

Sitowise Oy / Arto Itkonen ja Outi Hyttinen

Sedimenttien kunnostustoimenpiteiden kestävyyden arviointi - SEDKE



Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
1.1	SEDKE-hanke	4
1.2	Kestävä kunnostus	4
1.3	Kestävyyden kytkeytyminen riskienhallintaan	6
1.4	Sedimenttihankeiden ominaispiirteet	6
2	Kestävä sedimenttien hallinta meillä ja muualla	9
2.1	Sedimentin kulkeutumisen hallinta ja sedimentti habitaattina	9
2.2	Haitta-ainepitoisen sedimentin hallinta	10
2.2.1	EU-taso	10
2.2.2	Muut Pohjoismaat ja Kanada	11
2.2.3	Kansainväliset organisaatiot	13
2.3	Suomen kansalliset ohjeet	14
2.3.1	Vesialueiden käytön ohjeistus	14
2.3.2	Vesistöjen kunnostuksia koskeva ohjeistus	15
2.3.3	In situ -sedimenttiä koskeva ohjeistus	16
2.3.4	Ruoppauksen ja läjityksen ohjeistus	16
3	Kestävyyden huomioiminen sedimenttihankeiden eri vaiheissa	17
3.1	Kestävyys osana koko hanketta	17
3.2	Kestävän kunnostusstrategian toteutuksen vaiheet	19
4	Sedimenttihankeiden kestävä suunnittelu	21
4.1	Riskienhallintatarve	21
4.2	Hankkeen tavoitteiden huomioiminen	22
4.3	Käytettävissä olevien menetelmien skreenaus	23
4.4	Riskienhallintamenetelmien kestävyden arviointi	26
4.4.1	Arviointiprosessin yleispiirteet	26
4.4.2	Arviointimenetelmien valinta	28
4.4.3	Kestävyyden indikaattorit	30
4.4.4	Kestävyydenarviointityökaluja	33

5	Sedimenttihanke kestävä toteutus.....	44
5.1	Hankintavaihe	44
5.2	Vesialueella tehtävät toimenpiteet	45
5.2.1	Ruoppaus	45
5.2.2	Massojen merikuljetus ja meriläjitys.....	48
5.2.3	Kestävyys in situ -hankkeissa.....	53
5.3	Maa-alueella tehtävät toimenpiteet	54
5.3.1	Ruoppausmassojen maalle läjitys vs. meriläjitys	54
5.3.2	Sedimentin kuivatus ja suotovedet.....	60
5.3.3	Käsittelyn ja maalle sijoituksen ilmastovaikutukset	62
5.3.4	Ruoppausmassojen hyötykäyttö	66
5.4	Tarkkailu ja varautuminen	69
5.5	Kestävyden seuranta ja raportointi	71
6	Yhteenvedo – kestävyys sedimenttihankeissa	72
6.1	SEDKE-hankkeen tausta	72
6.2	Kansainvälinen ja kotimainen ohjeistus.....	73
6.3	Kestävä sedimenttihanke	73
6.3.1	Kestävyden huomiointi hankkeen eri vaiheissa.....	73
6.3.2	Suunnittelu- ja hankintavaihe.....	74
6.3.3	Toteutusvaihe - vesiympäristö.....	75
6.3.4	Toteutusvaihe - maaympäristö	75
6.4	Lopuksi.....	76
7	Kirjallisuus.....	77

1 Johdanto

1.1 SEDKE-hanke

Tämä raportti on toteutettu ympäristöministeriön rahoittamassa Sedimenttien kunnostustoimenpiteiden kestävyysarvioinnin (SEDKE) -hankkeen tuloksena. Se kytkeytyy tukien ja täydentäen SEDI-ARVI II -hanketta, jossa laaditaan opasluonnos sedimenttien riskiperusteisesta pilaantuneisuuden ja kunnostustarpeen arvioinnista. Hankkeiden taustalla on myös keväällä valmistunut SEDI-ARVI -hanke, jossa koottiin tietoa sedimenttien pilaantuneisuuden ja kunnostustarpeen arvioinnista ja tähän liittyvästä sääntelystä eri valtioissa.

Sedimenttien kunnostustoimenpiteiden kestävyysvertailusta ei ole riittävästi Suomen olosuhteisiin sovellettua tietoa. SEDKE-hankkeen tavoitteena on koota tietoa sedimenttien kestävien kunnostustoimenpiteiden arvioinnista, suunnittelusta ja periaatteista sekä kehittää arviointiin tarvittavia työkaluja ja yleisiä suosituksia.

SEDKE-hankkeen lähtökohtina ovat vaihtoehtoisten kunnostusmenetelmien etujen ja haittojen järjestelmällinen arviointi sekä tämän arvion perusteella tehtävä menetelmän tai menetelmien valinta. Hankkeessa tunnistetaan kansainväliset parhaat käytännöt sedimenttien kunnostustoimenpiteiden kestävyysarviointiin. Projekti tuottaa suosituksia ja puitteet sedimenttien kestävä kunnostuksen päätöksentekoa varten.

Sitowise Oy:ssä SEDKE-hankkeen raportoinnista vastasivat Arto Itkonen ja Outi Hyttinen. Suomen ympäristökeskuksessa työn keskeiset yhteyshenkilöt ja ulkoiset laadunvarmistajat olivat Jani Häkkinen ja Outi Pyy. Laadunvarmistuksen Sitowise Oy:ssä teki Jenni Haapaniemi.

