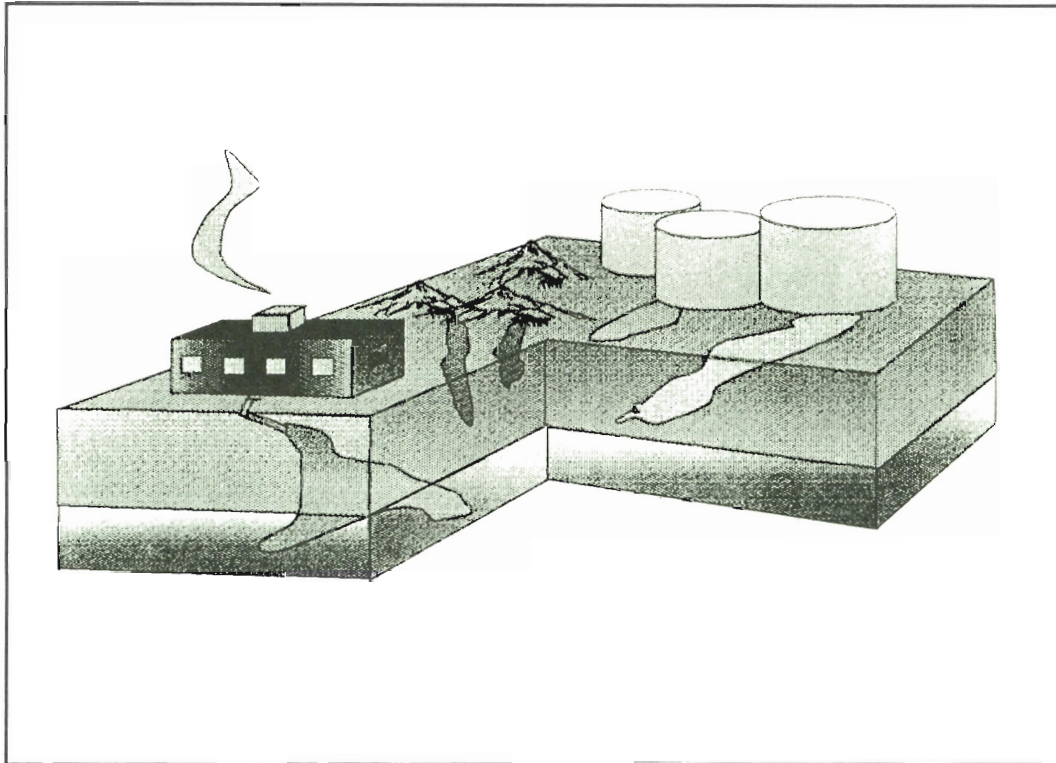




KATSAUS YMPÄRISTÖGEOTEKNIikkaAN KANSAINVÄLISEN KONGRESSIN VALOSSA • MATKAKERTOMUS

Jorma Havukainen



HELSINGIN KAUPUNKI

KIINTEISTÖVIRASTO

G E O T E K N I K A N E N O S A S T O

ALKUSANAT

Helsingin kaupungin maankäytön suunnittelun ja asuntorakentamisen nykytilanteessa ollaan monissa tapauksissa tekemisissä maaperältään likaantuneilla alueilla. Tyypillisiä asumis- ja virkistyskäyttöön otettavia alueita ovat Helsingissä entiset teollisuus- ja varastoalueet, huoltoasematontit, jätevedenpuhdistamot ampumaradat ja täyttöalueet. Myös ranta-alueiden kunnostamisen yhteydessä tehtävien ruoppaustöiden yhteydessä vapautuvat massat ovat potentiaalisesti saastuneita. Tyypillisiä epäpuhtauksia ovat raskasmetallit, öljy-yhdisteet ja liuottimet.

Kaupunki on tehostamassa myös ympäristögeoteknistä osaamistaan osallistumalla mm. valtakunnalliseen Ympäristöteknologiaohjelmaan, jossa keskeisiä osa-alueita ovat muun muassa likaantuneen maaperän kunnostamiseen liittyvät kysymykset sekä maa-ainespohjaisten uusiotuotteiden kehittäminen. Helsingin kaupunki oli 1980-luvulla aktiivinen kivihiihdivoimalaitosten tuhkien hyötykäytön kehittämisessä. Tällä ja seuraavalla vuosikymmenellä tulee ympäristögeotekniikan painopiste olemaan Helsingin kaupungissa rakentamisesta vapautuvien ylijäämämaiden jalostamisesta hyötykäyttöön sekä likaantuneiden maamassojen saattamisessa ympäristölle haitattomaan muotoon ja mahdollisuuksien mukaan myös hyötykäyttöön.

Tietojen saamiseksi osallistutaan myös kansainvälisiin tilaisuuksiin, joista saatavat tiedot pyritään dokumentoimaan. Tämä tiedote on projektipäällikkö Jorma Havukaisen matkakertomus osallistumisesta kansainväliseen ympäristögeotekniikan ISSMFE:n (The International Society for Soil Mechanics and Foundation) kongressiin Edmontonissa, Kanadassa 10...15.7.1994.

Helsingissä helmikuun 9. päivänä 1995

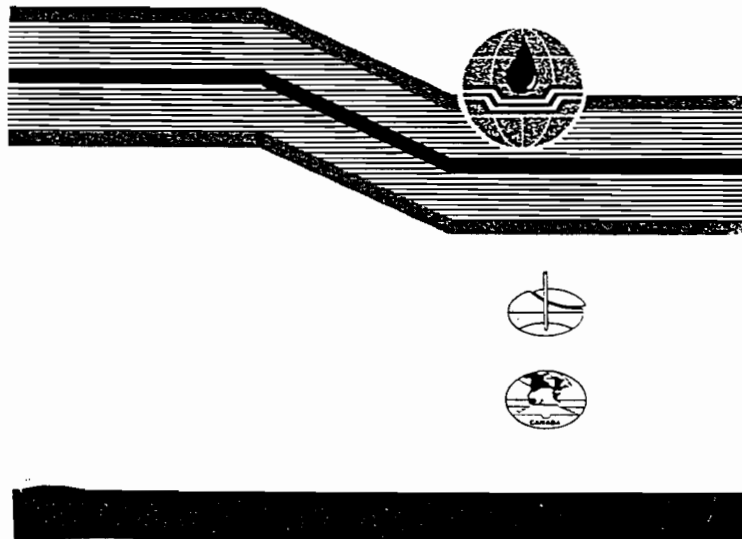


Usko Anttikoski

osastopäällikkö

First International Congress on Environmental Geotechnics

July 10-15, 1994
Edmonton, Alberta
Canada



**MATKAKERTOMUS OSALLISTUMISESTA KANSAINVÄLISEEN
YMPÄRISTÖGEOTEKNIKAN KONGRESSIIN EDMONTONISSA,
KANADASSA 10...15.7.1994**

Jorma Havukainen
Helsingin kaupungin geotekninen osasto

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO
1. MATKAN AIKATAULU
2. KONGRENSSIN OHJELMA
 - 2.1 Istunnot
 - 2.2 Muu ohjelma
3. YHTEENVETO JA KONGRESSIN ANTI HELSINGIN KAUPUNGILLE
4. MATKAN KUSTANNUKSET
5. LIITTEET
 - Luettelo kongressin kirjoituksista

1. JOHDANTO

Kansainvälinen maamekaniikan ja pohjarakentamisen yhdistys (ISSMFE) ja Kanadan Geoteknillinen Yhdistys järjestivät kansainvälisen ympäristögeotekniikan kongressin Edmontonissa Kanadassa 10...15.7.1994 ja se oli ko. organisaation pitämänä järjestyksessä ensimmäinen. Suomen Geoteknillinen Yhdistys on ISSMFE:n jäsen.

Edmonton sijaitsee Länsi-Kanadassa Albertan osavaltiossa likimain Pohjois-Saksan leveysasteilla. Väkiluvultaan noin 600 000 asukkaan kaupunki sijaitsee Kalliovuorilta Hudsonin lahteen laskevan Pohjois-Saskatchewan-joen varrella.

Aluetta alkuperäisesti asuttaneiden intiaanien asuinsijoille saapuneet eurooppalaiset perustivat nykyisen Edmontonin seudulle turkiskaupan keskuksen. Paikalla on sijainnut vv. 1795...1870 turkiskauppayhtiö Hudson Bay Company ja joki on toiminut turkisten kuljetusreittinä. Vuosina 1871...1891 Edmontonista kehittyi kaupunkimainen yhdyskunta kauppoinen, käsityöpajoinen, kirkkoineen ja majataloineen. Vuonna 1892 Edmontonista tuli uuden maakunnan Albertan pääkaupunki. Noihin aikoihin seudulle tuli rautatie ja kaupungin yhteydet muihin yhdyskuntiin paranivat. Ensimmäisen maailmansodan jälkeen Edmonton alkoi nopeasti kehittyä nykyaikaiseksi kaupungiksi. Nykyinen Edmonton on vaurasta englanninkielistä Kanadaa, joka hyvinvoiti on luotu alueen maataloustuotannon lisäksi öljyesiintymien hyödyntämisellä. Laajat vihreät preerian ruohoalueet ja metsävyöhykkeet ympäröivät kaupunkia suurine maataloustiloineen.

Kongressin pitopaikka oli Pohjois-Saskatchewan-joen rantatörmään osittain maan alle rakennettu Edmonton Convention Centre Edmontonin kaupungin keskustassa. Majoituspaikkana oli Holyday In Crown Plaza-hotelli Edmontonin keskustassa noin 0,5 km päässä Kongressin pitopaikasta.

Kongressissa käsiteltiin teollisuus- ja yhdyskuntajätteiden käsittelyä ja sijoittamista, käyttökelpoisten sivutuotteiden ja ruoppausmassojen hyötykäyttöä sekä saastuneiden alueiden käsittelytapoja. Lisäksi aihepiiriin kuului myös kaivostoiminnan ja ydinjätteiden sijoittaminen. Kongressi oli tarkoitettu kaikille ympäristögeoteknisten kysymysten kanssa työssään tekemisissä oleville ja esitelmöitsijöitä oli kaikista maanosista. Suomesta oli mukana viisi henkilöä: Jouko Saarela, Markus Sjöholm ja Tapio Strandberg Vesi- ja Ympäristöhallituksesta, Hans Rathmayer VTT:sta sekä Jorma Havukainen Helsingin kaupungin geoteknisestä osastosta. Suomesta oli kaksi kirjoitusta Saarela esitti suullisesti laatimansa kirjoituksen "Aftercare Research of Closed sanitary Landfills" sekä Sjöholm esitti suullisesti Sjöholmin ja Strandbergin yhdessä laatiman kirjoituksen "Using Glacial Till as Liner Material for Waste Disposal".

Kongressiin oli jätetty 148 kirjoitusta, joiden kirjoittajia oli yhteensä 360. Osanottajamäärä oli noin 300. Kirjoituksista kootun kirjan sivumäärä on 1014.

Tapahtuma oli erittäin tärkeä Helsingin kaupungille tietojen saannin ja vaihdon kannalta. Helsingin ylijäämamaiden sijoittamiseen ja saastuneille alueille rakentamiseen liittyvien ongelmien ratkaiseminen vaatii kaiken saatavilla olevan tiedon hankkimista.

1. MATKAN AIKATAULU

Matka tehtiin ns. APEX-lentona 8.7...16.7.1994.

Matkan aikataulu (aikaero Helsinki/Lontoo - 2 h, Helsinki/Edmonton -9 h) :

Lento	8.7. klo 8.10 - 09.15	3 h 5 min.	Helsinki-Vantaa - Lontoo
Lento	8.7. klo 15.20 - 16.50	8 h 30 min.	Lontoo - Edmonton
Lento	15.7. klo 22.30 - 16.7. klo 13.30	8 h	Edmonton - Lontoo
Lento	16.7. klo 18.25 - 16.7. klo 23.15	2 h 50 min.	Lontoo - Helsinki-Vantaa

2. KONGRESSIN OHJELMA

2.1 Istunnot

Kongressin sisältö koostui viidestä pääteemasta, joita käsiteltiin pääistunnoissa, johdantoistunnoissa (keynote-session), sekä erikoisistunnoissa. Pääistuntoja oli kaikkiaan 17, johdantoistuntoja 6 ja erikoisistuntoja 12. Kirjoituksista pääosa esitettiin suullisesti. Kongressin pääteemat olivat:

1. Ruoppausmassojen käsittely ja hyötykäyttö	9 kirjoitusta
2. Teollisuuden jätteet ja sivutuotteet	53 kirjoitusta
3. Kaivu- ja louhintajätteet ja -sivutuotteet	25 kirjoitusta
4. Yhdyskuntajätteet	37 kirjoitusta
5. Ydinjätteiden sijoittaminen	16 kirjoitusta
6. Yhteenvetopuheenvuorot	8 kirjoitusta

Seuraavassa esitetään vapaita käännöksiä eräistä kiinnostavista kirjoituksista tai niiden pääkohdista. Kirjoituksista on koottu kirja "The First International Congress on Environmental Geotechnics", Proceedings, July 10...15, 1994, Edmonton, Alberta, Canada, ss. 1014.

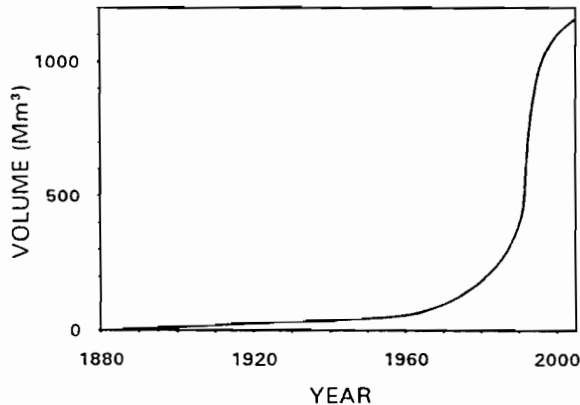
Environmental Aspects of Sand Dredging and Mud Disposal in Hong Kong

E.W Brand, J.B. Massey, P.G.D. Whiteside

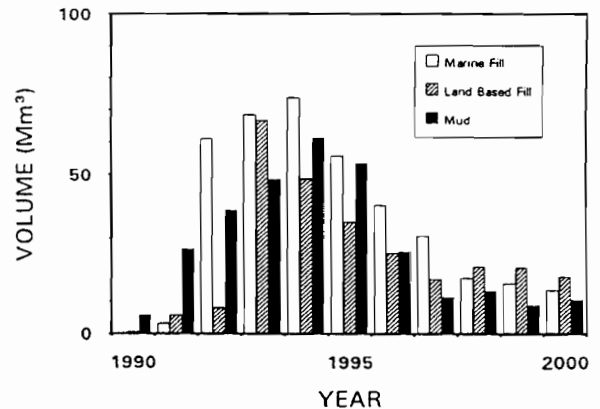
Civil Engineering Department, Hong Kong Government

Hong Kongin maa-ala on nykyisin vain 1 050 km² ja väkiluku on lähes kuusi miljoonaa. Aluetta on pakko laajentaa toiminnan ja väestön tarpeiden vuoksi. Koska Hong-Kongin kaikkea maa-alaa ei voida hyödyntää jyrkkien rinne muodostumien vuoksi, on maata vallattava merialueelta.

Hong Kong onkin tehnyt uutta maata täyttötöiden avulla yli sadan vuoden ajan. Maan laajentamisvauhti on lisääntynyt jatkuvasti, mikä tarkoittaa samalla kiihtyvää täyttömateriaalin tarvetta, Kuva 1. Hong Kongilla on meneillään massiivinen maa-alueen laajennusohjelma, jonka yhteydessä tullaan tekemään yli 400 Mm³ mereen täyttöä tällä vuosikymmenellä. Sen lisäksi mereen on sijoitettava noin 315 Mm³ liejua ja savea, josta 26 Mm³ on erittäin saastunutta, Kuva 2.



Kuva 1. Kumulatiivinen täyttötarve Hong Kongissa 1880...2000.



Kuva 2. Vuotuinen täyttötarve sekä liejun ja savea sijoitustarve Hong Kongissa 1990...2000.

Tärkein huomio kohdistuu tällä hetkellä valtaviin infrastruktuuriprojekteihin, jotka tunnetaan yhteisnimellä Hong Kong's Port & Airport Development Strategy (PADS). Niiden yhteiskustannuksiksi on arvioitu 28 miljardia US\$ eli noin 140 miljardia FIM. Kustannuksista merkittävä osa rahoitetaan yksityisesti.

Huolellinen täyttömaaresurssien kartoitus ja työmenetelmien valinta johti merihiekan hyödyntämispäätökseen ja tyydyttävään ratkaisuun liejun sijoittamiseksi mereen. Ympäristövaikutukset on arvioitu erikseen kullakin ruoppaus-, käsittely- ja sijoitusalueella - usein pitkäaikaisten ympäristövaikutusten seurantamittausten pohjalta. Tutkimukset osoittivat, että ruoppaamisesta aiheutuva lietteen erottuminen aiheuttaa vähemmän haittaa meren ekologialle kuin luonnon aiheuttamat omat häiriöt. Erityisen huomion vaati erittäin saastuneen liejun ja savea sijoittaminen erityisiin meren pohjaan ruopattuihin kuoppiin, joihin levitettiin päälle paksuudeltaan yhden metrin hiekkakerros ja tämän päälle kaksi metriä paksu suojakerros puhtaasta liejusta tai savesta. Yksityiskohtaiset analyysit ovat osoittaneet, että tämä erottaa tehokkaasti ja pitkäaikaisesti saastuneen materiaalin muusta ympäristöstä.

Ympäristön arviointiprosessi

Samaan tapaan kuin kasvava joukko maailman maita Hong Kong on laatinut menetelmän, jonka avulla tärkeissä hallituksen projekteissa suunniteltuun kuuluu ympäristön arviointi (engl. environmental assesment = EA). Suurin osa maarakennusurakoista on hallituksen rakennuttamia, mutta myös yksityiset projektit, mm. konttiterminaalit, suunnitellaan hallituksen toimesta. Vaikka arviointimenettely ei ole Hong Kongissa vielä pakollinen, sitä noudatetaan lähes poikkeuksetta.

Ympäristön arviointiprosessi käynnistyy Hong Kongissa ympäristön yleistarkastelulla ja sen tekee tavallisesti Hallituksen Ympäristönsuojeluosasto (EPD), joka antaa vaadittavien toimenpiteiden suuntaviivat ja määrittää potentiaaliset ympäristölle haitalliset alueet. Jos potentiaalisten haittavaikutusten arvioidaan olevan ennakkohavaintojen perusteella selvästi vakavia, tehdään yksityiskohtainen ympäristövaikutusten arviointi (YVA, engl. environmental impact assessment EIA), missä päähuomio keskitetään avaintekijöihin. Erilliset YVA:t tehdään tulevilla täyttöalueella, ruoppausalueella ja sekä liejun sijoittamisalueilla. Lopulliset YVA-raportit asetetaan julkisesti nähtäville. Ympäristön arviointiprosessin lisäksi Hong Kongin laki vaatii, että ennen kuin mitään rakennustöitä, jotka aiheuttavat vaikutuksia lähirannoille tai merenpohjalle, voidaan aloittaa, suunnitelmista täytyy julkisesti ilmoittaa hallituksen lehdessä, jotta kaikki asianosaiset voivat tarvittaessa valittaa ja vaatia korvauksia. Tämä menettely turvaa sellaisten tahojen edut, joiden toimintaan työt voivat suoraan vaikuttaa, kuten kalastajat, ahtajat ja satamaliikennöitsijät.

Hong Kongin lehdissä näkee jatkuvasti artikkeleita, joissa kerrotaan merihiekan ottamisen aiheuttavan haittaa kalateollisuudelle, johon kuuluu sekä pyydyskalastus että meressä tapahtuva kalanviljely. Ruoppaamisesta aiheutuvien taloudellisten haittojen arviointi on erittäin vaikeaa. Kalastusmenetelmät ovat muuttuneet ja toiminta tapahtuu nykyään pääosin enemmän ulkomerellä kuin pienten kalastusalueiden aikakaudella, jolloin kalaa pyydettiin pääosin lähivesillä. Ruoppauksesta kalanviljelijöille veden sameutumisesta aiheutuvan haitan hallitus korvaa mittauksilla todettujen lietehiukkasten määrien suhteessa.

Merihiekan ruoppaus

Hong Kongin arvioidut merihiekkavarat ovat 750 Mm^3 , mutta ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä on todettu, että merenpohjasta voidaan ruopata ympäristöä vahingoittamatta vain noin 230 Mm^3 hiekkaa. Ympäristön yleistarkastelun yhteydessä selvisi, että ruoppaaminen koillis- ja luoteisosissa aiheuttaisi saastumista, mikäli perinteisiä menetelmiä käytettäisiin, koska hiekkaesiintymien pintaosa oli saastunut ja piti sen vuoksi ensin siirtää pois. Samaan aikaan todettiin, että joukko pieniä hiekkaesiintymiä tuli jättää rauhaan Hong Kongin itärannikolla, koska alueella oli suosittuja uimarantoja.

Potentiaalisessa laajassa hiekanotto paikassa, Mirs Bay:ssä, tehtiin yksityiskohtainen geologinen tutkimus esiintymäalueen tarkemmaksi rajaamiseksi ja hiekan laadun selvittämiseksi, minkä jälkeen tehtiin täydellinen ympäristövaikutusten arviointi. YVA keskittyi liettyvien hiukkasten aiheuttamiin vaikutuksiin ekologiseen tasapainoon, erityisesti korallien esiintymisalueilla, jotka ovat sukellusharrastajien suosimia paikkoja. YVA-prosessin tuloksena täyttötyökomitea päätti, että vaikutukset ympäristölle ovat niin haitalliset, että hiekan ruoppausta ei alueella sallita. Vastaavat selvitykset tehtiin myös muilla potentiaalisilla hiekanotto paikoilla. Ne todettiin tarkoitukseen sopiviksi lukuunottamatta yhtä aluetta, joka sijaitsee muutaman kilometrin päässä Hong Kongin suosituimmista uimarannoista. Ko. alue määriteltiin marginaalisesti hyväksyttäväksi alueeksi. Hyväksytyillä hiekanotto paikoilla tehtiin sekä ruoppauksen vettä samentavien partikkelien ympäristövaikutusselvitys että selvitys vaikutuksista merenpohjan ekologiseen tilaan. Molemmat selvitykset viittasivat siihen, että haitalliset vaikutukset eivät ulotu kuin korkeintaan noin kilometrin päähä ruoppauskohdasta ja ovat vähäisempiä kuin luonnonvoimien omat vaikutukset.

Esimerkiksi, kun vettä sementavien partikke-lien määräksi mitattiin 10...20 mg / l, voitiin sameus havaita silmämääräisesti, mutta sen todettiin olevan vielä vaaratonta ympäristölle.

Puhtaan liejun ja saven sijoittaminen mereen

Hong Kong on sijoittanut monien vuosien ajan kaivamisen yhteydessä vapautuneet kiviainesperäiset ylijäämämässansa mereen kolmelle alueelle, joista on nykyään käytössä enää kaksi. Nyt jo lakkautetulle alueelle sijoitettiin 1990-luvun alussa liejuisia ylijäämämaita suuria määriä ja toiminnan todettiin haittaavan ympäristöä siinä määrin, että ympäristövaikutukset otettiin tarkemman selvittelyn kohteeksi kuin aikaisemmin myös puhtaiden maamassojen mereen sijoittamisen yhteydessä.

Vaikutukset ovat merkittäviä kuitenkin vain matalilla ranta-alueilla, joissa mereen sijoitetut sedimentit ja lietteet valuvat vähitellen merenpohjan syvenevää luiskaa pitkin alaspäin. Kahmarikauhalla ruopattu materiaali säilyttää likimain luonnollisen tilavuuspainonsa asettuen luiskakaltevuuteen 1:20. Laahainkauhalla ruopattu materiaali on paljon juoksevämpää ja epästabiilimpaa asettuen likimäärin luiskakaltevuuteen 1:100.

