitä enemmän sedimentti on saastunutta sitä tarkemmin sitä on käsiteltävä ruoppauksessa ja läjityksessä. Sedimenttejä onkin pyritty luokittelemaan saastumisasteen mukaan. Hollannissa käytössä olevat menettelyt jakavat sedimentit saastepitoisuuksien perusteella eri luokkiin (taulukko 9), jotka määräävät jatkotoimien luonteen. Rajatasojen arvot ilmoitetaan ppm-yksiköllä (particles per million), ppb (particles per billion) tai SI-yksiköillä (mg/kg). Kyse on siis saasteiden massamääräisestä arvioinnista. Saastuneisuusrajojen arvot liitteessä 6 ovat vuodelta 1993. Hollantilaisen luokittelun tarkoituksena on arvioida maiden ja pohjaveden puhdistamisen ja jatkokäsittelyn tarve. Näytteet otetaan ennen töiden aloittamista. Saastuneiden maiden ruoppaustöiden aikana suoritetaan seurantamittauksia mm. ottamalla näytteitä proomuista.

Taulukko 9 Hollantilainen sisävesistöjen sedimenttien saastuneisuuden luokittelu-tapa (Biesheuvel et al 1993).

Saastumisluokka	Vaaditut toimenpiteet
<p>Luokka IV</p> <p>Saasteen määrä ylittää tai on yhtä suuri kuin varoitustasossa</p>	<p>Materiaali tulee säilyttää tarkan tarkkailun alaisena.</p> <p>Läjitys sallittua vain kontrolloiduissa olosuhteissa maalle tai syviin vedenalaisiin kuoppiin.</p>
VAROITUSTASO	
<p>Luokka III</p> <p>Saasteen määrä on alle varoitustason, mutta ylittää testitason.</p>	<p>Mikäli on mahdollista ja kohtuullista pitäisi ruoppausjäte säilyttää kontrolloitavissa olosuhteissa.</p> <p>Eristämisen, käsittelyn ja valvonnan tason määrää saastumisaste.</p>
TESTITASO	
<p>Luokka II</p> <p>Materiaali on luokkaa I huonompi, mutta alittaa testitason pitoisuudet.</p>	<p>Materiaalin läjittäminen vesistöön voidaan sallia, joskin seuraamukset on huomioitava yksityiskohtaisesti</p>
TAVOITETASO	
<p>Luokka I</p> <p>Materiaalin saasteen määrä alittaa tavoitteellisen vuoden 2000 puhtaustason tai vastaa yleistä luonnollisen sedimentin puhtautta.</p>	<p>Voidaan ruopata ja läjittää vapaasti, mikäli poikkeavuuksia tasossa ei esiinny.</p>

6.7.2 Kanadalainen arviointimenettely St. Lawrence -joen sedimenteille

Hollantilainen saastuneisuuden arviointi perustuu massamääräiseen yleiseen arvioon saasteiden vahingollisuudesta. Saastuneisuuden arviointimenettelyissä ollaan yhä enenevästi siirtymässä todellisten vaikutuksien arviointiin. Eri ympäristöt sietävät eri saasteita eri tavoin. Makean veden eliöstö poikkeaa suolaisen veden eliöstöstä ja niin edelleen. Kanadan ympäristöministeriö on laatinut esimerkiksi St. Lawrence -joen sedimenteille sopivat saastuneisuuden arviointikriteerit (Environment Canada 1992).

Tason 1 arvot määräytyvät joella tavattujen harmittomien pitoisuuksien perusteella eli kyse on tausta-arvoja vastaavista pitoisuuksista. Menettelyn sanotaan olevan väliaikainen ja se korvataan, mikäli parempia menettelyjä ilmaantuu. Tason 1 arvojen alle jäävät pitoisuudet vastaavat käytännössä puhtaan ympäristön arvoja. Materiaalia voidaan ruopata ja läjittää vapaasti.

Tason 2 ja 3 arvot perustuvat Suurilla Järvillä käytössä olevaan niin sanottuun suojatason pitoisuuksia vastaaviin saasteiden määriin. Pitoisuudet saadaan vertaamalla kenttätietoja saasteiden määrästä ja eliöiden kyvystä sietää kyseisiä saastemääriä. Rajojen arvot kuvaavat niitä pitoisuuksia joilla tietty osuus eliöstöstä säilyy vahingoittumattomana, on siis "suojattuna", mistä nimi suojataso. Luokkaa 2 olevat materiaalit saattavat aiheuttaa haittoja eliöistölle. Vaikka ruoppaaminen ja läjittäminen on sallittua olisi kuitenkin varmennettava ettei haittoja synny kulloisellekin kohdealueelle. Luokkaa 3 olevat materiaalit aiheuttavat selvää vahinkoa ympäristölle. Avoveteen läjitys on mahdollista vain huolellisten ruoppaus- ja läjitystoiminnan ympäristövaikutuksien tutkimisen jälkeen. Eli mikäli alueen saastuneisuuden taso on suurempi tai yhtä suuri kuin läjitettävä materiaali eikä läjittäminen heikennä ympäristön tilaa on läjittäminen mahdollista. Luokkaa 4 olevat materiaalit aiheuttavat vakavia ympäristöhaittoja. Materiaalia ei saa läjittää avoveteen, vaan se tulee puhdistaa ruoppauksen yhteydessä tai eristää turvallisella tavalla. Eli mikäli materiaalia joudutaan ruoppaamaan, se on joko käsiteltävä siten, että saastuneisuuden taso laskee tai eristettävä mm. läjitysaltaisiin.

Tasojen rajaamat luokat on kuvattu taulukossa 10. Liitteessä 7 on esitetty tasoja 1, 2 ja 3 vastaavat pitoisuudet.

Taulukko 10. St. Lawrence -joen sedimentin saastuneisuuskriteerit (Environment Canada 1992).

Saastuneisuusluokat	Toimenpiteet
Luokka 4 Luokan 4 sedimentti voi aiheuttaa vakavia vahinkoja vesiympäristölle.	Tason 3 ylittävät sedimentit tulee puhdistaa tai eristää turvallisesti. Tavanomainen avoveteen läjittäminen ei ole sallittua
Taso 3 - Myrkyllinen vaikutus (saastuneisuuden taso, joka vaikuttaa 90 %:iin eliöistä)	
Luokka 3 Tason 2 ylittävillä pitoisuuksilla eliöstöt kärsivät vahinkoja.	Läjityksen harkitseminen avoveteen edellyttää huolellisia ruoppaus- ja läjitystoiminnan ympäristövaikutus-tutkimuksia (biotestejä arviomaan myrkyllisyyttä yms.). Läjitysalueen saastuneisuuden tason tulisi olla sama tai suurempi kuin läjitettävän sedimentin. Varottava myötävaikuttamasta kohdeympäristön tilan heikkenemiseen.
Taso 2 - Vähäiset vaikutukset (saastuneisuuden taso, jonka pitoisuuksien vaikutus havaitaan 15 %:ssa eliöstöistä)	
Luokka 2 Tason 1 ylittävillä ja tason 2 alittavilla pitoisuuksilla on mahdollisesti vähäisiä vaikutuksia organismeille ja vedenkäytölle.	Materiaalia voidaan vapaasti ruopata ja läjittää, mutta on varmennettava, ettei haittoja aiheudu kulloisellekin kohdealueelle.
Taso 1 - Ei vaikutusta (luonnollisia tausta-arvoja vastaavat pitoisuustaso, ei saastuneisuutta)	
Luokka 1 Tason 1 alle jäävät pitoisuudet eivät aiheuta kroonisia eikä akuutteja vaikutuksia organismeille, eivätkä veden käytölle ja laadulle.	Voidaan läjittää vapaasti ottaen kuitenkin huomioon materiaalista muuten aiheutuvat vaikutukset.

6.7.3 Suomalaisen SAMASE-projektin saastuneisuusasteen mukainen luokittelu

Saastuneiden maa-alueiden selvitysprojektissa (SAMASE) tehtiin ehdotus maa-aineksen saastuneisuuden määrittelyarvoista. Määrittely perustuu suuntaviivana oleviin puhtaan maan saastuneisuuden ohjearvoihin (guideline limits), sekä ääriraja-arvoihin (limit values). Niitä voidaan soveltaa maille, joiden puhtaudelle ei aseteta kovin suuria vaatimuksia. Ääriraja-arvot perustuvat ihmisen altistumiselle määritelyihin pitoisuuksiin ja puhtaan maan ohjearvot joko tausta-arvoihin tai määriin, joilla ympäristön vahingot ovat minimaalisia. Ohjearvot alittavia maita voidaan käyttää kaikkiin tarkoituksiin ilman riskiä. Ääriraja-arvoja voidaan muuttaa tapauskohtaisesti riskien arvioinnin perusteella. Ääriraja-arvoja voidaan pitää maan puhdistuksen tavoitearvoina (target value) mikäli puhdistuksen vaatimustaso ei ole korkea (Puolanne 1995). Ehdotus maan saasteiden ääriraja- ja ohjearvoista on esitetty liitteessä 8 (Puolanne 1995).

6.7.4 Veden kiintoainepitoisuuteen perustuva ympäristövaikutuksien arviointi

Yhtenä tärkeimmistä tämän tutkimuksen ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valintakriteereistä voidaan pitää sedimentin suspensiosta sekä karkaamisesta aiheutunutta veden kiintoainepitoisuuden nousua, johon koneteknisillä valinnoilla voidaan puuttua. Kiintoaines sinänsä ei ole yhtä vaarallista kuin saasteet, mutta koska saasteet kulkeutuvat paljolti kiintoainekseen sitoutuneena, voidaan siis myös saastuneisuuden leviämistä ja siten ruoppaus- ja läjitystekniikoita arvioida karanteen tai suspensoituneen kiintoaineksen määrien perusteella.

Kiintoainepitoisuuksien haitalliset määrät vaihtelevat luonnonolojen (vesistön tyyppin, kalalajien yms.) mukaan suuresti, joten kovin yksiselitteistä rajaa ei voida vetää haitallisten ja haitattomien pitoisuuksien välille. Esimerkiksi Euroopan sisävesikalastuskomission mukaan alle 25 mg/l:n kiintoainepitoisuudesta ei ole havaittu aiheutuneen haittaa kalakannalle, ja alle 80 mg/l:n pitoisuudella on sanottu vielä olevan mahdollista pitää yllä hyvää kalakantaa. Rapukannalle korkeimman haitattomimman pitoisuuden on sanottu olevan 100 mg/l.

Kanadan ympäristöministeriön "Saastuneiden sedimenttien puhdistusohjelmassa" (Environment Canada) esiteltiin seuraavat raja-arvot määrittelemään ruoppauslaitteen ympäristöystävällisyyttä (Pelletier 1994):

- Samentuminen noin 25 m:n päässä ruoppauslaitteesta ei saa ylittää tausta-arvoja yli 30 %. Suspensoituneen aineksen osuus ei saa nousta noin 25 m:n päässä enempää kuin 25 mg/l, kun tausta-arvona on korkeintaan 100 mg/l TSS (Total suspended solids). Kun tausta-arvo ylittää 100 mg/l ei suspensoituneen aineksen osuus saisi nousta enempää kuin 10 %.

- Orgaanisen aineksen määristä annettiin seuraavat raja-arvot: TOC (Total organic carbon) eli orgaanisen hiilen määrä saisi olla 0,4 - 27 mg/l pintavedessä 10 metrin päässä ruoppauspaikasta. TOC ei saa nousta 10 % tausta-arvostaan, kun tausta-arvot ovat yli 20 mg/l.

7. YMPÄRISTÖÄ VÄHEMMÄN KUORMITTAVAT RUOPPAUS- JA LÄJITYSTEKNIIKAT

Aikaisemmin kuvatut tekniikat ovat enemmän tai vähemmän perinteisiä eivätkä välttämättä parhaita mahdollisia ympäristövaikutusten kannalta. Ruoppaajia ja koko ruoppaus- ja läjitysprosessia on jouduttu kehittämään pyrittäessä vähemmän ympäristöä kuormittavaan työskentelyyn.

7.1 RUOPPAUKSEN TYÖVAIHEISSA TAPAHTUNUT KEHITYS

7.1.1 Yleinen kehitys

Yleensä ruoppaustekniikkojen on nähty kehittyvän selkeästi kohti tehokkaampaa ja samalla usein myös vähemmän ympäristöä kuormittavaa tekniikkaa. Kehityksen teema-alueet, jotka palvelevat sekä tehokkuutta että ympäristön kuormituksen vähentämistä, ovat:

- Sedimentin karkaamisen vähentäminen.

Pyrkimyksenä on vähentää sedimentin suspensiota veteen.

- Tarkkuuden parantaminen

Paikannusjärjestelmien kehittymisen myötä myös työn tarkkuuden on kehityttävä. Ruoppauksilanteissa tarkkuusvaatimuksista tärkein on pystysuuntaisen tarkkuuden lisääminen. Avoveteen läjitettyjen saastuneiden sedimenttien peittämisessä on tärkeää puhtaan ja saastuneen massan rajapintojen tarkka määrittäminen.

- Valikoivuuden tehostaminen

Pystysuuntaisen tarkkuuden lisäämisen yhtenä etuna on mahdollistaa ohuiden saastuneiden kerrosten tarkka ruoppaaminen puhtaan maakerroksen päältä. Tällöin saavutetaan säästöjä saastuneen materiaalin tilavuuden pienentymisenä.

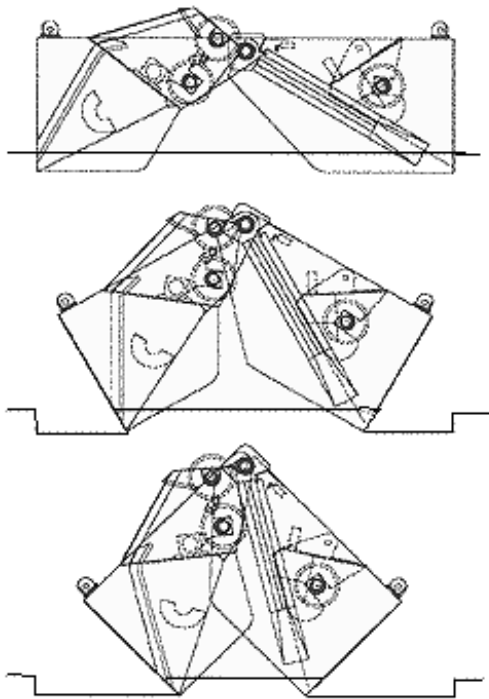
- Alhaisempiin vesipitoisuuksiin pyrkiminen

Valikoivuuden ohella käsiteltäviä massamääriä vähentää ylimääräisen veden eliminoiminen ruoppausvaiheessa. Tällöin saastuneen maan käsittelyssä veden erottelun ja saastuneen veden puhdistamisen tarve vähenee.

7.1.2 Kauharuoppaajat

Uudistuneet paikannusjärjestelmät ja kehittynyt automaation taso ovat parantaneet ruoppaajien työskentelyn tarkkuutta ja tehokkuutta. Samalla on laitteiden ympäristöystävällisyys kasvanut. Automaation ja paikannusjärjestelmien avulla sedimentin tai maan leikkaus pystytään suorittamaan entistä tarkemmin. Ilman apulaitteita toimivan ruoppaajan tatarakuus on täysin koneenkäyttäjän ammatti-

taidosta riippuvaa. Huonosti ruoppaajansa tunteva koneenkäyttäjä on melko avuton koska näköyhteys kaivettavaan pintaan on veden sameuden takia lähes aina estynyt. Apulaitteiden avulla voi kokemattomampikin käyttäjä päästä hyvään suoritustasoon. Kauharuoppaajien automaation lisäksi on kehitystä tapahtunut kauhojen rakenteessa. Tavallinen kuokkakauha on säilynyt melko ennallaan. Suurimmat muutokset ovat kohdistuneet kahmarikauhaan. Yhteistä kahmarikauhalle tehdyille parannuksille on ollut parantaa kauhan tarkkuutta ja ruoppausjälkeä. Uudet kauhamallit sulkeutuvat täysin vaakatasossa mahdollistaen tasaisen leikkauksen (Kuva 5). Leikkaus on myös tällä menetelmällä mahdollista suorittaa em. syystä paljon tarkemmin ja ohuempana kerroksena.

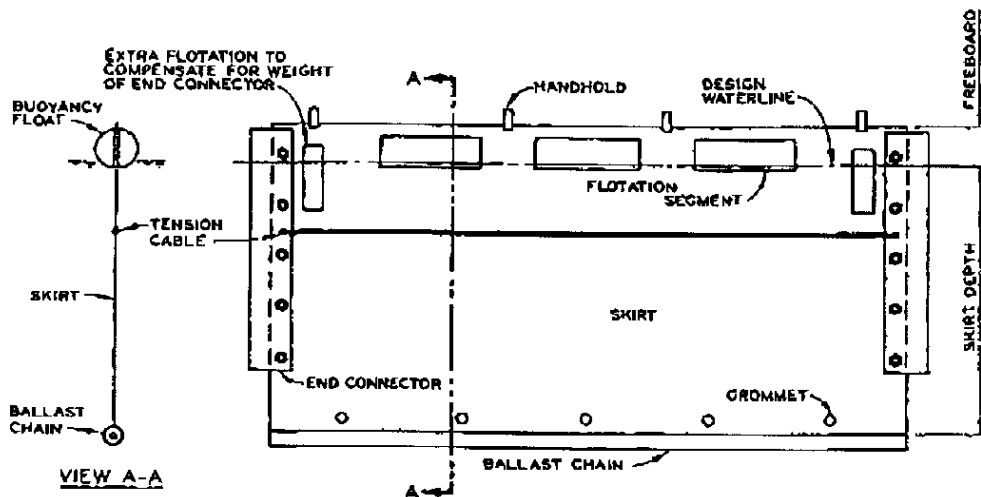


Kuva 5. Kehittyneen kahmarikauhan tapa leikata vaakasuorassa (L.B.Tanker Inc. 1996).

Maan irrotuksen luonne on kahmarikauhan osalta muuttunut lähemmäksi pisto- ja kuokkakauhaa. Perinteisessä mallissa irrotus ja leikkaus perustuivat lähes yksinomaan kauhan massaan ja pohjaan tunkeutumiseen. Uusissa malleissa vaakasuuntainen puristus on aikaisempaa tärkeämmässä asemassa.

Edellä mainittuun kahmarikauhaan on lisätty jo aikaisemminkin käytössä ollut ominaisuus eli vesitiiviys. Tällä taataan nostovaiheessa mahdollisimman vähäinen sedimentin karkaaminen. Samaa tarkoitusta varten on puolestaan kehitetty mainittu sulkeutuva kuokkakauha, joten ero kahmarikauhan ja kuokkakauhan välillä on kaventunut. Sulkeutuva kuokkakauha kun on itseasiassa vain toispuolisesti kahmaiseva kahmarikauha.

Kuljetustekniikoissa idea käyttää pumppukuljetusta proomukuljetuksen sijaan kauharuoppaamisessa on merkittävä. Massapumpun käyttö mahdollistaa miltei luonnontilaisen ruoppausmassan pumppaamisen maalle ja antaa siten kauhakuorustolla operoiville vaihtoehdon vesiläjitykselle. Proomukuljetuksessa ei ole juuri tapahtunut kehitystä ympäristövaikutuksia ajatellen, eikä itse proomuissa ole juuri tapahtunut muutoksia sitten palkoproomuun keksimisen. Palkoproomu on luonteeltaan nopeammin lastinsa purkava ja siten ympäristöä vähemmän kuormittava kuin pohjaluukkuproomu. Paikannusjärjestelmien kehitys on lisännyt läjityksen tarkkuutta, mutta tavanomaiseen avovesiläjittämiseen riittävät poijujen avulla tehdyt läjityspisteet. Proomuja on käytetty uusissa sovelluksissa. Saastunutta sedimenttiä on peitetty proomujen tuomalla puhtaalla materiaalilla. Peittomateriaali on joko laskettu kertaläjityksenä alas tai ripoteltu vain osittain avautuvien palkoproomujen avulla saastuneen materiaalin päälle. Läjityspisteiden ympärille on voitu asentaa silttiverho, jonka tarkoituksena on estää suspensioon joutuneen materiaalin karkaaminen (Kuva 6).



Kuva 6. Silttiverho (USEPA 1994).

Stabilointiaineita lisäämällä voidaan parantaa joko läjitysalueen alla olevaa liian pehmeää maata tai itse kauharuopattua läjitysmassaa.

Peittämistekniikkaa käyttämällä on saatu saastuneet maa-ainekset eristetyiksi vesimassasta sekä vedessä asuvista eliöistä ja eläimistä. Peittämisen tarkoituksena on siis 1. estää saasteen johtuminen veteen, 2. estää saastuneen maan leviäminen vesistössä ja 3. estää pohjaa sotkevien eliöiden sekä eläinten pääsy saastuneeseen sedimenttiin.

7.1.3 Imuruoppaajat

Kuten kauharuoppaajissa myös imuruoppaajissa kehittynyt automaatio ja paikannusjärjestelmät ovat parantaneet ruoppauksen tarkkuutta, tehokkuutta ja siten myös vähentäneet ympäristövaikutuksia. Imuruoppaajista varsinkin laaha-imuhopperissa automaatio ja paikannusjärjestelmät ovat erityisen tärkeitä, koska laite ruoppaa "vauhdista".