1.2 Kestävä kunnostus

Maaperän kunnostamisessa on viime vuosina kiinnitetty yhä enemmän huomiota kestävä kehityksen periaatteisiin. Kestävyysperusteinen kunnostus voidaan nähdä jatkumona kehitykselle, jonka edellinen vaihe oli riskiperusteinen kunnostus. Riskiperusteisessa kunnostuksessa keskityttiin lähinnä vain ympäristö- ja terveysriskien huomioimiseen. Kestävyysperusteinen kunnostus on paljon laajempi käsite sisältäen myös sosiaaliset ja taloudelliset tekijät.¹

¹ mm. Reinikainen, J., 2022. Kestävä kunnostus – standardit ja ohjeet. Esitys. KEMKO-koulutus: Kestävyys PIMA-riskihallinnassa 15.-16.6.2022.

Kansainvälisesti kestävä kunnostus -aihetta ovat edistäneet merkittävästi mm. Sustainable Remediation Forumin määritelmät kestävän kunnostamisen toimintamalleista², sekä vuonna 2017 julkaistu kestävän kunnostamisen ISO-standardi.⁵ Suomessa kestävä kehitys osana maaperän kunnostamista on tuotu kattavasti esille ympäristöhallinnon ohjeessa "Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta".³ Äskettäin on ilmestynyt myös opas Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt.⁴

Kestävän kunnostamisen ISO-standardin mukaan kestävä kunnostaminen on riskiä aiheuttavien haitta-aineiden poistamista tai hallintaa turvallisella sekä tehokkaalla tavalla optimoiden vaikutukset ympäristöön, yhteiskuntaan sekä talouteen⁵. Kestävän kunnostuksen tavoitteena on varmistaa, että kunnostamisella saavutettavat hyödyt ovat pitkän ajan kuluessa suuremmat kuin toimien aiheuttamat haitat, ja että työn lopputulos vastaa riittäväällä tavalla kaikkien keskeisten sidosryhmien tarpeita⁶. Sitä ohjaavia periaatteita ovat mm:

1. Ihmisen terveyden ja laajemman ympäristön suojele
2. Turvalliset työskentelytavat
3. Kestävyyden yhdenmukainen, selvä, toistettavissa oleva ja perusteltu päätöksenteko
4. Kirjanpito ja läpinäkyvä raportointi
5. Hyvä hallinto ja sidosryhmien osallistuminen päätöksentekoon
6. Tieteellinen lähestymistapa⁶

Sedimentin kestävä kunnostus on pääperiaatteiltaan saman kaltaista kuin maaperän, mutta sedimenttihankkeiden erityispiirteistä johtuen se poikkeaa joissakin käytännöissä. Tässä raportissa kuvataan kestävä kunnostusta erityisesti sedimenttihankkeiden näkökulmasta.

² CL:AIRE, 2010. A framework for assessing the sustainability of soil and groundwater remediation. UK Sustainable Remediation Forum. Contaminated Land: Applications in Real Environment (CL:AIRE). ISBN 978-1-905046-19-5

³ Ympäristöministeriö, Pilaantuneiden maa-alueen riskinarviointi ja kestävä kunnostaminen. Ympäristöministeriö, Helsinki. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. 235 s. ISBN 978-952-11-4327-4

⁴ Laitinen, J. (editor), V. Kilponen, A. Kettunen, O. Virta, E. Pöyry, J. Tengvall, A. Nousiainen ja A. Itkonen, 2022. Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt. Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Opas 5 / 2022. Verkkojulkaisu. 67 s.

⁵ ISO 18504:2017, 2023. Soil quality – Sustainable remediation.

⁶ SuRF UK, 2020a. Supplementary Report 1 of the SuRF-UK Framework: A General Approach to Sustainability Assessment for Use in Achieving Sustainable Remediation. (CL:AIRE).

1.3 Kestävyyden kytkeytyminen riskienhallintaan

Pilaantuneita maa-alueita koskevan lainsäädännön ja myös sedimenttien kunnostusta koskevan ohjeistuksen näkökulmasta sanalla riski viitataan haitta-aineiden mahdollisesti aiheuttamaan vaaraan tai haittaan, joka voi vähentää väestön tai yksilön terveyttä, heikentää ympäristön laatua tai häiritä luonnon toimintoja. Kestävyys on riskiä laajempi käsite sisältäen myös sosioekonomiset ja taloudelliset tekijät.⁴

Riskienhallinnan ongelmana ovat tietyt vakiintuneet toimintatavat, kuten terveyseskeinen tarkastelu ja vallalla oleva tavoite riskien täydelliseksi välttämiseksi, eli haitta-aineen täydellinen poistaminen tai pitoisuuksien pienentäminen jonkin tietyn viitearvon alle. Kestävässä riskienhallinnassa täydellisen välttämisen vaihtoehtoiksi tunnustetaan myös riskin hyväksyminen, pienentäminen sekä siirtäminen. Näiden vaihtoehtoisten tavoitteiden kautta mahdollistuu joukko toimenpiteitä, joista useat ovat kokonaiskestävyydeltään positiivisempia.⁴ Kestävimmän ratkaisun löytäminen edellyttää monesti kompromisseja.