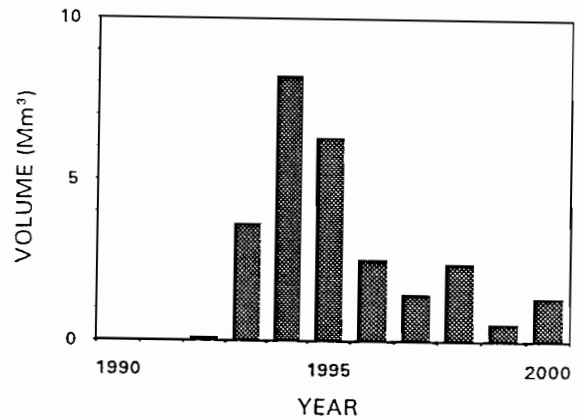
Saastuneen liejun ja saven sijoittaminen mereen

Monen vuosikymmenen ajan jatkuneen kontrolloimattoman teollisuuden saastuttamien jätteiden ja ylijäämämaiden läjittäminen on saastuttanut suuren osan Hong Kongin merenpohjasta myrkyllisillä aineilla. Suuret määrät kuparia, kromia ja muita metalleja joita on päässyt ympäristöön mm. galvanoinnin yhteydessä, on kertynyt merenpohjan ylimpään liejukerrokseen. Yhdessä orgaanisten myrkkujen (PCB, PAH, rikkaruohomyrkyt ja syöpymisenestoaineet, TBT yms.) sekä suurten puhdistamattomien jätevesimäärien kanssa ne ovat kulkeutuneet syvempiin merenpohjan kerroksiin (usein yli 3 m) mm. laivojen ankkuroinnin yhteydessä. Alueet ovat samoja, joita nyt ollaan täyttämässä.

Vuonna 1991 tehtiin selvitys pohjaliejun saastuneisuuden laajuudesta ja luonteesta Hong Kongin vesissä. Jo tutkimuksen alkuvaiheessa selvisi, että saastuneiden täyttötöiden yhteydessä poiskaivettavat saastuneet pohjaliejut ja savet oli pakko sijoittaa jossakin muodossa takaisin mereen. Parhaana ratkaisuna pidettiin erittäin saastuneiden pohjaliejujen sijoittamista merenpohjaan kaivettuihin kuoppiin, jotka peitettiin puhtaalla ja stabiililla materiaalilla. Harkittaessa työmenetelmiä ja standardeja, joita käytettiin muualla maailmassa, Hong Kongin hallituksen ympäristönsuojeluosasto määritteli kriteerit, joilla pohjalieju voidaan luokitella kahteen ryhmään: lieju joka voidaan sijoittaa sellaisenaan mereen ja lieju, joka täytyy eristää muusta ympäristöstä meressä. Taulukossa 1 on esitetty ko. kriteerit ja Kuvassa 3 on esitetty arvioidut vuotuiset saastuneen liejun määrät, jotka on sijoitettava merenpohjan ympäristöstä eristettyihin kuoppiin. Havaittiin, että vaikka saastuneisuutta arvioidaan vain metallimäärien perusteella, myös useimpien muiden saasteiden jakauma on hyvin samantapainen kuin metalleilla. Tästä syystä suhteellisesti helpomman metallipitoisuuksien laboratoriomäärityksen tulokset edustavat suuntaa antavasti riittävän luotettavasti myös yleistä saastuneisuutta.

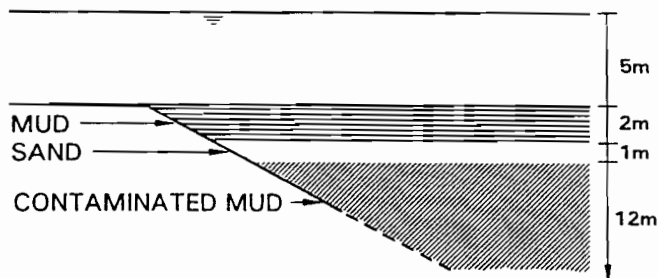
Taulukko 1. Hong Kongin ympäristönsuojeluosaston saastuneisuuskriteerit merenpohjaliejulle.

Metal	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ppm dry wt	>1.5	>80	>65	>1.0	>40	>75	>200



Kuva 3. Arvioidut vuosittain mereen uudelleen sijoitettavan saastuneen pohjaliejun määrät Hong Kongissa.

Sen jälkeen kun saastunut lieju päätettiin sijoittaa merenpohjaan kaivettaviin kuoppiin, tehtiin koe, jolla määritettiin, voidaanko lieju sijoittaa kuoppiin, jotka muodostuvat merihiekkaa ruopattaessa. Valitettavasti menetelmä ei ollut sopiva, koska suuresta vesisyvyydestä (n. 20 m) ja voimakkaista merivirroista johtuen työn yhteydessä pääsi liikaa (jopa 10 %) saastunutta liejua ympäristöön. Yksinkertaiset pohjaan kaataminen ja putken avulla valuttaminen tuottivat saman tuloksen. Tämän perusteella oli sijoituspaikkoja etsittävä matalammilta vesialueilta, jossa merivirrat ovat heikompia. Valittiin alue, jossa vesisyvyys on 5...6 m ja veden viratausnopeus pienempi kuin 0,5 m/s. Ensimmäinen kuoppa ruopattiin ko. alueelle 1992. Vuosikymmenen loppuun mennessä tullaan kaivamaan samanlaisia voimakkaasti saastuneen liejun sijoituskuoppia (Kuva 4) arviolta yhteensä kahdeksan ja niihin sijoitettavan massamäärän arvioidaan olevan 26 Mm³. Käytännössä kuoppa voidaan ruopata noin 15 m syvyyseksi. Pohjamaa on Post-glasiaalikauden (Holoseenikausi) pehmeää liejumuodostumaa.



Kuva 4. Voimakkaasti saastuneen liejun sijoituskuopan poikkileikkaus Hong Kongin rantavesialueella.

Saastuneen liejun ylintä mahdollista sijoitustasoa ja vaadittavan peitekerroksen laatua ja paksuutta selvitettiin monin kokein. Missään olosuhteissa saasteet eivät saisi nousta ylös kuopasta. Päädyttiin ratkaisuun, jossa saastuneen liejakerroksen päälle levitetään yhden metrin paksuinen hiekkakerros, ja tämän päälle 2 metriä paksu puhdas liejakerros. Hiekkakerros painuu osittain alapuoliseen saastuneeseen liejuun lujittaen sen pintaosaa.

Saastuneen liejun sijoituskuoppien tekoa ja niiden suunnitelman mukaista täyttötyötä valvotaan hallituksen toimesta ympärivuorokautisesti. Tähän mennessä suoritettujen mittausten perusteella työt ovat menneet suunnitelmien mukaan eikä saasteita ole levinnyt ympäristöön. Hong Kongin asukkaat ovat seuranneet tarkkaan saastuneen liejun sijoittamisen suunnittelua ja toteuttamista ja asukkaita informoidaan säännöllisesti ympäristön tilaa selvittävien mittausten tuloksista.

Reclamation of Dredged materials in Europe

M.A. Viergever, F.A. Westrate, M. Loxham

Delft Geotechnics, The Netherlands

Jokien ja satamien alueilla joudutaan säännöllisesti tekemään ruoppaustöitä väylien syvyyden pitämiseksi riittävinä liikenteelle. Ruoppausmassojen sijoittaminen tuottaa sekä taloudellisia että ympäristöllisiä vaikeuksia, koska massat sisältävät monenlaisia epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat vakavia vaaroja terveydellä ja ekosysteemille.

Useissa Euroopan maissa on laadittu suunnitelmia ja perustettu projekteja tämän ongelman ratkaisemiseksi. Tarkoitukseen käytetään kahta päästrategiaa. Toisessa pyritään saattamaan ruoppausmassojen geotekniset ja ympäristöominaisuudet sellaiselle tasolle, että niitä voidaan käyttää. Käsittelymenetelmiä ovat mm. puhdistaminen tai kiinniteyttäminen. Toisaalta käyttökohteet pyritään valitsemaan sellaiseksi, että kallista käsittelyä ei vaadita ja materiaalin sijoittaminen on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista. Läjittäminen ympäristövalvonnan alaisena turvallisuusperiaatetta noudattaen ja suora sijoittaminen vesijättö- ja suoalueille ovat esimerkkejä jälkimmäisestä.

Ruoppausmassojen sijoittamista koskevien ympäristöohjelmien tavoitteena on saada selville saasteiden kemialliset käyttäytymismallit sijoitusalueella sekä tiivistysrakenteiden tarve ja massan puhdistumis-/puhdistamismahdollisuudet. Tämän lisäksi on kiinnitetty erityistä huomiota näytteenotto- ja in-situ-tutkimusmenetelmiin saastuneisuuden luonteen ja laajuuden sekä geoteknisten ominaisuuksien selvittämiseksi. Koska geoteknisten ominaisuuksien parantaminen ja käsittelyveden minimointi on tärkeää uudelleenkäyttöä tai muuta sijoittamista ajatellen, pyritään kehittämään ruoppaus-, kuivatus- ja konsolidointimenetelmiä sekä epäedullisten aineiden erotusmenetelmiä. Seuraavassa esitetään yleiskatsaus Euroopan tilanteeseen sekä muutamia käytännön projekteja.

Nykytilanne

Euroopassa joudutaan ruoppaamaan massoja vuosittain 450...900 Mm³, mistä määrästä 25...30 % on saastunutta, tosin tästä vain pieni osa erittäin saastunutta. Esimerkiksi Hollannissa ruopataan vuosittain yli 45 Mm³ massoja.

Saastuneisuus muuttuu ajan kuluessa. Määräyksistä ja lainsäädännöstä johtuen tiettyjä saasteita ei enää synny. Vanhoista sedimenttikerroksista voi kuitenkin lähteä saasteita liikkeelle virtausten vaikutuksesta vuosien päästä niiden syntymisestä. Tietyn tyyppisten kontaminanttien avulla voidaan jäljittää muita ja asiantuntemusta käyttäen voidaan mallintamalla paikallistaa saasteiden esiintymisaluet. Esiintymämallit riippuvat virtausten suunnista ja pohjan topografiasta. Vain riittävän tarkkoilla tutkimuksilla voidaan laatia hyvä maamassojen sijoitusuunnitelma.

Eräs esimerkki tutkimusjärjestelyistä on esiselvitysprojekti Elburgin lähellä Hollannissa. Ruopattavan lietteen määräksi arvioitiin alustavien kenttätutkimusten perusteella 15 000 m³. Tarkempien kenttä- ja laboratoriotutkimusten perusteella päädyttiin 40 000 m³:iin. Tarkempien tutkimusten kustannukset olivat vain 30 % alustavien tutkimusten kustannuksista. Nähdään, että on tärkeää valita oikea tutkimusmäärä ja -taso, jonka perusteella on mahdollista luotettavasti todeta saastuneisuuden laatu ja laajuus.

Kenttätutkimukset

Kenttätutkimustekniikka kehittyy jatkuvasti. Häiriintymättömien tai anaerobisten näytteiden otto on vaikeaa. Nykyisissä näytteenottimissa on mahdollista järjestää näytteeseen luonnontilainen ympäröivä paine näytettä otettaessa ja nostettaessa. Erityisesti kaasujen purkautuminen näytteistä voidaan estää tällä tavoin. Myös muunlaisia näytteenottimia on olemassa ja kehitteillä. Taulukossa 1 esitetään nykyinen kehitystilanne. Mittauksia luonnontilaisissa lietteissä ei vielä voida tehdä, mutta se lienee mahdollista jo muutaman vuoden kuluttua.

Taulukko 1. Nykyinen ja tuleva In situ-tutkimustekniikka.

type of contamination	present testmethod
chlorated hydrocarbons	chemical analysis on site
polycyclic hydrocarbons	hydrocarbon probe lit [b]
fossil fuels	hydrocarbon probe lit [b]
macro chemical parameters:	chemical sounding probe,
ph	measuring pore water at in-
redox potential	termediate depth lit [c]
electrical conductivity	
Ka, Ca, Na, Cl, F, P, NO ₃	
gas in non saturated soils	gas probe lit [d]

Regressioanalyysellä käyttämällä voidaan minimoida kalliiden ja vaikeiden tutkimusten määrää. Paikalliset olosuhteet ja saastelähteet on kuitenkin tunnettava.

Saasteiden levinneisyyden selvittämiseksi voidaan apuvälineenä käyttää myös akustisia menetelmiä. Paikallisiin kairauksiin ja näytteenottoon perustuen kontaminanttien konsentraation muutosten mittaminen on mahdollista vesisyvyydestä ja lietteen sisältämän kaasun määrästä riippuen.

Puhdistusstrategiat

Toimenpiteet, joita tällä hetkellä käytetään, voidaan luokitella seuraavasti:

- ei toimenpiteitä, nolla-menetelmä
- läjittäminen
- käsittely

Nollamenetelmä

Kun käsittelytoimenpiteitä ei tehdä, joudutaan kahteen eri vaihtoehtoon. Ensimmäisessä ei todellakaan tehdä mitään ja liete jätetään ruoppauspaikan läheisyyteen. Tätä ratkaisua voidaan käyttää vain, mikäli paikka ei sijaitse vesireitillä tai virtapaikoilla. Tapaa suositellaan käytettäväksi vain vähän saastuneille massoille tai massoille, joiden raerungon uudelleen kiinteytyminen on nopeampaa kuin kontaminanttien liukekennemishopeus massasta. Toinen tapa on ruopata ja läjittää massa kauemmaksi laajalle alueelle. Tapaa voidaan käyttää vain puhtaille tai vähän saastuneille massoille. Esimerkkinä tämän tyyppiselle sijoittamiselle on suurten massamäärien läjitys Rotterdamin satama-alueelta Pohjan-mereen. Muuta sopivaa menetelmää ei ollut käytävissä eikä haittaa ympäristölle todettu koituvan.

Sijoittaminen välivarastoon

Nykyiset ratkaisut perustuvat suurten välivarastojen rakentamiseen. Materiaali sijoitetaan sellaisille alueille, johon se voidaan varastoida erilleen muusta ympäristöstä ja vaikutuksia voidaan helposti kontrolloida. Taulukossa 2 on esitetty eräiden suurten eurooppalaisten ruoppausmassojen läjitysalueiden mitat ja saastuneisuusaste.

Taulukko 2. Eurooppalaisia ruoppausmassojen läjitysalueita

Depot	Size [m ³]	Depth [m below MSL]	Height [m above MSL]	Degree of contamina tion
Slufter Rotterdam	90 * 10 ⁶	28	22	medium
Papegaaielbek Rotter- dam	90 * 10 ⁴	- 4,50	+ 8,80	heavy
Metha Bremen	12 * 10 ⁶	- 5	25	medium
Zelzate Antwerpen	12 * 10 ⁵	18	3	heavy

Kontaminantit sitoutuvat yleensä savi- ja siltipartikkeleihin. Mikäli ruoppausmassat sisältävät suuria määriä hiekkaa, voidaan varastoitavien massojen määrää vähentää erottamalla hiekka siltti- ja saviaineksesta.

Rotterdamin kaupunki suoritti kokeiluja sedimentoitumisaltaiden avulla. Hiekkapartikkelit laskeutuvat kuljetinputken ulostuloaukon läheisyyteen, kun taas savi- ja siltipartikkelit laskeutuvat altaan reunojen läheisyyteen. Erottamistoimenpiteiden taloudellisuuteen vaikuttaa oleellisesti massan sisältämän hiekan määrä. Rotterdamin tapauksessa taloudellisuusraja oli min. 50 % < 0,063 mm rakeita. Erottamisprosessin tuloksena kontaminantit saadaan konsentroitumaan penempään tilaan, jolloin läjitysalueen sisäinen saastekuormitus kasvaa. Suuri hienoaainespitoisuus vähentää massan vedenläpäisevyyttä hidastaen läjitettävän massan konsolidoitumista mutta samalla hidastaen ja ilmeisesti myös vähentäen saasteiden leviämistä ympäristöön. Asian varmistamiseksi vaaditaan kuitenkin yksityiskohtainen tutkimus. Konsolidoitumisnopeuden tunteminen on tärkeää lisätäytötkapasiteettia arvioitaessa sekä massasta poistuvien vesien määrän

arvioinnissa. Ko. saastunut vesi täytyy puhdistaa. Pitkällä tähtäimellä tiedot ovat tärkeitä myös alueen jatkokäyttöä suunniteltaessa.

Ruoppausmassa, joka sisältää yli 90 % vettä, konsolidoituu omasta painostaan. Prosesin yhteydessä tapahtuvat muodonmuutokset ovat suuria ja ruoppausmassan mekaaniset ominaisuudet muuttuvat merkittävästi. Tämänhetkisten olosuhteiden luonnehdintaan on käytetty kahta eri matemaattista mallia. Ensimmäinen tietokonemalli S1IB, jonka on kehittänyt Rotterdamin kaupunki, perustuu Terzaghin epälineaariseen jännitys-muodonmuutosteoriaan eri maalajeilla. Mallin toimivuus testattiin omaan painoon perustavilla kuormitus-kokonpuristumiskokeilla. Toisen mallin, FSCONSBAG, kehitti Delft Geotechnics Hollannin kuljetus- ja vesitieministeriölle. Se perustuu Gipsonin 1981 kehittämään Finite Strain-teoriaan. Tämän mallin toimivuus testattiin myös laboratorio-kokein. Rotterdammassa sijaitsevalle alueelle (Slufter) on läjitetty liejuisia massoja 20 m kerrokseksi, keskimääräisen tilavuuspainon ollessa 1,14 tn/ m³. Tietokoneimalleilla saadut tulokset poikkeavat mitatuista. Niiden mukaan painumien pitäisi olla mitattua vähäisemmät. On selvää, että tilavuuspainon luotettava määrittäminen on erittäin vaikeaa varsinkin liejun vedenalaisista osista. Parametrien mittamiseen varsinkin konsolidaatioprosessin alkuvaiheessa tulee kiinnittää erityistä huomiota samoin kuin kaasujen vaikutukseen konsolidaatioprosessissa.

Bremenissä toteutetussa Metha-projektissa käytettiin kaksitasoista sykloonia hiekan erottamiseksi siltistä. Siltti on tiivistetty eräänlaista puristustekniikkaa käyttäen tehottamalla tiivistymistä anionisilla ja kationisilla flokkulanteilla. Tiivistynyt massa on tämän jälkeen ajettu läjitysalueelle. Osa erotetusta hiekasta on käytetty vettäjohtavien kerrosten rakentamiseen läjitetyn silttimassan sisään.

Suotautumista ja virtaussuuntia on pyritty selvittämään tarkoin. Diffuusionopeus on määritetty konsentraatioerosta massan sisällä ja ulkona sekä suotautumisvastusta (osatekijöinä diffuusiokerroin, kulkureitin mutkikkuus ja adsorptioprosessit huokostilan pinnoilla). Virtausnopeutta voidaan rajoittaa alentamalla hydraulista gradienttia, mikä on suunnittelussa huomioonotettava tekijä. Läjitysmassojen sijoittaminen keskiveden tai pohjaveden pinnan alapuolelle vähentää hydraulista gradienttia kun taas sijoittaminen niiden yläpuolelle lisää saastuneiden vesien kulkeutumista. Läjitysalueen vedenpinta voidaan myös laskea ympäröivän veden alapuolelle tilanteen parantamiseksi.

Myös eristysrakenteita käytetään usein kontaminanttien eristämiseksi ympäristöstä. Rakenteet voivat olla jäykkiä tai taipuisia ja niiden eristysteho voi olla korkea tai matala. Eristämistarkoituksiin voidaan käyttää mm. seuraavia materiaaleja:

- inertit materiaalit kuten betoni, lasi, liuskekivi
- itsestään korjautuvat materiaalit
- materiaalit jotka adsorboivat epäpuhtauksia; materiaalit jarruttavat diffuusioprosessiatietyn ajan, kunnes eristysrakenne on kyllästynyt tietylle konsentraatioasteelle.
- muovikalvot; yleisimmin käytetyt muovit ovat apolaarisia, niiden huokoisuus on hyvin pieni ja niiden diffuusiokerroin hyvin alhainen. Nämä muovit voivat myös adsorboida apolaarisia (orgaanisia) kontaminantteja. Apolaaristen ja polaaristen muovien yhdistelmät voivat vähentää ja hidastaa sekä orgaanisten kontaminanttien että raskasmetallien diffuusiota. Taulukossa 3 on esitetty ruoppausmassojen läjityspaikan kustannusvaikutukset eri tilanteissa, kun läjitysalue on rakennettu veteen saareksi.

Taulukko 3. Ruoppausmassojen läjityspaikan kustannusvaikutukset.

	advection or diffusion	costs
no measures	100 %	
storing in depot	5 %	100 %
no hydraulic gradients	1 %	110 %
additional sealings	0,1 %	300 %

Kun valitaan saastuneiden ruoppausmassojen sijoituspaikkaa, tuijotetaan yleensä vain lyhytaikaisiin vaikutuksiin. Kuitenkin, pitkäaikaisten vaikutusten huomioonottaminen on vähintään yhtä tärkeää.

Käsittelymenetelmät

Tällä hetkellä käytetään kolmea päämenetelmää saastuneiden maiden puhdistamiseen ja ruoppausmassojen käsittelyyn on niiden pohjalta kehitetty eräitä sovelluksia:

- kemiallinen käsittely
- polttokäsittely
- biologinen käsittely

Kemialliset puhdistustekniikat voidaan jakaa kahteen pääryhmään: orgaanisten epäpuhtauksien oksidointi ja epäorgaanisten ja/tai orgaanisten epäpuhtauksien erottaminen. Orgaanisten kontaminanttien oksidointi voidaan toteuttaa sekoittamalla saastuneeseen maahan sopivaa hapetinta, esim. peroksidia. Mikäli tämä menetelmä ei johda riittävään lopputulokseen, joudutaan lisäksi käyttämään jotakin erottamismenetelmää. Erottamistekniikassa on kolme eri vaihetta:

- a) Erottavan aineen sekoittaminen saastuneeseen maahan
- b) Erottavan aineen ja puhtaiden maaraideiden erottaminen toisistaan
- c) Erottavan aineen pudistuskäsittely

Erottustekniikassa on kasi irroitusmekanismia. Toisen tarkoituksena on sitoa kontaminantit suoraan erottavaan aineeseen, toinen pyrkii hajoittamaan kontaminantit ja sitomaan ne dispersion avulla erottavaan kemikaaliin.

Oksidointia ja erottamistekniikkaa voidaan käyttää sekä kaivetuille massoille että in situ-käsittelyssä ottaen kuitenkin huomioon, että dispersiotekniikkaa ei voi käyttää in situ-käsittelyssä. Tämänhetkisen tiedon mukaan kemiallista puhdistamista voidaan käyttää vain hiekkamaille, joiden savi- ja humuspitoisuus on alle 10...15 %. Kemiallisten menetelmien kehitystyö saastuneiden lietteiden puhdistamiseksi on käynnissä.

Polttokäsittely

Polttomenetelmää käytetään jatkuvasti orgaanisten epäpuhtauksien poistamiseksi. Orgaaniset yhdisteet saatetaan ensin kaasumaiseen muotoon. Sen jälkeen kaasumaiset

yhdisteet tuhotaan täydellisesti polttokäsittelyn avulla. Lietteen polttaminen suoraan pyörivässä polttouunissa on yleisimmin käytetty menetelmä. Myös ns. petipolttoa tai infrapuna-lämpökäsittelyä voidaan käyttää.

Polttomenetelmä soveltuu kaikkien orgaanisten kontaminanttien poistamiseen, mutta lämpötilalla on suuri merkitys menetelmän tehoon. Todellisuudessa polttomenetelmää käytetään lähinnä sellaisille maamassoille, jotka ovat saastuneet ei-halogeenisillä orgaanisilla yhdisteillä. Polttokäsittelyä ei kuitenkaan usein käytetä ruoppausmassojen puhdistamiseen, koska ne ovat yleensä saastuneet sekä orgaanisilla että epäorgaanisilla kontaminanteilla. Useimpia epäorgaanisia yhdisteitä ei voida poistaa polttamalla. Lisäksi energian tarve on suuri ruoppausmassojen sisältämän suuren vesipitoisuuden vuoksi.

Sulattaminen/sintraaminen ei ole yleistä Euroopassa korkeiden kustannusten vuoksi.