Imuruoppaajat ovat kehittyneet terien ja koko leikkauspään suunnittelussa. Kokonaan uudentyypisiä teriä on kehitelty ruoppauksen valikoivuuden parantamiseksi eli lähinnä kerrospaksuuden huomioonottamisen sekä tarkkuuden lisäämiseksi. Terien kulmia on mietitty uudelleen sekä niiden asentoa, pyörimissuuntia jne. on muuteltu. Markkinoilla on nykyisin pieniä imuruoppaajia, joiden leikkausterien tehtävänä on leikata kasvillisuutta ja mahdollistaa siten massan häiriötön poispumppaus.

Irrotusvaiheeseen liittyvässä tekniikassa on tapahtunut erittäin paljon. Tässä vaiheessa osa materiaalista karkaa ruoppaajalta ja tätä vastaan on kehitetty joukko erinäisiä suljettuja rakenteita estämään sedimentin karkaaminen ja suspensoituminen avoimeen veteen. Lisäksi leikkaus- ja irrotustekniikoissa on menty eteenpäin kehittämällä laitteita, joiden irrottamaan materiaaliin pääsee mahdollisimman vähän vettä. Tällöin kiintoainespitoisuus on tavanomaista suurempi ja veden jatkokäsittelyn tarve pienempi.

Pumput eivät ole paljoakaan kehittyneet. Imuruoppaajissa on kokeiltu imua ilman alipaineen avulla eli pneumaattista järjestelmää. Ruopatun materiaalin kuljetus tapahtuu kuten ennenkin joko hopperin ruumassa tai putkistossa. Kehitystä on tapahtunut lähinnä hoppereiden ylijuoksutustarpeen pienentymisessä ja jopa poistumisessa. Tällä saavutetaan huomattavia etuja, sillä juuri ylijuoksutus on aiheuttanut kaikkein suurimpia suspensoituneen kiintoaineksen pitoisuuksia ympäristöön.

Imuruoppausmassan läjittämisen haittojen vähentäjäksi on kehitetty vedenalainen virtauksen hajotin eli "diffuusori", jolla alennetaan putkistosta purkautuvan massan kineettistä energiaa ja vähennetään suspensiota. Silttiverhoja käytetään estämään hitaasti vajoavan hienoaineksen kulkeutuminen pois alueelta. Hitaasti vajoavan hienoaineksen vajoamista tehostetaan hiutaloittamiskemikaaleilla. Peittämistekniikoita käytetään myös saastuneiden imuruoppausmassojen eristämisessä.

7.2 ESIMERKKEJÄ YMPÄRISTÖÄ VÄHEMMÄN KUORMITTAVISTA TEKNIKOISTA

7.2.1 Yleistä

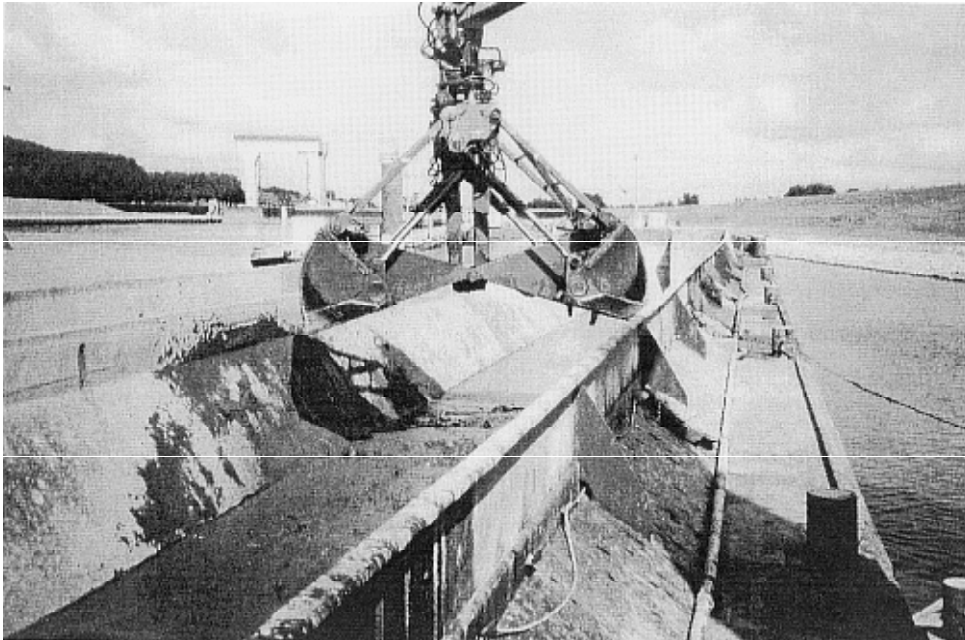
Kauhatyyppisten ruoppaajien ongelmana ollut sedimentin karkaaminen on ratkaistu sulkemalla kauhan rakenne tiiviiksi. Imuruoppaajissa puolestaan sedimentin veteen suspensoitumista ja karkaamista tapahtuu pohjan läheisyydessä

leikkureilla varustettujen imuruoppaajien leikkurien pyöriessä lennättämän materiaalin vuoksi sekä siksi, että veteen laskettu imupuomi saa aikaan liikkuessaan virtauksia ja sekoittaa muutenkin pohjaa. Ongelma on ratkaistu yleensä peittämällä leikkuri ja tehostamalla pohjan profiilin ja leikkurien sijainnin tarkkailua.

7.2.2 Ruoppausalukset

“Royal Boskalis Westminster B. V:n Horizontally Profiling Environmental Grab” eli vaakasuunnassa leikkaava kahmarikauha

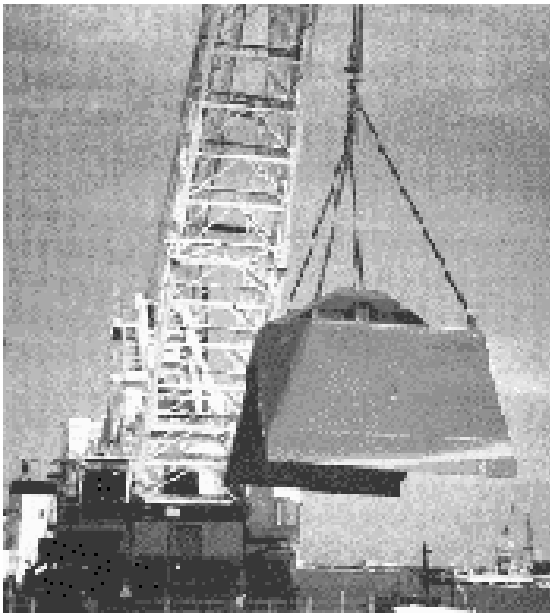
Kyse on uudentyyppisestä $2,5 \text{ m}^3$ kauhasta (kuva 7), jonka erikoisuutena on maan leikkaaminen vaakatasossa. Perinteinen kahmarikauha kaivaa maahan koveran kolon, joka on keskikohdaltaan esimerkiksi 0,8 m syvä. Perinteisen menetelmän haittapuolina on pidetty sen epämääräistä tarkkuutta ja epätasaista kaivujälkeä. Ympäristöhaittoja on lisäksi lisännyt kauhan avoin rakenne ja parannelluissakin malleissa sedimentin runsas karkaaminen vesistöön. Uudessa Boskaliksen kehittämässä kauhassa kauha aukeaa 80 % enemmän perinteiseen verrattuna ja sulkeutuu siten että kauhan kynnet kulkevat lähes vaakasuorassa tasossa koko sulkeutumismatkan. Tämä mahdollistaa ohuen kerroksen poistamisen sedimentin pinnasta. Uuden kauhan täyttämiseen riittää 0,29 metrin kerros maa-ainesta perinteisen kauhan 0,55 metrin kerrosta vastaan. Lisäksi valmistaja kertoo uuden kauhan sulkeutuvan täydellisesti estäen sedimentin pois valumisen nostovaiheessa. Paikannus tapahtuu GPS-paikannusjärjestelmän avulla siten, että paikannustiedot saadaan satelliiteista ja itse kauhan asema puomin niveliin sijoitettujen anturien avulla. Koneen käyttäjällä on edessään tietokonemonitori, josta seuraamalla hän näkee kauhan liikkeitä veden alla, syvyysaseman, sijainnin karttatasossa sekä jo ruopatut alueet.



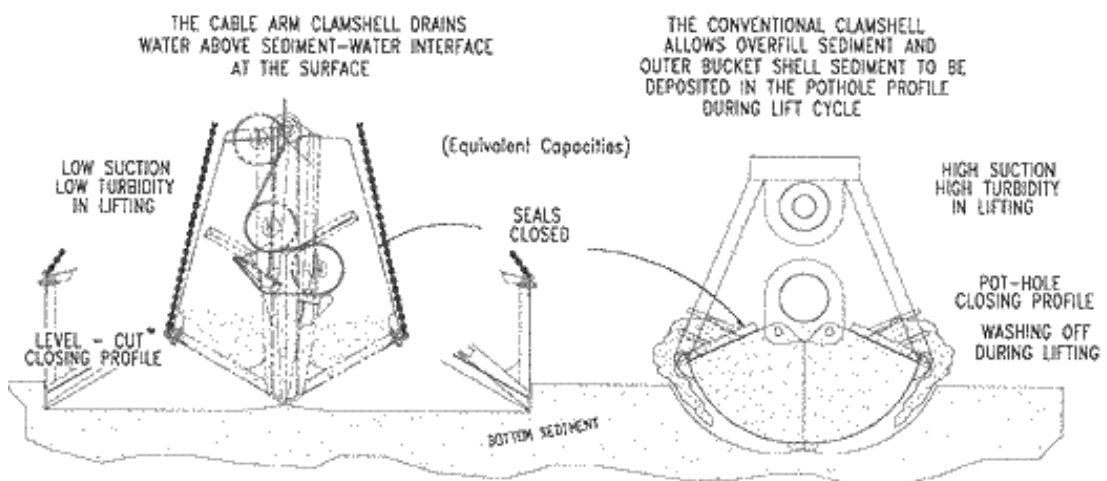
Kuva 7. Vaakasuunnassa leikkaava kahmarikauha (Royal Boskalis Westminster 1995).

“Cable arm clamshell” bucket eli “Vaijerivarsi” kahmarikauha

Hollantilaista kauhaa vastaava kauha on esitelty Pohjois-Amerikassa (Kuva 8). Kauha on vaijerikäyttöinen ja lienee siten asennettavissa tavanomaiseen kahmariin vanhan kauhan tilalle. Kuten hollantilaisessakin kauhassa on Cable-Armin leikkaus vaakasuuntaan hallittu, mikä mahdollistaa ohuidenkin saastuneiden sedimenttikerroksien kuorimisen ja tekee kaivujäljen tasaisemmaksi kuin perinteisen kauhan (kuva 9). Kauha on ollut käytössä pääasiassa Suurilla Järvillä.



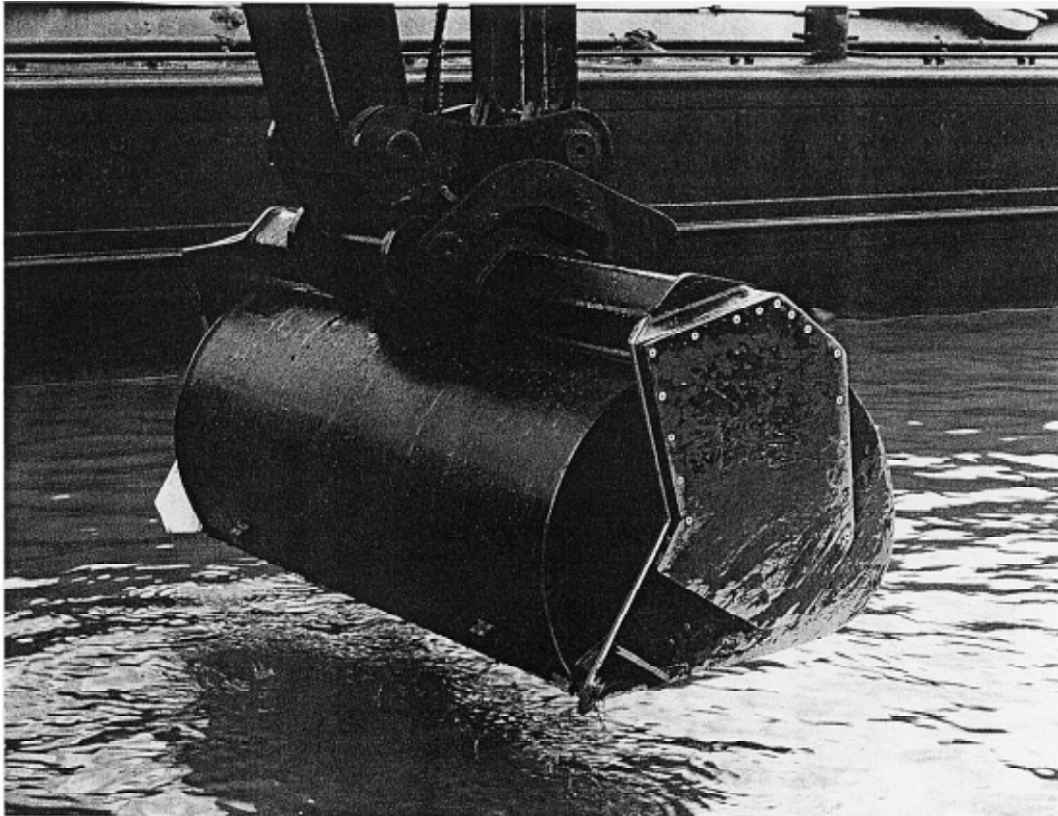
Kuva 8. Cable arm clamshell (L.B.Tanker Inc. 1996).



Kuva 9. Cable-arm -kauhan ja vanhan kauhan vertailu (L.B.Tanker Inc. 1996).

Hollandsche Aanneming Maatschappij bv:n suljettu kuokkakauha

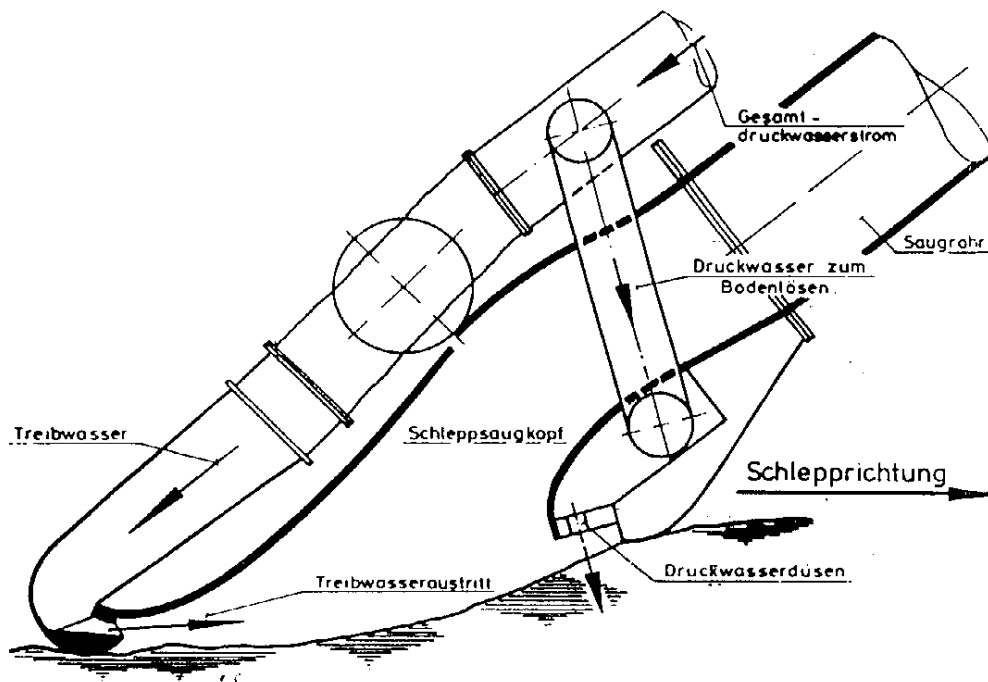
Hollandsche Aanneming Maatschappij bv:n (HAM) valmistamassa kuokkakauharuoppaajassa on erikoisuutena kauhan täysi suljettavuus (Kuva 10). Ideana on, että kauha suljetaan sen täytyttyä veden alla ja estetään siten kuokkakauhalle ja kahmarikauhalle tyypillinen sedimentin karkaaminen nostovaiheessa.



Kuva 10. HAM bv:n suljettu kuokkakauha (HAM 1995).

“Nautilus” -laahaimuhopperi

Holland Dredging Company:n “Nautilus” edustaa hoppersien uusinta sukupolvea. “Nautilusin” on rakentanut Krupp Fördertechnik GmbH ja alus on otettu käyttöön vuoden 1996 alussa (Liite 9). Uutta ruoppaajassa on suljettu vedenkierto eli ylijouksutusta ei sallita, vaan vesi kiertää laahaimupäähän takaisin kuljetusvedeksi. Imupään rakenne on läppä-mallinen Krupp Fördertechnik:in kehittämä ja esitetty kuvassa 11. Maa-aineksen irrotus tapahtuu painevedellä. Kokeissa laitteen on todettu saavuttavan jopa 50 %:n kiintoainespitoisuuksia, mitä voidaan pitää suurena verrattuna imuruoppauksessa yleensä saavutettavaan n. 10 - 20 %:iin verrattuna. Muita hyviä ominaisuuksia veden kierrosta on, ettei ruoppauskohteesta tarvitse imeä ylimääräistä vettä imupäähän. Tämä on hyväksi sekä sementumien, että myös tehontarpeen kannalta koska se saa aikaan korkeamman paineen imupäähän, mikä puolestaan vähentää energian kulutusta. Laitetta on käytetty Suomessakin 1996 Kokkolan väylän syvennysruoppauksissa.



Kuva 11. “Nautilus” laahaimuhopperin KF-imupää (Krupp Fördertechnik 1995).

Royal Boskalis Westminster B. V:n levyleikkuriruoppaaja

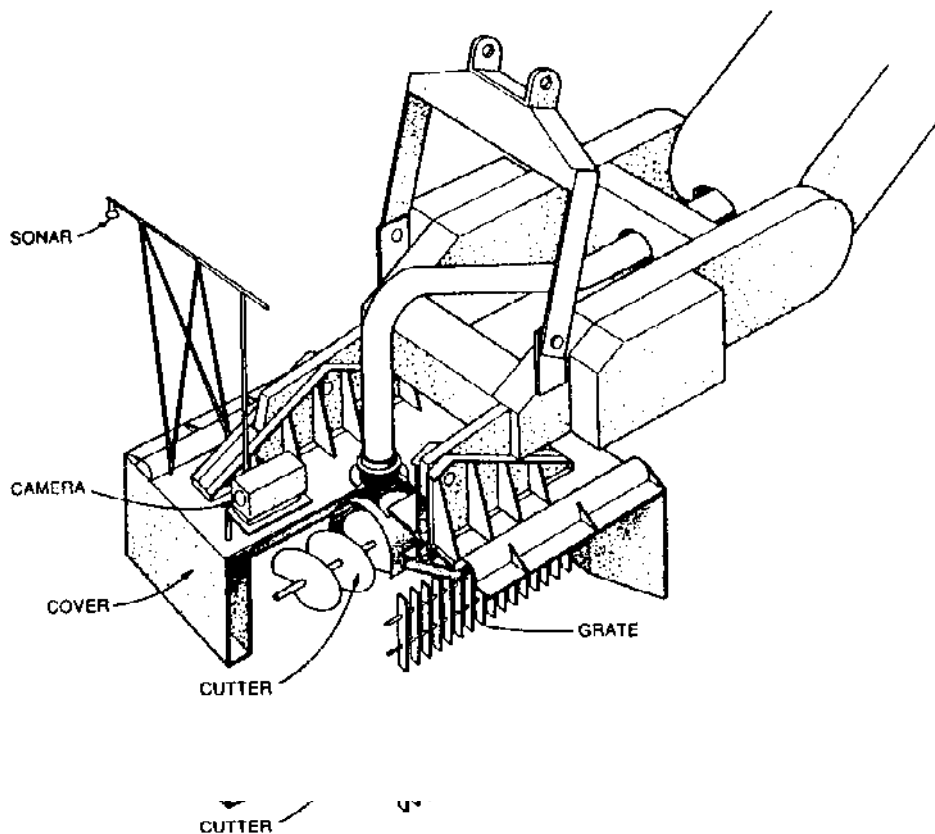
Royal Boskalis Westminster B. V:n levyleikkuriruoppaajan käyttötestit ovat osoittaneet, että laite toimii monessa suhteessa ympäristöystävällisemmin kuin tavanomaiset ruoppaajat (kuva 12). Se takaa alhaisen sedimentin veteen sekoittumisen, tasaisen ja tarkan loppujäljen ruopatussa kohteessa ja alkuperäiseen tilavuuteen verrattuna vähän ylimääräistä vettä sisältävän lopputuotteen, jonka suhde maa-aineksen alkuperäistilavuuden ja putkistoon syötetyn massan tilavuuden välillä on jopa parempi kuin 0,7 : 1. Laitteella on ruopattu menestyksekkäästi jopa niinkin ohuita liejukerroksia kuin 20 cm:ä. Hiekassa on päästy jopa 15 cm:n kerroksiin.



Kuva 12. Levyleikkuriruoppaaja (Royal Boskalis Westminster 1995).