Kestävä riskienhallinta on moniulotteinen kokonaisuus, joka edellyttää, että useat toimijat ja sidosryhmät kykenevät muodostamaan yhteisen tahtotilan, käsittelemään ja viestimään riskeistä realistisesti sekä tekemään valintoja, jotka ovat ympäristön, sosiaalisten ja taloudellisten vaikutusten kannalta tasapainossa. Kestävä riskienhallinta on siten monitahoinen ratkaisu, jolla on laaja ympäristöllisiä, taloudellisia sekä yhteiskunnallisia vaikutuksia koskeva hyväksyntä.⁴

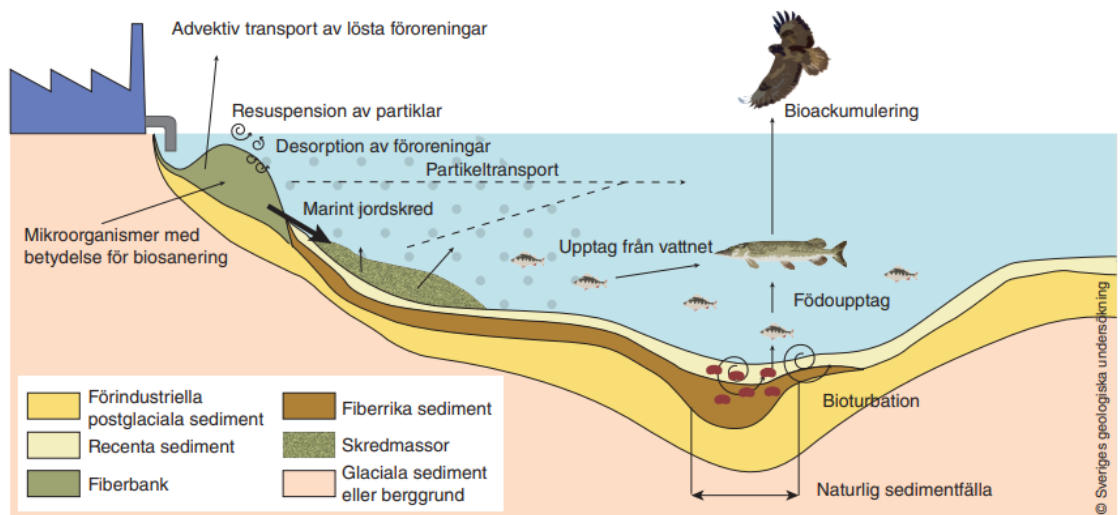
1.4 Sedimenttihankeiden ominaispiirteet

Sedimenttihankeet poikkeavat tietyissä suhteissa esimerkiksi pilaantuneisiin maihin liittyvistä hankkeista. Sedimenttihankealueet ovat laajoja, ja myös hankkeiden vaikutukset ulottuvat laajalle vesiympäristön suuripiirteisemmästä vaihtelusta ja matriisin mahdollistamasta paremmasta haitta-aineiden leviämisestä johtuen. Sedimenttihankeissa on usein lukuisia haitta-aineita, jotka voivat käyttäytyä keskenään eri tavoin. Haitta-aineet myös säilyvät pitkään hajoamatta. Tämä johtuu sedimentissä heti pintakerroksen alapuolella vallitsevista anaerobisista olosuhteista, joissa eri mikrobipopulaatioiden syvyysvyöhykkeittäin suorittama hajotustyö hidastuu huomattavasti aerobisiin olosuhteisiin verrattuna.

Ekosysteemin eri osilla vesiympäristössä voi olla hyvin erilainen kyky sopeutua muutoksiin. Jotkut eliöt voivat olla hyvin sopeutumiskykyisiä, kun taas joillakin eliöillä tietyn ympäristötekijän kynnsarvon ylittyminen voi laukaista nopean

ja voimakkaan vasteen. Lisäksi sedimentti voi eri näkökulmista katsoen toimia sekä elinympäristönä että haitallisena, poistettavana materiaalina, mikä tulisi ottaa myös huomioon kestävyysarvioinnissa ^{7 8}.

Sedimenttihankeet loukkaavat helposti yleistä tai yksityistä etua niiden vaikutusten laaja-alaisuudesta ja rajapintojen puutteesta johtuen. Samalla riskit ovat usein maaperän pilaantuneisuustapauksia suurempia, sillä ihmiseen johtavat altistumisketjut ovat suurempia (esimerkiksi suora altistuminen ruoansulatuselimistön kautta kalaa syömällä, Kuva 1). Sedimenttihankeissa sedimentin laatu, määrä ja kulkeutumistapa määrää vaikutusalueen laajuuden ja laatu vaikutustavan ⁹



Kuva 1. Esimerkki käsitteellistä mallista sedimenttihankeessa.⁸

Jos sedimenttikohde on pilaantunut haitta-aineilla, on se tyypillisesti monipilaantunut. Haitta-aineet säilyvät suhteellisen hyvin hapettomassa ympäristössä. Em. johtuen sedimentissä voidaan tavata haitta-aineita, esim. helposti haihtuvia yhdisteitä, jotka olisivat vastaavan ikäisestä pilaantuneen maaperän kohteesta jo hajooneet tai poistuneet.

Vesiympäristössä vaaralliset aineet ovat osin eri aineita kuin maaympäristössä. Tietyt haitta-aineet ovat erityisen myrkyllisiä vesiympäristössä, ja

⁷ Sidle, R.C., W.H. Benson, et al., 2013. Broader perspective on ecosystem sustainability: Consequences for decision making. PNAS 110 (23): 9201-08.