Biologinen käsittely

Saastuneiden maa-ainesten biologinen käsittely on yleistä Hollannissa, erityisesti öljyisten maiden kohdalla. Biologinen puhdistaminen perustuu tehostettuun tuulettamiseen yhdistettynä biologiseen hajottamiseen luonnontilaisen tai maaperään lisätyn mikro-organismikannan avulla. Tuloksena on vettä ja hiilidioksidia. Tätä menetelmää voidaan käyttää sekä kaivetuille ja läjitetyille maamassoille että in situ-menetelmänä. Käyttöä rajoittavina tekijöinä on kuitenkin yleensä maamateriaalin huono ilman- ja vedenläpäisevyys sekä hajoamattomien orgaanisten yhdisteiden ja raskasmetallien esiintyminen. Menetelmiä koskevat standardit ovat kuitenkin tiukentumassa ja biologisten menetelmien tulevaisuus on epävarma pitkällä tähtäimellä. Saattaa olla, että biohajottamisen toimivuus tulee jatkossa osoittaa laboratoriokokein.

Geotechnical Considerations in Dredged Material Management

Marian Poindexter Rollings

USAE Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA

Johdanto

Ruoppausmenetelmä ja massojen sijoitustapa vaikuttavat ruoppausmassojen ominaisuuksiin. Niiden sisältämät epäpuhtaudet asettavat ehtoja niiden jatkokäytölle. Useiden ylijäämämaiden geoteknisiä ominaisuuksia voidaan parantaa järkevällä käsittelyllä ja saada hyötykäyttökelpoista materiaalia mitä erilaisimpiin maarakentamistarkoituksiin, kuten maisemointiin, puistorakentamiseen, maatalouteen, satamiin, lentokentille ja teollisuusalueille.

Ruoppausmassoja ei pidetä jätteenä nykyisessä USA:n ympäristölainsäädännössä, esim. Resource Conservation and Recovery Act:issa 1976. Asennoituminen ruoppausmassoihin luonnonvarana ei ole ollut aina suosiossa. Niinkin myöhään kuin 1970-luvun alkupuolella ruopattua materiaalia kutsuttiin "ruoppausjätteeksi" ja materiaalia luonnehdittiin "liejuksi". Materiaali läjitettiin yleensä vesiteiden varsiin vesilintujen, käärmeiden ja moskiittojen oleskelupaikoiksi. Menneinä aikoina ruoppausmassoja on

käytetty kyllä myös rakennusmateriaalina (esim. Hollannin lukuisissa maarakennusprojekteissa, San Fransiscon kansainvälisen lentokentän ja Melbournen sataman rakentamiseen), mutta nämä ovat olleet poikkeuksia. Nykyään ruoppausmassojen merkitystä geoteknisenä resurssina ei enää voida jättää ilman huomiota.

Lukuisten 1970-luvulla toteutettujen tutkimusprojektien tuloksena tietämys ruoppausmassojen käsittelystä, sijoittamisesta ja hyötykäytöstä on lisääntynyt merkittävästi. Maailmanlaajuisesti alalta on runsaasti tietoa hyötykäytön tehoistamiseksi, mutta tietoa ei ole aina sovellettu riittävästi käytäntöön.

Maailmassa ruopataan vuosittain suunnattomia määriä massoja. Yksitään U.S. Corps of Engineersin kohteissa syntyy massoja yli 350 miljoonaa m³/v. Kohteet vaihtelevat uudisrakentamisesta väylien ylläpitoon ja sijaitsevat sekä suolaisissa että makeissa vesissä. Ruopattavan materiaalin laatu vaihtelee pehmeistä savista louheeseen. Jotkut materiaaleista ovat saastuneita, vaikka noin 90 % onkin puhtaita.

Ruoppausmassojen sijoittamista valmisteltaessa törmätään moniin tahoihin niin maanomistuksen kuin lainsäädännönkin osalta. Usein jää kuitenkin geotekniikan asiantuntijoiden ja ympäristöinsinöörien panos hyvin vähäiseksi.

Materiaaliominaisuudet

Ruoppausmassojen geoteknisiin ominaisuuksiin vaikuttaa luonnon olosuhteiden lisäksi ruoppaustekniikka sekä sedimentoitumis-, konsolidoitumis- ja kuivumisaika. Taulukossa 1 kuvataan materiaalityyppejä ja alkuolosuhteita, jotka on mitattu yleensä välittömästi ruoppaamisen ja sijoittamisen jälkeen, kun massat sijoitetaan veteen.

Taulukko 1. Sedimenttityypit ja ruoppausolosuhteet erilaisia ruoppaustekniikoita käytettäessä.

<u>Type of Dredge</u>	<u>Sediment Type</u>	<u>Range of Void Ratio</u>	<u>Side Slopes (if Mounded)</u>
Hydraulic Pipeline Cutterhead	clay, silt, sand, gravel, soft rock	7-18	0.36V:100H (max) for fine-grained soil; otherwise, angle of repose
Dustpan	sand, gravel	same as insitu or slightly higher	Discrete mound
Hopper	clay, silt	15-18	0.5V:100H (max)
Dipper	stiff clay, rock, shell, coral	same as insitu	Discrete mound
Ladder	coarse-grained material	same as insitu	Discrete mound
Clamshell			
Bucket	clay, silt, sand	same as insitu	1.0V:100H to 3.5V:100H
Orange-peel	rock	same as insitu	Discrete mound

Vaihtelussa ruopatun materiaalin tilavuuden pienentymisnopeudessa voi olla suuria eroja kuten Taulukon 2 esimerkissä hydraulisesti ruopatuilla massoilla nähdään.

Taulukko 2. Tyypillisiä tilavuuden muutosnopeuksia hydraulisesti ruopatuilla massoilla.

Location	Material Type	Property	Time of Measurement			
			Insitu	At Deposition	180 Days	720 Days
Mobile, AL (w/o desiccation)	CH	void ratio	5.65	10.00	7.98	4.16
		volume	0.60	1.00	0.82	0.47
Mobile, AL (w/ desiccation)	CH	void ratio	5.65	10.00	7.98	2.90
		volume	0.60	1.00	0.82	0.35
Charleston, SC	CH	void ratio	na	12.15	7.61	6.82
		volume	na	1.00	0.65	0.59
Norfolk, VA	CH	void ratio	6.86	10.50	6.04	6.04
		volume	0.68	1.00	0.61	0.61
Bridgeport, CT	OH	void ratio	6.47	8.50	5.89	5.43
		volume	0.79	1.00	0.72	0.68
Indiana Harbor, IL	CH	void ratio	2.37	10.00	3.88	3.53
		volume	0.33	1.00	0.44	0.41
Seattle, WA (clamshell dredged w/ 120# surcharge)	CH	void ratio	2.25	2.60	1.96	1.96
		volume	0.90	1.00	0.82	0.82

Ruoppaustavan valintaan vaikuttaa mm. ruopattavan materiaalin geotekniset ominaisuudet ja massamäärät sekä tietenkin saatavilla oleva kalusto ja kapasiteetti, ruoppaus- ja sijoittamisolosuhteet, massojen saastuneisuus ja kustannukset. Eräitä tyypillisiä läjitettyjen ruoppausmassojen ominaisuuksia on esitetty Taulukossa 3. Kokoonpuristuvuus on sitä suurempi mitä suurempi on massan vesipitoisuus. Kuvassa 1 on vertailtu ruoppausmassojen kokoonpuristuvuutta. Suuri kokoonpuristuvuus ja suuret painumat merkitsevät suurta vedenläpäisevyyttä, joka voi vaihdella kuitenkin suuresti.

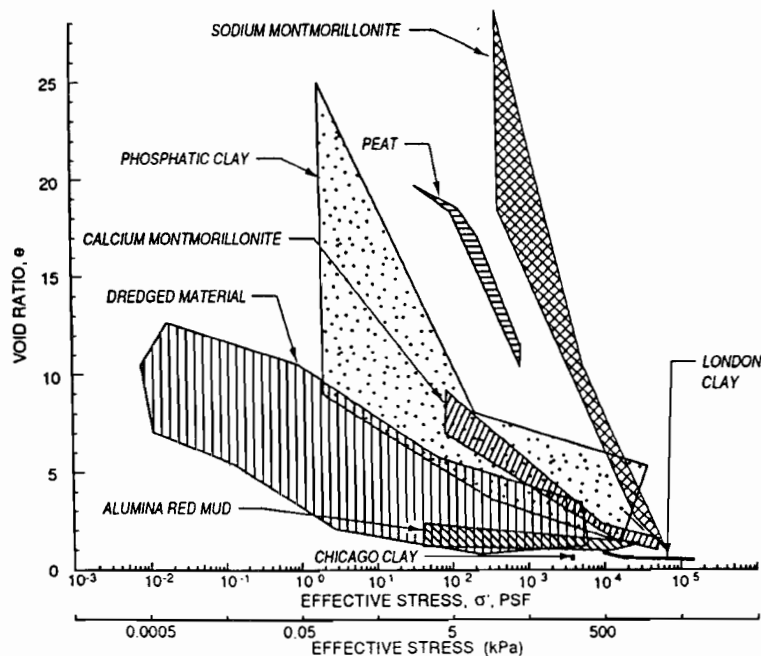
Tekniset ominaisuudet

Koska suljetut käsittelylaitokset (CDF=confined disposal facilities) pyrkivät maksimoimaan varastointikapasiteetin, on seurauksena tyypillisesti ruoppausmassojen sedimentoitumista, omasta painosta johtuvaa konsolidoitumista, kuivumista sekä konsolidoitumisen kiihtymistä kuivakuoren muodostumisesta johtuen. Sedimentoitumis- ja konsolidoitumisprosesseja on tutkittu, kuvattu teoreettisesti ja mallinnettu analyytisesti. Kuivakuoren muodostumista on tutkittu lähinnä kokemukseräisesti. Ruopatun materiaalin kuivuminen, halkeilu ja kutistuminen johtaa kuivakuoren muodostumiseen, mikä pitäisi pystyä täysin selittämään osittain vedelläkylästyneiden maiden mekaniikan pohjalta, erityisesti keskittyen maan imuominaisuuteen (soil suction). Kriittinen tekijä koko ilmiölle on huokosveden kemiallinen koostumus.

Kaksi tekijää sedimenttien luonnehdinnassa ovat osoittautuneet ongelmallisiksi ruoppausta suunniteltaessa: vesireitin "pohjan" määrittäminen sekä saven paakkuuntumisen ennustaminen. Materiaali muuttuu tietyssä tasossa lähellä pohjaa vedestä nestemäiseksi liejuksi ja edelleen niin kiinteäksi, että alukset eivät voi enää ko. syvyydellä liikua. Euroopassa ja Amerikassa suoritettujen tutkimusten mukaan tällä tasolla maan aineksen tilavuuspaino on usein 1,2 t/m³. Tekniikoita "pohjan" alapuolisten maakerrosten laadun selvittämiseksi sekä ennen ruoppausta että ruoppauksen jälkeen kehite-

Taulukko 3. Tyypillisiä pehmeiden maalajien ominaisuuksia.

Material Type	Engineering Properties				
	w _c , %	G _c	LL	PI	Shear Strength (kPa)
Dredged Material	50-400	2.4-2.8	0-270	0-185	0-50
Marsh/organic soil	100-500	1.7-2.5	50-200	100-165	< 4
Peat	100-1,800	1.5-1.75	250-500	150-400	< 4
Phosphatic clay	300-1,000	2.5-2.9	76-245	45-175	< 1
London clay	20-40	2.71	65-95	35-65	50-500
Norwegian marine clay	18-45	2.77	20-44	4-23	3-50
Boston blue clay	32-42	2.78	40-52	18-32	40-80
Mexico City clay	100-550	2.35	150-500	100-400	25-175
Coode Island silt, Australia	23-130	2.4	37-90	20-53	7-120
Alumina red muds	55-65	2.8-3.3	42-46	7-39	na
Pulp & paper wastes	210-265	1.9-2.3	70-413	40-380	< 7
Fly ash, type F	~ 50	2.1-2.5	—	NP	pozzolanic



Kuva 1. Pehmeiden maalajien kokoonpuristuvuuksia.

tään parhaillaan. Tarkoituksena on saada aikaan laitteisto, joka tulostaa maalajitietojen lisäksi sopivan ruoppausmenetelmän ja laskee ruopattajien massojen määrän. Savipohjaisilla alueilla ruopattaessa savi pyrkii joskus paakkuuntumaan, mitä ei ole etukäteen varmuudella ennustettavissa. Uusissa laitteissa savipaakut voidaan pakottaa putkiston läpi. Kuitenkin tutkimusten mukaan Atterbergin konsistenssirajoja voidaan käyttää paakkuuntumisherkkyyttä arvioitaessa. Kun meneillään oleva tutkimustyö valmistuu 1994, toivotaan, että ruopattavan materiaalin ominaisuuksia voidaan kuvata paremmin, jotta urakoitsijoiden lisälaskuvaatimuksia "muuttuneisiin olosuhteisiin" vedoten voidaan minimoida. Ruoppaustyön olosuhdetekijöiden arvioimiseksi on kehitetty erityinen tietokoneavusteinen asiantuntijajärjestelmä.

Tilavuudenmuutuskertoimet ovat olleet ruoppausteollisuuden perinteiset keinot sedimenttien alku- ja lopputilavuuden määrittämisessä. Nykyaikaisen geoteknisen tutkimustyön tuloksena on kuitenkin kehitetty sopivampia ja monipuolisempia menetelmiä, jotka tekevät tilavuudenmuutuskertoimien käytön yhtä tarpeettomaksi kuin yli neljännesvuosisata sitten käytetyt kokemuseräiset paalukaavat. Kertoimien käyttäminen 1990-luvun geoteknisissä analyyseissä on artikkelin kirjoittajan mielestä harppaus taaksepäin. Nykyisen korkealaatuisen laboratoriotekniikan ja analyyttisen mallintamisen aikakaudella voidaan tilavuudenmuutuskertoimien käyttöä kuvata todellisen erään

USA:ssa toteutetun projektin avulla. Suuressa rakennusprojektissa \$60 miljoonaa oli laskettu kuluvan seuraavien ruopattavien massojen käsittelyyn ja sijoittamiseen:

- noin 450 000 m³ voimakkaasti saastunutta pehmeää pohjasedimenttiä
- noin 500 000 m³ orgaanista savi- ja hiekkapitoista silttiä
- noin 900 000 m³ soraista silttiä
- noin 700 000 m³ tiiviistä kovaa savea ja savista silttiä

Laskennassa käytettiin *tilavuudenmuutuskertoimia* tilavuuden lisääntymisen määrittämisessä. Laskettua tilavuutta käytettiin massojen käsittely- ja sijoittamisalueen kokoa arvioitaessa. Huomattavia säästöjä olisi kuitenkin ollut saavutettavissa tekemällä laboratorioselvitykset ja käyttämällä analyyttistä mallinnusta, joiden kustannukset ovat häviävän pieni osa kokonaiskuluista.

Kontaminantit

Vaikka ruopattavat massat ovatkin luonnon maalajeja tai niiden sekoituksia, ne sisältävät toisinaan saasteita, jotka ovat yleensä peräisin maataloudesta, kaupunkien toiminnoista ja teollisuudesta. Maatalouden saasteet ovat yleensä lannoitteiden tai tuholaismyrkköjen jätteitä. Teollisuuden tyypillisiä saasteita ovat myrkylliset metallit, orgaaniset halogeenit (PCB), petrokemian sivutuotteet, ylijäämälannoitteet ja haitalliset mikrobit. Saastuneisuustasojen vaihtelu on suuri. Taulukossa 4 on esitetty kontaminanttipitoisuudet kahdessa eri ruoppausmassassa USA:ssa sekä vertailuna USEPA:n hyväksymät maksimiarvot jätevesilietteilille (koska erityisiä rajoja ei ruoppausmassoille ole asetettu). Vertailun vuoksi on Taulukossa 5 esitetty 30 Saksan sedimentin raskasmetallipitoisuudet. Sedimenteille on tehtävä kemialliset ja biologiset selvitykset ennen ruoppausta ja mikäli kontaminantteja esiintyy, on suunniteltava huolellisesti ruoppaustapa, massojen jatkokäsittely ja sijoittaminen.

Taulukko 4. Kontaminanttitasot kahdessa eri sedimentissä (mg/kg kuiva-ainesta),

Contaminant	Indiana Harbor	Lake Michigan	EPA Max
Total PCB	7.39	0.41	
Total PAH	3229	9.4	
Cadmium	20	0.4	15
Copper	ND	43	1000
Lead	879	43	1000
Mercury	0.5	<0.1	10
Zinc	4125	98	2000

Taulukko 5. Raskasmetallipitoisuus saksalaisissa sedimenteissä.

Metal	Range (mg/kg dry material)
Arsenic	50 - 150
Lead	150 - 250
Cadmium	7 - 25
Chromium	150 - 300
Copper	250 - 600
Manganese	1200 - 1800
Nickel	50 - 100
Mercury	10 - 20
Zinc	1500 - 2500

Käsittely- ja sijoitusalueet

Ennen ruoppausta tulee tehdä laskelmia läjitettävän massakerroksen korotusnopeudesta ottaen huomioon konsolidoituminen ja kuivuminen. Laskelmien tekeminen vedenalaisille sijoituspaikolle on harvinaisempaa. Maksimaalinen konsolidaatiosta johtuva tilavuuden pieneneminen vedenalaisissa läjityksissä on todettu olevan noin 67 %.

Terzaghin 1-D-konsolidaatioteoria on täysin riittämätön käsittelemään hyvin pehmeiden hienorakeisten maiden konsolidaatiota (kokoonpuristumat yli 50 % alkuperäisestä korkeudesta). Sen sijaan elementtimenetelmä on sopiva tapa lähestyä ongelmaa. Yleisimpiä ja vähiten rajoittavia primaarisen konsolidaation laskentamenetelmiä ovat laatineet Gipson, England ja Hussey, joita on täydennettynä sovellettu monenlaisissa ruoppausmassojen ja pehmeiden maakerrosten painumalaskelmissa. Nämä mallit ottavat konsolidaation lisäksi huomioon kuivumisesta johtuvan kutistumisen. Sekundaarista kokoonpuristumista (joka voi olla huomattava tämän tyyppisissä paksuissa pehmeissä kerroksissa) ei ole teoreettisesti määritetty, mutta se on otettu epäsuorasti huomioon kokemusperäisissä kuivumismalleissa. Viimeisin versio tällaisesta finiittimuodonmuutosmallista (konsolidaatio/kuivuminen), johon syötetään tyypilliset lähtöarvot, on The Corps of Engineers'in mikrotietokoneohjelmisto Automated Dredging and Disposal Area Management System (ADDAMS). sen avulla voidaan laatia ruoppausuunnitelma ja ruoppausmassojen sijoittamissuunnitelma.

Analyttisen mallintamisen tehoa voidaan kuvata Corps of Engineerin projektissa Craney Islandin läjitys- ja käsittelyalueella Norfolkissa. Pinta-alaltaan 2 500 eekkerin (noin 1 100 ha) alue ottaa vastaan noin 4 miljoonaa m³ ruoppausmassoja vuosittain ja monien vuosien ajan massa vain yksinkertaisesti kipattiin alueelle. Käytettävissä oleva tila hupeni nopeammin kuin odotettiin. USAE Waterways Experiment Station (WES) suoritti joukon analyttisiä mallinuksia, joiden perusteella koko alue jaettiin kolmeen osa-alueeseen. Kullekin alueelle ajettiin vuorotellen massoja yhden vuoden ajan ja annettiin tämän jälkeen konsolidoitua kaksi vuotta sillä aikaa kun muita osa-alueita täytettiin. Asiantuntemusta käyttäen pystytään ko. menettelyllä lisäämään alueen toiminta-aikaa 17 vuodella eli kasinkertaistamaan jäljelläoleva toiminta-aika. Lisäksi materiaali kuivaa aikaisempaa nopeammin ja on hyödynnettävissä muualla rakennustöissä nopeammin kuin entistä menetelmää käytettäessä, mitä ei edellä olevassa aika-arviossa ole otettu huomioon.

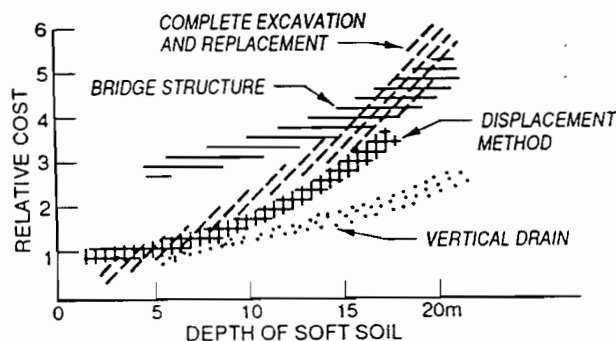
Olosuhteissa, joissa on läjitettävä ja käsiteltävä saastuneita ruoppausmassoja, voidaan joutua käyttämään muita käsittelytekniikoita ympäristön suojaamiseksi. Kun saastuneita sedimenttejä sijoitetaan suljetuille vastaanotto- ja käsittelyalueille, mahdolliset saasteiden poiskulkeutumisreitit tulee tukkia tai kulku tulee minimoida sopivaa tekniikkaa käyttäen. Ympäristövaikutuksia tulee tarkkailla koko läjitys- käsittely- ja varastointitoiminnan ajan. Tarvittavat toimenpiteet kussakin vaiheessa vaihtelevat riippuen alueen sijainnista (ylävä kuiva maa, vesistön läheisyys jne.).

Pohjanvahvistusmenetelmien käyttö

Oikealla tavalla käsiteltyä ruoppausmateriaalia voidaan käyttää maarakentamiseen, mikäli materiaalilla on riittävä leikkauslujuus ja kantavuus. Nykyään on käytettävissä useita pohjanvahvistusmenetelmiä ja laitteita massojen ominaisuuksien parantamiseksi. Monia niistä voidaan käyttää myös ruoppausmassojen käsittelemiseen (Taulukko 6). Menetelmien kustannukset vaihtelevat ruotsalaisten mukaan Kuvan 2 mukaisesti.

Taulukko 6. Ruoppausmassojen käsittelyyn soveltuvia pohjanvahvistusmenetelmiä.

Method	Most Suitable Soil Conditions/Types	Maximum Effective Treatment Depth	Economical Size of Treated Area
Surface Trenching	Soft, fine-grained	2-3 m	>50,000 m ²
Preload, Surcharge	Fine-grained	--	>1000 m ²
Vertical Drains	Fine-grained	30 m	Small to moderate
Deep Dynamic Compaction	Cohesionless	15-18 m	>3400 m ²
Vibro- Compaction	Cohesionless	27 m	>1000 m ²
Vibro-Replacement	loose sandy; partly saturated clayey soils; loess	18 m	Small to moderate



Kuva 2. Pohjanvahvistusmenetelmien suhteelliset kustannukset.

Käsittelyn avulla vähennetään materiaalin vesipitoisuutta, nopeutetaan konsolidaatiota ja/tai tiivistymistä yleensä sekä parannetaan leikkauslujuutta. Runsaan vesipitoisuuden ja massan pehmeiden vuoksi tarvitaan usein esikäsittelyä, jotta massa voidaan myöhemmin käsitellä varsinaisilla pohjanvahvistusmenetelmillä. U.S. Army Corps of Engineers ja fosfaattiteollisuus ovat käyttäneet "progressiivista pintaohjintekniikkaa" siten, että aluksi alueelle on tehty matalat ojat, joita on vähitellen syvennetty sitä mukaa kun massan leikkauslujuus pintaosan kuivumisen ansiosta lisääntyy. Riittävän lujuutuksen tapahtuttua massa käsitellään kohteeseen sopivalla pohjanvahvistusmenetelmällä. Menettelyä ei kuitenkaan yleensä käytetä kalleutensa vuoksi muutoin kuin

silloin, kun ruoppausmassatalous liittyy jollakin tavoin johonkin muuhun rakennushankkeeseen, esim. satama-, lentokenttä, tai teollisuusprojektiin, joka kustantaa pohjanvahvistustyöt. Yleisin menetelmä hienorakeisten ruoppausmassojen käsittelyssä on liuskapystyöjitus ja esikuormitusperger. Karkearakeisten massojen käsittelyyn käytetään syvätiivistystä. Esimerkkinä liuskapystyöjituksen ja esikuormituksen käytöstä on projekti, jossa Marylandin satamasta Baltimoressa siirrettiin noin 2,6 miljoonaa m³ maamassoja Fort McHenryn tunnelin rakentamisen yhteydessä. Menetelmän ansiosta massojen konsolidointiin vaadittava aika lyheni 20 vuodesta 9 kuukauteen. Käsittelyn alueen päälle rakennettiin Seagirt Marine-satamakonttiterminaali, jonka tulee kestää suuria kuormia. Esimerkkinä syvätiivistyksestä on projekti, jossa menetelmää käytettiin menestyksellisesti ruopatun silttisen hiekan vahvistamiseen Columbus'in sataman rakentamisen yhteydessä Mississippissä. Koska maan arvo nousee jatkuvasti ja koska joutomaille joudutaan lisääntyvässä määrin rakentamaan, pohjanvahvistusmenetelmien käyttö myös ruoppaus- ja kaivumassojen lujittamisessa tulee lisääntymään.