“Clean-up”

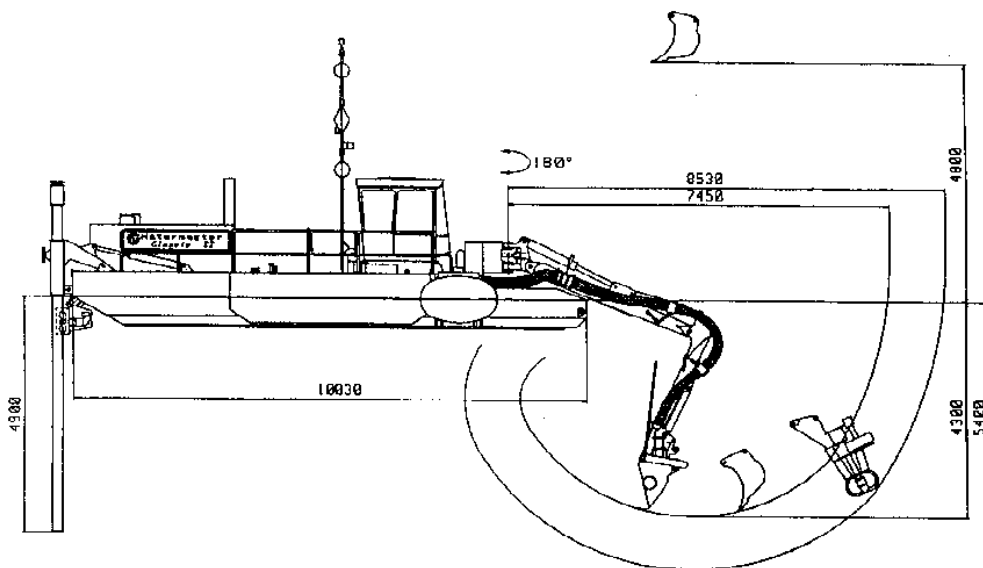
Japanilainen “Clean-up”-järjestelmä kehitettiin varta vasten vähentämään saastuneen sedimentin suspensoitumista ruoppauksen aikana. Järjestelmä on perustaltaan kaira-imuruoppaaja, missä kaira leikkaa sedimentin irtonaiseksi ja kuljettaa sen pumpun imupään imettäväksi. Kaira on suojattu levyillä sedimentin suspensoitumisen vähentämiseksi. Levyjen lisäksi järjestelmässä on liikkuvat siivekkeet, jotka peittävät pohjaa laajemmalta alueelta vähentäen kairasta irronneen sedimentin suspensoitumista veteen. Kaikuluotaimet seuraavat pohjan profiilin muutoksia ja veden alle sijoitetusta kamerasta voidaan seurata veden samentumista työn aikana. Tuotto vaihtelee mallin mukaan 380 - 1500 m³/h. Suurin ruoppausvyvyys vaihtelee mallista toiseen 6,2 metristä 23 metriin (liite 10).



Kuva 13. “Clean-up” (Randall 1992).

Watermaster eli Vesimestari

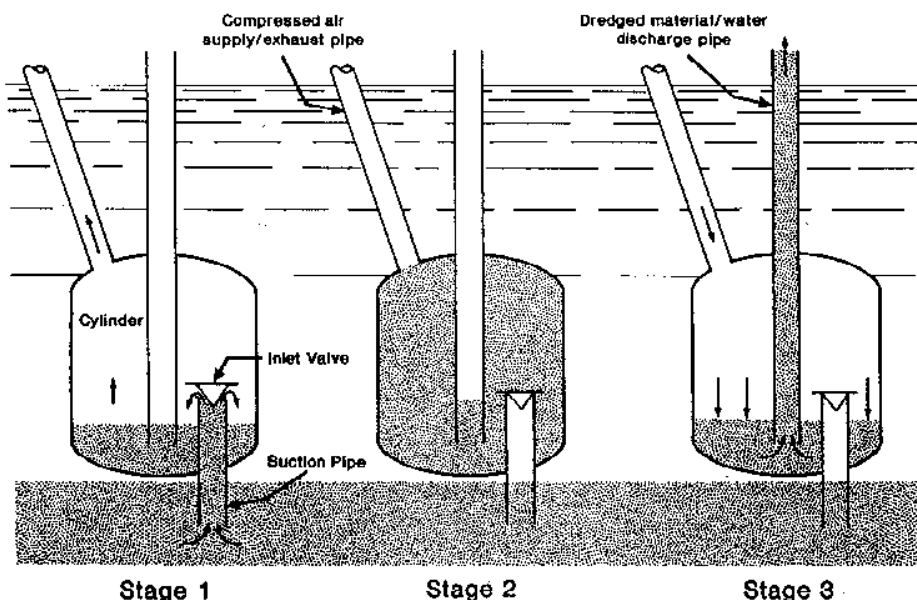
Suomalaisen Watermasterin (kuva 14) (liite 11) eli Vesimestarin erikoisuutena on hyvä liikuteltavuus liikkuvien apujalkojen ja pienen koon ansiosta sekä ainutlaatuinen kauha-pumppu-järjestelmä. Apujalkojen avulla Watermaster pystyy itsenäisesti nousemaan veteen ja rantautumaan. Kauhapumppu puolestaan mahdollistaa ruoppauksen, jossa veden samentuminen on vähäistä ja vesipitoisuudet pysyvät pieninä. Kauhalla irrotetaan maa-aines veden pohjasta kuten normaalilla kuokkakauhalla, mutta kauhaa ei nostetakaan vedestä, vaan kallistetaan siten, että kauhassa olevat imuaukot peittyvät maa-aineksella, joka imetään pumpulla putkistoon. Menetelmän etuna on että kauhan asento pakottaa maa-aineksen imuaukkoihin ja toisaalta maa-aines myös peittää imuaukot ja estää siten ylimääräisen veden pääsyn putkistoon. Tällöin maa-aines putkistossa on tiiviimpää ja vähemmän vettä sisältävää kuin normaalilla imuruoppauksella tuotettu massa. Kauhapumpun tuotto on vaatimaton, vain muutamia kymmeniä kuutioita tunnissa. Suurin suositeltava maalajin raekoko kauhapumpulle on 45 mm eli pumppaus onnistuu vielä osittain karkeallakin soralla. Tätä raekokoa suuremmat kappaleet voidaan kätevästi ruopata kauhalla pois nostamalla. Itse peruskauha on hyvin leveä (1,6 m) ja laitteen varren voima on vain 40 kN, mistä voidaan päätellä laitteen olevan vaikeuksissa hiukankin tiiviissä moreenissa. Tiiviimpää moreenia varten onkin käytettävä normaalikauhaa (leveys 0,85 m) tai erityisen tiiviissä moreenissa kiilamallista kauhaa. Kauhapumpun ruoppaussyvyys on 4,3 m.



Kuva 14. Watermaster Classic II (Aquamec 1995).

“Pneuma”

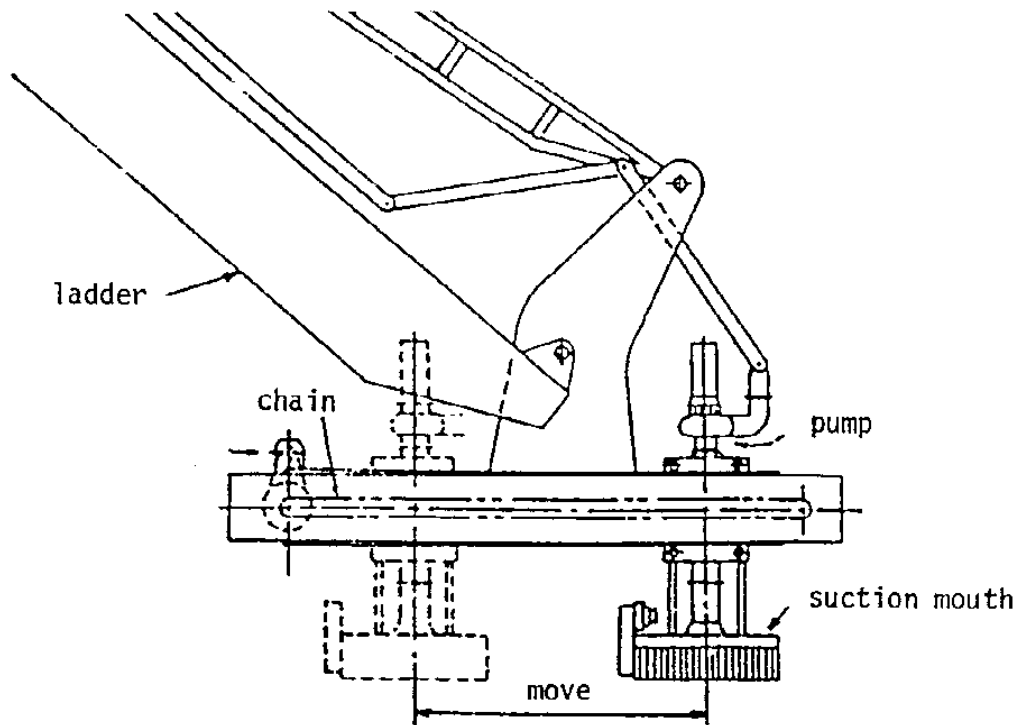
Pneuma-ruoppaaja on nimensä mukaisesti ilmanpainetta hyväksi käyttävä ruoppaaja. Laitteen perusidea on yksinkertainen: veden alla ruoppauspisteessä vallitseva paine on suurempi kuin veden päällä oleva ilmanpaine. Paine-ero saa sedimentin liikumaan kohti pienempää painetta eli tässä tapauksessa imuputken sisällä ylöspäin. Laite koostuu säiliöstä, sedimentin imuputkesta, ilmaputkesta ja tyhjennysputkesta (Kuva 15). Jokaisessa putkessa on sulkeutuvat venttiilit. Säiliö lasketaan veden pohjaan, ja säiliöön johtava sedimentin imuputki työnnetään sedimentin sisään. Säiliö täyttyy sedimentin päästessä virtaamaan alempaan painepotentiaaliin eli säiliöön. Säiliön tultua täyteen, suljetaan imuputki venttiilillä. Säiliön tyhjennysputki avataan ja säiliöön johtavalla ilmaputkella syötetään paineistettua ilmaa säiliön sisälle. Paineilma pakottaa sedimentin tyhjennysputkeen. Säiliön tyhjennyttyä tyhjennysputki suljetaan ja säiliön alipaine imee säiliön jälleen täyteen sedimenttiä (Herbich 1993). “Pneuma”-laitteessa on kolme säiliötä. Sitä on käytetty 50 m:n ruoppaussyvyyksissä. Laitetta on testattu muun muassa Kanadassa, siellä havaittiin, että laite ei häiriinny pienistä jätteistä kuten pulloista tai tölkeistä, mutta suuremmat jätteet, kuten peltilevyt tai uppotukit, pysäyttävät herkästi prosessin. Mikäli suuria jätteitä ei ole, saadaan laitteella aikaan parhaimmillaan 55 %:n kiintoainespitoisuuksia (kiintoaineksen tilavuus jaettuna kokonaistilavuudella). Laitteella saatiin aikaan veden samentumaa, joka ylitti niukasti virkistyskäyttöön soveltuvan veden samentumisen tason. Samentumisen syynä oletettiin olevan suurten jätteiden aiheuttamat häiriöt laitteen toiminnassa. “Pneumaa” käytetään yleensä vaijerinosturilla. Sitä on käytetty pääasiassa Japanissa ja Etelä-Euroopassa.



Kuva 15. “Pneuma” (Randall 1992).

“Oozer”

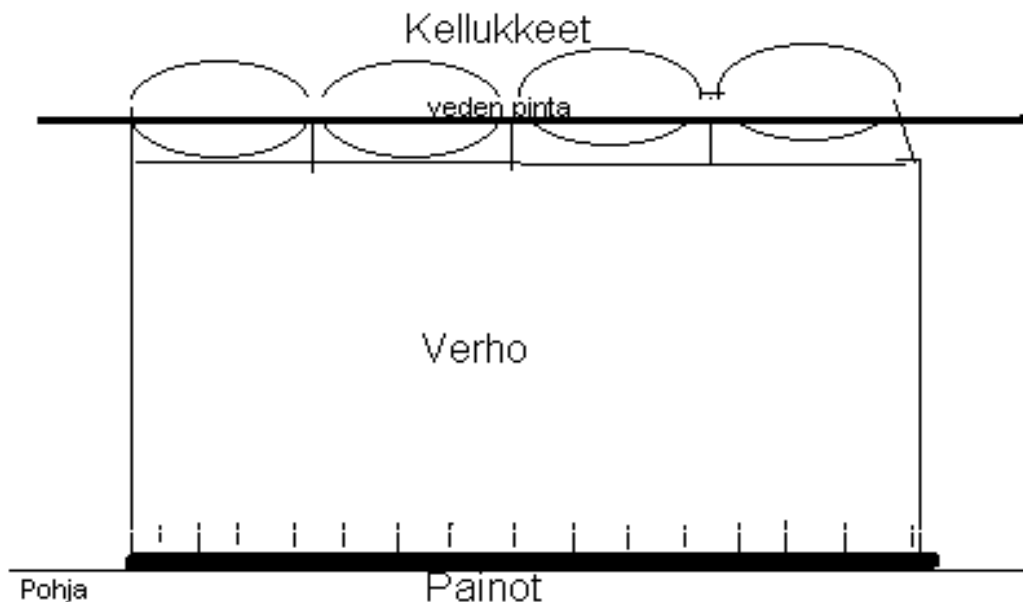
“Oozer”-pumppu on japanilaisen Toyo Construction Companyn kehittämä. Se on samankaltainen kuin “Pneuma” eli toimii ilmanpaineella. Laitteessa on tosin vain kaksi säiliötä ja niiden toimintaperiaate poikkeaa hiukan “Pneumasta”. “Oozerissa” käytetään eri maa-ainekseen sopivia leikkureita, joten sen toiminta-alue on laajempi (Kuva 16). Ruoppaajan aiheuttama sedimentin suspensoituminen on hyvin vähäistä ja oli eräissä kokeissa noin 6 mg/l (Herbich 1993). TV-kamera valvoo aiheutettua samentumista. Laitteeseen voidaan asentaa suojusta estämään uppotukkien ja muiden suurten kappaleiden pääsy järjestelmään. Laite pystyy ruoppaamaan 18 metrin syvyydestä ja ruopattavan kerroksen paksuutta ja ominaisuuksia voidaan tarkkailla viidellä kaikuluotaimella. “Oozer” pystyy parhaimmillaan ruoppaamaan sedimentin lähes luonnollisessa tiheydessä. Laitteen tuotto on suuremmilla laitteilla 300 - 500 m³/h. Mm. Taian Maru-nimisellä laitteella on ruopattu Japanissa yli miljoonaa kuutioita saastunutta sedimenttiä tuoton oltua suurimmillaan noin 350 m³/h (liitteet 12 ja 13).



Kuva 16. “Oozer” (Randall 1992).

7.2.3 Silttiverhot

Silttiverhoilla estetään ruoppauksen sekä läjityksen aikainen suspensoituneen sedimentin hallitsematon leviäminen. Silttiverhot asetetaan joko kokonaan kohteen ympärille tai, mikäli virtaussuunnat ovat selkeitä, alavirtaan (Liite 14). Tekniikka on yksinkertainen ja perustuu, joko geotekstiileiden vettä läpäiseviin, mutta hienoainesta pidättäviin ominaisuuksiin tai läpäisemättömien nailoneiden virtauksia ohjaavaan vaikutukseen. Läpäiseviksi silttiverhoiksi soveltuvat geotekniset eristemateriaalit, lähinnä tekstiilit, jotka ovat vettä läpäiseviä, mutta tarpeeksi pienisilmäisiä estämään hienoaineksen läpipääsyn ja joilla on riittävästi vetolujuutta työnaikaisten rasituksien vastaanottamiseksi. Silttiverho pysyy vaakasuorassa asennossa kellukkeiden ja painojen avulla tai ankkuroinneilla (kuvat 17 ja 6). Silttiverhojen ongelmana on ollut tukkeentuminen sekä paikallaan pysymättömyys. (USEPA 1994)



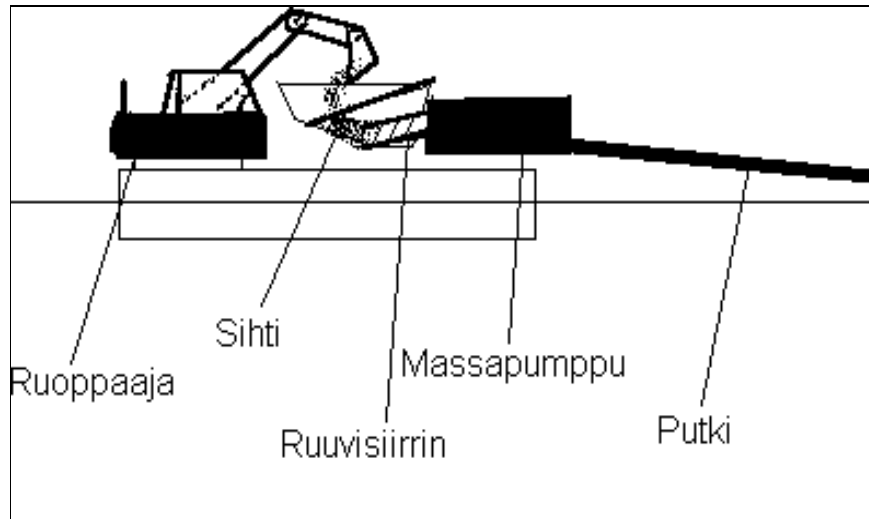
Kuva 17. Silttiverhon rakenne (Riipi 1996).

7.2.4 Kuljetustekniikat

Massapumppu

Helsingissä sijaitsevan Pikku-Huopalahden syventämisruoppauksessa käytettiin tekniikkaa, joka poikkesi massan kuljetustekniikalta olennaisesti tavanomaisesta. Massat ruopattiin kuokkakauharuoppaajalla, mutta kuljetus tapahtui massapumpun avulla putkea pitkin. Proomukuljetus ei ollut mahdollista eikä imu-ruoppausmassoille ollut osoittanut sopivaa läjitysaluetta. Tekniikka on yksinkertainen ja perustuu ruuvi siirtimiin ja betonipumppuun (kuva 18) (liite 15). Massa

kaadetaan kaivinkoneen kauhasta siiloon, jonka alla oleva ruuvi siirtää massan betonipumppuun. Betonipumppu toimii kuten betonin pumppauksessa. Massa ei voi olla aivan kuivaa, vaan vettä on lisättävä, mikäli massa tuntuu hyytyvän putkistoon. Käytännössä lisätty vesimäärä on mitätön ja läjitysalueelle saadaankin hyvin paksua luonnontilaisessa vesipitoisuudessa olevaa massaa, joka on nopeasti ihmisen kantavaa. Vastaavaa menetelmää on käytetty myös Tuusulanjärven pohjoispään ruoppaamisessa.



Kuva 18. Massapumppujärjestelmän periaate (Riipi 1996).

7.2.5 Läjitystekniikat

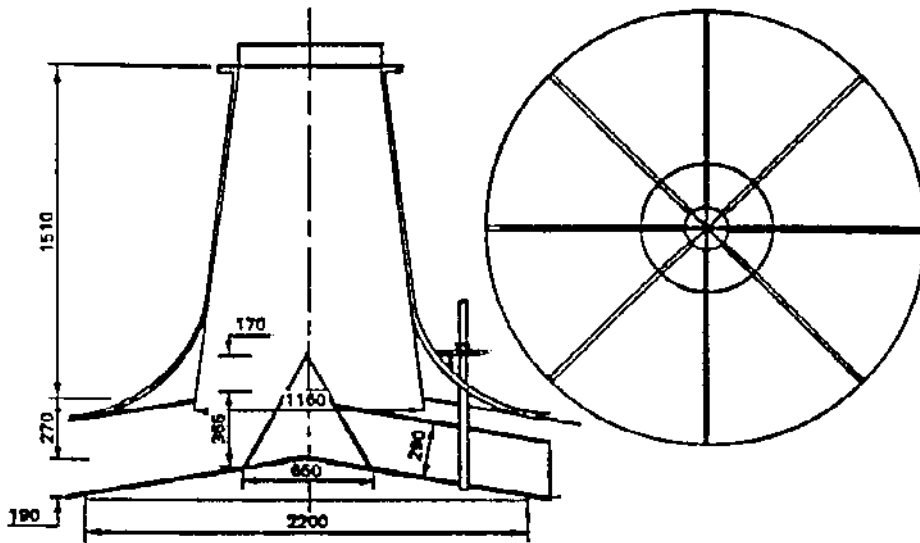
Maalle läjitys

Maalle (tai rannalle) läjityksessä on kehitelty mm. ruoppausmassojen selkeyttämistä, sekä alueen eristämistä pohjavedestä. Selkeyttäminen tapahtuu lisäämällä imuruoppausveteen sedimentin hienoimpia partikkeleita hiutaloittavia kemikaa- leja. Eristäminen tapahtuu yleensä geomembraaneilla, jolloin ruoppausjätteestä konsolidoitu vesi ei kulkeudu pohjaveden vaan se voidaan johtaa läjitysalueen vedenkäsittelyyn. Konsolidaatiota eli veden poistumisesta aiheutuvaa painumista voidaan nopeuttaa vakuuminenelmällä, jolla saadaan aikaan usean metrin vesimassan painoa vastaava, vettä pois puristava paine. Nopeamman konsolidaation vuoksi massa kuivuu nopeammin ja saavuttaa siten nopeammin edullisemmat olosuhteet jatkokäsittelylle.