⁸ Severin, M. (editor), S. Josefsson, P. Nilsson, Y. Ohlson & A.-S. Wernersson, 2018. Förorenade sediment – behov och färdplan för en renare vattenmiljö. SGU-rapport 2018:21 Diarie-nr: 39-2211/2018.

⁹ Apitz, 2012. Conceptualizing the role of sediment in sustaining ecosystem services: Sediment-ecosystem regional assessment (SECoRA). Science of the total environment 415:9-30.

niiden päästöihin on kiinnitetty huomiota mm. vesistöjen ekologisen ja kemiallisen tilan arvioissa. Kemiallista tilaa määrittävät ns. EU:n prioriteettiaineet ja niiden ympäristölaatuvaatimukset on määritetty koko Euroopan yhteisön laajuisesti. Lisäksi kansallisesti on voitu valita vesiä pilaavia aineita vesienhoitoalue – tai vesimuodostumakohtaisesti ja määrittää näille ympäristölaatuvaatimukset. Aineet on lueteltu Valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006), jossa on annettu ainekohtaisia päästökieltoja, päästöraja-arvoja sekä ympäristölaatuvaatimuksia.

Sedimenttihankeissa käsiteltävät massamäärät ovat suuria, mistä johtuen myös tilantarve massojen sijoituksessa on suuri. Tästä seuraa pilaantuneen maan kunnostushanketta suurempia ongelmia mm. alueidenkäytön näkökulmasta. Massoja maalle sijoitettaessa täytyy lisäksi ottaa huomioon suuret kasvihuonekaasupäästöt, jotka seuraavat massojen suuresta orgaanisen aineksen pitoisuudesta ja niiden siirtymisestä vähähappisesta ympäristöstä hapelliseen ympäristöön.

Yksi ongelma on ruoppausmassojen vesipitoisuus, joka aiheuttaa ongelmia massojen käsittelylle, tiivistämiselle ja kuljetukselle. Yleensä vaaditaan jonkinlainen massojen kuivatus ennen niiden siirtoa off-site. Myös happamat sulfaattimaat, joita muodostuu nykyisinkin Itämeren pohjassa, ovat ongelma sijoitettaessa sedimenttejä maalle. Varsinkin Itämeren sedimenttejä maalle sijoitettaessa tulee ottaa huomioon niiden potentiaalinen happamuus ja neutralointitarve.

Kaiken kaikkiaan ruoppausmassojen loppusijoitus maalle on hankalaa ja kallista. Meriläjitys on huomattavasti helpompaa ja edullisempaa, ja sen ilmasto- ja vesistövaikutukset voivat olla selvästi muita vaihtoehtoja pienempiä^{10 11}, mutta sille asetettavat reunaehdot menetelmän vesiympäristövaikutusten hyväksyttävyyden ja massojen pysyminen läjitysalueella. Sedimenttiympäristön ennallistaminen tehtyjen virheiden jäljiltä saattaa olla mahdotonta.

Maalle läjittämisen kestävyystasetta parantaisi huomattavasti, jos ruoppausmassoja voitaisiin hyötykäyttää rakentamisessa. Tätä kuitenkin rajoittavat massojen geotekniset ominaisuudet, jotka eivät ole suotuisia tässä suhteessa, ja sopivien hyötykäyttökohteiden puute. Sedimenttejä on Suomessa suuremmissa määrin käytetty vain stabiloituina satamarakenteisiin, hyödyntäen teollisuuden sivuvirtoja. Hyötykäyttökohteita on osoitettavissa rajallisesti. Lisäksi

¹⁰ Svensson, N., A. Norén, O. Modin, K. Karlfeldt Fedje, S. Rauch, A.-M. Strömvall & Y. Andersson-Sköld, 2022. Integrated cost and environmental impact assessment of management options for dredged sediment. *Waste Management* 138: 30–40.

¹¹ Bates, M.E., C. Fox-Lent, L. Seymour, B.A. Wender & I. Linkov, 2015. Life cycle assessment for dredged sediment placement strategies. *Science of the total environment* 511: 309–318.

sedimenttien kunnostuksen ja hyötykäytön tekninen suunnittelu on haastavaa. Suomessa ja kansainvälisestikin sitä tekee suhteellisen pieni määrä asiantuntijoita.

Kaikki tämä johtaa myös melko raskaaseen lupaprosessiin (esim. vesilupa noin 8-10 kk). Jos otetaan huomioon myös usein tapahtuvat valitukset, sekä sedimentin käsittelyn myötä tuleva ympäristöluvan tarve, puhutaan pelkästään lupaprosessissa yleensä vuoden, joskus useiden vuosien ajankäytöstä. Suurimmissa vesistö- ja sedimenttihankkeissa myös toteutus kestää vuosikausia.

Sedimenttihankkeisiin liittyviksi pullonkauloiksi lupavaiheen ja itse projektien pitkän keston sekä tietotaidon puutteen lisäksi on tunnistettu mm. lupapäätösten vaihtelevuus yhtenäisten käytänteiden ja ohjeiden/työkalujen puutteen takia, sekä projektin tavoitteiden ja kokonaiskuvan epäselvyys^{12 13}.

Positiivisena seikkana sedimenttihankkeissa voidaan nähdä se, että mahdollisuudet vaikuttaa päästöihin ja hankkeiden kestävyteen suunnittelun ja toteutuksen aikana ovat suuret. Sedimenttihankkeiden kestävyden parantamista on käsitelty jäljempänä tässä raportissa.