Hyötykäyttökohteita

Yhdysvaltojen lainsäädäntö edellyttää nykyisin, että ruoppausorganisaatioiden tulee antaa täydellinen ja yhtäläinen selonteko kaikista mahdollisista hyötykäyttövaihtoehdosista. Käyttökohteita voivat olla perinteisen täytön lisäksi mm. kasvualustat, maatalous (sisältäen metsät ja koristekasvit), avolouhosten kunnostaminen, kaatopaikkojen peittäminen, rantarakentaminen ja eroosiosuojaus. Ehdotuksia ruoppausmassojen käsittelemiseksi kemiallisesti tai polttamalla kevytmateriaaliksi on myös tehty, mutta laajamittaisia kokeiluja ei ole tehty. Jokaisessa hyötykäyttösuunnitelmassa tulee selvittää ruopattavan materiaalin sopivuus fysikaalisten, kemiallisten ja logististen (projektin suuruus ja aikataulu sekä alueen vastaanottokyky) tekijöiden osalta. Ohjeita ja esimerkkejä ruoppausmassojen hyödyntämiseksi on esitetty julkaisussa: USACE. 1986 "Benifical Uses of Dredged Material", Engineering Manual 110-2-50-25; Office, Chief of Engineers, Washington, D.C.

Ruoppausmassat ovat arvokas materiaali - ei jäte - ja niitä tulee aina hyödyntää, mikäli mahdollista.

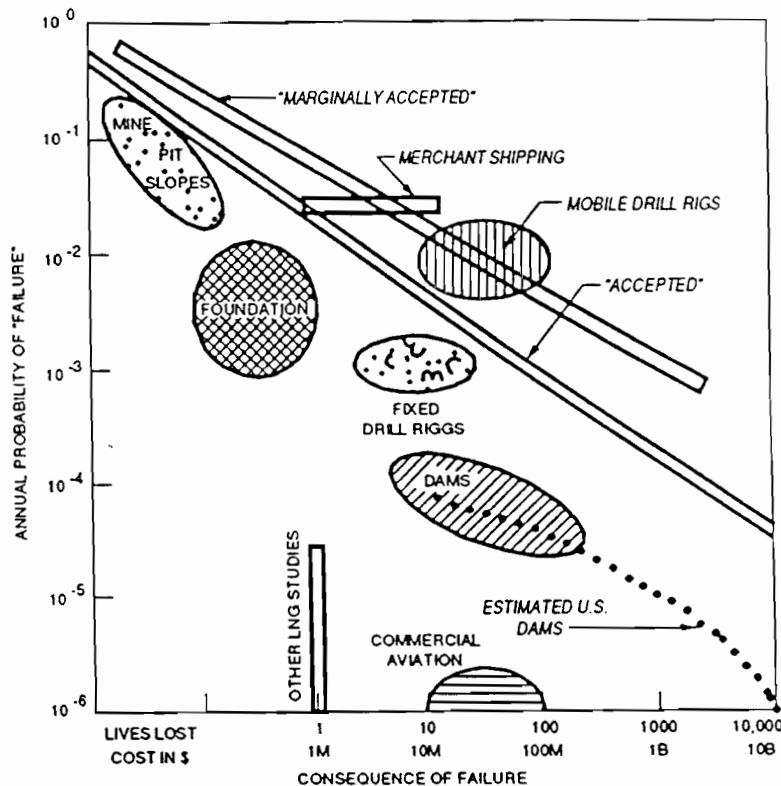
Riskien arviointi

Riskiarviointi tapahtuu nykyään geotekniikassa todennäköisyyslaskentaa käyttäen niin sortumariskien kuin rakennekokonaisuuden toiminnan luotettavuuden suhteen. Sen sijaan USEPA:n (U.S. Environmental Protection Agency) asiakirjoissa vaaditaan riskien arvioinnin ulottamista ihmisten terveyteen ja muihin ympäristötekijöihin eikä niissä puhuta mitään todennäköisyysanalyyseistä.

Todennäköisyyteen perustuvissa arvioinneissa tarvitaan parametrejä, joilla on tietyn tason luotettavuus. Monien ruoppausmassojen ominaisuuksiin liittyvien tekijöiden tuntemus on hyvin epätäsmällistä. Menneinä aikoina massojen sijoitusalueilla ei ko. tekijöitä ole tutkittu. Sen vuoksi todennäköisyysteoriaa on hyvin vaikea tai jopa mahdotonta käyttää. Ympäristö-/terveysriskianalyysit ovat epävarmoja ja tulokset ovat vain kvalitatiivisia, joten menetelmiä tulisi pitää vain deterministisinä.

Sortuman välillisten seurausten tarkastelu tulee myös sisällyttää riskianalyysiin. Esimerkiksi läjituspenskereen sortuminen voi merkitä tuhoa läheiselle kasvustolle, vesiväylän tukkeutumista, laajan puhtaan alueen saastumista tai suuren täytemateriaali

määrän menettämistä jostakin rakennusprojektista. Seurausten määrälliseen tarkasteluun (taloudellinen, hengenvaara, ympäristövaikutukset jne.) on valittava sopiva menetelmä ja hyväksyttävissä oleva riskitaso on määriteltävä (Kuva 2).



Kuva 2. Eräiden valittujen rakennusprojektien riskitekijöitä.

Ruoppausmassojen käytön yhteydessä tehtävät riskianalyysit osoittavat todennäköisesti huomattavasti suurempia riskitasoja kuin perinteisissä geotekniikan projekteissa. Kun lentokentän päällysteen tapainen tekninen tuote suunnitellaan tyypillisesti 50 % luotettavuustasoa käyttäen (sillä on siis 50 % todennäköisyys vaurioitua ennen arvioitua käyttöikää) on hyvin järkeenkäypää, että ruoppausmassasta tehdyllä päällysteellä olisi samassa käytössä paljon suurempi vaurioitumisriski. Kuitenkaan tämä ei tarkoita, ettei riskiarviointia pitäisi tehdä. Sen sijaan aikaisemman tiedon ja kokemuksen harkittu käyttö arvioitaessa kaikkia vaikuttavia tekijöitä ja niiden suhteellista merkitystä pitäisi johtaa tarkoituksenmukaiseen ja kerta kerralta paranevaan riskinarviointikykyyn.

Yhteenveto

Merkittävää edistymistä on tapahtunut luonnehdittaessa ruoppausmassojen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Laajempi pohjanvahvistusmenetelmien käyttö mahdollistaa massojen monipuolisemman hyötykäytön. Ympäristö- ja geotekniikan soveltaminen yhdessä johtaa parhaisiin mahdollisiin tuloksiin ruoppausmassojen käyttöön liittyvissä riskiarvioinneissa. Tulevaisuuden haaste on soveltaa tämän päivän tietoa, mutta me alituisesti jätämme sen vähälle huomiolle taloudellisista syistä tai "itellektuaalista laiskuuttamme". Valitettavasti nykyiset tutkimusohjelmat osoittavat liian vähäistä edistystä geoteknisen, ympäristötekniikan ja riskien arvioinnin asiantuntemuksen siirtämisessä käytäntöön.

*Utilization of Stabilized Dredged Waste for Construction Material**Takuya Ogino & Koji Kataoka, Chuken Consultant Co., Ltd.**Tosiyoshi Goto, Osaka Cement Co., Ltd.**Minoru Kuroda, Estec Co., Ltd.***Tiivistelmä**

Japanissa rakennustoiminnassa kaupunkialueilla vapautuvat kaivu- ja ruoppausmassat, murskattu betonijäte jne. käytettiin täyttö- ja peitemateriaalina läjitysalueilla rannikon läheisyydessä. Rakentamisen lisääntymisen seurauksena lisääntyi myös syntyneiden ylijäämämassojen määrä nopeasti. Viime vuosikymmenen loppupuolella ympäristöongelmat vaikeuttivat uusien läjitysalueiden rakentamista, joten oli paneuduttava massojen hyötykäyttöön. Myös Tokiossa ongelma on samanlainen kuin yleinen tilanne Japanissa. Keskellä kaupunkia tapahtuneen Sumida-joen pengersortuman korjaustöiden yhteydessä jouduttiin ruoppaamaan joen pohjaa vesiuoman palauttamiseksi ennalleen. Ruoppausmassojen kierrätykseen saaminen oli välttämätöntä. Artikkelissa esitellään suoritettut laboratoriokokeet ja ruoppausmassojen käyttötapoja Sumida-joen penkereiden korjausrakentamisessa.

Johdanto

Joenuoleisen terassin rakentamiseksi vanhan betonimuurin etupuolelle suunniteltiin kahden tukiseinän muodostama rakenne, jonka välitila täytettäisiin hiekalla. Betonimuurin taustatäyttö ja penkereen korotustyö sekä jokiuoman ruoppaaminen tehtäisiin tämän jälkeen. Ehdotimme hiekan asemasta käytettäväksi stabiloitua ruoppausmassaa, jotta välttyttäisiin ympäristöä tuhoavalta hiekan kaivamiselta seudun mäkialueella.

Suunnittelu

Käsitellyn massan suunnittelulujuuden perusteeksi asetettiin joko koheesio tai kantavuus. Päädyttiin tulokseen, että sivutueton puristuslujuus pitää olla yli $1,0 \text{ kp/cm}^2$. Tältä pohjalta laskettiin rakenteen stabiliteetti, joka todettiin vaatimusten mukaiseksi sekä penkereen että terassin osalta. Kentällä tapahtuvan sekoittamisen epätäydellisyys verrattuna laboratoriosekoitukseen otettiin huomioon käyttämällä varmuuskerrointa 2,0 ja lujuuden vähentymiseksi vedenalaisissa osissa oletettiin 50 %. Laboratoriossa vaadittiin seokselta siten $4,0 \text{ kp/cm}^2$ lujuutta.

Ruoppausmassan ominaisuudet

Maa-aineksen ominaisuuksien selvittämiseksi otettiin näytteitä 8 eri paikasta jokea. Tutkimustulokset on esitetty Taulukossa 1. Vesipitoisuus vaihteli välillä 58,8...129,6 %, märkätilavuuspaino $1,335\text{...}1,649 \text{ g/cm}^3$ ja orgaanisten aineiden pitoisuus 8,0...13,8 %.

Stabilointiseosten koestus laboratoriossa

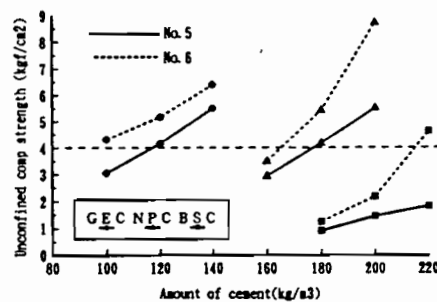
Seoksia tehtiin käyttäen kolmea sementtityyppiä kullekin kahdeksalle eri paikasta otetulle ruoppausmassanäytteelle. Käytetyt sementit olivat normaali Portlandsementti (NPC), masuunikuonasementti (BSC) ja geo-sementti (GEC) joka oli valmistettu runsaasti orgaanisia aineksia sisältävien maamassojen stabilointiin. Sementtien kemialliset komponentit on esitetty Taulukossa 2.

Taulukko 1. Ruoppausmassanäytteiden ominaisuudet.

No.	Water content (%)	Wet unit weight (g/cm ³)	speci- fic gravi- ty	orga- nic mater (%)	grainu- nder 74 μ m (%)	soil clas- sifi- cation
1	104.1	1.422	2.62	10.1	87.8	MH
2	69.2	1.534	2.63	8.3	44.1	SM
3	129.6	1.335	2.57	12.0	79.3	MH
4	114.1	1.376	2.53	13.8	98.2	MH
5	111.4	1.427	2.63	11.3	63.2	MH
6	117.6	1.391	2.57	13.1	68.9	MH
7	58.8	1.649	2.65	8.0	50.6	MH
8	85.7	1.580	2.63	9.1	45.1	SM

Taulukko 2. Stabilointikokeissa käytettyjen sementtien komponentit.

Type	igloss	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	SO ₃
NPC	1.0	21.6	64.4	5.5	1.8
BSC	1.0	25.9	54.5	8.5	2.0
GEC	0.7	21.7	59.0	6.3	6.1



Kuva 1. Laboratoriokokeiden tuloksia.

Osa koetuloksista on esitetty Kuvassa 1. Jotta kaikilla massanäytteillä saavutettiin vaadittava puristuslujuus, kunkin sementin vaadittava määrä oli seuraava:

- NPC: 220 kg/m³
- BSC: >220 kg/m³
- GEC: 120 kg/m³

Taloudellisista syistä sekä massan tilavuuden minimoimiseksi käytettiin geo-sementtiä.

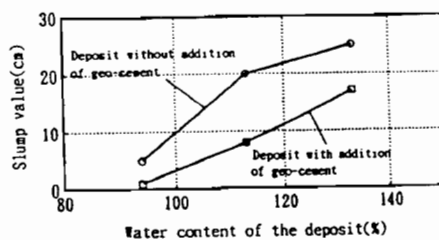
Mallikokeet

Vaadittavan laadun saavuttamiseksi piti valita sopivat työmenetelmät. Laboratoriossa jäljiteltiin stabiloidun massaseoksen veteen levittämisen vaikutuksia. Kokeiluun käytetyn ruoppausmassanäytteen ominaisuudet on esitetty Taulukossa 3. Massan vesipitoisuus oli 94,2 % mutta arvo oli alle materiaalin juoksurajan. Koska massan pumpattavuus näytti olevan huono, kokeiltiin luonnontilaisen vesipitoisuuden lisäksi veden lisäämistä arvoihin 113 ja 133 %. Stabiloinnissa käytettiin geo-sementtiä 120 kg/m³. Sekoitusaika oli 3 minuuttia. Pumpattavuusindeksinä käytetään betoniteknikassa yleensä painumakokeen arvoa (Suomessa yleensä ns. Vebe-asteluku). Sovelsimme

Taulukko 3. Käytettyjen massanäytteiden ominaisuudet

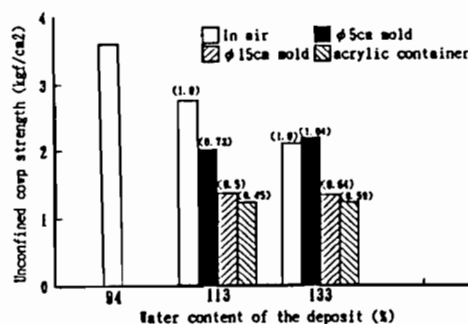
Water content (%)	Wet unit weight (g/cm ³)	specific gravity	organic matter content (%)	grain under 74 μ m (%)	Liquid limit (%)	soil classification
94.2	1.421	2.57	14.0	88.0	116.0	MH

koetta massalle ilman geo-sementtiä ja geo-sementin kanssa. Mittaustulokset on esitetty Kuvassa 2.



Kuva 2. Painumakokeen (laskeumakokeen) tulokset.

Painumaluku vähentyy 5:stä 12 cm:iin, kun lisätään geo-sementtiä. Pumpattavuustarkastelu osoitti, että vesipitoisuuden täytyy olla vähintään 120 %. Stabilointimassan sijoittamista veteen tutkittiin kolmella erilaisella näytetyypillä. Ensimmäisessä tapauksessa stabiloidut näytteet asetettiin lieriömuottiin (d=5 cm, h=10 cm), joka täytettiin vedellä putken avulla, toisessa tapauksessa näytteet pantiin suurempiin muotteihin (d=15 cm, h=22 cm) samalla tavoin ja kolmannessa tapauksessa näytteet pantiin akryylilaatikkoon (30 x 20 x 25 cm³), joka täytettiin vedellä putken avulla. Stabiloitua massaa kaadettiin myös kuivaan muottiin, johon ei lisätty vettä. Sivutuettomat 7 vrk puristuslujuudet on esitetty Kuvassa 3. Myös suhteelliset kokoonpuristumat on esitetty, kun ilmasäilytyksessä saavutettua lujuutta merkitään arvolla 1.

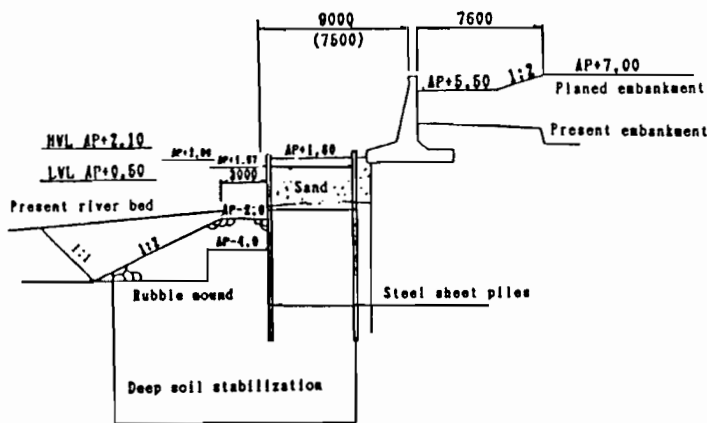


Kuva 3. Lujittumisolosuhteiden vaikutus puristuslujuuteen.

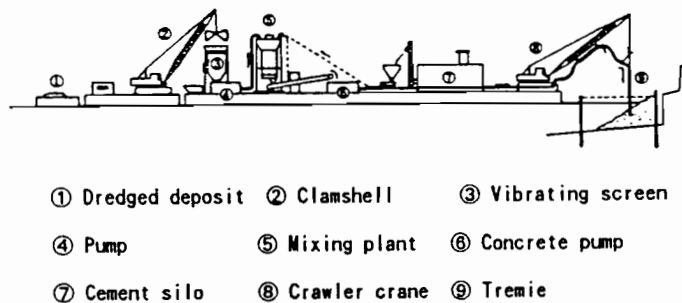
Toimenpiteet

Kuvassa 4 on esitetty tyypillinen suunniteltu penkereen ja terassin poikkileikkaus. Terrassi rakennettiin seuraavasti: joen pohja stabiloitiin syvästabilointitekniikkaa käyttäen. Tämän jälkeen asennettiin teräsponttiseinät, minkä jälkeen joen pohja kaivettiin suunniteltuun tasoon. Ruoppausmassaan sekoitettiin geosementti ja seos sijoitettiin teräs

ponttien väliin. Tavoitelujuutena pidettiin 1 kp/cm². Teräsponttien ulkopuolelle levitettiin sepeliä. Kuvassa 5 on esitetty työjärjestely.



Kuva 4. Tyypillinen penkereen ja terassin poikkileikkaus



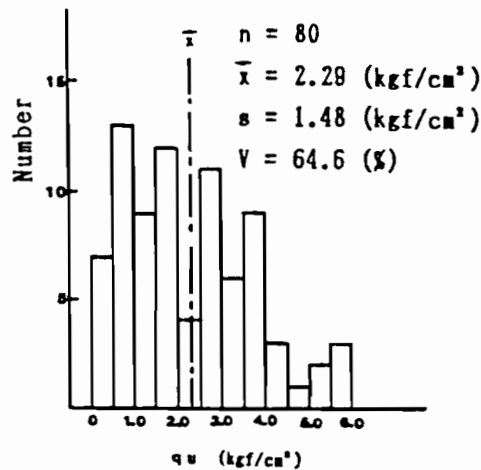
Kuva 5. Projektin työkulkukaavio.

Ruoppaus suoritettiin kuokkakaivurilla ja siirrettiin proomuun, jossa yli 70 mm kivet välpättiin pois. Seulottu massa siirrettiin sekoitusasemalle betonipumpun avulla. Geosementti lisättiin kuivana jauheena massaun. aseman kapasiteetti oli 50 m³ tunnissa. Massaseos pumpattiin kasoiseinän sisään betonipumpun avulla. Ruoppaamisen edistytessä otettiin massasta näytteitä kahdesti päivässä ja seurannan kohteena olivat tilavuuspaino, raekoko, siipileikkauslujuus, hehkutushäviö (humuspitoisuus) ja pH. Tulokset on esitetty Taulukossa 4. Ominaisuudet vaihtelevat suuresti.

Taulukko 4. Ruoppausmassasta otettujen näytteiden ominaisuudet

Water content (%)	92.6-146.2
Wet unit weight (g/cm ³)	1.303-1.447
Fine-grained size (%)	57.1-86.3
Vane shear strength (kgf/cm ²)	(0.73-2.11) × 10 ⁻²
Ignition loss (%)	9.7-25.0
pH	7.09-7.87

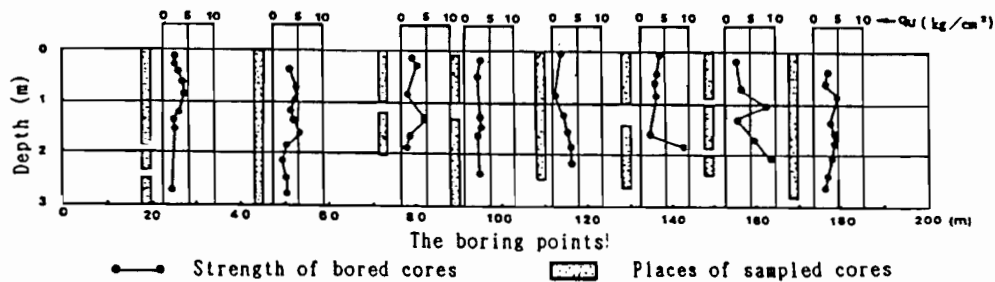
Sekoitustyön laadun varmistamiseksi seoksesta otettu näytteet pantiin muottiin ($d=5$ cm, $h=10$ cm) ja niiden annettiin lujittua proomussa. Puristuslujuudet mitattiin 28 vrk ikäisinä. Tulokset on esitetty Kuvassa 6. Keskimääräinen lujuus oli 2,29 kp/cm². Suhteellisen suuren hajontaan vaikuttavat osaltaan humuspitoisuuden ja raekoon suuret muutokset. Syy lujuuksien alhaisuuteen oli kylmä sää (0...6 °C). Veden lämpötila oli 7...8 °C.



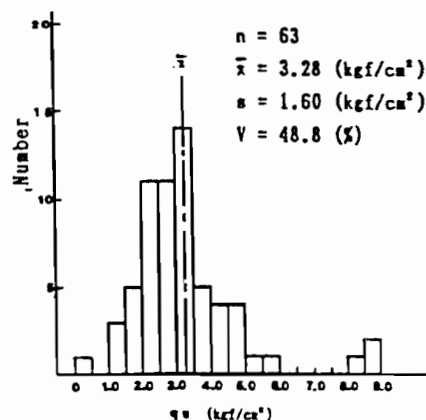
Kuva 6. Ennakkokokeissa saavutetut puristuslujuudet.

Stabiloidun massan ominaisuudet

Noin kolme viikkoa täyttötyön jälkeen stabiloidusta massasta porattiin sydännäytteitä, jotka työstettiin siten, että halkaisija oli 70 mm ja korkeus 140 mm. Niille tehtyjen puristuslujuuskokeiden tulokset on esitetty Kuvassa 7 ja hajonta Kuvassa 8.



Kuva 7. Sydännäytteiden näytteenottosyvyydet ja sivutueton puristuslujuus.

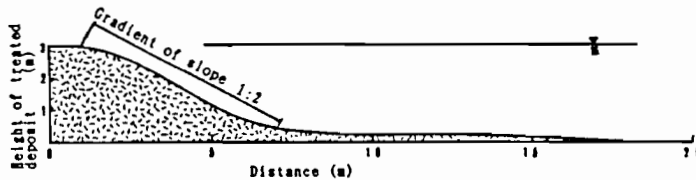


Kuva 8. Puristuslujuuden vaihtelu stabiloidusta massasta otetuilla näytteillä.

Keskilujuus oli 3,29 kp/cm², mikä on korkeampi kuin proomussa säilytetyillä näytteillä. Tämä selittyy paremmilla säilytysolosuhteilla.