Vedenalainen virtauksen hajotin

Erilaisissa imuruopatun massan läjitysoperaatioissa on käytetty hyväksi veden- alaista virtauksen hajotinta eli diffusoria (kuva 19), jonka ideana on hidastaa suurella nopeudella putken päästä syöksyvää ruoppausmassan nopeutta ja levittää ruoppausmassa tasaisemmaksi ja ohuemmaksi kerrokseksi. Liian suurella nopeu-

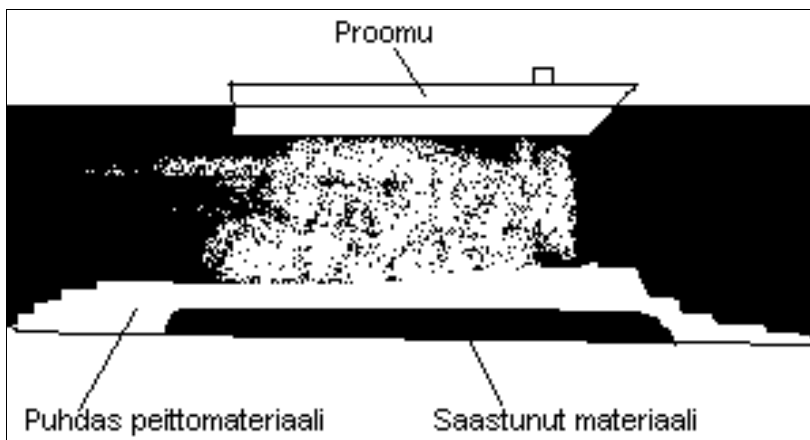
della putken päästä purkautuva massa aikaansaasekoittumista pohjassa, mikä lisää kiintoaineksen suspensiota.



Kuva 19. Virtauksen hajotin eli diffuusori (d'Agremond 1984).

Tasaiselle pohjalle veteen läjitys ja peitto puhtaalla materiaalilla

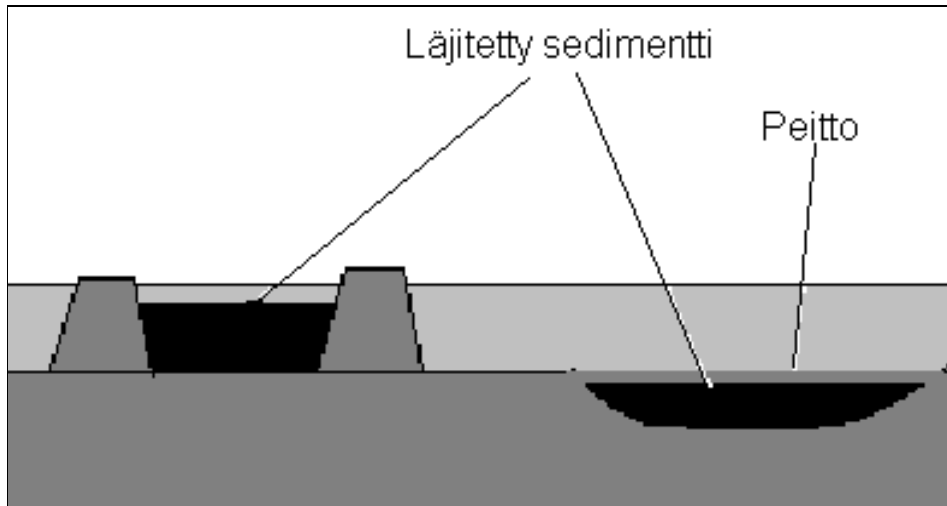
Sedimenttien luonnollisin sijoituspaikka on vesien pohjalla. Lievästi saastunut sedimentti voidaan läjittää meren tai järven pohjaan alueilla joiden virtausolosuhteet ovat edulliset mikäli saastunut sedimentti eristetään vedestä peittämällä se puhtaalla ruopatulla maa-aineksella (kuva 20). Eristävän kerroksen materiaalin laadun ja paksuuden määräävät laboratoriokokeet.



Kuva 20. Tasaiselle pohjalle läjitys- ja peittomenetelmä (Riipi 1996).

Rajattu veteen läjitys

Eräs saastuneen sedimentin läjityksen vaihtoehto on ollut käyttää luonnon omia syvänteitä ja painaumia tai sitten läjitystä varten on rakennettu keinotekoisia kuoppia tai altaita. Päälimmäiseksi on läjitetty puhdas kerros sedimenttiä, mikäli materiaalin saastumisaste on sitä vaatinut (kuva 21).



Kuva 21. Rajoitettu veteen läjitys kuoppiin ja veteen rakennettuihin altaisiin (Riipi 1996).

Saastuneen sedimentin peittäminen itse paikalla

Luonnollisella paikallaan olevan saastuneen sedimentin peittäminen on koettu monessa tapauksessa edullisimmaksi ratkaisuksi. Tällöin on vain peitetty saastunut sedimentti puhtaalla maa-aineksella kuljettamatta saastunutta massaa.

8. YMPÄRISTÖÄ VÄHEMMÄN KUORMITTAVAN RUOPPAUKSEN KUSTANNUKSIEN ARVIOINTI

8.1 YLEISPERIAATTEET

Mitä saastuneempaa ruopattava maa-aines on ja mitä tiukemmat kriteerit maa-aineksen puhdistamiselle asetetaan (saasteen tyyppin, ympäristövaikutuksien, lainsäädännön yms. mukaan), sitä suurempia ovat kustannukset.

Ruopattaessa ja läjitettäessä puhtaita massoja aiheutuu ympäristöhaittoja sedimentin suspensoitumisesta, pohjan peittymisestä sekä liuenneen hapen pitoisuuden laskusta. Näiden haittojen rajoittamiskustannukset ovat melko pienet, kun käytetään siltiverhoja sekä ruoppaus- että läjitysalueella. Ruoppaustekniikan muuttaminen tavanomaisesta nostaa kustannuksia. Kun kyse on ylläpitoruoppauksesta eli esimerkiksi väylien syvyyttä ylläpitävästä ruoppauksesta, on usein kyse alueesta, jonka samentuminen ja pohjan sekoittuminen ovat jo valmiiksi suuria. Tällöin ei ole tarvetta erikoisruoppaustekniikoihin samentumisen takia. Mikäli läjitysalueeksi joudutaan valitsemaan vesistöön läjittämisen sijasta maalle läjittäminen, nousevat kustannukset suuresti.

Saasteet ja useat muut sedimentistä tavatut vieraat aineet esiintyvät sedimentin hienoimmassa fraktiossa eli hienoaineksessa. Mikäli ruopattava kohde on todettu saastuneeksi, riittäisi usein pelkästään tuon hienoimman fraktion poistaminen ja puhdistaminen puhdistusoperaatioksi. Hienoaines ei ole aina tavanomaisilla ja siten usein edullisemmilla menetelmillä poistettavissa, vaan se on joko liian ohuena kerroksena (melko tuore sedimentoitunut materiaali) tai sitten karkeampirakeiseen massaan sekoittuneena.

Ohuen saastuneen kerroksen poistossa voidaan käyttää ohuen kerroksen erikoisruoppaajaa tai mahdollisesti vanhaa kalustoa, jonka hallinta- ja paikanusjärjestelmää on kehitetty ja jonka käyttäjiä on hyvin perehdytetty. Vanhan kaluston käyttö on edullisempi, mutta työn tarkkuudelta heikompi vaihtoehto. Olennaista olisi poistaa ainoastaan saastunut kerros puhtaamman massan päältä. Olisi suositeltavaa viedä ruopattu kerros saastumisasteen mukaan joko käsiteltäväksi puhdistuslaitokseen (kemialliseen, biologiseen, lämpökäsittelyyn tms.), jolloin materiaali olisi käytettävissä uudelleen mm. tienrakennukseen, tai esimerkiksi läjitettävä sellaisenaan eristetyille alueille, jolloin eristämisen asteen määrää saastumisaste jne. Mitä korkeammat vaatimukset asetetaan puhdistukselle ja eristävyydelle, sitä suuremmiksi kustannukset nousevat.

Mikäli saastumista on esimerkiksi sekarakeisen massan hienoaineksessa, ei ruoppaamisen pystysuuntainen tarkkuusvaatimus ole yhtä suuri. Tarkkuutta tärkeämpänä voidaan tällöin pitää massan vesipitoisuuden pitämistä alhaisena kuljetettavien ja läjitettävien massojen sekä vedenkäsittelyn määrän vähentämiseksi. Kauhamallisilla ruoppaajilla ja proomukuljetuksella taataan lähes luonnontilainen vesipitoisuus, joten erikoistekniikoita ei tarvita. Saasteen puhdistamisen ja massojen eristämisen taso määrää lopulliset kustannukset.

8.2 RUOPPAAMISEN KUSTANNUKSET

8.2.1 Yleistä

Varsinaisesta ruoppamisesta aiheutuneet kustannukset koostuvat

- siirtokustannuksista,
- ruoppaustyöstä,
- alueen eristämiskustannuksista (silttiverhoista tms. esteistä),
- ympäristö- ja muista tutkimuksista,
- terveydenhoito- ja varotoimenpiteistä ja
- välineiden puhdistamiskuluista (USEPA 1994).

8.2.2 Ruoppaajien siirtokustannukset

Siirtokustannukset muodostavat suuren erän projektin kustannuksista. Siksi tulee tarkkaan harkita kunkin käytettävissä olevan ruoppaajan ja muun kaluston valintaa etenkin, jos kyse on pienestä ruoppauskohteesta. Laajassa työssä kuljetuskustannuksien osuus jää pienemmäksi. Taulukossa 11 esitetään Suurilla Järvillä todettuja siirtokustannuksia. Kustannukset vaihtelevat suuresti kuljetusetäisyyksien, kaluston määrän ja saatavuuden jne. mukaan, joten taulukon kustannukset ovat vain suuntaa antavia ja kuljetuksen kalleutta korostavia.

Taulukko 11. Suurilla Järvillä todettuja siirtokustannuksia. Sisältää kuljetuksen paikalle, asennukset ja poiskuljetuksen (USEPA 1994).

Ruoppaajatyyppe	Ruoppaajien määrä Suurilla järvillä	Kustannukset \$ /100 km	Kustannukset FIM /100 km (\$:FIM=4, 3)
Kahmarikauha	77	37 500	160 000
Hopperi(<4000m ³)	1	75 000	320 000
Imuruoppaaja+putkisto	33	18 750	80 000

8.2.3 Ruoppauskustannukset

Ruoppauskustannukset muodostavat suuremmissa töissä pääosan kustannuksista. Taulukossa 12 on esitetty Pohjois-Amerikassa ylläpitoruoppauksessa tyypillinen yksikkökustannuksien taso. Taulukon kustannukset ovat normaalikokoonpanosta koostuvan kaluston työn yksikkökustannukset, jolloin imuruoppaajan lisäpumpppausasemia eikä kauharuoppaajien proomukuljetus- eikä purkukustannuksia ole mukana. Nämä kustannukset sisältyvät kuljetuskustannuksiin. Huomioitava on myös että taulukon arvoja ei voi suoraan soveltaa Suomen oloihin.

Taulukko 12. Pohjois-Amerikassa ylläpitoruoppauksessa tyypillinen yksikkökustannuksien taso (USEPA 1994).

Ruoppaajatyyppe	Kokoluokka	Kustannukset FIM/m ³ (\$/yd ³)	
		Maan tiheys	
		1000 - 1500kg/m ³	1500 - 2000kg/m ³
Kahmarikauha	< 1,5 m ³	34 (6)	40 (7)
	1,5 - 4 m ³	28 (5)	28 (5)
	> 4 m ³	23 (4)	23 (4)
Kuokkakauha	0,4 - 0,8 m ³	28 (5)	40 (7)
	0,8 - 2,7 m ³	14 (2,5)	23 (4)
Imuruoppaaja	< 250 mm	14 (2,4)	23 (4)
	250 - 360 mm	14 (2,5)	26 (4,5)
	> 360 mm	15 (2,6)	28 (5)

8.2.4 Alueen eristämiskustannukset

Mikäli sedimentti sisältää öljyä, on ruoppausalueella käytettävä pintaan nousevan öljyn leviämisen estävää öljyvuomia. Yleisimmin ruoppauksissa käytetään siltiverhoja, joita on kahdentyyppisiä: vettä läpäiseviä ja vettä läpäisemättömiä. Vettä läpäisevä versio on tehty keinoitekoisesta geotekstiilikudoksesta, joka päästää veden lävitse, mutta sitoo itseensä suspensoituneen hienoaineksen. Läpäisemätön verho on tehty esimerkiksi tiiviistä vinyylipäällysteisestä nailonista, jolloin on kyse pikemminkin virtausta ohjaavasta kuin suspensiota sitovasta eristämisestä. Taulukossa 13 on määritelty eri eristysmenetelmille tyypillisiä yksikkökustannuksia. Maanrakennustöissä käytetyn geokankaan hinta alkaa parista markasta neliöltä.

Taulukko 13. Tyypillisiä eristysmenetelmien yksikkökustannuksia Pohjois-Amerikassa (USEPA 1994).

Este	Yksikkökust. \$	Yksikkökustannukset FIM
Öljyvuomi	7 - 66 /ft	100 - 930 /m
Siltiverho		
geotekstiili	3 /ft ²	140 /m ²
vinyylipäällysteinen	28 /ft ²	1300 /m ²
polyuretaanipäällysteinen	35 /ft ²	1600 /m ²

8.2.5 Tutkimuskustannukset

Kun kyseessä on saastuneen sedimentin ruoppaus, vaihtelevat tutkimusten kustannukset suuresti. Kalleinta on syvyysmittauksien suorittaminen, ruoppauksen jälkeinen sedimentin saastuneisuuden mittaaminen sekä suspensiomittaukset. Saastemittauksien kustannustason määräävät tutkittavien saasteiden luonne sekä

tutkimukseen käytettävä laboratorioaika. Mikäli on kyse vaikeasti ja hitaasti mitattavista aineista, nousevat kustannukset. Sedimentin suspensiomittauksien kustannukset koostuvat pääasiassa näytteidenotosta. Itse samentumis- sekä kiintoainemäärien arvioinnit ovat edullisia (USEPA 1994).

8.2.6 Terveystoimenpiteet, varotoimenpiteet sekä välineiden puhdistaminen

Lisäkustannuksia voi aiheutua työsuojelumääräysten edellyttämien suojaavien varusteiden hankinnasta ja epäsuorasti varusteiden käytön aiheuttamasta työn hidastumisesta. Esimerkiksi jos kyse on haihtuvista ihmiselle vaarallisista aineista, työntekijöiden on käytettävä happilaitteistoja. Näin tapahtuu kuitenkin harvoin, ja useimmiten myös suora altistuminen ruopattuun massaan on olematonta, jolloin normaali likaantumista estävä varustus voidaan katsoa riittäväksi. Saastuneeseen aineeseen kosketuksessa olleet välineet kuten kauhat, proomut ja putkistot olisi hyvä puhdistaa esimerkiksi huuhtelemalla ne vedellä ennen alueelta poistumista saasteen leviämisen ja altistumisriskin minimoimiseksi (USEPA 1994).

8.3 RUOPATUN MASSAN KULJETUSKUSTANNUKSET

Imuruoppauksessa on yleisin kuljetusmenetelmä pumppaamalla tapahtuva putkistokuljetus. Kustannukset ovat suoraan riippuvaisia pumppauskaluston koosta sekä pumppausetäisyydestä. Mikäli pumppaus onnistuu ilman välipumppausasemia, ei lisäkustannuksia varsinaisesti ole. Kyse on silloin noin alle 3 km:n pumppausmatkasta.

Kauharuoppauksessa kuljetuskustannuksia aiheutuu pääasiallisesti proomukuljetuksesta eli proomujen, hinaajien ja miehistön kuluista. Proomukuljetuksessa on edullisinta käyttää kahta proomua ja yhtä hinaajaa. Toisen proomun ollessa lastauksessa, on toinen läjittämässä tai matkalla. Kuljetusetäisyydestä ja lastauksen nopeudesta riippuu tarvitaanko proomuja ja hinaajia lisää.

Mikäli massa joudutaan siirtämään maalle (saastumisaste korkea) nousevat kauharuoppauksen kuljetuskustannukset jyrkästi. Proomukuljetus on edullinen kuljetusmenetelmä, mutta mikäli joudutaan käyttämään esimerkiksi kuorma-autoja tai massapumppuja kuutiokustannukset nousevat vähintään kaksinkertaisiksi.

8.4 LÄJITYSKUSTANNUKSET

Ruoppaus ja läjitystoiminnan kustannuksia nostaa eniten läjitystavan muuttaminen avovesiläjätyksestä maalle läjitykseen. Maalle läjittämistä johtuvat kustannukset ovat saastumistason mukaan 2 - 4 tai jopa kymmeniä kertoja suuremmat avovesiläjityksen kustannuksiin verrattuna. Mikäli materiaali tarvitsee runsaasti veden-

poistoa ja poistetun veden käsittelyä ja mikäli saaste on vaikeasti käsiteltävää ovat kustannukset suurimmillaan.

Perinteinen avovesiläjitys on halvinta. Peittoläjitys tasaiselle vedenpohjalle on edellä mainittua hiukan kalliimpaa. Lisäkustannuksia peittoläjitäyksessä aiheutuu puhtaan peittomateriaalin hankinnasta ja läjittämisestä. Mikäli mahdollista, nämä kulut voidaan kuitenkin minimoida käyttämällä ruoppaustöistä saatavaa materiaalia. Mikäli sopivaa puhdasta materiaalia saadaan työkohteista, on kyse vain töiden yhteensovittamisesta.

8.5 SAASTEIDEN PUHDISTUSKUSTANNUKSET

Ruoppausmassojen puhdistamisen kustannukset riippuvat halutusta puhtaus-tasosta, massan kosteudesta, saastuneisuuden asteesta, saasteiden ominaisuuksista ja lukumäärästä. Hollantilainen arvio (RIZA 1991) ruoppausjätteille sopivien käsittelytekniikoiden kustannuksista on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Ruoppausjätteelle sopivat käsittelytekniikat ja kustannukset (RIZA 1991).

Käsittelytekniikka	Käsitelty fraktio ¹⁾	Saasteet ²⁾	Arvioidut kustannukset ³⁾ (US\$)
Vedenpoisto			
-luonnollinen	K	ei merkitystä	10 - 40 /m ³ RM
-mekaaninen	K	ei merkitystä	20 - 30 /m ³ RM
Fraktioerottelu	K	ei merkitystä	5 - 20 /tonni KA
Biologinen käsittely			
-kiinteäkompostointi (<i>land farming</i>)	K	PAH, öljy	20 - 50 /m ³ (50% KA)
-ilmastusallas (<i>aeration basin</i>)	KE	PAH, öljy	60 - 320/m ³ (50% KA)
Kemikaalikäsittely			
-hapolla uuttaminen (<i>extraction with hydrochloric acid</i>)	K/KE/R	raskasmetallit	5 - 175 /tonni KA
-EDTA-uutto (<i>extr.with complex building compounds, EDTA</i>)	KE/R	raskasmetallit	10 - 75 /tonni KA
Fyysinen/kemiallinen käsittely			
-flotaatio	R	OMS+	40 /tonni KA
-painovoima erottelu	R	raskasmetallit	ei tiedossa
Immobilisaatio	K	OMS + r.met.	50 /m ³ RM

1) K=kokonaan, KE=kevyt fraktio, R=raskas fraktio

2) OMS=organiset mikro-saasteet

3) RM=ruopattu materiaali, KA=kuiva-aines.

8.6 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIEN HUOMIOONOTTAMISESTA AIHEUTUVA RUOPPAUKSEN JA LÄJITYKSEN KUSTANNUSTASON MUUTOS

Esimerkkejä kustannustason muutoksesta eli noususta on taulukossa 15, johon on listattu kymmenen US. Army Corps of Engineersin ruoppauskohdetta, joiden kustannustaso on tavalla tai toisella noussut ympäristönormien soveltamisen takia. Kustannuksia on syntynyt mm. lupien hankintaan liittyvistä asioista eikä pelkästään tekniikkaan yms. liittyvistä osa-alueista. Kustannukset ovat vuodelta 1986.

Taulukko 15. Kustannustason kasvu ympäristönormien noudattamisen vuoksi (PIANC 1986).

Kohteen sijainti	Normaali kustannus \$/yd ³ (FIM/m ³)	Ruoppaus- kustannukset, kun jouduttu soveltamaan ympäristö- rajoituksia \$/yd ² (FIM/m ³)	Kustannus- tason muutos
Cassville, WI	0,98 (6)	23,76 (135)	24,24
Duluth, MN	5,69 (32)	9,76 (55)	1,72
Green Bay, WI	5,7 (32)	8,35 (47)	1,46
Illinois Waterway, WL	0,98 (6)	8,35 (47)	8,52
St. Paul district, Upper Miss. River	2,62 (15)	8,37 (47)	3,19
Buffalo dist., Lakes Erie and Ontario	2,86 (16)	8,00 (45)	2,88
Calument river& harb., IL	1,5 (8,5)	10,98 (62)	7,32
Detroit river, MI	2,04 (11)	9,94 (56)	4,87
Green Island, Upp. Miss. river, MI	0,98 (6)	3,63 (21)	3,70
Michigan City, IN	2,5 (14)	4,50 (25,5)	1,80
KESKIARVO(keskihajonta)	2,6 (1,8) (15(10))	9,6 (5,5) (54(31))	6,0 (6,8)
KESKIARVO(keskihajonta) kun Cassvillea ei huomioida	--	8,0 (2,4) (45(14))	3,9 (2,5)

Kokonaiskustannustaso nousee siis tämän arvion mukaan keskimäärin noin nelinkertaiseksi verrattuna perinteiseen ruoppaus- ja läjitystoimintaan. Taulukosta käy kiistatta ilmi, että kustannukset saattavat nousta hyvinkin rajusti verrattuna puhtaiden sedimenttien tavanomaiseen ruoppaukseen.