2 Kestävä sedimenttien hallinta meillä ja muualla

2.1 Sedimentin kulkeutumisen hallinta ja sedimentti habitaattina

Sedimentin kulkeutumisen hallinnassa tyypillisiä huomioitavia tekijöitä ovat esimerkiksi rantaeroosion vähentäminen, tulvariskien pienentäminen, vesivoiman tuotanto, keinokastelu ja navigointi. Kulkeutumisen hallinta liittyy usein koko jokisysteemin tai laajemman rannikkoalueen tapahtumiin. Keskeistä on ymmärtää sedimentaatioon vaikuttavat tekijät valuma-alueilla, sedimenttibudjetti, sedimentin laatu ja määrä, mahdolliset haitta-aineet sekä yhteiskunnalliset ja taloudelliset tekijät tarkasteltavalla alueella¹⁴. Tyypillisesti prosessien ymmärtäminen edellyttää myös riittävän pitkää ja laadukasta tarkkailuaineistoa. Kulkeutumisen hallinnassa keskeisiksi tekijöiksi on tunnistettu

¹² Jansson, S., L. Gottby & G. Robinson, 2021. Varför riskerar sedimentprojekt att stanna av? SGU Rapport 2021:24.

¹³ Bruce, P., C. Bradshaw, Y. Ohlsson, A. Sobek & A. Christiernsson, 2021. Inconsistencies in How Environmental Risk Is Evaluated in Sweden for Dumping Dredged Sediment at Sea. Front. Mar. Sci., 20 October 2021, Sec. Marine Pollution, Volume 8 – 2021.

¹⁴ UNESCO, 2019. Outline of the Sediment Management Plan for the Sava River Basin Doc. No: 1R-59-O-22-2/2-2.

kokonaisvaltainen tarkastelu sekä tarvittaessa myös valtiolliset rajat ylittävä yhteistyö. Ohjeistuksissa kestävyys on osana tarkastelua.

Sedimentti habitaattina huomioidaan Suomessa yleensä sedimentteihin kohdistuvien hankkeiden riskinarvioissa pohjien peittymisenä suspendoituneen tai läjitetyn materiaalin alle sekä habitaattien menetyksenä ruoppausten ja rakentamisen johdosta. Myös pohjadynamiikan muutos sedimenttihankkeiden johdosta voi olla ongelmallista. Euroopassa esimerkiksi Pohjanmeren merituu-livoimahankkeissa on keskusteltu paljon hiekkaisten pohjatyypin pohjadynamiikan muuttumisesta rakentamisen yhteydessä. Suomessa tyypilliset orgaanispitoiset koheesiosedimenttipohjat käyttäytyvät eri tavoin, mutta laaja-alainen aiemmasta poikkeava eroosio tai akkumulaatio on niilläkin mahdollista.

Habitaattien menetys ja muuttuminen heikentää erityisesti pohjaeliöstöä. Pohjan arvoa biodiversiteetin kannalta voi tutkia erityisesti VELMU-karttapalvelussa esitettyjen tietojen avulla.¹⁵ Myös pohjan geodiversiteetti olisi hyvä ottaa huomioon. Itämeren pohjan geodiversiteettiä ovat arvioineet mm. Kaskela ja Kotilainen (2017).¹⁶

2.2 Haitta-ainepitoisen sedimentin hallinta

2.2.1 EU-taso

Tuoreessa vesipuitedirektiiviin liittyvässä teknisessä ohjedokumentissa on kuvattu ohjeistusta ja hyviä käytänteitä sedimentin hallintaan¹⁷. Ohjeistuksessa käsitellään vesiympäristön eri osien sedimenttibudjettia, haitta-aineita ja tarkkailua, tavoitteena on sedimentin kokonaisvaltainen tarkastelu, jossa asetetaan vesipuitedirektiivin mukaiset tavoitteet ja keinot sedimentin hallintaan, huomioiden samalla eri intressiryhmien tarpeet ja osallistaen heitä prosessiin. Lopputavoite on vesistön ja veden suojelu ja hyödyntäminen kestäväällä tavalla. Ohjeistus ei sisällä erillistä kestävyuden arvioinnin tarkastelua, ja painopiste on ympäristövaikutuksissa.

Merialueiden osalta toimintaa ohjaa Merialuedirektiivi, jonka tavoite on ylläpitää tervettä, tuottavaa ja kestävää meriekosysteemiä, ja turvata kestävä resurssien käyttö nykyisille ja tuleville sukupolville. Jäsenmaat ovat laatineet direktiivin pohjalta omat merialuestrategiansa hyvän ympäristön tilan

¹⁵ VELMU-karttapalvelu, 2023. <https://paikkatieto.ymparisto.fi/velmu/>

¹⁶ Kaskela, A.M. & A.T. Kotilainen, 2018. Seabed geodiversity in a glaciated shelf area, the Baltic Sea. *Geomorphology* 295 (2017): 419-435.

¹⁷ Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC), 2022. Integrated sediment management – Guidelines and good practices in the context of the Water Framework Directive. 226 p.

saavuttamiseksi. EU on osallisena mm. myös Helcomin Baltic Sea Action Planissa, jonka tavoite on puhdas ja terve Itämeri.¹⁸

ECHA:n vuonna 2013 Helsingissä pitämän workshopin tuloksista ja tausta-aineistosta on tehty julkaisu "Principles for Environmental Risk Assessment of the Sediment Compartment"¹⁹. Julkaisussa ei käsitellä kestävyyttä tai kunnostusmenetelmien valintaa.