Stabiloidun ruoppausmassan luiskakaltevuus

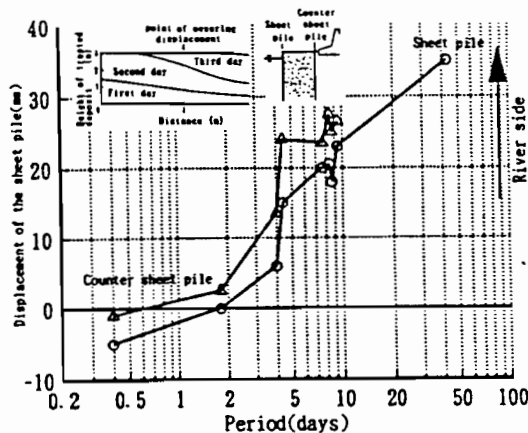
Stabiloidun ruoppausmassan luonnollinen luiskakaltevuus on 1:2 (Kuva 10) mikä vastaa likimain laboratoriotuloksia.



Kuva 9. Stabiloidun ruoppausmassan luiskan luonnollinen kaltevuus.

Teräsponttiseinien sivusiirtymät

Teräsponttien liikkeitä seurattiin tietyssä pisteessä ennen ja jälkeen massan sijoittamista niiden väliin. Tulokset esitetään kuvassa 11. Sivusiirtymä oli 13 mm välittömästi massan sijoittamisen jälkeen mutta lisääntyi kkuukauden ajan arvoon 35 mm, minkä jälkeen liike lakkasi.



Kuva 10. Teräsponttien sivusiirtymä.

Yhteenveto

Ruoppausmassojen stabilointi ja sijoittaminen teräsponttien väliin onnistui erinomaisesti. Ruoppausmassojen hyötykäyttö on jatkunut 4 vuotta ja massoja on ruopattu yhteensä noin 400 000 m³. Tulevaisuudessa määrät lisääntyvät ja uusia käyttötapoja tulee kehittää. Projektin edetessä tultaneen stabiloitua ruoppausmassaa käyttämään pengermateriaalina ja mahdollisesti teräsponttien viereen sijoitetun sepelin sijasta voidaan käyttää geotekstiiliin pakattua stabiloitua massaa.

Joitakin rakentamisen yhteydessä syntyvien ylijäämämateriaalien hyödyntämisprojekteja on meneillään Japanin rakennusministeriön ja kuljetusministeriön johdolla. Ko. materiaalien hyötykäyttöä palvelevia ohjeita on tulossa lähitulevaisuudessa.

Environmentally Acceptable Reclamation using Materials Dredging from Adjoining Seabed*T.Yamanouchi, KYushu Sangyo University, Fukuoka**T. Ishibashi, M.Takagi**Bureau of Port and Harbor Construction, Fukuoka City, Fukuoka**T. Tashima**Nihon-Chiken Co., Ltd., Fukuoka, Japan***Tiivistelmä**

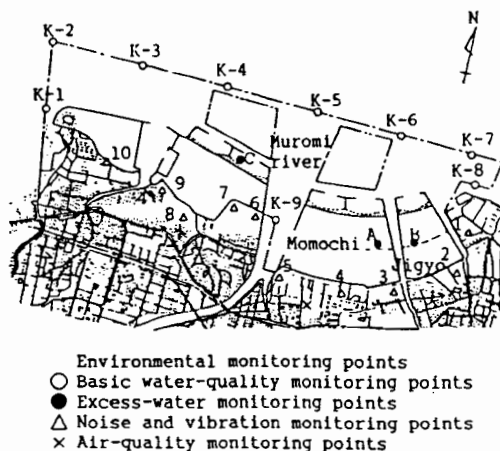
Kiusun saarella Japanissa sijaitsevan Fukuokan kaupungin Satamarakennustoimisto toteutti 1982...1986 merenrantojen kunnostusprojektin. Merenlahden kokonaispinta-ala oli 254,7 ha ja alue jaettiin neljään osaa kunnostustöitä varten. Työhön käytettävä maamassa oli merenpohjasta ruopattua savea ja silttiä. Ruoppaus tehtiin kahmari-tyyppisellä kauhalla. Kunnostettujen alueiden päällyskerrokseen käytettiin ostosoraa. Koska alueen läheisyydessä sijaitsee asutusta ja kouluja, lukuisia ympäristöselvityksiä oli tehtävä. Selvitettäviä asioita olivat mm. veden ja ilman saastumisriskit, melu- ja tärinähaittojen eliminointi sekä lähialueen uimarantojen saastumisriskit. Hallituksen antamia ympäristövaikutusten raja-arvoja ei saanut ylittää missään työn vaiheissa. Nykyään kunnostetut maa-alueet ovat asumis-, julkisessa-, kulttuuri- ja urheilutoimintojen käytössä mukaanlukien vesiurheilu, veneily ja tekouimarannat.

Lähivesialueiden ympäristön tila ennen kunnostustöitä

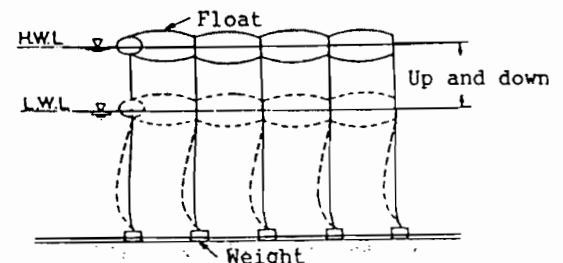
Ympäristöolosuhteet kunnostettavalla alueella olivat kohtalaisen hyvät. Alueen läheisyydessä on Fukuokan kaupungin aluekeskus ja vastapäätä kunnostettavaa merenranta on tiheään asuttua aluetta rakennuksineen ja kouluineen satama-alueella on käytetty yleiseen virkistykseen.

Ympäristön turvaamiseksi ryhdyttiin ennakkoitoimenpiteisiin, jotta välttyttäisiin aiheuttamasta haittoja alueelle tai ympäröivälle luonnolle. Ennen rakennustöihin ryhtymistä laadittiin ympäristön seurantasuunnitelma ja havaintokohteet sekä niiden standardiarvot merkittiin muistiin. Lisäksi, katastrofitilanteita varten yhteistyö- ja informaation jakaminen tuli organisoida.

Seurantapisteiden sijainti on esitetty Kuvassa 1 ja havaintokohteet sekä niiden standardiarvot on esitetty Taulukossa 1. Ympäristönsuojelutoimenpiteet ja menetelmät Veden saastumisen estämiseksi rakennettiin rakentamisen yhteydessä laajalle leviävän samentumisen estojärjestelmä.



Kuva 1. Tarkkailupisteiden sijainti.

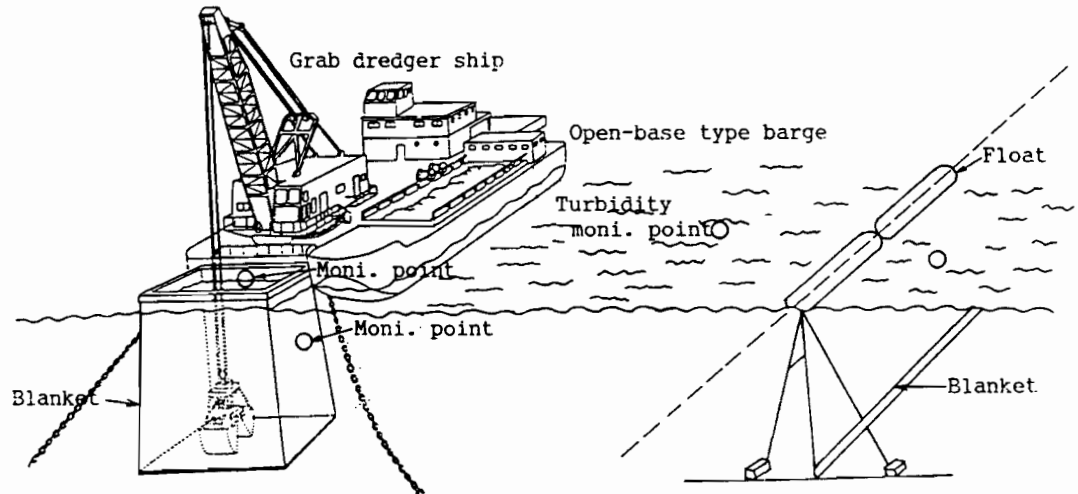


Kuva 2. Samentumisen estoverho

Taulukko 1. Ympäristön tarkkailutoimenpiteet ja niille asetetut standardit.

Item	Observation name	Observation site	Observation items	Standard values
Water quality	Basic monitoring	9 sites (K1 to K9)	SS turbidity, clarity, daily-life environmental items (pH, COD etc.) and poisonous items (cadmium, cyanogen etc.)	Density of SS < 10 mg/l resulting from construction works
	Auxiliary monitoring	Flow direction of dredger ship	SS turbidity, clarity during dredging	
	Out-flow water monitoring	Out-flow water treatment facilities	SS, poisonous items	SS < 50 mg/l Poisonous items: not detected
Noise and vibration	Noise, vibration	10 sites (1 to 10)	Level of noise and level of vibration	Noise: Pile driving < 85 phon Other works < 60 " Vibration: Pile driving < 75 dB
Air	Air quality	On roof top of building	SO ₂ , NO ₂ , wind direction, wind velocity	Both SO ₂ , NO ₂ < 40 ppm
Wild birds	Wild birds	Mouth of the Muromi river	Kinds of wild birds and habitat condition	

Ruopattu alue ympäröitiin samentumista estävillä verhoilla jättäen auki vain kapean väylän, josta massojen kuljetusproomut pääsevät liikkumaan. Lisäksi itse ruoppaaja ympäröitiin samentumisen estoverhoilla (Kuva 3). Ensimmäisellä toimenpidealueella (No 1) savinen ruopattu maa-aines lastattiin suoraan avoimiin proomuihin (Kuva 3).

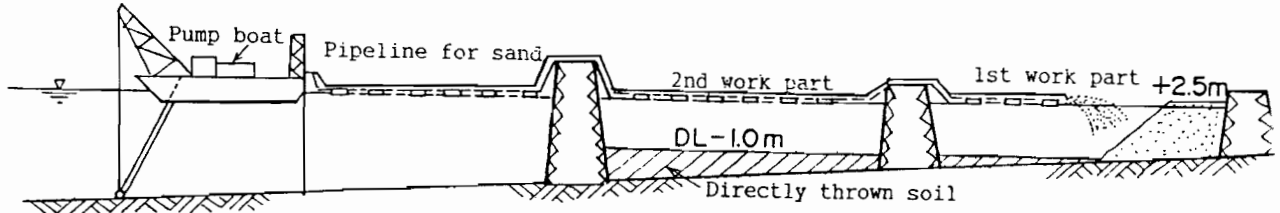


Kuva 3. Kahmariruoppauksen järjestely

Imuruoppausta käytettiin matalikoilla, joille proomuilla ei ollut pääsyä (vesisyvyys vähemmän kuin DL - 1,0 m) (Kuva 4 a). Koska ko.alueilla oli erittäin voimakkaita pyörteitä, alue suojattiin väliaikaisilla seinärakenteilla ja ylimääräinen puhdas vesi poistettiin sen jälkeen kun suspensiopartikkeleiden sedimentoituminen oli tapahtunut käsittelyaltaassa flokkulaatioprosessin avulla.

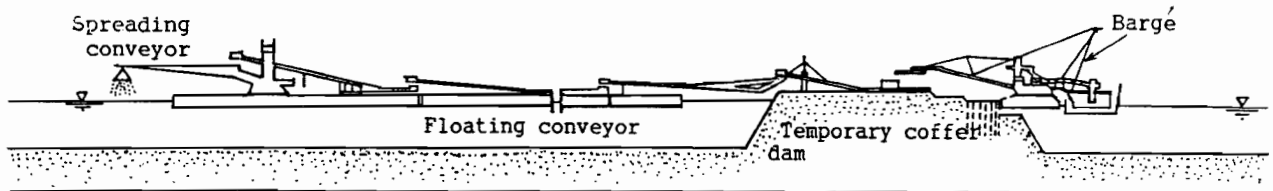
Yli DL +2,5 m tasolla olevat alueet peitettiin hyvälaatuisella soralla ja päälle istutettiin ruohoa, mikä oli osa maan vihersuunnittelua. Toimenpidealueella No 2 ruopatut savimaat levitettiin alueen ympäristöön 3 m merenpinnan alapuolelle. Tällä alueella

käytettiin avoimia proomuja ja lastaaminen tapahtui suoraan niihin siihen saakka, kunnes vesisyvyys oli DL -1,00.



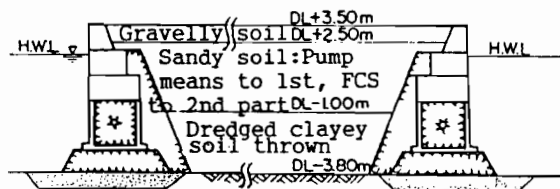
Kuva 4 a. Menetelmä, jossa käytetään imuruoppausalusta.

Alueilla, joilla vesisyvyys oli vähemmän kuin DL -1,00 m, oli maa-aineksen vesipitoisuus hyvin alhainen. Täällä massojen siirtämiseen käytettiin Kuvan 4 b mukaista kelluvaa kuljetinta. Menetelmä soveltui hyvin hiekan levittämiseen homogeenisten pehmeiden savikerrosten päälle ilman että liukusortumia tai muita liikkeitä tapahtui.



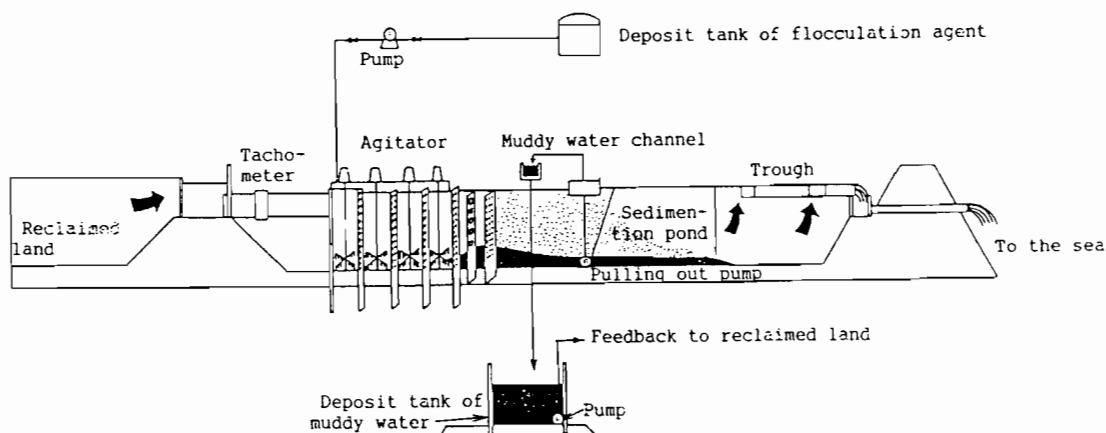
Kuva 4 b. Menetelmä, jossa käytetään kelluvaa kuljetinta.

Tason DL +2,5 m yläpuoliset alueet peitettiin soralla samalla tavoin kuin alue No 1. Käyttöön otetun uuden maan rakenne on esitetty Kuvassa 5.



Kuva 5. Poikkileikkaus uudesta maa-alueesta.

Imuruoppauksen yhteydessä maa-aineksen lisäksi siirrettiin runsaasti merivettä. Samea vesi piti poistaa täyttöalueelta, mutta ennen sitä se piti puhdistaa. Puhdistusmenetelmä on esitetty Kuvassa 6.



Kuva 6. Ylimääräisen veden käsittelylaitos.

Tarkkailumittausten tulokset

Rakennustyöt aloitettiin 1982 samanaikaisesti neljällä eri osa-alueella. Ruoppaus ja täyttötyö lopetettiin 1985. Veden laadun seurantatulosten keskiarvot (ss-konsentraatio-aste) on koottu Taulukkon 2. Joissakin paikoissa SS-konsentraatiot ovat samaa luokkaa kuin ennen hankkeen käynnistymistä eli enimmillään 3...5 mg/l.

Taulukko 2. Veden laaduntarkkailun keskiarvotulokset (mg/l)

Period	Year	Observation number								
		K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9
Before construction	1981	8	8	7	8	9	10	11	11	11
	1982	10	8	9	9	9	10	9	10	14
During construction	1983	11	11	12	13	14	14	12	13	13
	1984	7	7	8	8	9	10	9	10	10
	1985	8	8	8	8	9	10	10	11	10

Yhteenveto

Kirjoituksen ympäristöllinen pääsisältö on veden sameutumisen estämismenetelmä "verhoja" käyttäen sekä imuruoppauksessa vapautuvan samean veden puhdistamismenetelmän käytön esittely.

Geoenvironmental Subsurface Site Characterization Using In-Situ Soil Testing Methods*R..G. Campanella, M.P. Davies, T.J. Boyd, J.L. Everard**In-Situ Testing Group, Civil Engineering Department, The University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada***Johdanto**

Geoympäristöllinen (Geoenvironmental) on suhteellisen uusi geotieteiden piiriin kuuluva termi. Sille on useita tulkintoja ja tässä käytetään seuraavaa määritelmää:

"Tutkimushaara, joka yhdistää geologisen, geoteknisen ja ympäristötekniikan insinööritieteen muodostaen tutkimusalueen, joka sisältää kaikki geologiseen ympäristöön liittyvät fysikaaliset ja ympäristölliset tekijät."

Pohjavesien saastuminen on erinomainen esimerkki geoympäristökohteista.

Nykyaikaiset in-situ tutkimuslaitteet tarjoavat parhaan saatavissa olevan teknologian maaperän 3D-esityksiä kehitettäessä. Tässä kirjoituksessa esitetään yleiskatsaus saatavilla olevista in-situ-menetelmistä maaperän ympäristöllisen laadun kuvaamiseksi. In-situ-menetelmät kattavat kaikkien maaperäolosuhteiden tutkimisen, kun taas laboratoriokokeilla pyritään arvioimaan - usein voittuneiden näytteiden avulla - näitä monia tekijöitä.

Geoympäristötekniikan maaperän laadun kuvaaminen

In-situ-tutkimusmenetelmistä tekee mielenkiintoisen täsmällisten, toistettavien suorien tulosten saatavuus nopeasti ja edullisesti. Perinteiset maaperän laadun kuvaamiseen käytettävät menetelmät, kuten kairaukset ja näytteiden otto, eivät voi kilpailla nopeudessa, luotettavuudessa ja taloudellisuudessa tämän kirjoituksen menetelmien kanssa. Kuitenkin lujissa maissa, joiden tunketusvastus rajoittaa tiettyjen menetelmien käyttöä, kairaus ja sydännäytteiden otto on edelleen paras menetelmä. Pinta-fysikaaliset menetelmät ovat vähiten pohjamaata vahingoittavia, mutta niiltä puuttuu kyky tunnistaa tarkoin vaihtelut maakerroksissa, minkä vuoksi niillä saatavia tuloksia on yleensä vaikea tulkita.

Avaintekijät maaperän ympäristötekniikan laadun kuvaamisessa ovat:

- maakerrosprofiilin muodostaminen
- suhteellisten geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen kussakin kerroksessa
- vettäjohtavien ja vettäsitovien materiaalien hydrauliset ominaisuudet
- huokosveden ja -kaasujen luonne

In-situ-kokeet

In-situ-kokeiden tekeminen sisältää materiaaliominaisuuksien arvioinnin paikan päällä, missä fysikaalinen ja biokemiallinen tilanne on todellinen. Perinteinen kairaus ja hajanäytteiden ottaminen edustaa näennäis-in-situ-menetelmää, vaikka täydentäviä laboratorioselvityksiä tarvitaan. Kairaus on otettu mukaan nykyaikaisten menetelmien vertaamiseksi. Pintageofysikaalisia menetelmiä ei ole otettu mukaan, vaikka niilläkin on käyttöä varsinkin alustavissa alueellisissa selvityksissä.

Perinteinen kairaminen ja hajanäytteiden ottaminen

Yleisin tapa maaperän laadun ympäristögeoteknisessä selvittämisessä on kairaminen ja näytteiden otto. Laaja kokemustausta on menetelmän tärkeä etu, mutta standardien puute, suhteellisen korkeat kustannukset ja näytteiden edustavuuden kyseenalaisuus ovat haittapuolia.

Kairaminen järkevää näytteenottomäärää käyttäen vaatii 30 m syvässä kairauksessa 10...20 tuntia tai jopa enemmän. Aika riippuu pohjasuhteista, laitteiston laadusta ja konemiesten ammattitaidosta sekä näytteenottomenetelmästä yms. Vaikka metrihintaa ei tulisi koskaan sen vaihtelevuudesta johtuen ilmoittaakaan, voidaan karkeasti sanoa, että kustannus on suuruusluokalleen \$150/h eli noin \$50...\$100/m näytteenottoineen.

Kun näyte on otettu, sen laatu täytyy arvioida. Taulukossa 1 on esitetty näytteen käsittelyvaiheet ja niiden yhteydessä tapahtuvat mahdolliset käsittelyvirheet. Siinä ei ole kuitenkaan esitetty laboratoriossa tapahtuvia virheitä, kuten näytteen häiritsemistä, vallitsevan paineen muuttumista alkuperäisestä, kemiallisia muutoksia jne.

Taulukko 1. Ympäristögeoteknisen näytteenoton vaiheet ja niiden yhteydessä esiintyvät virheet.

	Step	Sources of error
	In-Situ Condition	-----
1.	Establishing a sample location	Improper borehole completion/placement; poor location choice; poor material choice
2.	Sample collection	Sampling mechanism/procedural bias; operator error
3.	Sample retrieval	Sampling mechanism/procedural bias; sample exposure; degassing; oxygenation; cross-contamination
4.	Preservation/storage	Handling/labeling errors; temperature, etc. control
5.	Transportation	Delay; sample loss

Kairaminen ja näytteenotto on suhteellisen kallis ja melko epäluotettava menetelmä, kun näytteenotto ei ole jatkuvaa. Kuitenkin menetelmän käytön suosioista johtuen se on yleisesti hyväksytty, vaikka viimeaikainen tutkimus viittaaakin sen olevan epäilyksen alaisena ohjeiden laatijoiden keskuudessa.

CPTU-kairaus

CPTU-kairaus (Piezometric Cone Penetration Test) käytetään lisääntyvässä määrin tehokkaasti maaperätutkimuksissa. Menetelmä on nopea, taloudellinen ja sopiva keino maakerrosten ja geoteknisten parametrien määrittämiseen. Kärkikappaleen standardimitat ovat: poikkipinta-ala 10 cm², kärjen kulma 60°, kitkavaipan pinta-ala 150 cm². Se sisältää yhden tai useampia huokospainesensoreita. CPTU mittaa kärkivastusta (q_c), kitkavaipan jännitystä (f_s) ja huokospainetta kolmessa eri kohdassa kärkikappaleella. Kaikkia kanavia mitataan jatkuvasti ja tulokset rekisteröidään yleensä 25...50 mm välein, joten sillä saadaan tavallaan jatkuvaa näytetietoa. Maalajityypin, geoteknisten lujuusparametrien ja hydraulisten parametrien lisäksi mitataan yleensä myös lämpötilaa ja laitteen kallistumaa.

Lisäksi kärkekappaleesta on kehitetty seisminen malli, joka mahdollistaa maan pienten muodonmuutosten mittaamisen.

CPTU-kairausta pidetään yleisesti tehokkaimpana ja kustannuksiltaan edullisimpana maakerrosten selvittämiseksi. Kärkekappale työnnetään maahan 2cm/s vakionopeudella (tai noin 1 m/min) hydraulikoneen avulla. Alaspainamisen yhteydessä kehittyvät huokosveden ylipaineet antavat kuvan maalajista ja sen hydraulisista parametreista.

Tiukat ASTM-määräykset ja kansainväliset standardit vaativat suurta koemäärää ja luotettavuutta. Siten eliminoidaan perinteiset pohdinnat koenopeuden käänteisestä vaikutuksesta tietojen laatuun. Vaikka kustannukset vaihtelevatkin alueellisesti, CPTU-kairauksen kustannukset ovat \$20...\$30/jm jatkuvaa tulostusta käyttäen. Johtuen tiukoista standardeista ja kairaajan korkeasta ammattitaitovaatimuksesta, työ ei vaadi samallatavoin insinööriä kuin perinteinen kairaus. Sen tietojen jatkuva rekisteröinti, nopeus, suhteellisen halvat kustannukset ja helppo toistettavuus ovat sen pääasiallisia etuja. Tärkein puute on fyysisten näytteiden puuttuminen, mutta näiden tärkeys vähenee kun kokemus CPTU-kairauksesta kasvaa.