9. SUOMEEN SOVELTUVIA SAASTUNEIDEN SEDIMENTTIEN RUOPPAUS- JA LÄJITYSMENETELMIÄ

9.1 YLEISTÄ

Kaikilla käytössä olevilla ruoppustekniikoilla on tietyin toimenpitein edellytyksiä vähän ympäristöä kuormittavaan työskentelyyn (Liite 16). Suurimmaksi ongelmaksi jää ruoppausmassojen oikeaoppinen sijoittaminen ja jatkokäsittely. Suosituksia läjitykseen on esitetty liitteessä 17.

Taloudellisuutta silmällä pitäen ovat perinteiset menetelmät paranneltuina edullisimpia. Imuruoppaus on edullisinta jos materiaali on puhdasta, mutta saastuneissa sedimenteissa ongelmiksi nousevat runsaat samentumat ja läjitetyn massan korkea vesipitoisuus. Kauharuoppaajien vahvin puoli on ruopatun massan pieni vesipitoisuus, jolloin läjitettävät massamäärät ovat pienempiä ja läjitysalueen stabiliteetti parempi. Kauharuoppauksessa yleisin ja edullisin maan kuljetusmenetelmä on proomukuljetus. Proomukuljetuksen heikkous ympäristöä ajatellen on, että osa materiaalista voi karata läjitysprosessissa eikä vesistö läjityspaikkana aina ole paras mahdollinen. Proomujen hyvä puoli on, että niiden käyttö samentaa vettä läjitysalueella vähemmän kuin purku imuruoppausputkista. Läjitys on tapahtumana nopea, jolloin materiaali säilyy yhtenäisenä massana vajoten nopeasti pohjaan ja aiheuttaen vain vähän samennushaittoja. Veden pohjassa läjitysalueen samentuminen riippuu pohjasuhteista sekä läjitettävästä materiaalista. Hienojakoinen aines saattaa levitä pitkällekin ja siltiverhojen käyttö rajoittaisi läjityksen aiheuttamaa samentumista. Ongelmaksi jää sedimentin pitempiaikainen erodoituminen. Kulumista voidaan estää peittämällä läjitysmassa paremmin veden virtauksia ja muita voimia kestäväällä materiaalilla tai sekoittaa läjitysmassaan jotain sementoivaa ainetta.

9.2 ESIMERKKEJÄ TEKNIKOISTA

Seuraavassa on esitetty Suomeen sopivia saastuneiden sedimenttien ruoppaus- ja läjitysmenetelmiä, joilla ruoppaustyöstä aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat keskimääräistä vähäisempiä. Esimerkit on luetteloitu suurin piirtein kustannusjärjestyksessä.

Kauharuoppaus

Suomessa kannattaa käyttää mahdollisimman paljon hyväksi olemassa olevaa kauharuoppaajakalustoa. Mitä suurempi kauhakoko on, sitä tehokkaampi, taloudellisempi ja suhteellisesti vähemmän ympäristöä kuormittava ruoppaustapa on. Kauharuoppaus on ympäristöä ajatellen perinteisistä, erikoistekniikoita edullisemmista tekniikoista keskimääräistä parempi vaihtoehto. Kauharuoppaaja säilyttää sedimentin lähes luonnontilaisena (ei ylim. vettä). Läjitys etenkin palkoproomuilla on nopeaa. Läjitettävä massa vajoaa suurena, yhtenäisenä massana, ilman ylimääräistä vesilisäystä ja suspensiota.

Kauharuoppaus ja silttiverhot läjitysalueella

Osa sedimentistä suspensoituu läjitysvaiheessa veteen ja saattaa kulkeutua pitkiäkin matkoja pois läjitysalueelta. Silttiverhoilla voidaan estää kyseisen sedimentin leviäminen. Tosin siltiverhosta saadut kokemukset ruoppauksen ja läjityksen yhteydessä ovat ristiriitaisia. On paljon tapauksia, joissa siltiverhon käyttö on syystä tai toisesta epäonnistunut ja saanut osakseen enemmän kritiikkiä kuin myönteistä palautetta. Joissain tapauksissa verho on toiminut suunnitellulla tavalla. Ongelmina on ollut verhon tukkeentuminen, verhon herkkyyys virtauksille yms. Esimerkiksi verhon helmat ovat olleet huonosti paikallaan pysyviä, jolloin sedimenttiä on karannut verhon ohitse. Joskus verho on ollut suoranaisesti tiellä ja aiheuttanut liikkueessaan pohjan sekoittumista ja suurempaa suspensiota kuin ilman verkkoa toimittaessa. Kaiken kaikkiaan idea on periaatteeltaan hyvä, mutta vaatii enemmän käytännön kokemuksista saatua parantelua ollakseen toimiva ratkaisu mm. monivuotisen läjityksen eristämiseen. Toimiessaan menetelmä on hyvin edullinen.

Kauharuoppaus ja rajatulle alueelle läjittäminen vesistöön sekä sementoivien lisäaineiden käyttö

Tutkimalla nykyistä tarkemmin vesistöjen virtausoloja voidaan mahdollisesti löytää läjitysalueita, joissa eroosio on vähäistä ja siten vähentää sedimentin leviämistä vesistöissä. Eroosiota voitaisiin vähentää myös sekoittamalla ruoppausmassaan jotain sementoivaa ja neutraalia ainetta kuten kipsiä. Lentotuhkan käyttö ei liene sen sisältämien haitallisten ainesosien johdosta soveliaista vesistöissä.

Kauharuoppaus ja läjitys kuoppiin

Merenpohjan syvänteiden ja painanteiden hyväksikäytöllä läjitettäessä voidaan hidastaa virtauseroosiota ja saavuttaa pitkäaikainen massan stabiliteetti. Läjityshetkellä massa pysyy myös paremmin kasassa, mikäli läjityskohde sijaitsee ympäristöönsä alempana.

Valikoiva ruoppaus ja saastuneen sedimentin läjitys proomuilla kuoppiin tai tasaiselle pohjalle ja saastuneen sedimentin peittäminen puhtaalla massalla

Mikäli sedimentistä on erotettavissa selvästi saastuneempi ohut pintakerros on tarkoituksenmukaista ruopata se erillään puhtaasta sedimentistä valikoivalla tekniikalla (Cable-arm, levyleikkuri tms.) ja kuljettaa saastunut massa läjitysalueelle olevaan syvänteeseen. Mikäli sopivia syvänteitä ei löydy, läjitetään materiaali tasaiselle pohjalle. Tällöin saastuneet massat peitetään puhtaalla ruoppausmassalla. Läjitys- ja ruoppausajankohdat on valittava otollisten virtauksien ajaksi.

Kuoppien teko ja kuopista nostetun materiaalin sijoitus esimerkiksi peittomateriaaliksi, sekä erikoistekniikoiden käyttö aiheuttaa lisäkustannuksia verrattuna nykyiseen. Halvimmillaan menetelmä olisi, mikäli nykyisellä kalustolla ruopattaisiin ja kuljetettaisiin ensiksi saastunut maa-aines valmiisiin kuoppiin, minkä jälkeen samalla kalustolla ruopattaisiin peittomateriaaliksi soveltuvaa puhdasta materiaalia päälle. Peittomateriaalina on yleensä käytetty hiekkaa ja

peiton paksuus on 1 metrin luokkaa kuopissa ja tasapohjalle läjitettäessä parista metristä kuuteen metriin.

Valikoiva ruoppaus ja saastuneen sedimentin peittäminen ruoppausalueen läheisyydessä

Ruopataan ensin saastunut kerros jollain valikoivalla tekniikalla tai mikäli tämä ei ole mahdollista niin perinteisellä kauhamenetelmällä siten, että ruopataan eniten saastuneet maat ensimmäiseksi. Läjitetään saastunut maa-aines ruoppauspaikan läheisyyteen kaivettuun vedenalaiseen kuoppaan tai kuoppiin, jotka peitetään puhtaalla materiaalilla. Alueen on oltava mieluiten sedimentoitumisaluetta, sillä voimakkaiden virtaukset erodoisivat peitteen. Puhdas materiaali voidaan läjittää avoveteen.

Valikoiva ruoppaus yhdistettynä lähellä tapahtuvaan sedimentin kompostointiin (ex-situ bioremediation)

Valikoivaa ruoppaustekniikkaa voidaan myös soveltaa mikäli saastunut maa-aines voidaan sijoittaa maan päälle rakennettuihin väliaikaisiin bioreaktoreihin. Menetelmä soveltuu orgaanisten eli mikrobeille ravinnoksi kelpaavien haitallisten aineiden eliminoimiseen. Puhdistunut maa-aines läjitetään, joko maalle tai vesistöön. Raskasmetallien ja muiden epäorgaanisten haitallisten aineiden poistamiseen menetelmä antaa riittäviä mahdollisuuksia.

Saastunut sedimentti voidaan käsitellä sopivalla tekniikalla myös luonnontilaisena ilman siirtoja itse paikalla. Ongelmana on liikennöidyillä alueilla potkuri-virtauksien aikaansaama sekoittuminen, joka voi haitata sedimentin käsittelyä. Otollisissa olosuhteissa orgaaniset yhdisteet saadaan eliminoitua suoraan paikalla. Luonnonolosuhteet kuitenkin vaihtelevat eikä niihin voi juurikaan vaikuttaa ja yksi itse paikalla tehdyn käsittelyn ongelmista onkin epävarmuus ja epätarkkuus.

Valikoiva ruoppaus ja saastuneiden maa-aineksien pumppaus esimerkiksi diffuusorin avulla lähivesistöön ohueksi kerrokseksi tai rantaan rajoittuvaan läjitysalueeseen

Käyttämällä valikoivaa ruoppausta voidaan saastunut sedimentti erottaa puhtaasta. Puhdas sedimentti voidaan läjittää avoveteen, kun taas saastunut sedimentti voidaan pumpata vedenpohjaan mahdollisimman tasaiseksi kerrokseksi paikkaan, jonka saastepitoisuus vastaa läjittävää sedimenttiä ja sijaitsee käyttöarvoltaan toissijaisella alueella. Massa pumpataan suoraan ruoppauspisteestä läjitysalueelle mieluiten diffuusorin avulla. Tällöin saadaan aikaan pieniä virtausnopeuksia pohjassa ja massa leviää tasaisesti. Diffuusorin toimivuus savisen koheesiomaan levittämässä tulee selvittää ennen töiden aloittamista. Ongelmaksi voi nousta diffuusorin käytöstä huolimatta liian suuri suspensio ja siten samentumat alueella sekä läjityksen aikana että sen jälkeen. Tällöin tekniikka vastaa normaalia imu-ruoppausta ja suoraa putken päästä purkamista aiottuun paikkaan. Rantaan läjityksessä puolestaan kustannukset nousevat mm. veden käsittelyn takia.

Kauharuoppaus yhdistettynä massapumppaustekniikkaan. Läjitys maalle eristetyille kaatopaikalle

Saastunut sedimentti ruopataan kauharuoppaajalla ja pumpataan ruuvipumpun avulla rannalle, josta materiaali kuljetetaan kaatopaikalle. Menetelmä vaatii ruoppauspisteen läheiselle rannalle tilaa ja kalustoa lastausta ja poiskuljetusta varten sekä kaatopaikan massan loppusijoitusta varten. Massaan ei tule paljoa lisävettä ja läjitysalueen vetoisuus voidaan laskea paljon suuremmaksi kuin normaalin imuruoppausmassan vaatima läjitysallas. Myös ympäristöhaitat ovat helpommin hallittavissa vähäisemmän vedenkäsittelyntarpeen takia. Kaatopaikalle voidaan perustaa kuntien, kaupunkien tms yhteinen saastuneiden maa-ainesten käsittelylaitos, jossa pahimmin saastuneet maa-ainekset voidaan käsitellä. Jakaamalla kustannukset useammalle saadaan ruoppausmassojen käsittelyn kustannuksia laskettua. Menetelmä on suhteellisen kallis, sillä jo pelkän maakuljetuksen järjestäminen maksaa yleensä 2 - 5 kertaa enemmän kuin proomulla avoveteen läjitys. Pikku Huopalahdella käytetty massapumppausruoppaustekniikka (ks. luku 9.2.4) maksaa noin 2000 mk/h ja edullisimmillaan noin 30 - 40 mk/m³ (Kupila 1996).

Valikoiva ruoppaus ja läjitys eristettyihin suuraltaisiin

Esimerkki toteutuneesta ympäristövaikutukset huomioivasta saastuneiden sedimenttien ruoppaus- ja läjityskokonaisuudesta löytyy Rotterdamista Hollannista. Rotterdamin sataman ja lähialueen jokien ja kanavien ruoppausmassat ovat pääasiassa turpeen ja saven kaltaisia löyhiä materiaaleja, joista osassa saastumisaste on liian korkea avovesiläjitykseen. Rotterdamissa asia on ratkaistu sijoittamalla vähän saastuneet (Hollantilainen luokka II ja III) (Taulukko 9) edustavat sedimentit jättiläismäiseen 150 miljoonan kuution läjitysaltaaseen (Slufter) ja pahimmin saastuneet massat (Hollantilainen luokka IV) toiseen, pienempään 1,2 miljoonan kuution altaaseen (Papagaaiebek). Vuotuisesta ruoppauksen kokonaistarpeesta 13 miljoonaa kuutiota läjitetään Pohjamereen loppujen 10 miljoonan kuution jakaantuessa suurimmaksi osaksi 150 Mm³ altaan osalle pienemmän osan mennessä 1, 2 Mm³ altaaseen.

Saastuneimmat materiaalit ruopataan valikoivilla erikoistekniikoilla kuten vaakasuunnassa sulkeutuvilla kahmarikauhoilla ja kuljetetaan läjitysalueille proomuilla. Proomut ja muut kuljetusalukset tyhjenetään altaan lähellä sijaitsevassa tyhjenyspisteessä ja materiaali pumpataan parin kilometrin mittaisella putkella altaaseen. Läjitysaltaassa olevan maa-aineksen tiheys on 1160 kg/m³, eli on kyse hyvin vesipitoisesta materiaalista. Läjitysaltaassa massasta poistuu ajan kuluessa suurin osa vedestä itsestään, jolloin tulevaisuudessa suurin osa vedestä on poistunut ja materiaali on helpommin jatkokäsiteltävissä. Läjityksen aikainen veden poiston määrä läjitysalueella on noin 200 000 m³ viikossa. Hienoaineksen mukana leviävän saastuneisuuden leviämisen estämiseksi on käytössä resuspensiota ja siten poisvirtaavan veden mukana kulkevan kiintoainespitoisuuden kurissa pitävää virtauksen hajotinta (diffuusoria). Diffuusori on asennettu ruoppausmassojen syöttöputken päähän ja sillä saadaan aikaan rauhallinen ja pohjaa sekoittamaton massan purkautuminen läjitysaltaaseen. Lisäetuna diffuusorista on tasaisen ohuen kerroksen muodostuminen altaan pohjalle, jolloin konsolidoituminen on tasaisempaa kuin epätasaisesti täytetyllä alueella.

Altaan kustannukset koostuvat läjitysalueen maanhankinnasta, rakennustöistä, ympäristömittauksista, suunnittelusta ja laitteistojen ylläpidosta. Altaan rakennuskustannukset ovat olleet noin 400 miljoonaa markkaa. Muita lisäkustannuksia aiheutuu ylimääräisestä kuljetuksen tarpeesta sekä erikoisruoppaustekniikoiden käytöstä.

Menetelmän hyvä puoli on, että saastuneille massoille voidaan osoittaa eristetty läjitysalue. Huonona puolena on, ettei allas tarjoa lopullista ratkaisua saastuneiden sedimenttien käsittelyyn vaan kyse on ennemminkin väliaikaisesta varastoinnista kunnes soveltuva puhdistusmenetelmä on kehitetty. Lisäksi on vaarana että alueen pohjavedet pilaantuvat tai että veden pohjasta nostetut saasteet muuttavat olomuotoaan huonompaan suuntaan, esimerkiksi metallit voivat hapettua epäedullisempaan olomuotoon.

10. JOHTOPÄÄTÖKSET

Periaatteessa jokaisella käytössä olevalla ruoppaus- ja kuljetustekniikalla on edellytyksiä toimia pienin muutoksin vähän ympäristöhaittoja aiheuttavasti. On vain tiedettävä kunkin tekniikan ominaisuudet ja pyrittävä siten välttämään tietyissä tilanteissa epäedullisimpia vaihtoehtoja. Esimerkiksi tavanomaisten kauhamallisten ruoppaajien etuna on niiden aikaansaaman ruoppausmassan alhainen vesipitoisuus. Haittana perinteisillä kauhamallisilla ruoppaajilla on sedimentin karkaaminen kauhaa vedessä nostettaessa. Perinteisten imuruoppaajien hyvä puoli on, että ruoppausalueella samentumisalue on rajoittunut vain alempaan vesimassaan, mutta huonona puolena on läjitettävän massan suuri vesipitoisuus.

Läjityksen ongelmiin ei löydy tällä hetkellä tyydyttävää ratkaisua. Perinteinen avovesiläjitys on melko turvallinen vaihtoehto vähän saastuneiden maiden osalta, erityisesti sedimentaatioalueella. Mikäli pohjan eroosio on läjitysalueella voimakasta, ei saastuneiden maiden läjittämistä voida suositella. Maalle läjityksen hyvänä puolena on mahdollisuus eristää massat tehokkaammin vesistöistä ja huonona puolena riski pohjaveden saastuttamisesta, saasteiden ominaisuuksien muuttumisesta epäedullisempaan suuntaan hapettumisreaktiossa. Läjittäminen maalle on lisäksi yleensä kalliimpaa kuin läjitys suoraan veteen.

Maalajien ominaisuuksista raekoolla ja humuspitoisuudella pystytään arvioimaan materiaalin kykyä sitoa itseensä saasteita sekä suspensioherkkyyttä. Raekoolla pystytään myös arvioimaan imuruoppaajien tuottavuutta putkistokuljetuksissa. Tiiviyyden, kovuuden sekä raekokojakauman tai kivisyyden perusteella voidaan arvioida maakerroksen ruopattavuutta, ruoppauksen tuottoa sekä ruoppausmassan löyhtymistä.

Mikäli pohjasedimentti on karkearakeista, on usein todennäköistä, että pohjamateriaali ei sisällä ympäristömyrkkyjä (esim. sorapohjat). Karkearakeinen maa-aines voidaan ruopata ja läjittää tavanomaisilla menetelmillä, jolloin ruoppaus- ja läjitystekniikan valinta perustuu lähinnä ruoppauksen tuottoon eli taloudellisiin

tekijöihin. Läjitykselle on kuitenkin annettu mm. Yhdysvalloissa suosituksia siitä, että läjitettävä materiaalin tulisi myös vastata läjitysalueen pohjamateriaalia (U.S.C., 1977).

Mikäli maa-aines on hienorakeista ja puhdasta, on samentuminen tärkeä ruoppaus-tekniikan valintaan vaikuttava kriteeri. Mikäli samentumiselle ja kiintoaineksen kulkeutumiselle asetetaan ruoppauksessa ja läjityksessä tiukat rajat esimerkiksi alueen ympäristön herkkyuden tai lähellä sijaitsevien vedenottamoiden takia, voidaan samentumista vähentää perinteisten menetelmien käytön yhteydessä silttiverhoin tai ottamalla käyttöön erikoisruoppausmekaniikoita.

Otollisimpia saastumaan ovat hienorakeiset ja eloperäistä ainesta sisältävät sedimentit. Mikäli sedimentti todetaan saastuneeksi tehdään tekniikan valinta tällöin ympäristövaikutusten kannalta samentumisen, kiintoaineksen karkaamisen ja läjityshaittojen perusteella.

11. EHDOTUKSET JATKOTUTKIMUKSISTA

Tämä tutkimus antoi lisätietoja ympäristövaikutusten perusteella tehtävään ruoppaus- ja läjitystekniikan valintaan, mutta ei löytänyt lopullista ratkaisua ruoppauksen ja läjityksen ongelmiin. Lisäselvityksen tarvetta on sekä tekniikoiden että saastuneiden ruoppausmateriaalien ympäristövaikutusten tutkimisessa.

Tekniikoiden puolella lisätutkimuksia on suotavaa tehdä läjittämiseen liittyvien ongelmien, kuten hienojakoisen materiaalin karkaamisen vähentämiseksi. Ruoppausmekaniikoista tulee tutkia lisää mm. valikoivia tekniikoita. Massojen sijoittamisessa tulee myös tutkia saasteiden eri puhdistusmenetelmiä sekä arvioida kokonaiskustannuksia eri vaihtoehtojen käytöstä.