2.2.2 Muut Pohjoismaat ja Kanada

Norja

Norjassa on tehty 1980-luvulta saakka selvitystyötä pilaantuneiden sedimenttikohteiden sijainnista. Kartoitus on ensimmäisessä vaiheessa perustunut kohteiden nykyiseen tai historialliseen toimintaan. Lisätutkimusten pohjalta on tunnistettu noin 120 voimakkaasti pilaantunutta aluetta, joista on valittu kunnostettavaksi 17 prioriteettialuetta²⁰. Prioriteettialueiden pilaantuneisuus aiheuttaa niin suuren riskin ihmisille tai ympäristölle, tai pilaantuneiden leviäminen on niin todennäköistä, ettei sitä voida hyväksyä. Osa kohteista on kunnostettu. Kokemuksia ja hyviä käytänteitä on koottu raporttiin²¹. Myös sedimentin riskinarviointiin²² ja sedimentin käsittelyyn²³ on erilliset ohjeet. Sedimentin käsittelyoppaassa mainitaan yleisesti toiminnan lähtökohdaksi kestävyys, ja todetaan että kunnostustavoitteen saavuttamiseksi soveltuviksi arvioiduista kunnostusvaihtoehdoista tulisi valita kustannustehokkain. Tarvittaessa voidaan käyttää apuna esimerkiksi kustannus-hyöty -analyysia.

Ruotsi

Ruotsissa yleiseksi ympäristötavoitteeksi on määritelty "luovuttaa tuleville sukupolville yhteiskunta, jonka suurimmat ympäristöongelmat on ratkaistu niin, ettei siitä ole koitunut haittaa ympäristölle tai terveydelle Ruotsin rajojen ulkopuolella". Ruotsissa on tehty 1999–2015 selvitystyötä, jonka perusteella ainakin 19 sen 21 maakunnasta on pilaantuneita sedimenttikohteita, joista monet voivat muodostaa vakavan riskin terveydelle ja/tai ympäristölle

¹⁸ HELCOM, 2023a. Baltic Sea Action Plan. <https://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/>

¹⁹ ECHA, 2014. Principles for Environmental Risk Assessment of the Sediment Compartment: Proceedings of the Topical Scientific Workshop. ECHA-14-R-13-EN.

²⁰ Miljødirektoratet, 2023. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/Forurenses-sjobunn/>

²¹ Miljødirektoratet, 2016. Oppsummering av erfaring med tildekking av forurenses sjøbunn. Miljødirektoratet. Rapport M-502 / 2016. 64 s.

²² Norwegian environmental agency, 2018. Risk assessment of contaminated sediments. Guidelines. Guidance notes M-1132 / 2018.

²³ Miljødirektoratet, 2015. Veileder for håndtering av sediment – revidert 25.mai 2018. Veileder M-350 / 2015.

(riskiluokka 1).²⁴ Kohteet on valittu niiden nykyisten tai historiallisten toimintojen perusteella, ja monessa tapauksessa tarvitaan tarkempia tutkimuksia riskiluokittelun todentamiseksi. Tavoitteena on saavuttaa hyvä yleiskuva ja tietämys pilaantuneiden sedimenttialueiden laajuudesta ja pilaantumisen asteesta, jotta toteutettavat toimenpiteet ovat tehokkaita⁸. Tätä varten on mm. perustettu yhteistyöelin eri viranomaistahojen välille tiedonkulun parantamiseksi, tietokanta kohteista sekä osoitettu rahoitusta tutkimukseen sekä kunnostukseen. Myös sedimenttihankkeisiin liittyviä tietotarpeita on kartoitettu¹² ja hyviä käytänteitä kunnostusprojekteista on kerätty²⁵ hankkeiden suunnittelun tueksi. Ruoppaamisesta ja ruoppausmassan käsittelystä on erillinen ohjeistus²⁶.

Pilaantuneen ympäristön kunnostamiseen annetuissa yleisissä ohjeissa todetaan mm. että "sedimenttiä ja akvaattista ympäristöä tulee suojella niin ettei akvaattisessa ympäristössä tapahdu häiriöitä eikä erityisen arvokkaille tai suojeltaville lajeille koidu haittaa"²⁷. Kunnostamisohjeistuksessa todetaan, että kunnostustarpeen arviointi tulisi suorittaa riskiperusteisesti, kunnostustavoitteiden tulisi olla selkeät ja mitattavat: tavoitteena voi olla esimerkiksi riskin vähentäminen, haitta-aineen tilavuuden tai pitoisuuden pienentäminen, kulkeutumisen tai altistumisen vähentäminen, luonnonvarojen suojeleminen. Ohjeistuksessa todetaan, että kestävyys tulee huomioida menetelmän valinnassa. Apuna suositellaan käytettäväksi esimerkiksi elinkaarilaskentaa tai kustannus-hyöty -analyysia.