RCPTU-kairaus

RCPTU-kairaus (Resistivity Piezometric Cone Penetration Test) on viimeisin muunnos CPTU-kairauksesta. Kyky mitata sähköistä vastusta vedellä kyllästetyssä maassa jatkuvana mittauksena on äärimmäisen arvokasta, koska monilla maan sisältämällä epäpuhtauksilla on suuri vaikutus maan vastukseen (tai johtokykyyn).

Taulukossa 2 on esitetty tyypillisiä maalajeille RCPTU-kairauksella mitattuja vastuksen arvoja sekä kuivalle maalle että huokosnesteille. Koska vastus on käänteinen johtavuudelle, se on helppo muuttaa toisikseen seuraavan kaavan avulla:

$$\text{Sähkönjohtavuus } (\mu\text{S/cm}) = 10\,000 / \text{Sähkövastus } (\Omega\text{m})$$

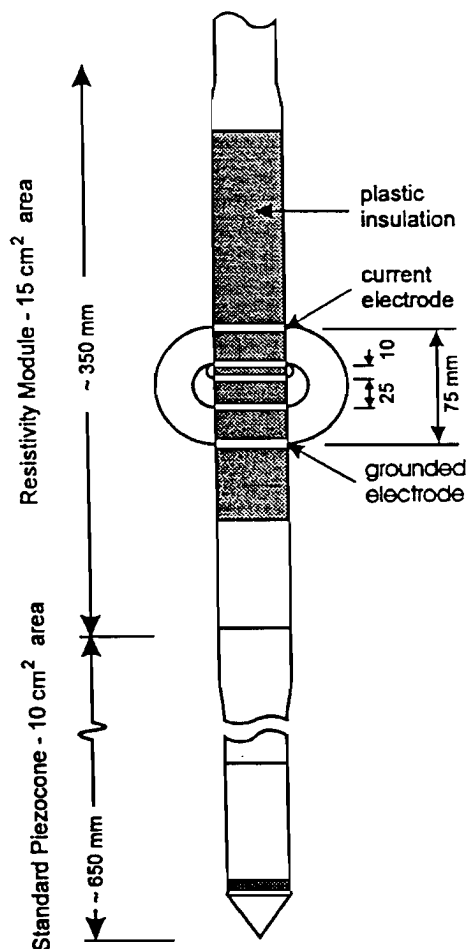
Taulukossa 2 on esitetty myös vastaavat sähkönjohtavuuden arvot, koska niiden käyttö on hyvin suosittua geokemian alueella. Tulokset osoittavat, että vastuksen vaihtelualue on hyvin laaja, noin 1...700 $\Omega\text{ m}$ (10 000...14 $\mu\text{S/cm}$) ja ominaisuus on hyvin herkkä sekä liukoisille suoloille että niukkaliukoisille orgaanisille epäpuhtauksille.

RCPTU-kairauksesta on hyötyä jatkuvan vastusmittauksen ansiosta (suora paikallinen korrelaatio kontaminaation määrään) yhdessä kaikkien perinteisten CPTU-kairaustietojen kanssa. Elektrodiväli vaihtelee 10 ja 150 mm välillä. Kehittyneemmissä laitteissa on useita elektrodipaikkoja siten, että sekä maaprofiili- että vastusmittaustiedot saadaan samanaikaisesti. Kuvassa 1 on esitetty kaavio eräästä Brittiläisen Columbian Yliopiston (UBC) RCPTU-laitteesta.

RCPTU-kairauksella saadaan kaikki tiedot, jotka tarvitaan maan laadun kuvaamiseen. Tarkempi selvitys vaatii kuitenkin paikallista kalibrointia. Tämä vaatii huokoskaasunäytteiden ottamista, mikä on esitetty seuraavassa kappaleessa. RCPTU-kairauksen kustannukset ovat likimain samat kuin CPTU-kairauksenkin. Menetelmän suhteellisesta uutuudesta johtuen sen hyväksymisessä esiintyy vaihteluja, mutta kokemuksen mukaan se otetaan nopeasti käyttöön kun siihen on ensin tutustuttu.

Taulukko 2. Yhteenveto kuivien maaseosten ja huokosnesteiden tyypillisistä sähkövastusmittauksista.

Material type	Bulk Resistivity ρ_b , $\Omega\cdot m$	Fluid Resistivity ρ_f , $\Omega\cdot m$	Bulk Conductivity $\mu S/cm$	Fluid Conductivity $\mu S/cm$
Sea water	—	0.2	—	50000
Drinking water	—	>15	—	<665
McDonald Farm clay	1.5	0.3	6700	33300
Laing Bridge site clay	20	7	500	1430
Colebrook site clay	25	18.2	400	550
401 @ 232 Ave clay	8	—	1250	—
Strong Pll clay	35	—	285	—
Kidd 2 site clay	14	12.5	715	800
McDonald Farm site sand	5-20	1.5-6	2000-500	6700-1670
Laing Bridge site sand	5-40	1.5-10	2000-250	6700-1000
Colebrook site sand	70	—	143	—
Strong Pll site sand	115	—	89	—
Kidd 2 site sand	1.5-40	0.5-21	6700-225	20000-475
Typical landfill leachate	1-30	.5-10	10000-330	20000-1000
Mine tailings site sand with acid drainage leachate	1-40	2-27	10000-250	5000-370
Mine tailings site sand without acid drainage	70-100	15-50	145-100	665-200
Industry site-inorganic contaminants in sand	0.5-1.5	0.3-0.5	20000-6500	33000-20000
100% ethylene dichloride (ED)	—	20,400	—	0.5
50% ED/50% water in sand	700	—	14	—
17% ED/83% water in sand	275	—	36	—
Industry site - organic contaminants in sand	125	—	80	—
BC Place Parcel 2, PAHs (coal gas plant)	200-300	—	50-33	—
BC Place Parcel 2 (wood waste)	300-600	—	33-66	—



Kuva 1. RCPTU-kaira (UBC).

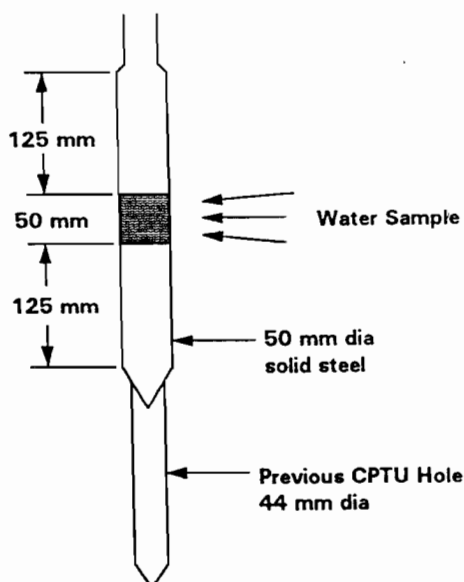
In-Situ vesinäytteenotto

Kaikkien vesinäytteidenotto-ohjelmien päätavoite on kerätä nopeasti ja taloudellisesti edustava määrä vesinäytteitä. Perinteisesti käytetään ottimia ja pumppuja vesinäytteen nostamiseksi asennetuista putkista tai piezometreistä. Menetelmän luotettavuuden takaamiseksi tarvitaan yleensä kalliita ja aikaavieviä asennus- ja näytteenottotoimenpiteitä.

Viime vuosina on tapahtunut merkittävää kehitystä syvävesinäytteiden ottolaitteissa. Esimerkiksi BAT Enviroprobe ja QED Hydropunch II minimoivat likaantumisen ja mahdollistavat nopean, korkealaatuisen, edustavan, helpon ja halvan näytteenoton.

Näiden näytteenottimien suurin hyöty onsiinä, että niitä voidaan käyttää tehokkaasti alustavissa yleisselvityksissä saastuneiden alueiden rajaamisessa ja siten pysyvien näytteenottoputkien sijoittamisen optimoinnissa. Näiden laitteiden hyväksyminen ohjeistuksessa on edennyt laajalle ja nopeasti. Kun käyttö ja kokemus lisääntyvät, menetelmä tultaneen standardoimaan aluetyypeittäin.

Kuva 2 esittää periaatteen UBC:n kehittämästä näytteenottimesta, joka perustuu BAT-pohjavedenottoimeen (Torstensson 1984). Tämä halkaisijaltaan 50 mm näytteenotin, jossa on keskellä HDP-suodatin, voidaan työntää sellaisenaan tai etukäteen RCPTU-kairalla tehtyyn reikään ($d=44$ mm). Otin työnnetään määräsyyvyteen, josta näyte otetaan ja analysoidaan sen jälkeen kemiallisesti. Analysointitietoa käytetään paikalliskorrelaation määrittämiseksi RCPTU-kairauksilla tehtävien vastusmittausten tulosten tulkitsemiseksi. Täydellinen RCPTU-kairaus 30 m syvyyteen ja sen jälkeen vähintään 10 vesinäytteen ottaminen eri syvyyksiltä voidaan suorittaa yhdessä työvuorossa.



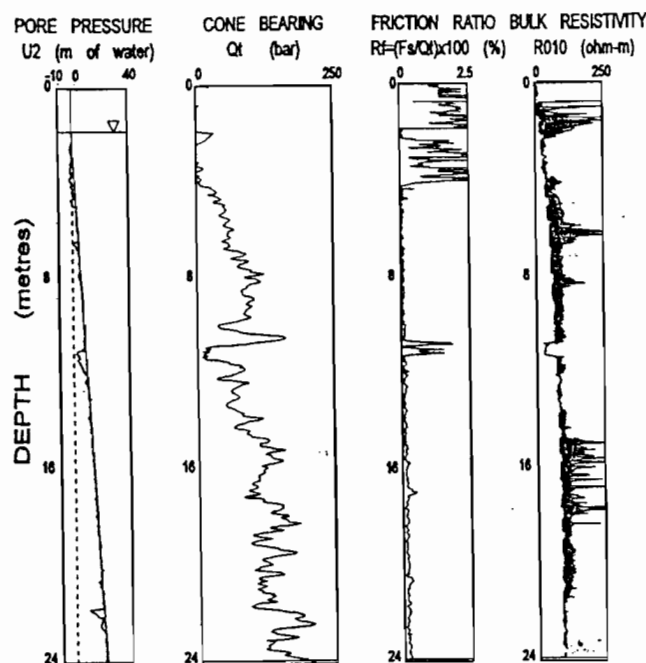
Kuva 2. UBC:n kehittämä huokosvesinäytteenotin, joka perustuu BAT-ottoimeen.

CASE-esimerkkejä

Orgaaniset epäpuhtaudet: Raskasöljyt

RCPTU-kairaus ja uutta vesinäytteenotinta käytettiin varmentamaan tuloksia, jotka oli saatu perinteistä kairaus/näytteenottotapaa käyttäen saastuneella alueella Lower Mainlandissa, B.C. Ohjelman tavoitteena oli testata uuden teknologian kelpoisuutta ja rajoituksia orgaanisilla epäpuhtauksilla saastuneella alueilla. Pääasiallinen orgaaninen kontaminantti oli kreosootti, joka oli peräisin puunkyllästyksestä.

Kenttäohjelma sisälsi 9 RCPTU-kairaus (kolmea käytettiin vesinäytteiden ottamiseen), jotka oli pyritty sijoittamaan optimaalisesti olemassaolevan informaation hyödyntämistä ajatellen. Kuvassa 3 on esitetty tyypilliset RCPTU-kairausprofiilit kuvaten kärkivastusta, huokospainetta, kitkasuhdetta ja sähkövastusta. Erot maan sähkövastuksessa verrattuna "tausta-arvoihin" näkyvät kuvassa tummina (vastuksen kasvu johtuu orgaanisten aineiden eristävästä vaikutuksesta). Muutoksiin vaikuttaa nimenomaan kontaminanttien läsnäolo huokosnesteessä, mikä on varmistettu vesinäytteiden otolla ja laboratoriokokeilla. "Vastuspiikkien" esiintyminen esim. syvyysvälillä 15...19 m indikoi epäpuhtauksien läsnäoloa, mikä on todennettu näyteputkista otettujen vesinäytteiden analysoinnilla.



Kuva 3. RCPTU-kairaus: Maaperän orgaaninen saastuminen raskasöljyllä.

Teolliset epäorgaaniset saasteet - Länsi Kanada

RCPTU-kairauksista ja uutta vesinäytteenotinta käytettiin selvittämään erään teollisuusalueen maaperän laatua Länsi-Kanadassa geologian, hydrogeologian ja geokemian näkökulmasta. tarkoituksena oli rajata saasteiden esiintymisvyöhyke (sulfaatit, kloridit, ja fosfaatit) ja pohtia saasteiden leviämisen riskiä alueen ulkopuolelle. RCPTU-kairaus ja vesinäytteiden otto valittiin menetelmiksi niiden teknisten ja taloudellisten etujen vuoksi.

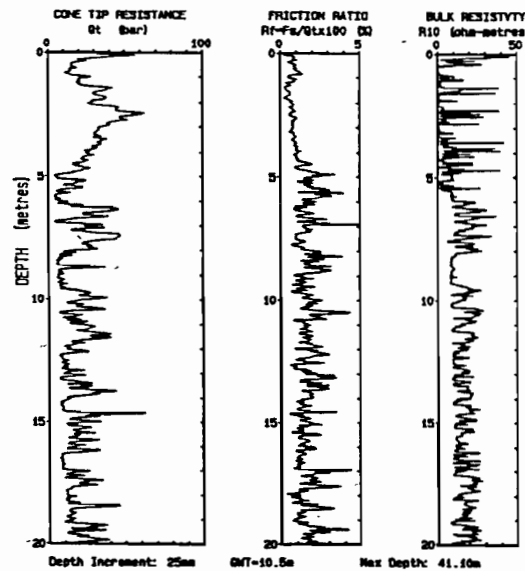
Geotekniset ja hydrogeologiset parametrit (maalaji, suhteellinen tiiviys, hydraulinen johtavuus jne.) saatiin heti määritetyksi. Pohjavesinäytteille suoritettujen kemiallisten analyysien tulokset korreloivat hyvin sähkövastusmittausten tulosten kanssa. Saastuneissa vyöhykkeissä sähkövastus vaihteli välillä 0,5...1,5 Ωm (20 000...6 500 $\mu\text{S/cm}$). Huokosnesteen sähkövastus vaihteli saastuneessa vyöhykkeessä välillä 0,3...0,5 Ωm (30 000...20 000 $\mu\text{S/cm}$). Saastuneita vyöhykkeitä ja niiden liikkeitä seurattiin määräajoin RCPTU-kairauksilla.

Hapan kivilaji salajitusmateriaalina kaivosjätteen sijoituspaikalla - Itä-Kanada

Itä-Kanadassa sijaitsevan sulfidijätteen sijoituspaikan tilan selvittämiseksi laadittiin kenttäohjelma. Alueella esiintyy hyvin dokumentoitu tapaus runsaasti piihappoa sisältävästä kivilajista ("happamasta" kivilajista) tehdystä salaojakerroksesta. Kenttäohjelma sisälsi yli 30 RCPTU-kairauksia yhdessä paikalliskalibrointia varten otettavien vesinäytteiden kanssa (BAT-menetelmästä UBC:n kehittämällä menetelmällä). Muut korkealaatuiset näytteet otettiin asennetuista pohjavesiputkista.

Tyypillinen RCPTU-kairaus happamuutta lisäävässä jätteessä on esitetty kuvassa 4. On huomattava, että 5 m syvyyden alapuolella olevat jätteet ovat hyvin sekoittuneet ja

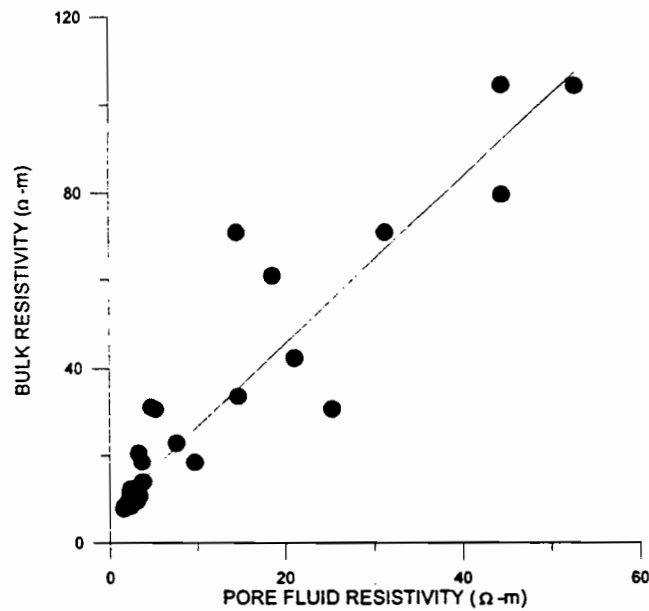
kerrostuneet, mikä näkyy kärkivastuksesta ja kitkasuhteesta. Niistä näkyy myös hienous ja löyhyys. Kuitenkin maa on 5 m syvyyteen saakka melko yhtenäinen hiekkakerros, joka sisältää vain vähän hienoaainesta, mikä näkyy kitkasuhteen pienestä arvosta (n. 1 %). Kerrostunut luonne on tyypillistä hydraulisesti läjitetyillä kaivosjätteillä.



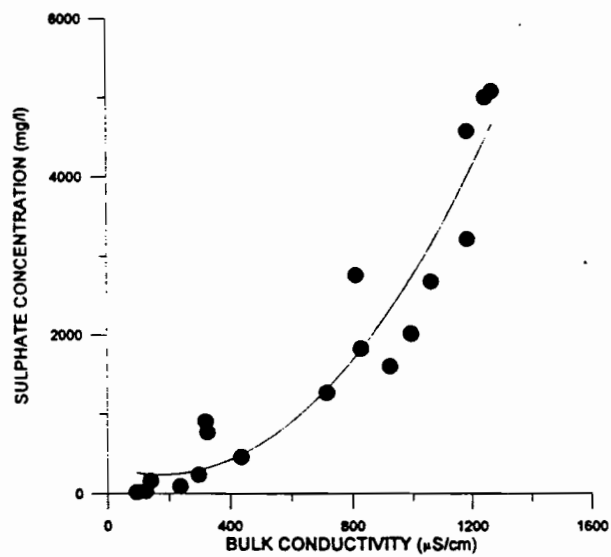
Kuva 4. RCPTU-kairaus: Happamuutta lisäävä kaivosjäte.

Äärimmäisen alhaiset vastusarvot (alle $1 \Omega\text{m}$ eli yli $10\,000 \mu\text{S/cm}$) viittaavat siihen, että 5 m saakka on hyvin vähäistä ionien kerääntymistä huokosnesteessä. Tässä vyöhykkeessä on korkea huokosveden kapilaarijännitys ja vedelläkyllästysaste (alentaen vastusta), mutta mikä tärkeintä, tämä on kerros, jossa on korkea happipitoisuus aiheuttaen samalla sulfaattipitoisuuden ja hapammuuden lisääntymisen. Tämä on pääasiallinen syy hyvin alhaisiin vastuksiin. Huomataan, että 5 m syvyydestä pohjavedenpinnan (-10,5 m) alapuolella olevaan kaivoon saakka alhaisimmat vastuksen arvot ovat noin $10 \Omega\text{m}$ osoittaen liuenneiden aineiden laimentumista verrattuna pintakerrokseen.

Vastusmittausten tulokset kaikilta syvyyksiltä on koottu Kuvaan 5. Jättemassan ja huokosnesteen vastusten suhde on tässä tapauksessa noin 2. Tyypillinen suhde puhtaalla kvartsihiekkalla on 1...5, mutta paljon alhaisempi esimerkiksi savipartikkeleilla. RCPTU-kairaus on osoittautunut kaivosjätteiden tutkimisessa tehokkaaksi etsittäessä vyöhykkeitä, joissa on alhainen vastus ja mahdollisesti saastunut pohjavesi. Sulfaatti- ja metallipitoisuuksien määrittämiseksi on vesinäytteistä tehty kemialliset analyysit. Tulokset on esitetty Kuvassa 6, jossa nähdään hyvä korrelaatio sulfaattipitoisuuden ja jättemassan vastuksen välillä. Tämän perusteella voidaan sulfaattikonsentraatio mallintaa kolmeulotteisena. Mallinnustyö on parhaillaan käynnissä ja näyttää lupaavalta.



Kuva 5. Kaivosjättemassan ja huokosnesteen vastuksen suhde.



Kuva 6. Sulfaattipitoisuuden ja kaivosjättemassan vastuksen suhde.

Tutkimuksen nykyvaihe

Tärkeimmät tutkimustavoitteet ovat:

1. Kehittää parannettuja menetelmiä vesinäytteiden ottamiseksi ennakoiviin yleisselvityksiin.
2. Kehittää uusia in-situ-menetelmiä karkeiden materiaalien vedenläpäisykertoimen K määrittämiseksi ja vastaavuuden löytämiseksi CPTU-parametreille, jotta päästäisiin nopeaan K-arvon määrittämiseen eri syvyyksillä.
3. Kehittää kairausreikien injektointi- ja suojausmenetelmä, jolla voidaan helposti ja taloudellisesti sulkea reikä saasteiden liikkeiden estämiseksi. Perinteisesti kairausreikä täytetään kairauksen jälkeen ja työ vaatii erityisen injektointiputken hitaine injektointitöineen. Aikaa kuluu vähintään yhtä paljon kuin itse RCPTU-kairaukseen. Sen vuoksi on kehitettävä "itsestään injektoiva" menetelmä.
4. Kehittää uusia geofysikaalisia menetelmiä CPTU-tekniikan avuksi, esimerkiksi polarisaatio- ja tutkatekniikkaa soveltaen.
5. Muiden sensoritekniikkaan perustuvien menetelmien kehittäminen erityisesti orsivesikerroksessa DNAPL:n ja LNAPL:n etsimistä ja pitoisuuden määrittämistä varten.
6. RCPTU-kairauksen soveltamismahdollisuuden tutkimista orsivesikerroksen vedellä- kyllästysasteen määrittämisessä.
7. Saastuneisuustasojen mittaaminen ja siirto suoraan SQL-tietokantaan saasteiden kulkeutumisen mallintamiseksi.

Pohjaveden kontaminoitumisen tutkimus sopivilla alueilla käsittää:

1. Hiilivety-yhdisteiden etsimisen ja kartoituksen: DNAPL ja LNAPL.
2. Nitraattien ja pestisidien lisääntymisen arvioimisen.
3. Jätteiden sijoituspaikkojen sisältämien epäpuhtauksien nopeiden tutkimusmenetelmien kehittämisen.

2.2 Muu ohjelma

Tekniset vierailut

Kongressissa oli keskiviikkona 13.7. tutustumiskäynnit valinnaisiin paikkoihin, joista alla on esitetty englanninkielinen selostustiivistelmä.

SUNCOR Oil Sands Inc.

Since 1967, Suncor has operated an oil sand surface mining operation north of Fort McMurray. Currently, the mine produces about 150,000 tpd of oil sand feed, which results in approximately 65-70,000 BPD of synthetic crude oil.

Suncor's geotechnical programs are directed primarily at the tailings disposal operation. Issues related to slope stability, static and dynamic liquefaction, seepage control and reclamation dominate the geotechnical work. Included in the tour of Suncor will be the construction activities of tailings dikes and earth embankments, an overview of the mining operation (including truck/shovel and sizers) and activities related to the fine tailings transfer.

AOSTRA Underground Test Facility

Since 1984, the Alberta Oil Sands Technology and Research Authority (AOSTRA) has developed the Underground Test Facility (UTF) in the Athabasca Oil Sands area, about 60 km northwest of Fort McMurray, Alberta.

At this site, AOSTRA leads a consortium of 11 participants in the development of a new technology for the underground recovery of oil reserves which were formerly beyond the reach of surface mining operations. A Steam-Assisted Gravity Drainage (SAGD) system is utilized to produce bitumen from a series of horizontal wells drilled from underground tunnels. This technology combination reduces the cost of bitumen production and has less environmental impact than surface mines or alternate in-situ projects.

On this tour, delegates will have the opportunity to visit the surface facilities and underground mine tunnels.

TOUR OF EDMONTON AREA SOLID WASTE LANDFILLS

West Edmonton Landfill

The West Edmonton Landfill and Recycle Facility, owned and operated by Waste Management Inc. (WMI) of Canada, is a 46 hectare sanitary landfill currently providing disposal for all of Edmonton's residential waste. Up to 1500 tonnes of waste are deposited daily. Sophisticated security measures, daily cover and compaction, leachate collection, groundwater monitoring, gas venting and bird/litter control combine to create an environmentally sound landfilling operation.