Tutkimuksessa kävi myös ilmi, että Suomessa tarvitaan selkeitä ohjeita saastuneiden sedimenttien ruoppaukseen ja läjitykseen eli toimenpideohjeita, miten eriasteisesti saastuneita sedimenttejä tulisi käsitellä. Sedimentit tulisi luokitella saastuneisuuden perusteella eri vaarallisuusluokkiin siten, että vaarallisuus perustuisi kulloisenkin kohdealueen luonteenomaisiin ominaisuuksiin. Yleinen saastuneisuusasteen perusteella tehty luokitus ei kuvaa riittävän tarkasti saastuneen sedimentin haitallisuutta ympäristöjen erilaisuuden takia. Kohdeympäristöjen jako voi karkeimmillaan olla esimerkiksi jako makean veden kohteisiin ja suolaisen veden kohteisiin, kunhan jaon perusteena olisivat todelliset ympäristön erilaisuudet kuten kalakanta ja pohjaeläimistö. Toisin sanoen kyse on ko. ympäristöjen erilaisesta kyvystä kestää erilaisia haitallisia aineita. Luokituksen perusteella tulisi voida määrittellä ne toimenpiteet, joita kulloisenkin vaarallisuusluokan sedimentit vaativat eli selkeitä ohjeita siitä, mitä saastuneelle sedimentille tulisi tehdä. Ohjeen tulee vastata kysymykseen sedimentin ruoppauksen ja läjittämisen tavasta eli pitääkö sedimentti esimerkiksi puhdistaa vai riittääkö avovesiläjitys, kunhan vain ruopataan ja läjitetään tietyllä oikealla tekniikalla ja oikeaan paikkaan. Ohje voi olla yksityiskohtainen, jolloin se määrittää tarkasti tekniikat, joita on käytettävä kussakin tapauksessa. Toisena mahdollisuutena on yleisempi ohje, jossa

ilmoitetaan tietyn luokituksen mukaisen sedimentin käsittelyn raja-arvot ja kriteerit.

Luokituksen tai ohjeiden laadinta edellyttää kuitenkin, että ruoppauksen ja läjityksen ympäristövaikutukset ja teknikoiden ominaisuudet ovat tarkoin selvillä. Koska näin ei tällä hetkellä ole, tarvittaisiin lisätutkimuksia ympäristövaikutuksista ja ruoppaustekniikoista.

KÄYTETYT LYHENTEET

BSI	British Standards Institution
HELCOM	Helsinki Commission
PIANC	Permanent International Association of Navigation Congresses
RIZA	National Institute of Integral Freshwater Management and Waste Water Treatment, The Netherlands
SAMASE	Saastuneiden maa-alueiden selvitys
USEPA	United States Environment Protection Agency

LÄHDELUETTELO

- Aquamec. 1995. Watermaster-esitteet. Aquamec Ltd., Iso-Vimma, Suomi.
- Ackermann, F. 1980. A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analysis of estuarine and coastal sediments. Science&Technology. Env. Techn. Letters. Vol 1. s. 518 - 527.
- Biesheuvel, G., Huyskens, E.J., Schiepers J.D., ja Schomaker A.H.H.M. Cleaning-up of contaminated sediments in Dutch inland waters. P.I.A.N.C. Bulletin N°80. 1993.
- BSI. 1991. British Standard 6349 Maritime structures: Part 5. Code of practice for dredging and land reclamation.
- d'Agremond, K., de Jong, A.J., de Waard, C.P. 1984. Dredging of polluted sediment in the First petroleum harbor, Rotterdam. In: (3rd) U.S. - The Netherlands Meeting on dredging and related technology. 10 - 14 Sep. 1984. Charleston, SC.
- De Brabandere, J. 1995. SILT N.V., Zwijndrecht, Belgium. Kirjeenvaihto.
- Davis, J.D. & MacKnight, S. 1990. Environmental considerations for port and harbor developments. IMO.
- Ellicott Machine Corporation. 1995. Baltimore, U.S.A. Esitteet ja Internet sivut.
- Environment Canada. 1992. Interim criteria for quality assessment of St. Lawrence river sediment. Environment Canada, St. Lawrence Centre, Canada.
- Environment Canada. 1994. Environmental impacts of dredging and sediment disposal. Environment Canada, Quebec and Ontario Regions, Canada.
- HAM. 1995. The environment-friendly visor dredging grab. Hollandsche Aanne-
ming Maatschappij bv, Rotterdam, Hollanti. Esite.
- Hayes, D.F., McLellan, T.N., Truitt, C.L. 1988. Demonstrations of innovative and conventional dredging equipment at Calumnet Harbor, IL, Miscellaneous Paper EL-88-1. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MO, U.S.A.
- HELCOM. 1992. Guidelines for the disposal of dredged spoils. In: 13th Meeting of Baltic marine environment protection commission, Helsinki Commission (HELCOM), 3-7 February 1992, Helsinki.
- Herbich, J.B. 1992. Handbook of dredging engineering. McGraw-Hill, USA.
- Häkkinen, A. 1990. Saaristomeren vedenalaisten maa-ainesvarojen kartoitus Gullkronan selällä 1989. Geologian tutkimuskeskus, Julkaisija: Varsinais-Suomen Seutukaavaliitto, Turku.

Ignatius, H. & Kukkonen, E. & Winterhalter, B. 1980. Pohjanlahden kvartaari-kerrostumat. GTK.

Kandolin, R. 1986. Ruoppauskalusto 1986. Maansiirto 4/1986.

Kirby, R., Land, J.M. 1991. The impact of dredging-a comparison of natural and man-made disturbances to cohesive sedimentary regimes. Proceedings of the CEDA-PIANC Conference, 13-14 November 1991, Amsterdam.

Krupp Fördertechnik GmbH. 1995. Umsetzung des von KFL entwickelten Beladenverfahrens für Laderaum-Saugbagger am Beispiel des für Holland B.V. im Bau befindlichen - 4.400 m³- Baggers. BAU 797, 21. Februar 1995, Lübeck.

Kupila, O. 1996. Keskustelu.

L.B.Tanker Inc. 1996. Cable Arm 100E Clamshell Bucket. L.B.Tanken Inc. of Pickering, Ontario. Esitteet ja Internet kotisivut.

Niemelä, J., Stén, C.-G., Taka, M. & Winterhalter, B. 1987. Turun-Salon seudun maaperä, Geologian Tutkimuskeskus, Espoo.

Pelletier, J.-P. 1994. Report on the water quality monitoring program, Collingwood harbour. Contaminated sediment removal project. Environment Canada.

Pennekamp, J.G.S., Blokland, T. & Vermeer, E.A. 1990. Turbidity caused by dredging compared to turbidity caused by normal navigational traffic.

Pequegnat, W.E., Pequegnat, L.H., James, B.M., Kennedy, E.A., Fay, R.R. & Fredericks, A.D. 1981. Procedural guide for designation surveys of ocean dredged material disposal sites. Technical Report EL-81-1, U.S.Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, U.S.A.

PIANC, 1972. Report of the international commission for the classification of soils to be dredged, PIANC Bulletin N^o11.

PIANC, 1986. Disposal of dredged material at sea. Report of a working group of the Permanent Technical Committee II, Supplement to bulletin N^o52.

PIANC, 1989. Economic methods of channel maintenance. Permanent International Association of Navigation Congresses, Sup. to bulletin N^o67.

Puolanne, J. 1995. Experience and results of the survey of Finnish soil contamination. In: Seminar on biotechnology for marine oil spills and contaminated soils in cold climate, Espoo, Finland.

Randall, E.R., 1992. Equipment used for dredging contaminated sediments, In: International Symposium on Environmental Dredging, New York.

Riipi, T.J. 1996. Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutuksien perusteella, Diplomityö, TKK, Espoo.

RIZA (National Institute of Integral Freshwater Management and Waste Water Treatment). 1991. Program on the development of cleaning processes for water beds. Phase 1 (1989 - 1990), The Netherlands.

Royal Boskalis Westminster B.V. 1995. Hollanti. Tutustumiskäynti ja tuotesitteet.

Rulkens, W.H. 1995. Cleanup of contaminated sites: experiences in the Netherlands. In: Seminar on biotechnology for marine oil spills and contaminated soils in cold climate, Espoo, Finland.

TU Delft. 1995. Delftin Teknillinen Korkeakoulu, Ruoppaustekniikan laboratorio, Delft, Hollanti. Vierailu.

USACE . 1986. Guide to selecting a dredge for minimizing resuspension of sediment, Environmental effects of dredging, Technical notes. U.S.Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, U.S.A.

U.S.C. 1977. Code of Federal Regulations. Subchapter H-Ocean dumping. Part 227-Criteria for the evaluation of permit applications for ocean dumping of materials. §227.13- Dredged materials.

USEPA. 1994. ARCS Remediation Guidance Document. Environmental Protection Agency. EPA 905-B94-003. Great Lakes National Program Office. Chicago. IL. U.S.A.

Van De Kaa, E.J. 1991. Ecological aspects of waterway management in the Netherlands illustrated with examples from the Ijsselmeer area. In: Bulletin of the Permanent International Association of Navigation Congresses, 1991, N^o73.

LIITELUETTELO

- Liite 1 Arvio eri ruoppaajatyyppeiden soveltuvuudesta eri maalajien ruoppaamiseen
- Liite 2 Kaluston sopivuus eri maalajeihin ylläpitoruoppauksessa
- Liite 3 British Standards Institutionin arvio eri maalajien ylläpitoruoppaukseen soveltuvista ruoppaajista
- Liite 4 British Standards Institutionin arvio eri maalajien uudisrakennusruoppaukseen soveltuvista ruoppaajista
- Liite 5 Ruoppaajien aiheuttaman samentumisen vertailu
- Liite 6 Hollantilaiset vuoden 1993 yleiset saastuneisuusraja-arvot
- Liite 7 St. Lawrence joen saastuneisuusraja-arvot
- Liite 8 Ehdotus suomalaisista saasteiden raja-arvoista
- Liite 9 “Nautilus”-laahaimuhopperi
- Liite 10 “Clean-up”-ruoppaaja
- Liite 11 Watermaster
- Liite 12 “Oozer”
- Liite 13 Taian Maru (“Oozer”) ruoppaajan työkohteet
- Liite 14 Silttiverhon käyttötapoja
- Liite 15 Massapumppujärjestelmä
- Liite 16 Suosituksia ympäristöhaittojen vähentämiseksi ruoppauksessa ja kuljetuksessa
- Liite 17 Suosituksia ympäristöhaittojen vähentämiseksi läjityksessä

Arvio eri ruoppaajatyypin soveltuvuudesta eri maalajien ruoppaamiseen (PIANC 1972).

Maatyyppi	Pisto- kauha	Ketju- kauha	Imu	Imu- leikuri	Laaha- imu	Kahmari
“Lohkareet” (yli 200mm)	+	hidas	ei	ei	ei	--
“Kivet” (60-200mm)	+	+	--	--	--	+
sora	++	+	--/+	+	--/+	+
hiekkainen sora	++	+/>++	+	+/>++	+/>++	+/>++
keski hiekka	++	++	++	++	+/>++	++
hieno hiekka	1)				3)	
erittäin hieno hiekka						
silttinen hieno hiekka			+			
sementoitunut hieno hiekka	+	+	ei	+/>++	--	--
siltti	ei	++	--/+	++	+/>++ 3)	+
luja/kova sorainen tai hiekkainen savi	+	--/+	ei	--/+	ei	--/+
pehmeä silttinen savi	ei	+/>++	ei	++	+	++
luja/kova savi	+/>++	++	ei	+/>++	--/+	+
turve	ei	++	ei	++ 2)	+	++

Selitykset: ++ hyvä, + kohtalainen, -- huono, ei ei sovelias, +/>++ kohtalaisesta hyvään, --/+ huonosta kohtalaiseen, 1) alhainen tuotto, 2) jos ei kaasuja, 3) ylivuoto todennäköisesti suurta

Kaluston sopivuus eri maalajeihin ylläpitoruoppauksessa (PIANC 1989).

Maalaji	savi		siltti		hiekkä		sora
raekoko (mm)	< 0.002		0.002 - 0.06		0.06-0, 2	0.06 - 2	2-60
maakerroksen tarkempi kuvaus	“soft” pehmeä	“stiff” sitkeä	“soft” pehmeä	“stiff” kova	sementoi- tunut hieno hiekkä		
RUOPPAAJA							
ketjukauha	++	++	++	++	+	++	++
pisto/kuokkakauha	++	++	++	++	+	++	++
vetokauha	ei	+	ei	+	ei	++	++
kahmari	+	--	++	+	--	+	--
imuruoppaaja	ei	ei	ei	ei	ei	++	+
proomun lastausruoppaaja	ei	ei	ei	ei	ei	++	+
proomun tyhjennysruoppaaja	ei	ei	ei	ei	ei	++	+
“rikkalapio”	ei	ei	ei	ei	ei	++	ei
leikkuri-imur.	++	+	++	+	--	++	++
kauhapyörä	++	++	++	++	--	++	++
paikallaan pysyvä imuhopperi	ei	ei	ei	ei	ei	++	--
laaha-imuhopperi	++	+	++	+	--	++	+
puomi-- imuruoppaaja	++	--	++	--	ei	++	ei
Pneumaattinen	++	ei	++	ei	ei	++	ei
Erikois- ruoppaustekniikat							
“agitation”	++	+	++	+	ei	ei	ei
“pilot”	++	+	++	+	ei	ei	ei
pohjan tasoitus	++	+	++	+	ei	+	ei
vesi/ilmasuihkutus	++	++	++	++	--	ei	ei

Selitykset: ++ hyvä , + kohtalainen , -- huono, ei ei sopiva

©Copyright by the General Secretariat of PIANC, WTC-Tour 3 - 26e étage, Boulevard Simon Bolivar 30, B-1210 Brussels, Belgium

British Standards Institutionin arvio eri maalajien ylläpitoruoppaukseen soveltuvista ruoppaajista (BSI 1991).

Ruoppaaja-tyyppi	Pohjamateriaali				
	Löysä siltti	Koheesio siltti	Hieno hiekka	Keski hiekka	Karkea hiekka
Laahaimuruoppaaja (yleismalli)	++	++	++	++	++
Laahaimuruoppaaja (kevyt)	++	+	++	++	+
Leikkuri-imuruoppaaja	++	++	++	++	++
Kauhapyörä-imuruoppaaja	++	++	++	++	++
Kahmarikauha (hopperi-tyyppi)	+	++	+	+	+
Kahmarikauha (ponttooni)	+	++	+	+	+
Ketjukauharuoppaaja	+	++	+	+	+
Kuokkakauharuoppaaja	+	+	+	+	++
Pistokauharuoppaaja	ei	ei	ei	ei	ei

Selitykset:++ sopii hyvin, + hyväksyttävä, ei ei yleensä tarkoitukseen sopiva

©Kopioitu BSI:n luvalla.Koko standardin BS 6349: 5:1991 kopio on saatavissa Suomen Standardisoimisliitosta.

British Standards Institutionin arvio eri maalajien uudisrakennusruoppaukseen soveltuvista ruoppaajista (BSI 1991).

Ruoppaaja- tyyppi	POHJAMATERIAALI										
	BS normien mukaiset jaot										
	Löysä siltti	Koh. siltti	Hieno hiekkä	Keski hk	Karkea hk	Sora	Pehmeä savi	Keski savi	Kova savi	lohkareet	louhe/ käsitelty kallio
Laahaimur. (yleismalli)	++	++	++	++	++	++	++	+	--	ei	+
Laahaimur. (kevyt)	++	++	++	++	++	+	+	--	ei	ei	ei
Leikkuri- imur.	++	++	++	++	++	++	--	--	--	--	--
Kauhapyörä- imur.	++	++	++	++	++	++	++	+	+	--	ei
Kahmari- kauhar. (hopperi)	+	++	+	+	+	++	++	+	--	--	--
Kahmari- kauhar. (ponttooni)	+	++	+	+	+	++	+	+	--	+	+
Ketjukauhar.	+	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+
Kuokka- kauhar.	+	+	+	+	+	++	+	++	++	++	++
Pistokauhar.	--	--	--	+	+	++	+	+	++	++	++

Selitykset: ++ sopii hyvin, + hyväksyttävä, -- huono, ei ei yleensä tarkoitukseen sopiva

©Kopioitu BSI:n luvalla. Koko standardin BS 6349: 5:1991 kopio on saatavissa Suomen Standardisoimisliitosta.

Ruoppaajien aiheuttaman samentumisen vertailu (Herbich 1991).

Ruoppaajatyyppe	Maatyyppi (kohde)	Suspensoitunut kiintoaines mg/l	Huomautettavaa
Leikkuri-imuruoppaaja			
10 kpm	hk savi / sitkeä savi	161 / 52	
20 kpm	“ / “	187 / 177	
30 kpm	“ / “	580 / 266	
18 kpm	pehmeä muta	1000.. 4000	3 m leikkurista
“	“	2000.. 31000	1 m leikkurista
Laahaimuhopperi	(San Francisco Bay)	useita satoja	ylivuotokohdassa
	(Chesapeake Bay)	2000	ylivuotokohdassa
	“	200	200 m pumpusta
Mudcat	-	1000	1, 5 m kairasta, pohjan lähellä. Tausta-arvo 500 mg/l
	“	200	1, 5.. 3, 5 m kairasta pinnalla sekä keskivedessä. Tausta 40.. 65 mg/l
PNEUMA	(Port of Chofu)	48	1 m pohjasta ylös
	“	4	7 m pohjasta ja 5 m pumpusta
	(Kitakyushu City)	13	1 m pohjasta
Clean-up	(Toa Harbor)	1, 1.. 7, 0	3 m ylös imusuusta
		1, 7.. 3, 5	veden pinnalla
Normaali kauharuoppaajat	(San Francisco Bay)	alle 200, keskimäärin 30.. 90	50 m alavirtaan tausta 40 mg/l
	(Thames River, USA)	168	pohjan lähellä, 100 m alavirtaan
	“	68	pinnalla, 100 m alav.
	(Japani)	150.. 300	3, 5 m syvyydessä
Suljettu kauha		30.. 70% vähemmän kuin normaalikauha	1 m ³ kauha
		500	4 m ³ kauha, 10 m alavirtaan

Hollantilaiset vuoden 1993 yleiset saastuneisuusraja-arvot (De Brabandere 1995).

The Dutch regulation

Regarding the Dutch regulation it must be emphasized that this concerns an overall applicable table which is used as a reference tool to establish the need for sanitation and treatment of soil, sediment and groundwater. Values are updated to the latest 8 th update from august '93.

Following table gives a survey of the Dutch standard which is applicable for sediment and groundwater sanitation. The first ABC values in the table refer to soil and sediments and are expressed in ppm, the second ABC values (right 3 columns) are expressed in ppb, and refer to groundwater.

Indicative standards :

- A: reference value (standard soil : OS = 10 %, L = 25 %)
- B: testing value on behalf of (further) investigation
- C: testing value on behalf on sanitation (investigation)

1. Metals

Compound		A	B	C	A	B	C
		ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb
Cr	Chromium	100	250	800	1	50	200
Co	Cobalt	20	50	300	20	50	200
Ni	Nickel	35	100	500	15	50	200
Cu	Copper	36	100	500	15	50	200
Zn	Zinc	140	500	3000	150	200	800
As	Arsenic	29	30	50	10	30	100
Mo	Molybdenum	10	40	200	5	20	100
Cd	Cadmium	0.8	5	20	1.5	2.5	10
Sn	Tin	20	50	300	10	30	150
Ba	Barium	200	400	2000	50	100	500
Hg	Mercury	0.3	2	10	0.05	0.5	2
Pb	Lead	85	50	500	15	50	200

2. Inorganic Compounds

Compound		A	B	C	A	B	C
		ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb
NH ₄	(as N)	-	-	-	2000 or 10,000	1000	3000
F	(total)	500	400	2000	500	1200	4000
Cn	(total-free)	1	10	100	5	30	100
Cn	(total-complex)	5	50	500	10	50	200
S	(total-sulfides)	2	20	200	10	100	300
Br	total	20	50	300	300	500	2000
PO ₄	(as P)	-	-	-	400 or 3000	200	700

3. Aromatic Compounds

Compound	A	B	C	A	B	C
	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb
benzene	0.05(d)	0.5	5	0.2(d)	1	5
ethylbenzene	0.05(d)	5	50	0.2(d)	20	80
toluene	0.05(d)	3	30	0.2(d)	15	50
xylene	0.05(d)	5	50	0.2(d)	20	50
phenols	0.05(d)	1	10	0.2(d)	15	50
aromatics (total)	-	7	70	-	30	100

4. Polycyclic aromatic hydrocarbons PAH

Compound	A	B	C	A	B	C
	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb
naftaleno	0.01*	5	50	0.2(d)	7	30
fenantrene	0.1*	10	100	0.005 (d)	2	10
antracene	0.1*	10	100	0.005 (d)	2	10
fluorantene	0.1*	10	100	0.005 (d)	1	5
chrysaene	0.01*	5	50	0.005 (d)	0.5	2
benzoflanteceire	1.0*	5	50	0.005 (d)	0.5	2
bezoflapyrene	0.1*	1	10	0.005 (d)	0.2	1
benzofluorentene	10*	5	50	0.005 (d)	0.5	2
indeno(1,2,3 cd) pyrene	10*	5	50	0.005 (d)	0.5	2
benzofghil perylene	10	10	100	0.005 (d)	1	5
PAH total	1	20	200	-	10	40

5. Chlorinated hydrocarbons

Compound	A	B	C	A	B	C
	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb
alificalo chlore-kwst. (indiv)	*	5	50	0.01(d)	10	50
alificalo chlore kwst. (total)	-	7	70	-	15	70
chlorobenzene (indiv)	*	1	10	0.01(d)	0.5	2
chlorobenzene (total)	-	2	20	-	1	5
chlorofenols (indiv)	*	0.5	5	0.01(d)	0.3	1.5
chlorofenols (total)	-	1	10	-	0.5	2
chlorofenol's (total)	*	1	10	-	0.2	1
PCB's (total)	*	1	10	0.01(d)	0.2	1
EOCl (total)	0.1	8	80	1	15	70

6. Herbicides

Compound		A	B	C	A	B	C
		ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb
org. chlorinated	(indiv.)	*	0.5*	5	0.01(d)	0.2	1
org. chlorinated	(total)	-	1	10	-	0.5	2
non chlorinated	(indiv.)	*	1	10	0.01(d)	0.5	2
non chlorinated	(total)	-	2	20	-	1	5

General Legend

- d = detection limit
- # = the lowest values count for sandy soils
- * the highest values count for clay and peat soils
- * = for metals, marked with an asterisk, the A value depends on the lutum, or the organic matter content according to

$$[a + b \cdot L + c \cdot OM]$$

$$A = A' \times \frac{[a + b \cdot L + c \cdot OM]}{[a + b \cdot 25 + c \cdot 10]}$$

$$[a + b \cdot 25 + c \cdot 10]$$

- A-value (mg/kg) = corrected value
- A' value (see table) A-value for a standard soil
- with L = weight % lutum (<2µm)
- with OM = weight % organic material

St. Lawrence joen saastuneisuusraja-arvot (Environment Canada 1992).