Ekologisten riskien arvioinnissa käytänteet ovat vaihtelevia. Tilannetta parantamaan on suositeltu yhtenäisten kriteerien käyttämistä riskiä indikoitaessa tai sen suuruutta arvioitaessa, yhteistä strategiaa ekotoksikologisten testien käyttötärpeestä ja -tavasta, läpinäkyvyyttä ja systematiikkaa riskien arviointiin sekä tulevien ympäristön ja yhteiskunnan tarpeiden parempaa huomiointia.²⁸

Tanska

²⁴ Jersak, J., G. Göransson, Y. Ohlsson, L. Larsson, P. Flyhammar, P. Lindh, 2016. In-situ capping of contaminated sediments. Contaminated sediments in Sweden: A preliminary review. SGI Publication 30-2E. 15 p.

²⁵ SGU, 2022. Erfarenhetsåterföring från projekt med förorenade sediment. Konsultrapport 02, Sveriges geologiska undersökning.

²⁶ Vattenmyndigheten, 2018. Muddring och hantering av muddermassor. Göteborg, Havs- och Vattenmyndigheten. 2018 19. 143 p.

²⁷ Swedish EPA, 2021. Compendium remediation of contaminated sites in Sweden. Version 1. 79 p.

²⁸ Bruce, P., A. Sobek, Y. Ohlsson & C. Bradshaw, 2020. Risk assessments of contaminated sediments from the perspective of weight of evidence strategies—a Swedish case study. Human and ecological risk assessment.

Tanskassa on tarkkailtu meriveden haitta-ainepitoisuutta vuodesta 1998 lähtien (Danish National Monitoring and Assessment Program for the Aquatic and Terrestrial Environment, NOVANA). Sedimentin haitta-aineita analysoidaan tarkkailuohjelmassa joka viides vuosi²⁹. Ruoppausmassojen läjityskelpoisuuden arvioinnille on tehty opas³⁰. Varsinaista kestävän kunnostuksen opasta sedimentille ei ole olemassa.

Kanada

Kanada pohjoisena kilpialueen maana on hyvä vertailukohta sedimenttiasioissa Suomeen. Pilaantuneiden sedimenttien hallintaohjeessa käydään läpi keskeiset asiat suunnittelun ja projektin toteuttamisen näkökannalta³¹. Kestävyyttä ei mainita erillisenä osa-alueena, mutta se on mukana yleisissä huomioitavissa tekijöissä tehokkuuden, teknisen toteutettavuuden, toimenpiteiden hyväksyttävyyden yhteisölle ja kustannusten huomioimisen myötä. Kustannustehokkuutta tarkastellaan suhteessa toimenpiteiden pitkäaikaistehokkuuteen ja pysyvyyteen sekä haitallisten aineiden määrän, kulkeutumisen tai vaikutusten vähentymiseen³².

2.2.3 Kansainväliset organisaatiot

HELCOM

Itämeren osalta yleisen suunnittelun apuvälineenä voidaan käyttää esimerkiksi Baltic Health Index-työkalua³³ tai HELCOM-arviointia Itämeren tilasta³⁴ prosessien yhteisvaikutusten ja kiireellisimpien toimenpidetarpeiden löytämiseksi.

²⁹ Jensen, J., H. Sanderson, M.M. Larsen, L. Sander Johansson & H. Kallestrup, 2019. Assessment of hazardous substances in Danish sediment and biota according to Norwegian, Swedish and Dutch quality standards. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 38 pp. Technical Report No. 146. 38 p.

³⁰ Miljøministeriet, 2005. Vejledning om dumping af optaget havbundsmateriale –klapning. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 8:2005. 31 p.

³¹ Environment and climate change Canada, 2022. Evaluation of Project Designs for Contaminated Sediment Management. User guide. 187 s.

³² Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC), 2014. Contaminated sediments remediation: Remedy selection for contaminated sediments. ITRC CS-2. Interstate Technology & Regulatory Council, Contaminated Sediments Team, Washington, DC. Available from https://projects.itrcweb.org/contseds_remedy-selection/

³³ Blenckner, T., C. Möllmann, J. Stewart Lowndes, J.R. Griffiths, E. Campbell, A. De Cervo, A. Belgrano, C. Boström, V. Fleming, M. Frazier, S. Neuenfeldt, S. Niiranen, A. Nilsson, H. Ojaveer, J. Olsson, C.S. Palmlov, M. Quaas, W. Rickels, A. Sobek, M. Viitasalo, S.A. Wikström & B.S. Halpern, 2021. The Baltic Health Index (BHI): Assessing the social-ecological status of the Baltic Sea. *People and Nature* 3:359–375.

³⁴ HELCOM, 2018. State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011–2016. *Baltic Sea Environment Proceedings* 155.

SEDNET (European sediment network) on eurooppalainen yhteistyöverkosto. Sen tavoitteena on integroida sedimentteihin liittyvät kysymykset ja osaaminen strategiataason työhön, ja näin edesauttaa hyvän ympäristön tilan saavuttamista. Lisäksi tavoitteena on kehittää uusia työkaluja sedimenttien kokonaisvaltaiseen hallintaan (holistic management). Neljä keskeistä teemaa tämän tavoitteen saavuttamiseksi ovat³⁵:

- Sedimentin määrän ja ympäristön hydromorfologian ymmärrys
- Sedimentin laatu ja remobilisaatio
- Sedimentin merkitys ekosysteemille
- Ruoppausmateriaalin kestävä hallinta

SURF, CL:AIRE ja NICOLE ovat kestävän kunnostamisen ja maa-alueiden käytön yhteistyöverkostoja. Sivustoilla löytyvässä monipuolisessa aineistossa käsitellään laajalti maaperän tai pohjaveden kestävää kunnostamista sekä tarjotaan materiaalia suunnittelun tueksi. Erillisiä sedimenttiohjeistuksia ei kuitenkaan ole saatavilla.