A 45 metre vertical expansion is planned for the site that will provide an additional 6 to 8 years of capacity for Edmonton's residential refuse. The geoenvironmental aspects of the existing operation and the proposed expansion will be described in a presentation, followed by a landfill site and recycling facility tour.

Riley Facility

Laidlaw Environmental Services Ltd. operates a licensed hazardous waste transfer station and secure landfill at Riley, southeast of Edmonton. The facility handles diverse waste streams, including gases, flammable and combustible liquids, flammable solids, oxidizing substances, corrosive liquids and solids, poisonous substances and environmentally hazardous wastes.

Environmental protection programs are in place at the facility, including regular environmental audits, water monitoring (groundwater, leachate and surface water), and bio-monitoring. These programs and other aspects of the facility will be described in a presentation and during the on site tour.

ALBERTA SPECIAL WASTE TREATMENT CENTRE - SWAN HILLS

The Alberta Special Waste Treatment Centre is the only fully integrated hazardous waste treatment and disposal facility in Canada. The facility handles a full range of hazardous wastes, including PCB's and PCP's.

A welcome session will be held and delegates will be shown an introductory video addressing the overall features of the facility and its operation. Questions of a general nature will be entertained.

Guided field tours will follow with focus on key facility components, including; waste receiving, physical/chemical treatment, incineration, stabilization, and landfill. Special emphasis will be given to the geotechnical features of the site and the water management systems.

After the field tour, an additional session will be held to entertain any outstanding questions.

TOUR OF COAL STRIP MINING AND RECLAMATION

Genesee

The Genesee Coal Mine is Alberta's most recently opened prairie strip mine. The operation utilizes large electric draglines to recover approximately 3.5 million tonnes of coal per year, which are used to produce 800 MW of electric power.

Innovative material handling techniques have resulted in award winning results in the reclamation of mined land. The tour will highlight cost effective techniques to handle the difficult soils and subsurface materials encountered. Integration of reclamation planning with mine design and operations is required to yield the high quality results achieved to date.

The tour will include the power station as well as the coal mining and reclamation operations.

Grillijuhla

Torstai-iltana 14.7. oli kongressivieraille järjestetty grillijuhla

Whitewood

The Whitewood Mine is located 65 km west of Edmonton adjacent to the Yellowhead Highway. The mine, which has been in operation since 1962, supplies approximately 3.0 million tonnes of sub-bituminous coal to the Wabamun Generating Station.

Stripping is accomplished with a Marion 8200 Dragline. Coal is mined and delivered to the power plant with a fleet of loaders, electric shovels and bottom dump trucks. Reclamation takes place immediately after mining. Before mining, topsoil is removed from the land and trucked to the mined out areas where it is replaced on contoured and leveled land. In addition to land reclamation, there are programs in place which monitor air and water conditions.

The mine operation, reclamation activities and monitoring programs will be discussed in a presentation, followed by a tour of the mined and reclaimed area.

TOUR OF RECLAMATION AND CONTAINMENT OF HYDROCARBON CONTAMINATED SITES
Canada Creosote - Calgary, Alberta

The Canada Creosote Site, located west of downtown Calgary, is the site of a former wood preserving plant which operated for nearly 50 years. The site was identified by the HELP Project, a project of Alberta Environmental Protection to identify, assess and remediate abandoned high risk contaminated sites. Investigations have determined the nature and extent of contamination while more recent studies have assessed potential human health risks and aquatic impacts on the Bow River.

Geotechnical and environmental aspects of the site will be viewed and discussed during a presentation and site tour. Results and findings of studies on the contamination problem, significant impacts and remediation measures being considered will be described. Tour leaders will be engineers or geologists who have worked on this project and will be prepared to discuss details of the site investigation, pilot scale projects, human and environmental impact assessment and remediation technologies.

Sour Gas Plant - Strachan, Alberta

Recognizing the potential impacts of sour gas plant operations on the subsurface environment, the Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP) and Environment Canada launched a multiphase study focusing on demonstrating remedial technologies for soil and groundwater contamination at these facilities. After review of available soil and groundwater monitoring data for sites across Alberta and review of appropriate remedial technologies (both existing and innovative), the Gulf Canada Resources Strachan gas plant was selected as the most suitable site for field research.

The ongoing research includes assessment of the effectiveness and limitations of a number of remediation methods, including pump-and-treat and soil vapor extraction techniques. Innovative technologies have been developed for the treatment of contaminated groundwater and off-gases produced during implementation of these remediation methods.

The presentation will include a brief talk outlining the research and demonstration program, followed by a tour of the remediation facilities and gas plant.

TOUR OF SOIL REMEDIATION FACILITY AND SITE

Alberta Environment Centre - Vegreville, Alberta

The Centre, operated since 1981, is Alberta's major facility for applied environmental research, technology development and related services, and utilizes a multi-disciplinary team approach to research and development. The 28,000 m² complex is situated on a 300 hectare site and incorporates an incineration facility, a laboratory waste treatment system, and waste water storage lagoons.

Among numerous other study areas, the Centre performs research in the areas of soil reclamation and remediation of contaminated soils. Present study includes the development of a solvent extraction process. This process is especially valuable where soils must be cleaned rapidly (less than one year), or residual contaminants must be very low (less than 5 percent of the original level).

Garbage and industrial wastes are also being studied, with research focused on efficient, clean incineration and the evaluation of processes for solidifying and stabilizing wastes.

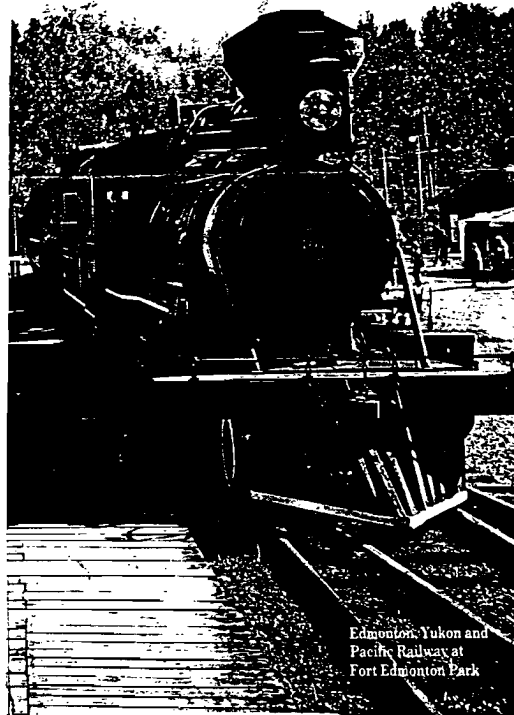
Bio-Reactor - Nevis, Alberta

In association with the Environmental Research Centre, a bio-reactor research site has been developed near Nevis, Alberta. The solid phase bio-reactor has been designed to remediate hydrocarbon and salt contaminated soils and sludges. Wastes are leached using sprinkler irrigation to remove salts, and the hydrocarbons are biodegraded by enhancing the activity of naturally occurring populations of the soil biota. Design features include forced aeration, increase in temperature, control of soil water, containment and downwell disposal, and statistical evaluation of treatments.

A presentation will be given outlining the key components of the bio-reactor research facility, followed by a site tour.

Grillijuhla

Torstai-iltana 14.7. oli kongressivieraille järjestetty grillijuhla Fort Edmonton Park'issa sijaitsevassa Edmontonin historiasta kertovassa ulkoilmamuseossa, Kuva 2. Tilaisuudessa esiteltiin 1800-luvun tyyliin rakennettua historiallista Edmontonia sekä alueella sijainnutta Hudson Bay Companyn johtajan tilaa, nautittiin grillipäivällinen hauskoina tanssi- ja lauluesityksineen. Kongressin järjestelykomitean ja teknisen komitean jäsen, ISSMFE:n edellinen presidentti, Albertan yliopiston geotekniikan professori Morgenstern vaimoineen oli pukeutunut Villin Lännän asuun farkkupukuineen, lierihattuineen ja bootseineen. Aurinkoisessa, mutta pukeuksellisen viileässä illassa vietetty noin neljän tunnin tilaisuus oli mieliinpainuva.



Kuva 1. Höyryjuna, jolla vieraat kuljetettiin grillijuhlaan.

Kaupungin muut nähtävyydet ja tehdyt havainnot

Edmontonin keskustaa hallitsevat korkeat liikerakennukset, joista muutama korkein on verhoiltu lasilla. Keskustan ulkopuolelle mentäessä muutamia kerrostaloalueita luokunottamatta asuin-, liike-, ja teollisuusrakennukset ovat enimmäkseen matalia. Suunnattomat tasaiset viljelysalueet hallitsevat Edmontonia ympäröivää maaseutua.

Edmontonissa sijaitsee noin 20 minuutin automatkan päässä paikallisten kertoman mukaan maailman suurin ostoskeskus, West Edmonton Mall, jonka sisälle on rakennettu mm. luistelukaukalo, "Serena-tyyppinen" vesipuisto lainealtaineen ja palmui-neen, delfiiniallas, muita puistikkoja ja kanavia sekä mm. 18-reikäinen pienenis-golfkenttä. Eräässä kanavissa oli pienoissukellusveneitä vedenalaista ajelua varten. Muutaman Itäkeskuksen kokoinen rakennus on katettu lasilla, joten päivänvalo pääsee sisälle melko tehokkaasti. Rakennuksessa on yli 800 kauppaa ja kymmeniä ravintoloita. Kerrotaan, että rakennuksen kymmenvuotisen historian aikana eräs asunnoton on viettänyt koko ajan rakennuksen sisällä poistumatta kertaakaan ulos.

Geotekninen psasto

exploring the Hudson's Bay fort as it was in 1846 - the busy centre of a vast fur-trading territory.

- The new Dominion of Canada has embraced a policy of populating the West. You've arrived in the settlement of Edmonton, ready to go to work and begin a new life.

223. Ottewill Homestead
224. Bellerose School
225. Bulletin Building
226. James McDonald's
Carpeny Shop
227. Hutchings & Riley Harness
Shop & Kernohan's Millinery
228. Raymer's Jewellery
229. Methodist Church
230. Byrnes Shoe Shop
231. Lauder's Bake Shop/
Residence
232. Ross Brother's Hardware
233. Lauder's Bakery
34. Second Complex
235. Daly's Drug Store &
Dr. Wilson's Office
236. McDougall's General Store

Edmonton is a city and the capital of a new province - Alberta. The railway has arrived, bringing many modern comforts to your home and business

- | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|---------------------------|
| 49. Henderson Round Barn | 54. Masonic Hall | 59. Reed's Tea Shop | 1905 Era Retail/Souvenirs |
| 50. Henderson Farm House | 57. Gyro Park | | 55. Penny Arcade/Shooting |
| 51. Horseshoe Park | 62. Fire Hall/Town Hall | | Gallery |
| 52. Anglican Church of St. Michael & All Angels | | | 59. Reed's Bazaar |
| 53. Rutherford House | Food Service | | 60. Ernest Brown Studio |
| 54. Masonic Hall | 54. Masonic Hall | | |
| 55. Penny Arcade/Shooting Gallery/Employment Office | 59. Reed's Tea Shop | | |
| 56. St. Anthony's Church | | | |
| 57. Gyro Park/Playground | | | |
| 58. Post Office/Law Office/Telephone Office | | | |
| 59. Reed's Bazaar & Tea Shop | | | |
| 60. Ernest Brown Studio | | | |
| 61. Bank of Montreal | | | |
| 62. Fire Hall/Town Hall | | | |
| 63. East End Park Bandshell | | | |
| 64. W. Ramsay Greenhouse | | | |

currently being developed (The First World War has brought many changes. Your city has become an urban community with neighborhoods and civic identities.

- 35. Koerman Block/Ukrainian Bookstore
 - 36. Sun Drug Store & Bill's Confectionery
 - 37. J.B. Little Brickyard
 - 38. Festival Tent
 - 39. Al Rashid Mosque
 - 40. Mellon Farm
 - 41. Motordrome Ltd
 - 42. Streetcar Barn
- Food Service**
- 35. Ukrainian Bookstore (soda pop)
 - 36. Bill's Confectionery (ice cream)
- Washrooms**
- 36. Bill's Confectionery
 - 1920 Era Retail/Souvenirs
 - 35. Ukrainian Bookstore

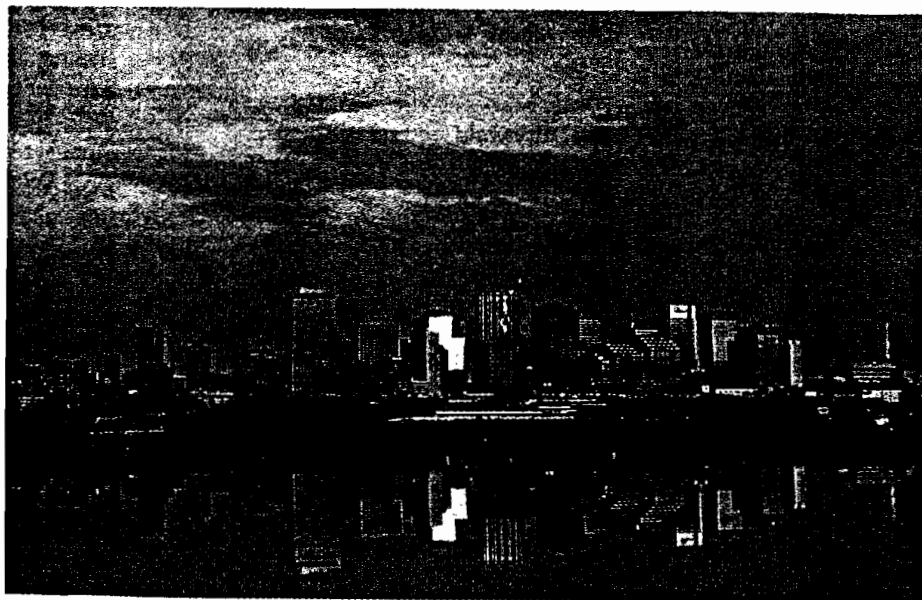
Myös Edmontonin ydinkeskustassa on suuri ostoskeskus, Edmonton Center, jossa on maanpäällisten kerrosten lisäksi runsaasti maanalaisia kerroksia.

Kaupungissa tunnetaan edelleen hyvin suomalaiset jääkiekkoilijat, jotka ovat luoneet maineensa Edmonton Oilers'issa. Vierailtuani paikallisessa jäähallissa, Coliseumissa, olin suomalaisena tervetullut sisään tutustumaan, vaikka halli olikin suljettu kesätauon vuoksi. Jäähallin pihalla on Edmontonin suuren pojan, Wayne Gretzkyn pronssinen, noin 2,5 metriä korkea patsas.

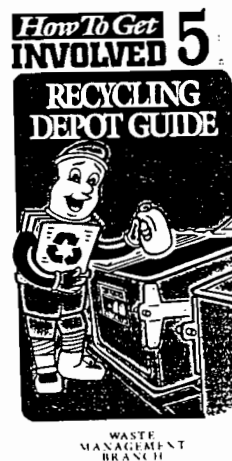
Tutustuin myös mm. paikallisten pääväestön illanviettotapaan Country-baarissa jontansseineen ja intiaanien omaan illanviettopaikkaan. Yleisesti voi huomata että varakkaampi pääväestö ja alkuperäisväestö eivät ole kovin paljon tekemisissä keskenään. Myöskään toinen vähemmistö eskimot ja intiaanit eivät ole keskenään kovin läheisiä.

Edmontonin kaupungissa järjestettiin kongressiviikolla vuotuinen The Edmonton International Street Performance Festival, mikä oli tänä vuonna 10-vuotisjuhla festivaali. Sen tilaisuudet kestivät puolipäivästä iltaan saakka kaupungin keskustan puistoissa ja teattereissa. Esitykset vaihtelivat sirkustempuista musiikki- ja teatteriesityksiin sekä monenlaisiin lastentapahtumiin. Tapahtuman yhteydessä oli myyntikojujen lisäksi asukkaille tarkoitettuja informaatiopisteitä. Eräs mielenkiintoinen piste oli Edmontonin kaupungin jätehuoltolaitoksen esittelypiste, jolta saamani materiaalin kansikuvat on esitetty seuraavalla sivulla Kuvassa 4.

Ehdin muutaman kerran hölkkäillä Saskatchewan-joen reheville rannoille rakennettuja kävelyteitä pitkin. Määrävälein niiden varsille oli rakennettu oleskelupuistoja grilleineen. Talvella poluilla voi harrastaa maastohiihtoa, kuten Suomessakin.



Kuva 3. Edmontonin keskustan silhuetti.



Kuva 3. Edmontonin kaupungin jätehuoltolaitoksen oppaita.

3. YHTEENVETO JA KONGRESSIN ANTI HELSINGIN KAUPUNGILLE

Helsingin kaupunkisuunnittelun ja rakentamisen nykytilanteessa kongressista saatuja tietoja voidaan hyödyntää kaupungin tarpeisiin. Yksi keskeisiä ongelmia on tällä hetkellä likaantunut maaperä uudisrakentamisen suuntautuessa vanhoille teollisuus-, varasto-, jäteveden puhdistamo-, huoltamo- yms. alueille. Likaantuneen maaperän kaivua ja kuljettamista tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää. Tähän tarjoavat tulevaisuudessa mahdollisuuden In-situ-käsittelymenetelmät. Myös eristäminen muusta ympäristöstä erityisillä seinärakenteilla tulee joissakin tilanteissa kysymykseen. Kuitenkin nykytilanteessa ja vielä tulevaisuudessakin joudutaan likaantuneita maita kaivamaan pois ja käsittelemään ympäristölle ystävälliseen muotoon.

Saastuneita alueita on mm. Pohjois-Hermannissa, Itäranalla (Toukolan ranta), Herttoniemen ranta-alueella, Pikku Huopalahdessa, Viikin ja Malmin ampumarata-alueilla, vanhoilla, huoltoasematonteilla ja vanhoilla jäteveden puhdistamoalueilla. Niiden saneeraamiseen kaupunki joutuu suuntaamaan varoja samaan tapaan kuin pehmeikköalueiden esirakentamiseenkin.

Potentiaalisesti likaantuneiden vesialueiden (esim. Töölönlahti, Vanhankaupunginlahti) ruoppaamista suunniteltaessa joudutaan vastaaviin ympäristötarkasteluihin kuin muualakin maailmassa (kts. käännetty kirjoitukset).

Kivihiililentotuhkan hyödyntämisestä Helsingin kaupungilla on jo yli kymmenen vuoden kokemus. Eräässä kirjoituksessa olikin referoitu geoteknisen osaston laatimaa tuhkien käyttöopasta. Kongressissa oli myös muutamia lentotuhkan jatkojalosteiden käyttöön liittyviä artikkeleita, joista saadaan lisävinkkejä alaa meilläkin edelleen kehitettäessä.

Kaatopaikkojen ympäristötekniikkaa oli käsitelty myös runsaasti.

4. MATKAN KUSTANNUKSET

Kongressimatkan kustannukset olivat seuraavat:

Lennot	5 490,00 mk
Kongressimaksu	3 020,30 mk
Päiväraha 7 vrk 'a 260 mk	1 820,00 mk
Majoitus	2 524,59 mk
Bussi- yms. kulut	92,68 mk

Yhteensä	12 947,57 mk
----------	--------------

PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS

Sponsored by the International Society for Soil Mechanics and Foundation
Engineering and Canadian Geotechnical Society

Edmonton 11-15 July 1994

EDITOR

Technical Program Committee of 1st ICEG
W. David Carrier, III, Chairman

STEERING COMMITTEE

ISSMFE

Prof. N.R. Morgenstern, Past President
Dr. R.H.G. Parry, Secretary General
Prof. H.L. Jessberger, Germany
Dr. Z.-C. Moh, Taiwan

CGS

Mr. J. Seychuk, President
Mr. A.G. Stermac, Director General
Prof. J. Graham, VP-Technical
Mr. P. Wu, VP-Finance

CONFERENCE CO-CHAIRMEN

Prof. J.D. Nelson
Prof. J.H. Troncoso
Prof. R.N. Yong

ORGANIZING COMMITTEE

Dr. W.D. Carrier, III, Technical Program
Prof. J.D. Nelson, Environmental control, ISSMFE TC-5
Prof. D.C. Sego, Arrangements
Prof. J.H. Troncoso, Mines Waste, ISSMFE TC-7
Prof. R.N. Yong, Geoenvironment Division, CGS

TECHNICAL PROGRAM COMMITTEE

Y.B. Acar	J.D. Nelson
D.W. Airy	M.J. O'Connor
M. Aubertin	R.H.G. Parry
J.E. Baumann	H.G. Poulos
J.R. Booker	R.M. Quigley
W.D. Carrier, III	J. Saarela
R.P. Chapuis	D.C. Sego
R.G. Clark	C.D. Shackelford
A.W. Clifton	B. Soye
L.G. de Mello	R.S. Tenove
K. Jha	J.H. Troncoso
M. Kamon	M.T. Tumay
P. Klablana	M. Usmen
R.C. Lo	S.G. Vick
T.A. Lundgren	J.P. Welsh
M. Manassero	R.N. Yong
Z.-C. Moh	Yudhbir
N.R. Morgenstern	T F Zimmie

ACKNOWLEDGEMENTS

The Organizing Committee wishes to express its great appreciation to L.K. Jarrah and C.D. Manuel, both of Bromwell & Carrier, Inc.



Printed and bound in Canada

Published 1994

Published and sold by:

BiTech Publishers Ltd.