PARAMETERS in µg/g or µg/g for 1% TOC ¹	LEVEL 1* (NET)	LEVEL 2 (MET)	LEVEL 3 (TET)
Mirex	0.0001	0.011	0.3
PAH (high molecular weight)	1	-	-
Benzofluoranthene	0.05-0.1	0.4	0.5
Benzofluoranthene	0.01-0.1	0.5	0.7
Benzofluoranthene	0.3	-	-
Benzofluoranthene	0.1	-	-
Chrysene	0.1	0.6	0.8
Dibenzofluoranthene	0.005	-	-
Fluoranthene	0.02-0.2	0.6	2
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.07	-	-
Pyrene	0.02-0.1	0.7	-
PAH (low molecular weight)	3.1	-	-
Acenaphthene	0.01	-	-
Acenaphthylene	0.01	-	-
Anthracene	0.02	-	-
Fluorene	0.01	-	-
2Methylnaphthalene	0.02	-	-
Naphthalene	0.02	0.4	0.6
Phenanthrene	0.03-0.07	0.4	0.8

¹ All parameters are expressed in micrograms per gram (µg/g) of dry sediment except the non-polar organic parameters in Level 3, which are expressed in micrograms per gram of dry sediment for 1% of total organic carbon (TOC). To establish the quality criterion of a Level 3 non-polar organic parameter (shaded area) in a given situation, the criterion in this table must be multiplied by the percentage of TOC in the sample to be analysed up to a maximum of 1% TOC. (E.g. the Level 3 criterion for total PCBs in a sample containing 2% TOC would be 1 µg/g x 2 = 2 µg/g). Values of less than 10 have been rounded to the nearest significant figure, while those over 10 have been rounded to 2 significant digits.

² When the lower limit of the application area of an analysis method is greater than the Level 1 criterion, this limit should be used until such time as developments in methodology bring it down to the selected criterion level.

PARAMETERS in µg/g or µg/g for 1% TOC ¹	LEVEL 1* (NET)	LEVEL 2 (MET)	LEVEL 3 (TET)
Extractable arsenic	3.0	7	17
Extractable cadmium	0.2	0.9	3
Extractable chromium	55	55	100
Extractable copper	28	28	85
Extractable lead	23	42	170
Extractable nickel	35	35	61
Extractable zinc	100	150	540
Total mercury	0.05	0.2	1
FCB (total)	0.02	0.2	1
Aroclor - 1016	-	0.1	0.4
Aroclor - 1248	-	0.05	0.6
Aroclor - 1254	-	0.06	0.5
Aroclor - 1260	-	0.005	0.2
Aldrin	0.006	0.002	0.02
BHC (total)	-	0.005	0.1
α-BHC	0.0003	0.01	0.08
β-BHC	0.0002	0.03	0.2
γ-BHC	0.0009	0.003	0.009
Chlordane	0.001	0.007	0.03
DDE and p, p'-DDE	0.002	0.01	0.06
p,p'-DDE	0.002	0.007	0.05
DDT	0.006	0.009	0.05
Dieldrin	0.0001-0.0008	0.002	0.3
Erdrin	0.001	0.008	0.5
HCB	0.001	0.03	0.1
Heptachlor	0.0003	0.0003	0.01
Heptachlor epoxy	0.001	0.005	0.03

Ehdotus suomalaisista saasteiden raja-arvoista (Puolanne 1995).

Annex 1a. Inorganic substances

Substance	CAS-number	Background concentrations			Ground water			Max. concentrations	
		Soil mg/kg	River and lake water µg/l	Average µg/l	Median		Guideline value in soil mg/kg	Limit value in soil mg/kg	Drinking water µg/l
					Average µg/l	Median µg/l			
Metals									
Sb	7440-36-0	0.5	< 0.1				5	40	5
Ba - excl. BaSO4	7440-39-3	500	20				600	600	700
Be	7440-41-7	5	0.1				1	10	
Hg	7439-97-6	0.05	0.05				0.2	5	1
Cd	7440-43-9	0.3	0.02	0.5			0.5	10	5
Co	7440-48-4	10	0.2				50	200	40
Cr	7440-47-3	80	0.7				100	400	50
Cu	7440-50-8	25	3	4.6			100	400	10000
Pb	7439-92-1	17	3	1.2			60	300	10
Mn	7439-98-7	1.2	0.5				5	200	70
Ni	7440-02-0	20	0.3				60	200	20
Se	7782-49-2	0.3	< 0.2				1	10	10
Zn	7440-66-6	70	15	322			150	700	3000
Pt	7440-38-0	0.5	0.04				0.5	10	
Sr	7440-31-5	4	< 0.01				50	300	
U	7440-61-1	2.7	0.04	21.2			50	500	
V	7440-62-2	50	0.9				50	500	
Other inorganic substances									
As	7440-38-2	5	4				10	50	10
B	7440-42-8	30	10				5	50	300
Br	7726-95-6	10	30				50	300	
F	16984-48-8	400	1	420			200	2000	1500
Sulphide S ⁻²	-						0.2	0.2	
Cyanide (komplex. pH<5)	57-12-5						10	100	50
Cyanide (komplex. pH>5)	57-12-5						5	50	50
Cyanide (free)	57-12-5						1	20	50
Diosyanate	-						2	20	50

Ehdotus suomalaisista saasteiden raja-arvoista (Puolanne 1995).

2

Annex 1b. Organic substances

NAMES (in Finnish)	CAS-number	Guideline value for soil mg/kg	Limit value for soil mg/kg
AROMAATTISET YHDISTEET			
Aniliini	62-53-3	5	50
4-Nitroaniliini	100-01-6	2	25
Bentseeni	71-43-2	0,5	25
Etylibentseeni	100-41-4	5	50
Nitrobentseeni	98-95-3	2	25
Bifenyyli	92-52-4	10	150
Fenoli	108-95-2	10	40
m-Nitrofenoli	554-84-7	1	15
p-Nitrofenoli	100-02-7	0,5	5
2,4-Dinitrofenoli, 2,4-DNP	51-28-5	1	15
4-Nonyylifenoli	104-40-5	50	600
Thiofenoli		20	200
Hydrokinoni	123-31-9	1	10
Katekoli	120-80-9	0,5	25
Ksyleeni	1330-20-7	0,5	25
m-Kresoli	108-39-4	1	15
o-Kresoli	95-48-7	2	40
p-Kresoli	106-44-5	1	15
2-Naftoli	155-19-5	1	15
Resorkinoli	108-46-3	1	10
Styreeni	100-42-5	5	100
Toluenei	108-88-3	2	120
2,6-Dinitrotoluenei	606-20-2	0,5	10
POLYAROMAATTISET YHDISTEET			
Antraseeni	120-12-7	5	40
Bentso(a)antraseeni	56-55-3	2	40
Bentso(a)pyreeni, BaP	50-32-8	2	40
1,2-Bentsopyreeni		2	20
Bentso(b)antraseeni	92-24-0	1	20
Bentso(ghi)peryleeni	191-24-2	2	40
Bentso(k)fluoranteeni	207-08-9	2	40
Bentso(o)fluoranteeni		2	40
Dibentso(a,h)antraseeni	53-70-3	2	20
Fenanatreeni	85-01-8	5	40
Fluoranteeni	206-44-0	1	40
Fluoreeni	86-73-7	2	20

2

Ehdotus suomalaisista saasteiden raja-arvoista (Puolanne 1995).

3

NAMES (in Finnish)	CAS-number	Guideline value for soil mg/kg	Limit value for soil mg/kg
Indeno(1,2,3-cd)pyreeni	193-39-5	2	40
3-Metyylikloranteeni		2	20
Kryseeni	218-01-9	2	40
Naftaleeni	91-20-3	1	40
Pyreeni	129-00-0	4	40
PAH yhteensä		20	200
KLOORATUT ALIFAATTISET YHDISTEET			
Dikloorimetaani	75-09-2	2	20
Trikloorimetaani, Kloroformi	67-66-3	1	10
Tetrakloorimetaani	56-23-5	0,2	1
1,1-Dikloorietaani	75-34-3	2	25
1,2-Dikloorietaani	107-06-2	2	25
1,1,1-Trikloorietaani	71-55-6	2	25
1,1,2-Trikloorietaani	79-00-5	1	15
1,1,1,2-Tetrakloorietaani	79-34-5	2	25
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	630-20-6	2	25
Heksakloorietaani	67-72-1	10	100
Kloorieteeni, vinyylkloridi	75-01-4	0,1	0,1
1,1-Dikloorieteeni	75-35-4	2	50
Trikloorieteeni	79-01-6	2	60
Tetrakloorieteeni	127-18-4	0,5	4
1,2-Diklooripropaani	78-87-5	40	400
2-Kloorietyylivinylihoeteri	110-75-8	5	75
Klooriasetamidi		0,1	1
KLOORIANILIINI			
2-Kloorianiliini	95-51-2	5	50
3-Kloorianiliini	108-42-9	1	15
4-Kloorianiliini	106-47-8	5	50
2,4-Dikloorianiliini	554-00-7	5	40
3,4-Dikloorianiliini	95-76-1	1	5
3,5-Dikloorianiliini	626-43-7	1	15
2,4,5-Trikloorianiliini	636-30-6	1	15
2,4,6-Trikloorianiliini	634-93-5	5	50
2,3,4,5-Tetrakloorianiliini		5	50
2,3,4,6-Tetrakloorianiliini		1	15
Pentakloorianiliini		5	50
KLOORIFENOLIT			
2-Kloorifenoli	95-57-8	5	50

3

Ehdotus suomalaisista saasteiden raja-arvoista (Puolanne 1995).

4

NAMES (in Finnish)	CAS-number	Guideline value for soil mg/kg	Limit value for soil mg/kg
3-Kloorifenoli	108-43-0	2	30
2,4-Dikloorifenoli	120-83-2	1	50
2,6-Dikloorifenoli	87-65-6	1	30
3,4-Dikloorifenoli		1	50
3,5-Dikloorifenoli		1	30
2,3,5-Trikloorifenoli	933-78-8	2	15
2,4,5-Trikloorifenoli	95-95-4	2	25
2,4,6-Trikloorifenoli	88-06-2	2	10
2,3,4,5-Tetrakloorifenoli	4901-51-3	1	60
2,3,4,6-Tetrakloorifenoli	58-90-2	0,4	4
Pentakloorifenoli	87-86-5	0,4	4
2,4-Dimetyylifenoli	105-67-9	2	25
4-Kloori-2-metyylifenoli	59-50-7	5	70
4-Kloori-3-metyylifenoli	59-50-7	5	70
Muut kloorifenolit	-	2	25
KLOORIBENTSEENIT			
Klooribentseeni	108-90-7	2	30
1,2-Diklooribentseeni	95-50-1	2	25
1,3-Diklooribentseeni	541-73-1	2	25
1,4-Diklooribentseeni	106-46-7	5	50
1,2,3-Triklooribentseeni	87-61-6	2	25
1,2,4-Triklooribentseeni	120-82-1	2	20
1,3,5-Triklooribentseeni	108-70-3	5	50
1,2,3,4-Tetraklooribentseeni	634-66-2	1	30
1,2,3,5-Tetraklooribentseeni	634-90-2	0,5	2
Pentaklooribentseeni	608-93-5	2	25
Heksaklooribentseeni	118-74-1	2	25
1-Cl-2-Nitrobentseeni	88-73-3	0,5	5
1-Cl-3-Nitrobentseeni	121-73-3	1	15
Muut klooribentseenit	-	1	10
MUUT POLYKLOORATUT AROMAATTISET HIILIVEDYT			
Kloorinaftaleeni	90-13-1	0,5	10
1,4-Diklooribifenyylä	2050-68-2	0,5	10
PCB-/PCT-/PBB-yhdisteet	1336-36-3	0,05	0,5
2,3,7,8-TCDD	1746-01-6	0,00002	0,0005
PESTISIDIT			
1-Heksakloorisykloheksaani	319-84-6	0,02	2
2-Heksakloorisykloheksaani	319-85-7	0,005	0,5

4

Ehdotus suomalaisista saasteiden raja-arvoista (Puolanne 1995).

5

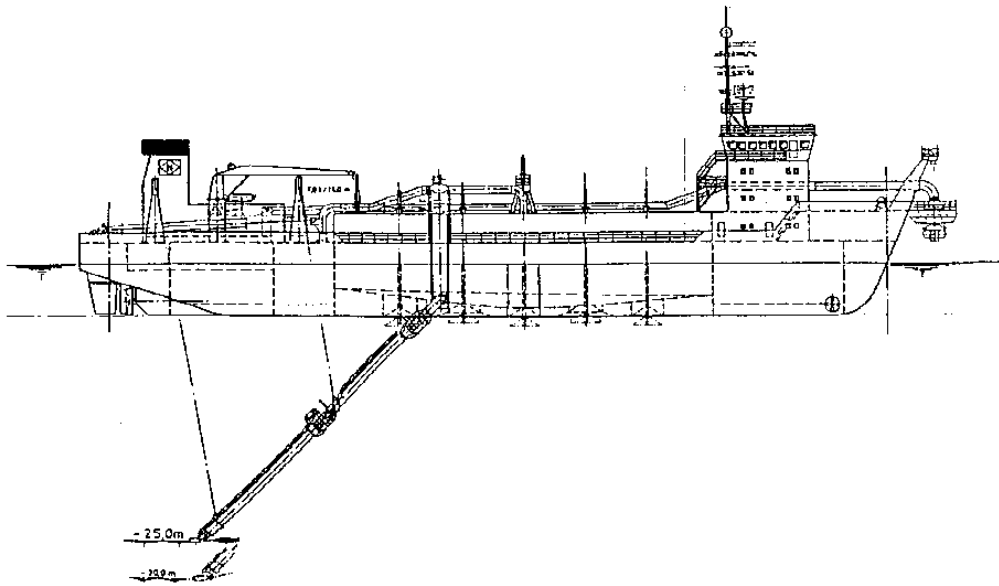
NAMES (in Finnish)	CAS-number	Guideline value for soil mg/kg	Limit value for soil mg/kg
3-Heksaakloorisykloheksaani, Lindaani	58-89-9	0,005	2
4-Heksaakloorisykloheksaani	319-86-8	0,02	2
4,4'-DDD	72-54-8	0,04	4
4,4'-DDE	72-55-9	0,04	4
4,4'-DDT	50-29-3	0,04	4
Aldicarb	116-06-3	0,005	0,5
Aldriini	309-00-2	0,004	0,4
Atratsiini	1912-24-9	0,05	5
Atsinfossimetyyli	86-50-0	0,2	35
Benomyyli	17804-35-2	0,01	1
Bupirinaatti	?	0,1	10
Diatsinoni	333-11-5	0,02	0,4
Dieldrini	60-57-1	0,05	4
Diklorofossi	?	0,07	7
Endosulfani (A,B)	115-29-7	0,01	1
Endriini	72-20-8	0,04	4
Fenitrofoni	122-14-5	0,005	0,5
Heptakloori	76-44-8	0,004	0,4
Karbaryyli	63-25-2	0,05	5
Karbofuran	1563-66-2	0,01	1
Klooripyrifossi	2921-88-2	0,002	0,2
Klorimekvatti	999-81-5	0,8	80
Kuparioksidikloridi	?	0,2	25
Malationi	121-75-5	0,04	4
Manebi	12427-38-2	0,3	30
Merkaptodimetuuri	?	0,1	10
Mevinfos	7786-34-7	0,15	15
Paratiooni, -etyyli	?? 298-00-0	0,005	4
Propoksuuri	114-26-1	0,005	0,5
Terbufossi	?	0,005	0,5
Tirami	?	0,35	35
Triadimefoni	42121-43-3	0,5	50
Triklorofoni	52-68-6	0,07	7
MUUT ORGAANISET YHDISTEET			
1,2-Etyyliheksyyliiftalaatti	117-81-7	5	60
Butyylibentsyyliiftalaatti	85-68-7	5	60
Di-n-butyyliiftalaatti	84-74-2	10	150
Di-n-oktyyliiftalaatti	117-84-0	10	150

5

Ehdotus suomalaisista saasteiden raja-arvoista (Puolanne 1995).

6

NAMES (in Finnish)	CAS-number	Guideline value for soil mg/kg	Limit value for soil mg/kg
Bentsaldehydi	100-52-7	50	500
Furaani	110-00-9	150	1500
n-Butylaldehydi	123-72-8	50	500
1,2-Diaminobentseeni	95-54-5	5	50
2,5-Diaminotolueneenisulfaatti	?	150	1500
Akryyliamidi	79-06-1	15	150
Di-isopropyyliamiini	108-18-9	30	300
Dibutyyliamiini	111-92-2	50	300
Etyleenidiamiini	107-15-3	50	700
N-Aminoetyylipiperatsiini	?	20	200
Pyridiini	110-86-1	0,5	5
2-Metoksi-2-metyylipropaani, MTBE	1634-04-4	5	100
Glykooli	?	100	500
Heptaani	142-82-5	2	10
Mineraaliöljyt: Bensini	-	100	500
Mineraaliöljyt: Kevyt polttoöljy	-	300	1000
Mineraaliöljyt: Raskas polttoöljy	-	600	2000
Ohtaani	111-65-9	2	10
Sykloheksanoni	108-94-1	50	300
Tetrahydrofuraani	109-99-9	0,1	0,5
Tetrahydrotiofeeni	?	0,2	1,5



PRINCIPAL SPECIFICATIONS

Operational	early 1996
Being built by	Krupp Fördertechnik GmbH
Classification	I3/3 E Hopper Dredger Deep Sea dredging within 15 miles from shore, or within 20 miles from port
Deadweight	6,250 mt
Hopper well capacity	4,400 m ³
Length overall	90 m
Breadth moulded	18 m
Draft at dredging loadline	6.85 m
One suction pipe, diameter	800 mm
Dredging depth	30 m
Propulsion 2 diesel engines of 1850 kW each	3700 kW
Sand pump	1850 kW
Boosterpump	1850 kW
Speed loaded	11.0 knots

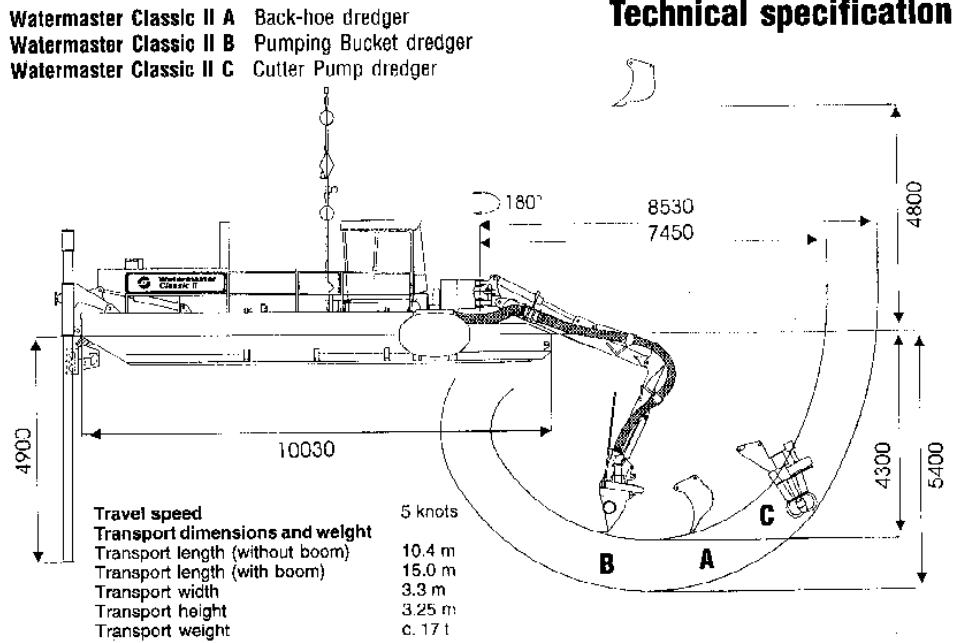
FEATURES

- * Boosterpump with 1850 kW can be installed which assures a total of 3700 kW shore delivery capacity
- * Five bottomvalves for dumping

“Clean-up”-ruoppaaja (Randall 1992).

Dredge	Type	Dimensions (m)			Main Pump	Booster Pump	Pump Suction Capacity (m ³ /hr)	Max. Discharge Distance (m)	Max. Dredging Depth (m)	Min. Dredging Depth (m)	Remarks
		L	B	D							
Cleanup No. 1	DE	26.9	10.1	1.2 × 0.4	Centrifugal Pump 100 FS	--	500	1,000	Under Surface of Water 6.2	1.5	--
Cleanup No. 2	DE	36.0	11.0	3.2 × 2.0	Centrifugal Oil Pump 147 FS	Centrifugal Electric Pump 253 PS	0-1,500	1,500	Under Surface of Water 23	2.5	Discharge variable pump with barge loading equipment
Cleanup No. 3	DE	42.5	13.4	3.3 × 1.9	Centrifugal Oil Pump 147 FS	Centrifugal Oil Pump 147 PS	0-2,000	1,500	Under Surface of Water 23	3.0	Discharge variable pump with barge loading equipment
Cleanup No. 5	DE	21.5	8.0	1.5 × 0.7	Centrifugal Oil Pump 50 PS	--	0-500	500	Under Surface of Water 11	1.5	Discharge variable pump
Cleanup SIRSI	D	35.0	9.7	2.4 × 1.6	PNEUMA PUMP 300/60 Type	--	300	1,200	Under Surface of Water 15	3.5	Equipped with barge loading system

Watermaster (Aquamec 1995).



Engine

- Volvo TD 610 M, turbo-charged, water-cooled, 6-cylinder diesel engine.
- flywheel power 118 kW(160HP) at 2000 rpm
- fuel tank capacity 1200 l
- electric system 24 V
- batteries 2 at 158 Ah

Hydraulics

- 2 axial piston pumps:
- dredging and propeller 75 ccm/rev
- max. operating pressure 300 bar
- excavator arm and stabilizers 71 ccm/rev
- max. operating pressure 210 bar

Excavator (w. 400 l (SAE) back-hoe bucket)

- Swinging angle 180°
- Max. reach 7.1 m
- Digging depth 4.2 m
- Dumping height 4.0 m
- Break-out force (from bucket cylinder) 77 kN
- Digging force (from arm cylinder) 40 kN
- Lifting capacity at max. reach 16 kN

Stabilizers

- Max. stabilizing depth
- front 2.5 m
- rear 4.9 m
- Detachable floats for the front stabilizers
- stabilizing depth with floats 2.5 m
- Rear stabilizers
- size 200mm x 200 mm
- cylinder stroke 1500 mm
- mech. adjustment

Cab

- De-luxe seat with textile upholstery and full adjustability
- 3 opening side windows
- Roof hatch
- Gauges for supervising engine and hydraulic functions.
- 4 working lights
- 3-speed heating/ventilation unit
- Radio receiver with cassette player

Hull

- One-piece hull - divided into 7 watertight compartments.
- Corrosion-resistant painting on bottom
- Protector rails in bottom
- Slip-safe deck surface and handrails

Standard (s) and optional (o) equipment

WM Classic II type	A	B	C
Hoe bucket 400 l	s	o	o
Pumping bucket	o	s	o
Cutter pump	o	o	s
1 toe bucket 700 l	o	o	o
Rake	o	o	o
Pole erecting bucket	o	o	o
Service crane	o	o	o
Quick coupling of tool	s	s	s
Propulsion system	s	s	s
Additional side pontoons	o	o	o
Hydraulic winch	o	o	o
Spray pipe		o	o
Discharge line		o	o
Screw compressor	o	o	o
Electric fuel pump	o	o	o
Biodegradable hydr. oil	o	o	o

“Oozer” (Randall 1992).

Table 6. Specifications of Oozer dredge Taian Maru

Hull:

Overall length 37 m
 Breadth 12 m
 Depth 3 m
 Draft 2.2 m
 Dredging depth 17 m

Engine:

Oozer pump 1

Type: Cylindrical twin-barrel, negative pressure suction and positive pressure discharge.

Dredging capacities (Pressure intensity: 7kg/cm²)

Density (%)	Discharge distance (m)	Pumping production (m ³ /h)	Dredging production (m ³ /h)
60	100	580	350
60	500	500	300
60	1,000	420	250

Discharge pipe: 450 A

Air compressors 3

Type: Screw rotary system
 Capacity: 34.2 m³/min x 7 kg/cm² x 1,770 r.p.m.
 Driving generator: 190 KW x AC 440 V x 60 Hz x 4P

Vacuum pump 1

Type: Roots system
 Capacity: -400 mmHg x 44.8 m³/min
 Driving generator: 110 KW x AC 440 V x 60 Hz x 6P

Main generator

Type: Horizontal drip-proof rest self-excite
 Capacity: 450 KVA x 3 ϕ x 60 Hz x 445 V x 8P
 Continuous output: 530 ps x 900 r.p.m.

Winch

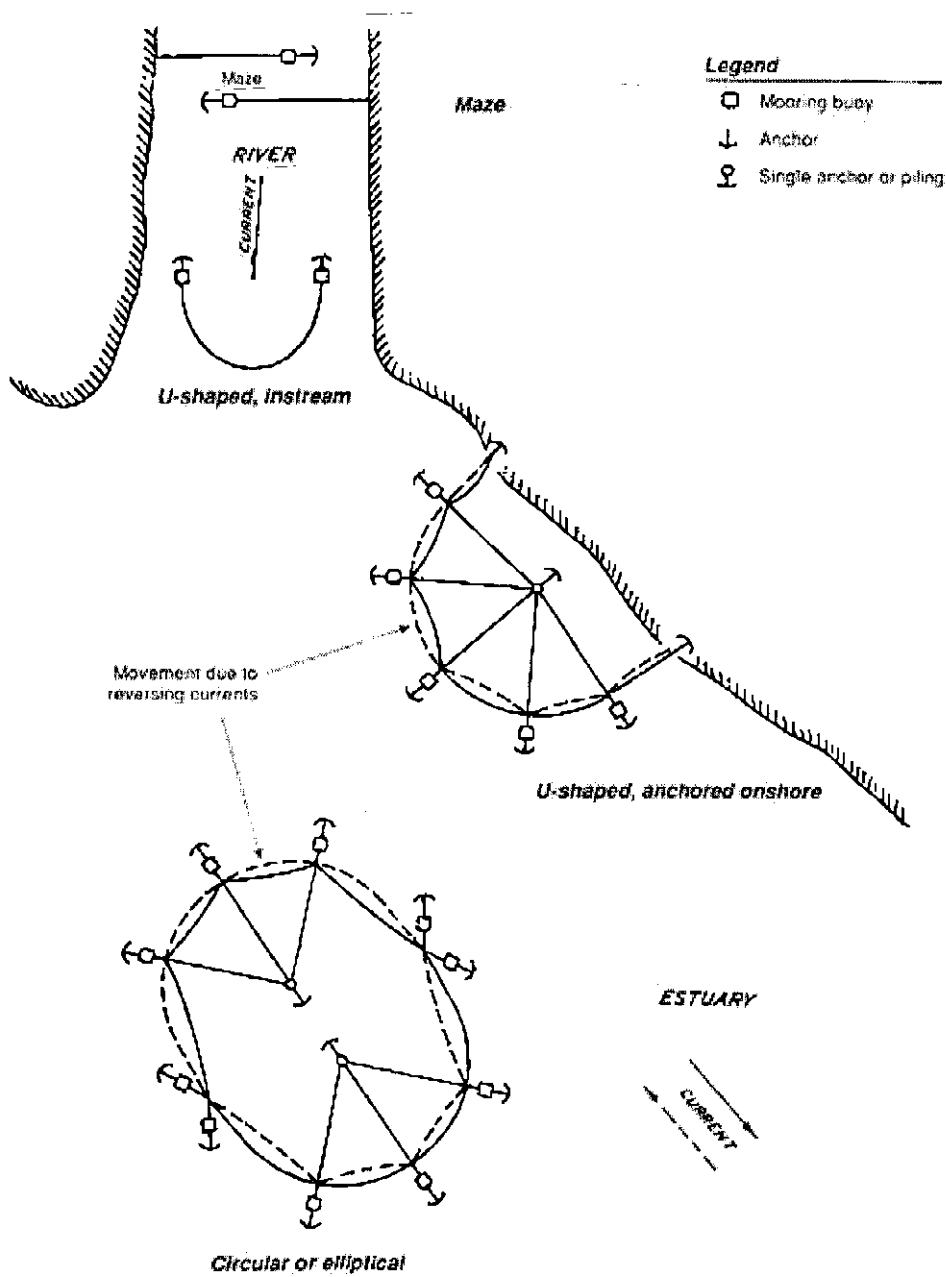
Ladder winch: 12T x 24 m/min x 75 KW x 6P..... 1
 Swing winch : 15T x 0-12 m/min x 70 KW..... 1
 Spud winch : 12T x 17 m/min x 50 KW x 6P..... 1

Taian Maru ("Oozer") ruoppaajan työkohteet (Randall 1992).

Table 7. Performance of Oozer Dredge Taian Maru


Place	Construction Period	Soil Condition	Undisturbed Moisture Content(%)	Deleterious Material	Volume of Dredging Soil (m ³)	Treatment
Iyo-Mishima Ehime Pref.	Apr.-May '74	Sandy Silt	144	Pulpwood	30,000	Direct discharge length 356 m Natural sedimentation No treatment of return flow water
-do-	July, '74	-Do-	400 - 800	- Do -	27,000	Direct discharge length 1,000 m Natural sedimentation No treatment of return flow water
Chiba Port Chiba Pref.	Jan.-June '75	Silt	300 - 400	Hg, Pb	40,800	Transport with barge Secondary pumping with centrifugal pump Natural sedimentation
Takasago Port Hyogo Pref.	Aug.-Dec. '75	Sandy Silt	150 - 200	PCB	224,816	Direct discharge length 300-1,200 m Solidity Removal of deleterious material
Sakaide Port Kagawa Pref.	July-Sep. '75	Silt	90 - 100	Hg	14,000	Direct discharge length 460 m Natural sedimentation Removal of deleterious material
Iwakuni Port Yamaguchi Pref.	Jan.-Feb. '76	Sandy Silt	100 - 200	Pulpwood	31,000	Direct discharge length 300 - 800 m Natural sedimentation Removal of deleterious material
Tokuyama Port Yamaguchi Pref.	July-Dec. '76	Sandy Silt	50 - 300	Hg	128,160	Transport with barge Natural sedimentation Removal of deleterious material
-do-	Dec. '76 -Mar. '77	Sandy Silt	50 - 300	Hg, C ₆ H ₁₄	82,000	Transport with barge Natural sedimentation Removal of deleterious material
Yokkaichi Port Mie Pref.	Apr. '77 -Feb. '78	Sandy Silt	280 - 500	Hg	655,000	Discharge with booster pump Natural sedimentation Removal of deleterious material
Mizushima Port Okayama Pref.	July-Sep. '78	Silt	40 - 100	C ₆ H ₁₄	92,800	Transport with barge Natural sedimentation Removal of deleterious material
Osaka Bay Hyogo Pref.	Mar. '80	Silt	150 - 250	Organica	6,000	Pilot works
Yokkichi Port Mie Pref.	June '80	Silt	150	- Do -	44,000	Excavation of Sea bed

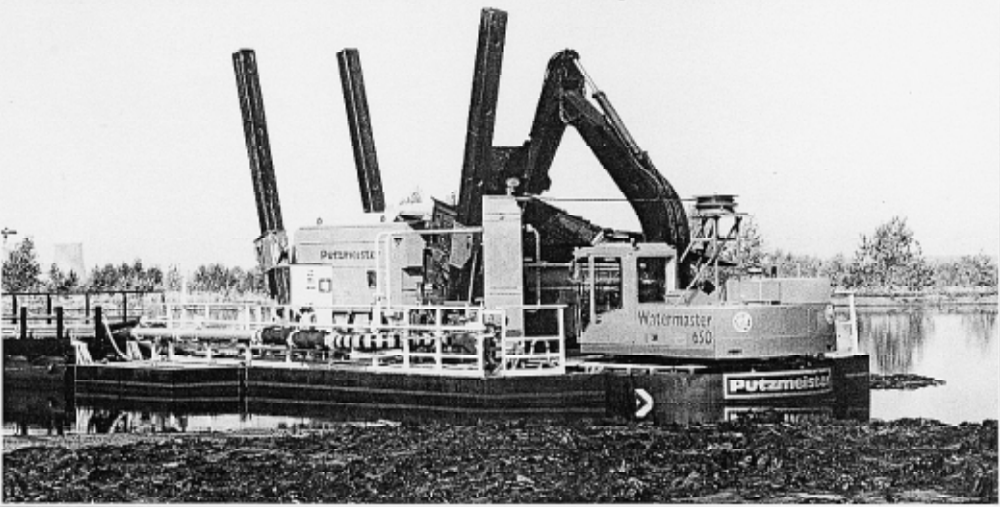
Silttiverhon käyttötapa (USEPA 1994).



Massapumpujärjestelmä (Aquamec 1995).

SOLID SLUDGE PUMP

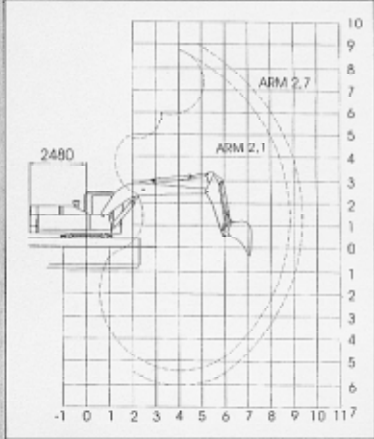

Watermaster 650 SP "Dredgemaster"

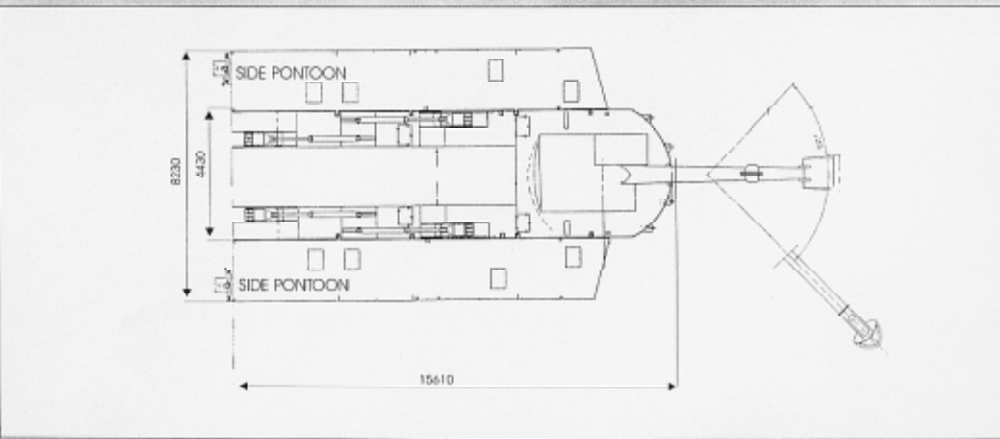


High pressure piston type pump system for removal and transportation of harmful sediment from waterways and settlement pools. Comprises of **Watermaster 650 BH Back-hoe dredger** and **Putzmeister KOS 2180 series sludge pump**.

Technical specification of KOS 2180 unit

Engine Caterpillar 3406 DITA	298 kW/2100 rpm
Two cylinder piston pumps with S-transfer tube	
- diameter of delivery cylinder	280 mm
- cylinder stroke	2100 mm
- theoretical capacity	80 m ³ /h
Dual auger feeder	
Vibrating screen for removal of foreign bodies	
- conveyer belt for foreign bodies (optional)	
Steel pipe discharge line (optional)	DN 200
- max. pressure	130 bar
Total weight of KOS-unit	c. 20 t





Suosituksia ympäristöhaittojen vähentämiseksi ruoppauksessa ja kuljetuksessa (Environment Canada 1993).

Table 9 Modification Options for Dredging and Transport Methods

TYPE OF DREDGE	FACTORS AFFECTING SEDIMENT RESUSPENSION	RECOMMENDATIONS
MECHANICAL	<ul style="list-style-type: none"> • Bucket hoisting speed, and impact on bottom when lowering bucket • Rinsing of bucket during lowering • Loss of material during transport by barge or scow 	<ul style="list-style-type: none"> • Careful use of equipment by fully trained and sensitized operators • Reduce bucket hoisting and lowering speed (< 0.6 m/s) • Avoid levelling bottom by dragging bucket • Lower bucket as far down as possible into scow • With very contaminated material, rinse bucket on scow • Avoid use of scows when weather conditions will mean loss of material
HYDRAULIC	<ul style="list-style-type: none"> • Depth of cut • Speed of lateral movement • Angle of dredge head • Cutterhead rotation speed • Tide cycle (high or low) • Advancing dredge (windrow formation) • Lower section of cutterhead when dredging thick layers 	<ul style="list-style-type: none"> • Careful use of equipment by fully trained and sensitized operators • Make stepped rather than box cuts • Weigh anchor before moving dredge • Swing dredge in close concentric arcs over the dredging surface and cut in direction of swing to prevent windrowing. Ideally, cuts should overlap by 0.3 m • Use a spud system to advance dredge • Position dredge precisely • Limit depth of cut to approximately the diameter of the cutterhead • Limit speed of lateral movement of the dredge head • Use appropriate and properly adjusted cutters • Alter or adjust cutting angle • Optimize cutter rotation speed to match pump capacity • Limit cutter rotation speed to 30 rpm • Remove cutterhead in fine and soft material • Clean pipeline before removing or adding pipe sections
HOPPER	<ul style="list-style-type: none"> • Use of overflow • Turbulence generated by self-propelled dredge • Cruising speed • Dredge head dragging on the water bottom 	<ul style="list-style-type: none"> • Careful use of equipment by fully trained and sensitized operators • Avoid use of overflow when working in fine material • Optimize dredging speed to match pump suction capacity • Reduce speed at which pumped slurry flows into hoppers • Select a dredge advancing technique that minimizes windrowing • Make stepped rather than box cuts • Weigh anchor before moving dredge

Suosituksia ympäristöhaittojen vähentämiseksi läjityksessä (Environment Canada 1993).

Table 14 Recommendations for Design of Disposal Operations

GENERAL MEASURES	SPECIFIC MEASURES
Open-water disposal	
<ul style="list-style-type: none"> Minimize sediment resuspension and turbidity during open-water disposal 	<ul style="list-style-type: none"> Select equipment and disposal method that minimizes sediment losses during open-water disposal Plan to use barriers at disposal site and close to sensitive zones
<ul style="list-style-type: none"> Minimize interference with commercial and recreational navigation 	<ul style="list-style-type: none"> Post adequate warnings in operating areas at open-water disposal or rehandling sites
<ul style="list-style-type: none"> Minimize impact of open-water disposal on aquatic wildlife 	<ul style="list-style-type: none"> Implement mitigative measures to restore aquatic wildlife habitat
On-shore disposal	
<ul style="list-style-type: none"> Minimize sediment and contaminant resuspension at on-shore disposal site 	<ul style="list-style-type: none"> Select equipment and dumping method that minimizes sediment and contaminant losses during on-shore disposal Use shielding at disposal site and close to zones sensitive because of vegetation or wildlife and human activities
<ul style="list-style-type: none"> Collect and control pond overflow and runoff 	<ul style="list-style-type: none"> Optimize design of sedimentation pond for sediment type, dredge type and volume of dredged material Add flocculants if necessary Use drainage ditches to divert and collect runoff
<ul style="list-style-type: none"> Physically protect sedimentation ponds and disposal areas 	<ul style="list-style-type: none"> Use dikes, membranes or plantings
<ul style="list-style-type: none"> Protect sensitive resources and uses 	<ul style="list-style-type: none"> Implement mitigative measures to restore aquatic wildlife habitat Schedule work to minimize disturbances and impacts on environment quality
On-land disposal	
<ul style="list-style-type: none"> Minimize sediment and contaminant resuspension at disposal site 	<ul style="list-style-type: none"> Select equipment and dumping method that minimizes sediment and contaminant losses during on-land disposal Collect and treat runoff and dewatering drainage Where slopes are steep and sensitive to erosion, preserve vegetation as much as possible and restore grass or tree cover after installation of structures required for drainage and soil consolidation Remove and preserve topsoil for site restoration work Locate disposal sites so that natural drainage systems are altered as little as possible
<ul style="list-style-type: none"> Control quality of sedimentation pond overflow 	<ul style="list-style-type: none"> Optimize pond design for sediment type, dredge type and volume of dredged material Add flocculants if necessary Use drainage ditches to divert and collect runoff
<ul style="list-style-type: none"> Physically protect ponds 	<ul style="list-style-type: none"> Use dikes, membranes or plantings
<ul style="list-style-type: none"> Protect quality of visual and sound environments 	<ul style="list-style-type: none"> Maintain or establish vegetative barriers around disposal site
<ul style="list-style-type: none"> Protect quality of surrounding environment 	<ul style="list-style-type: none"> Ensure sources of noise during operations comply with noise environment standards and directives Schedule work to minimize disturbances and impacts on environment quality
<ul style="list-style-type: none"> Recover materials and disposal sites 	<ul style="list-style-type: none"> Whenever possible, use materials for other projects requiring fill material
<ul style="list-style-type: none"> Minimize unrestricted disposal of very contaminated sediment 	<ul style="list-style-type: none"> Clean truck wheels and box before departure from disposal site Use trucks with closed, watertight boxes Plan routes and rehandling points to avoid biophysically sensitive zones or zones of human activity