173 - 11860 Hammersmith Way

Richmond, British Columbia

Canada V7A 5G1

ISBN 0 921095 32 5

Keynote Speakers

Robert Hinchee	
State-of-the-Art of In Situ Remediation of Hydrocarbon Contamination	101
M. Manassero, C.D. Shackelford	
Classification of Industrial Wastes for Re-use and Landfilling	103

Submitted Papers

I. Alimi-Ichola, O. Bentoumi, G. Didier	
Analyse des Transferts d'Eau Dans un Matériau d'Étanchéité de Fond de Décharge	
Evaluation de la Perméabilité en Régime Transitoire	115
P. Amann, F.T. Madsen, L. Martinenghi	
Waste Immobilisation, Soil Liner and Slurry Wall Material Research in Switzerland	121
Cem B. Avci, Daniel Bodine, Erol Güler	
Effects of Clay Swelling on Permeability Calculations Obtained from	
Sealed Double Ring Infiltrometer Tests	127
N.P. Betelev	
A New Method for Determination of Organic Carbon Content in Soils and Rocks	
to Estimate Pollutant Levels	133
N.P. Betelev, B.I. Kulachkin, Ya M. Kislyakov	
Dependence between Uranium and Organic Matter in Soils, Rocks and in Uranium	
Deposits in Connection with Geotechnical Problems	137
Brigitte Boldt-Leppin, Paul Kozicki, Moir D. Haug, John Kozicki	
Use of Organophilic Clay to Control Seepage from Underground Gasoline Storage Tanks	141
J.R. Booker, C.J. Leo	
A Boundary Element Method for Analysis of Contaminant Transport in	
Heterogeneous Porous Media	147
R.G. Campanella, M.P. Davies, T.J. Boyd, J.L. Everard	
Geoenvironmental Subsurface Site Characterization Using In-Situ Soil Testing Methods	153
Wah-Tak Chan, Daniel C. Hsu	
Design and Construction of Soil-Bentonite Slurry Wall Helen Kramer Superfund Site	161
R.G. Clark, J.A. Scarrow, R.W. Skinner	
Safety Considerations Specific to the Investigation of Landfills and Contaminated Land	167
Brian Cooke, Jason Fong	
Apparatus for Measurement of Molecular Diffusion Coefficients	
in Partially Saturated Soils	173
Henry S. Crawford, Kevin Parks	
Seeking Optimal Containment Design at Creosote-Contaminated Site	
Through Cost-Benefit Analysis	179
J. Crosnier, C. Delolme	
Le Contrôle de la Charge Bactériologique des Lixiviats de Décharge par les Sols:	
Influence des Paramètres Physico-Chimiques des Lixiviats de Décharge	
sur la Migration Bactérienne à Travers un Sol Saturé	185

Raghava Dasika, James Atwater A Review of Clogging Processes in Porous Media as Related to Wastewater Collection and Drainage	187
Greg H. Deaver, Carol S. Mowder Soil Vapor Extraction Below a Building	193
Greg H. Deaver, Robert J. Tworkowski Application of Air Sparging to 1,1,1-Trichloroethane Contaminated Soil - A Success Story	201
Maurice B. Dusseault, Roman A. Bilak, Leo Rothenburg Slurry Injection Disposal of Granular Solid Wastes	209
A. Esnault, F. Dufournet-Bourgeois Ecrans Etanches Destinés au Confinement de Sites Pollués: Durabilité des Matériaux Constitutifs	215
Marco Favaretti, Nicola Moraci, Paolo Previatello Effects of Leachate on the Hydraulic and Mechanical Behaviour of Clay Liners	221
Jean-Marie Fleureau, Said Taibi A New Apparatus for the Measurement of Water-Air Permeabilities	227
Mark Gemperline Surface Sampling to Detect Unacceptable Human Health Risk	233
Michio Gomyoh, Hideo Hanzawa, Tej Pradhan Investigations and Measurements Associated with Environmental Improvement of Inner Bay Areas by Covering Polluted Soft Mud with a Thin Sand Layer	241
V.I. Grebenets, A.B. Lolaev, D.B. Fedoseev, V.A. Savchenko Geotechnical Aspects of Environmental Violations in Cryolitic Zone	247
Paul G. Hansen, G. Robert Crotty Use of Geomembranes as Vertical Barrier Liners for Containment on the North Slope of Alaska	255
Musatapha Hellou, Mohamed El Yazidi Visualisation du déplacement de polluants liquides dans un milieu poreux	261
Satoshi Imamura, Masanori Shimomura, Toru Sueoka Migration Characteristics and Remediation Efficiency at Organic Compounds Contamination Sites of Volcanic Ash Soil Layer in Japan	267
Hilary I. Inyang A Weibull-based Reliability Analysis of Waste Containment Systems	273
Hank H. Jong, Nestor O. Acedera, Todd F. Battey, Roger R. Batra Application of Cone Penetration Test for a Background Sampling Program	279
Masashi Kamon, Takeshi Katsumi Potential Utilization of Waste Rock Powder	287
Raj P. Khera Calcium Bentonite and Fly Ash in Slurry Wall Construction Materials	293

Suresh R. Kikkeri, Edward P. Hagarty, Jimmy L. Wilcher, John Bowman Site Characterization and Remediation of Hydrocarbon Contaminated Area	299
Paul Kozicki Remediation of a Chemical Landfill at the University of Saskatchewan, Saskatoon, SK	305
G. Lefebvre, F. Burnotte, P. Rosenberg Contrôle Électrocinétique des Écoulements Souterrains	313
P.C. Lim, S.L. Barbour, D.G. Fredlund Laboratory Determination of Diffusion and Adsorption Coefficients of Inorganic Chemicals for Unsaturated Soil	319
P.L. Martin, G. Vaciago, N.R. Somers, H.T. Burbidge Additional Lagooning on Stage I of the Gale Common Ash Disposal Scheme: Investigation, Design and Preparatory Works	325
Godwin N. Nnad Contamination Assessment and Remediation Approaches in North America	331
Paul M. Przygocki, L. Alan Johnston, Walter Kosinski Containment System of an Industrial Wastewater Lagoon, including Surcharge Loading of Sediments for Cap Support	337
P.B. Rainbow, R.G. Clark, J.H. Donovan The Statistical Analysis of Leachate and Water Quality Monitoring Data at a Large Landfill Site	343
R.Kerry Rowe, M.J. Fraser Composite Liners as Barriers: Critical Considerations	349
Martin Sanchez, Alain Grovel Sedimentation sur un Fond Permeable	355
Kohei Sawa, Masashi Kamon, Seishi Tomohisa, Nagahide Naito Waste Oil Hardening Treatment by Industrial Waste Materials	361
Markus Sjöholm, Tapio Strandberg Using Glacial Till as Liner Material for a Waste Disposal	367
Mohd R. Taha, Yalcin B. Acar, Robert J. Gale, Mark E. Zappi Surfactant Enhanced Electrokinetic Remediation of NAPLs in Soils	373
S. Thevanayagam, J. Wang Flow Behavior During Electrokinetic Soil Decontamination	379
Matthias Vogler, Helmut Dörr, Rolf Katzenbach, Norbert Molitor Quality and Efficiency Control During Soil Air Sampling and Remediation	387
T. Winiarski, J. Cavalcante Rocha, G. Didier Effet de Trois Lixiviats de Décharges d'Ordures Menagères sur le Gonflement de Quatre Bentonites	393
Kazuya Yasuhara, Masayuki Hyodo, Kazutoshi Hirao, Sumio Horiuchi Liquefaction Characteristics of Coal Fly Ash as a Reclamation Material	410

M. Yudhbir, M. Kumar, S. Kumar, A. Kumar A Novel Concept of Design of an Ash Pond	409
--	-----

MINING

Plenary Speaker

Richard R. Davidson Seepage Patterns in Tailings Dams: Implications for Operation and Remediation	415
--	-----

Keynote Speaker

G.E. Blight Environmentally Acceptable Tailings Dams	417
---	-----

Submitted Papers

M. Aubertin, R.P. Chapuis, M. Aachib, J.F. Ricard, L. Tremblay, B. Bussière Cover Technology for Acidic Tailings: Hydrogeological Properties of Milling Wastes used as Capillary Barrier	427
R.F. Azevedo, M.C.M. Alves, T.M.P. de Campos Numerical Analysis of the Sedimentation and Consolidation of a Neutralized Red Mud	433
S.E.T. Bullock, F.G. Bell Ground and Surface Water Pollution at a Tin Mine in Transvaal, South Africa	441
G. Calabresi, V. Pane, S. Rampello, O. Bianco Geotechnical Problems in Construction over a Thick Layer of a Mine Waste	449
B.C. Davidson, M.B. Dusseault, R.J. Demers Solution Cavern Disposal of Solvay Process Waste	455
Tácio M.P. de Campos, Maria Cristina M. Alves, Roberto F. Azevedo, Laboratory Settling and Consolidation of a Neutralized Red Mud	461
Euler De Souza Engineering and Environmental Considerations in Salt Tailings Management and Disposal Underground	467
W.A. Ericson, C. Winkler III, M.E. Plaskett Comparison of Fine Tailings Properties and Disposal Methods for the Alumina, Phosphate, and Oil Sands Industries	475
Martin Fahey, Yoshimasa Fujiyasu The Influence of Evaporation on the Consolidation Behaviour of Gold Tailings	481
A.B. Fourie, B. Wrench Use of Dynamic Compaction for the Rehabilitation of a Mining Backfill Area	487
Dieter D. Genske, Jean Thein Recycling Derelict Land	493
T. Germanov, V. Kostov Determination of Tailings Properties for Seismic Response Analysis of a Tailings Dam	499

J. Hadjigeorgiou, R. Poulin, K. Aref, T. Boyd An Assessment of the Co-mingled Waste Disposal Method for ARD Control	505
Peter C. Lighthall, Harvey N. McLeod, Serena Domvile A Review of Mine Tailings Management Practises for Closure	513
Robert C. Lo, Edward R.F. Lord, Julian M. Coward Oil-Sands Fine Tailings Reclamation Involving Sand-Fines Mixtures	519
L.J. Potter, C. Savvidou, R.E. Gibson Consolidation and Pollutant Transport Associated with Slurried Mineral Waste Disposal	525
S. Rampello, V. Pane, G. Calabresi, O. Bianco Geotechnical Characterization of a Clayey Mine Waste	531
Krishna R. Reddy, Jeffrey C. Schuh Computer Modeling to Define the Extent of Groundwater Contamination at a Coal Refuse Disposal Facility	539
Yakov M. Reznik Water Resisting Barriers at Coal Mining Activity Sites	545
Pechka Stoeva, Paoulin Zlatanov Estimation de la Stabilité des Terrils Intérieurs sur la Base de la Théorie du Risque . .	551
Nagula N. Suthaker, J. Don Scott Large Scale Consolidation Testing of Oil Sand Fine Tails	557
Gareth E. Swarbrick The Use of Small Scale Experiments to Predict Desiccation of Tailings	563
M.B. Szymanski, H.L. MacPhie Approach to Closure Designs for Mine Sites with Severe AMD	569
MUNICIPAL	
Plenary Speaker	
Hans L. Jessberger Remedial Works in a Highly Industrialized Region	577
Keynote Speaker	
Robert M. Quigley Municipal Solid Waste Landfilling	589
Submitted Papers	
A. Al-Tabbaa, S. Walsh Geotechnical Properties of a Clay Contaminated with an Organic Chemical	599
Olivier Artières, Philippe Delmas, Michel Correnoz, Odile Oberti Stability of Wastes on Lining Systems: Analysis and Design	605

C. Bernhard, J.P. Gourc, I. Le Tellier, Y. Matichard Compared Performances of Bottom and Slope Lining Systems of Municipal Landfills	611
Brent A. Black, Abdul Shakoor A Geotechnical Investigation of Soil-Tire Mixtures for Engineering Applications	617
R.G. Clark Landfill Gas Protection Measures for Industrial Developments	625
C. Coulet, M. Boudissa, L. Curtil Remblais Alleges en Dechets de Matieres Plastiques	631
Francisco Casanova de O. e Castro, Mauricio Ehrlich, Maria Claudia Barbosa, Marcio S.S. de Almeida Site Investigation for Rehabilitation of a Municipal Landfill	637
O. Del Greco, C. Oggeri Shear Resistance Tests on Solid Municipal Wastes	643
Eduardo C. do Val, Luiz Antoniutti Neto A New Piezometer for Sanitary Landfills	651
M. Ehrlich, M.S.S. Almeida, M.C. Barbosa Pollution Control of Gramacho Municipal Landfill	657
Richard B. Erickson, Echol E. Cook, Braja M. Das Aerobic Biological Clogging of Soil/Geotextile/Geonet Filter in Leachate Collection Systems	665
F. Federico Numerical Analysis of Effectiveness of Imperfect Underground Barriers	671
Angelo Lucio Garassino, Massimo Giambastiani, Bruno Salesi Design and Performances of a Clay Liner for Containment and Impermeabilization of an Aeration Waste Water Plant in Ghana	677
S.W. Hong, Y.S. Jang, H.I. Jeong A Study on the Characteristics of Marine Clay and Admixed Liners	683
Rosario Iturbe, Ana E. Silva Behavior of Bordo Poniente Landfill in Texcoco Zone, Near Mexico City	689
Y.S. Jang, K.Y. Lee, S.S. Kim, G.S. Lee Numerical Modelling of Contaminant Migration in two Municipal Landfill Sites	695
Mir Fazlul Karim, Mohammed Jamal Haider Impact of Geo-Engineering Mapping on Waste Management in Greater Dhaka City, Bangladesh	701
Edward Kavazanjian, Jr., Michael S. Snow, Neven Matasovic, Chaim J. Poran, Takenori Satoh Non-Intrusive Rayleigh Wave Investigations at Solid Waste Landfills	707
Paul Kozicki, Steven Harty, John P. Kozicki Design and Construction of Soil-Bentonite Liners and Two Case Histories	713

M. Miyake, M. Wada, A. Maruyama, H. Iwatani Geotechnical Characteristics of Refuse Ash Dumped in Phoenix Project in the Amagasaki Offshore Site	721
Vince O'Shaughnessy, Vinod K. Garga Assessment of Hydrogeological and Contaminant Transport Properties of a Fractured Clay in Eastern Ontario	729
Issa S. Oweis, Edward M. Zamiskie, M. Golam Kabir Evaluation of Soil Bentonite Slurry Wall by Piezocone	735
D.K. Papademetriou, G.A. Parisopoulos, G.T. Dounias Deep Subsurface Wastewater Injection in Ioannina, Greece	743
J. Perrin, J.P. Khizardjian, C. Coulet Reemploi de Pneumatiques Usages en Remblais Alleges	749
Tej B.S. Pradhan, Goro Imai, Masami Uchiyama Mechanical Properties of Stabilized Light Soil Using Expanded Polystyrene	755
M.H. Rahman Environmental Impact Assessment of Greater Dhaka City Flood Protection Structures	761
J.D. Rakotondramanitra, C. Coulet, R. Azzouz Etudes et Applications du Renforcements des Sols par le Procede Plasterre	767
Jouko Saarela Aftercare Research of Closed Sanitary Landfills	773
Hiroyuki Sakai, Osamu Murata, Hisashi Tarumi Sensitive and Simplified Methods for Monitoring of Chemical Species in Ground . . .	781
Charles D. Shackelford, Chung-Kan Chang, Te-Fu Chiu The Capillary Barrier Effect in Unsaturated Flow Through Soil Barriers	789
A.J. Sillito, F.G. Bell A Preliminary Survey of Leachate Development in Some Landfills in the Greater Durban Area	795
Robert E. Smiley Replacement Wetland Emphasizes Biodiversity	801
K.C. Sohn, S. Lee A Method for Prediction of Long Term Settlement of Sanitary Landfill	807
H. Uehara, H. Hara Experimental Studies on Prevention of Reddish Soils Contamination of the Sea	813
Mark E. Unruh, Richard P. Kraft Siting a Municipal Solid Waste Landfill - A Case Study	819

NUCLEAR**Plenary Speakers**

Carl P. Gertz	
Status of the Yucca Mountain Site Characterization Program	827
Thomas A. Shepherd, Louis L. Miller, Robert L. Medlock	
UMTRCA Regulations - Evolution of the Technical Basis	829

Keynote Speaker

Vern Rogers	
Present Trends in Nuclear Waste Disposal	837

Submitted Papers

E.E. Alonso, A. Gens, A. Lloret, C.H. Delahaye	
Analysis of a Compacted Clay Barrier in a Radioactive Waste Disposal Scheme	847
Maurice B. Dusseault, J. Carlos Santamarina, Christine Trentesaux, Patrick Lebon, Eduardo E. Alonso	
Granular Halite Creep and Compaction for Backfilling	855
M. Gandais, F. Dufournet-Bourgeois, A. Esnault, J.F. Ouvry	
Scellement de Forage sur les Sites de Stockage de Déchets Radioactifs	861
Jozef Hulla, Július Plsko, Mohamed Taha	
Influence of Nuclear Power Stations on the Groundwater	867
Hideo Komine, Nobuhide Ogata	
Evaluation of Swelling Characteristics of Compacted Bentonite	873
B.I. Kulachkin, V.A. Ilyichev, V.S. Yamschikov, A.I. Radkevich, V.I. Sheinin, L.R. Stavnitser, I.P. Korenkov, O.G. Polsky, V.F. Kirillov, V.M. Pankov, A.P. Van den Berg	
Ground Testings of Radon as a Source of Ecological Danger	879
Lyessse Laloui, Hormoz Modaressi	
Effets de la Thermo-Plasticité des Argiles sur le Comportement des Puits de Stockage .	881
H.K. Mittal, N. Holl, S. Donald	
Geoenvironmental Design of a Uranium Mill Tailings Facility in Northern Saskatchewan	887
S. Olivella, A. Gens, J. Carrera, E.E. Alonso	
A Model for Coupled Deformation and Non-isothermal Multiphase Flow Through Saline Media. Application to Borehole Seal Behaviour	895
J-C. Robinet, A. Rohbaoui, F. Plas	
A Thermo-Elastoplastic Model with Thermal Hardening for Saturated Clay Barriers .	901
J.C. Robinet, M. Rhattas, F. Plas, J.M. Palut	
Modélisation des Transferts de Masse dans les Argiles à Faible Porosité. Application au Stockage des Déchets Radioactifs	909

Clint Strachan, Claude Olenick	
Design and Construction of the Closure Plan for the Conquista Uranium Mill Tailings Impoundment	915

Phi Oanh Tran Duc, Hiroya Komada, Takao Endo, Michihiko Hironaga, Koichi Taniguchi	
Strength and Deformation of Cement-Bentonite Underground Filling Materials	921

PERORATIONS

Plenary Speakers

Joseph D. Ben Dak	
Perspectives of Sustainable Human Development in Environmental Geotechnics	927

W.F. Brumund	
Comparing the Practice of Environmental Geotechnics in Various Regulatory Environments	929

Andrew Lord	
Redevelopment of Contaminated Sites in the UK	937

William J.C. Meynink	
Tailings Disposal in an Equatorial Environment	949

James K. Mitchell	
Physical Barriers for Waste Containment	951

N.R. Morgenstern	
The Observational Method in Environmental Geotechnics	963

Andrew Steer	
World Development Report on Environment and Development	977

Wendell D. Weart	
Geotechnical Studies for the Waste Isolation Pilot Plant Repository	979

Appendix 1

Charles D. Shackelford	
Report of Technical Committee on Environmental Control (TC5)	981

Appendix 2

Author Index	1007
-------------------------------	-------------

Appendix 3

Country Index	1013
--------------------------------	-------------

GEOTEKNISEN OSASTON TIEDOTTEET

14.2.1995

1	Anttikoski, U	Geoteknilliset kartat ja niiden käyttäminen	Suomi	1973
2	Anttikoski, U.	Kaupunkisuunnittelun geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	Suomi	1973 *
3	Anttikoski, U	Kunnallistekniikan geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	Suomi	1974 *
4	Mäkinen, R	Täyttömäkien rakentaminen kaupunkialueella	Suomi	1974 *
5	Saarela, M	Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys	Suomi	1974 *
6	Saarela, M	Kitkapaalujen kantavuus	Suomi	1976
7	Petäjä, J.	Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen	Suomi	1977
8	Raudasmaa, P	Metrotunnelien injektointi	Suomi	1977 *
9	Anttikoski, U.	Kalliotunnelien käyttö varastointiin	Suomi	1977 *
10	Tikkanen, H	Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa	Suomi	1978
11	Arkima, O.	Kluuvien ruuhkan jäädys	Suomi	1978 *
12	Raudasmaa, P.	Purset perustusrakenteet	Suomi	1979
13	Havukainen, J	Voimalaitostuhtaan ja polttolaitoskuonan hyötykäyttö rakentamisessa	Suomi	1979
14	Vähäaho, I	Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen	Suomi	1979 *
15	Raudasmaa, P.	Pohjavesitarkkailu -80	Suomi	1980
16	Anttikoski, U	Katsaus tunnelien rakentamistekniikan nykytilaan Atlantan kansainvälisen tunnelikonferenssin kokemusten perusteella	Suomi	1979 *
17	Roinisto, J.	Matkakertomus tutustumismatkalta Tukholman yhteiskäyttötunneliin	Suomi	1981
18	Havukainen, J	Kivihiilivoimalan tuhtaan käyttö maarakenteissa	Suomi	1981 *
19	Roinisto, J.	Yhteiskäyttötunnelien teknis-taloudellinen selvitys	Suomi	1981
20	Vuola, P.	Talonrakennuksen maarakenteet ja niiden laadunvalvonta	Suomi	1981
21	Havukainen, J. & Korhonen, O	Tonttialueiden maarakenteet	Suomi	1981
22	Havukainen, J.	Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä raaka-aineena ja energianlähteenä	Suomi	1981
23	Havukainen, J	Kivihiilivoimalan tuhtien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa	Suomi	1982
24	Latvala, A.	Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys	Suomi	1982
25	Havukainen, J. & Härmäläinen, A. & Sulamäki, A.	Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttömahdollisuuksista maarakentamisessa	Suomi	1982
26	Halkola, H.	Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparinmaassa	Suomi	1982 *
27	Paavola, P	Kunnallistekniikan tunnelien louhintakustannus selvitys	Suomi	1982
28	Vähäaho, I.	Maarakennusta koskeva mallityöselitys	Suomi	1982 *
29	Gulin, K.	Rakentamisen vaikutus pohjaveden tasoon ja rakennusten painumiin Helsingin Puistolassa	Suomi	1982
30	Halkola, H.	Syvästabiloinnin laadun ja lujuuden valvontamenetelmät	Suomi	1982
31	Havukainen, J.	Kivihiilituhtaan käyttö maarakentamisessa, tekniset ohjeet	Suomi	1983
32	Havukainen, J.	Användning av stenkolsaska vid anläggningsarbeten, tekniska anvisningar	Sveuska	1983
33	Havukainen, J.	The utilization of coal ash in earth works, technical guidelines	English	1983
34	Salmelainen, J.	Helsingin kallioperän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta	Suomi	1983
35	Havukainen, J	Matkakertomus kivihiilituhtien ympäristövaikutuskonferenssista	Suomi	1983
36	Hytty, P.	Esi-injektoinnin suoritus ja sen huomioiminen urakka-asiakirjoissa	Suomi	1984
37	Leinonen, J	Kalliomekaaniset mittaukset Hanasaaren syvävarastossa	Suomi	1984
38	Pirinen, J.	Kelluvan rantapenkereen rakentaminen	Suomi	1984 *
39	Latvala, A.	Geotekninen kustannustiedosto, Geo-kuti	Suomi	1984
40	Korpela, J. & Schuller, M	Jäykien liitosjohtojen pohjarakennus selvitys (Jäli-selvitys)	Suomi	1984
41	Lahtinen, E-R.	Maanalaiset tilat ja yhdyskuntarakentaminen (MARASU-tutkimus, valiraportti)	Suomi	1985
42	Korpi, J.	In Situ-kuormituskoe painumien määrittämiseksi	Suomi	1985
43	Havukainen, J.	Esirakentamisen kehittäminen	Suomi	1985
44	Vähäaho, I	Jäähdytysmenetelmän käyttö	Suomi	1987
45	Havukainen, J. & Härmäläinen, A. & Latvala, A.	Kivihiilituhtien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa	Suomi	1987
46	Julkunen, A.	Geofysiikan tutkimusmenetelmät kalliorakentamisessa	Suomi	1987
47	Hutri, K-L.	Vuosaaren kivilajien soveltuvuus asfalttipäällysteisiin	Suomi	1988
48	Melander, K	Puristun-heijarikairaus kairausmenetelmänä	Suomi	1989
49	Leppänen, M	Vahvisinkankaiden käyttö Vanhankaupunginlahden ranta-alueen rakentamisessa	Suomi	1989
50	Vähäaho, I. & Ryhänen, H	Sulamiskondolidaation vaikutukset savessa	Suomi	1989
51	Vähäaho, I.	Effects of Thaw Consolidation on Geotechnical Properties of Clay	English	1989
52	Koskela, P.	Routastabiloinnin vaikutus ruoppausmassaan	Suomi	1989
53	Saari, M. & Korhonen, O.	Paalujen dynaaminen koestus PDA-laitteistolla	Suomi	1990
54	Saari, M. & Volanen, N.	Ruoholahden koepaalu	Suomi	1990
55	Yrjänä, J. & Korhonen, O.	Pystyjoitus Pikku-Huopalahdessa	Suomi	1991
56	Niinimäki, R. & Raudasmaa, P.	Viikunäen keskuspuhdistamon rakennusgeologiset kalliitutkimukset	Suomi	1992

GEOTEKNISEN OSASTON TIEDOTTEET JATKUU

14.2.1995

57 Nieminen, J. & Johansson, E. & Holopainen, P	Viikunmäen keskuspuhdistamon louhinnan aikaan kalliomekaaninen seuranta	Suomi	1992
58 Ahola, J. & Viitala, R.	Lujitus- ja tiivistysmaat Helsingin pientunneleissa	Suomi	1992
59 Ravea, T. & Korhonen, O	Helsingin tulvapadon rakentamisen edellytykset	Suomi	1992
60 Taipale, H. & Korhonen, O	Paalutustarpeen arviointi kuryllisuuden ja mittausten perusteella	Suomi	1992
61 Karlstedt, P. & Halkola, H.	Ylijäämäsavien massastabilointi	Suomi	1993
62 Leiskallio, A. & Lehtonen, J	Maankäytön geotekninen suunnittelu	Suomi	1993
63 Anttikoski, U. & Kumar, S. & Saarelainen, S.	Kalliokaivanto jätehuollossa Esiiraportti	Suomi	1993
64 Rekonen, Rita & Halkola, Hannu	Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla	Suomi	1994
65 Ulmala, Oja & Halkola, Hannu	Puristinporakonekairaus	Suomi	1994
66 Havukainen, J	Katsaus ympäristötekniikkaan kansainvälisen kongressin valossa Matkakertomus	Suomi	1995

*) painos loppuunmyyty

Hinnat 1 kpl. 80 mk, 2-3 kpl 70 mk, 4-6 kpl 60 mk, 7- kpl 55 mk **

**) arvonlisävero 12 %