2.3 Suomen kansalliset ohjeet

2.3.1 Vesialueiden käytön ohjeistus

Valtakunnallisissa alueidenkäyttötavoitteissa³⁶ tavoitteina ovat mm. elinvoimainen luonto- ja kulttuuriympäristö sekä luonnonvarat, ja terveellinen ja turvallinen elinympäristö. Kestävä kehitys tärkeänä tavoitteita määrittävänä periaatteena. Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2020 valmistuneen selvityksen³⁷ mukaan Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksessa lakiin tulisi sisällyttää luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen ja vesien- ja merenhoidon liittyviä konkreettisia velvoitteita.

Maakuntakaava on yleispiirteinen suunnitelma alueiden käytöstä maakunnassa tai sen osa-alueella. Siinä esitetään alueiden käytön ja yhdyskuntarakenteen periaatteet sekä osoitetaan maakunnan kehittämisen kannalta tarpeellisia alueita. Maakuntakaavassa tulisi mm. varata suuret sedimentin

³⁵ SedNet, 2014. Moving Sediment Management Forward. The Four SedNet Messages.

<https://sednet.org/download/Moving-Sediment-Management-Forward.pdf>

³⁶ Valtioneuvosto, 2017. Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista. YM/2017/81.

³⁷ Saarela, S.-R., T. Turunen, U. Saastamoinen, A. Raunio, P. Ahlroth, S. Korpinen, T. Hjerppe ja K., Kostamo, 2020. Luonnon monimuotoisuuden ja vesien- ja merenhoidon tavoitteiden edistäminen maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28 | 2020. 31 s.

maalle läjitysalueet tulevaisuuden tarpeisiin, mutta tiettävästi näitä alueita ei ole vielä yhdessäkään maakuntakaavassa varattu.

Rannikon maakuntaliitot ovat vastuussa myös Suomen merenhoitosuunnitelman osien laatimisesta ja hyväksymisestä³⁸. Merenhoitosuunnitelman, joka on meristrategiapuitedirektiivin edellyttämä meristrategia, tavoitteena on saavuttaa koko Suomen merialueen hyvä tila.

Hyvän tilan saavuttamiseksi tarvittavat lisätoimenpiteet on esitetty merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelmassa³⁹. Ohjelmassa tarkastellaan mm. ravinnekuormituksen ja rehevöitymisen hillitsemistä, vaarallisten ja haitallisten aineiden kuormituksen ja vaikutusten vähentämistä, luonnon monimuotoisuuden suojelua, haitallisten vieraslajien torjuntaa, merellisten luonnonvarojen kestäväen käytön ja hoidon edistämistä, merenpohjiin kohdistuvien ihmisvaikutusten vähentämistä, hydrografisten muutosten aiheuttamien häiriöiden estämistä, meren ja rantojen roskaantumisen vähentämistä, vedenalaisen melun vähentämistä sekä meriympäristön kohdistuvien riskien pienentämistä.

Yksityiskohtaisimmin alueiden käyttöä suunnitellaan yleis- ja asemakaavoissa. Yleiskaavassa määritetään kunnan kehityksen suuret linjat sekä kaava-alueen käyttö, esimerkiksi asuinalueiden, työpaikkojen ja liikenneväylien sijainti. Asemakaavassa näistä määrätään vielä yksityiskohtaisemmin. Näitä kaavoja ohjaavat valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet sekä mm. haitallisten ympäristövaikutusten estäminen tai rajoittaminen, ja perusteettoman ympäristön laadun heikkenemisen estäminen.

2.3.2 Vesistöjen kunnostuksia koskeva ohjeistus

Vesistöjen kunnostushankkeiden yleisen suunnittelun ohjeistusta ja tietoja toteutuneista kunnostuksista löytyy mm. ELY-keskusten ja ympäristöhallinnon sivuilta sekä SYKE:n Avoin tieto-palvelusta⁴⁰ ⁴¹. Ympäristöhallinnon laatimassa oppaassa järvien kunnostuksen suunnitteluun⁴² kestävyys on mukana

³⁸ Suomen merenhoitosuunnitelma, 2023. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/meri/Merenhoito>

³⁹ Laamanen, M., Suomela, J., Ekebom, J., Korpinen, S., Paavilainen, P., Lahtinen, T., Nieminen, S. ja HERNBERG, A. (toim.), 2021. Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma vuosille 2022–2027. Ympäristöministeriö. Helsinki. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:30. 403 s.

⁴⁰ Vesistökuunnostajan karttapalvelu, 2023. <https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=3a9031b0547d43a1b7265d95351abd21>

⁴¹ Vesikartta, 2023. https://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikarttaviewers/Html5Viewer_4_14_2/Index.html?configBase=https://paikkatieto.ymparisto.fi/Geocortex/Essentials/REST/sites/VesikarttaKansa/viewers/VesikarttaHTML525/virtualdirectory/Resources/Config/Default&locale=fi-FI

⁴² Martinmäki, K., M. Marttunen, T. Ulvi, M. Visuri, M. Dufva, I. Sammalkorpi, H. Ahtiainen, E. Lemmelä, H. Auvinen, M. Partanen-Hertell, A. Lehto, T. Väisänen, J. Mustajoki ja R. Ihme, 2010. Uusia menetelmiä järven kunnostushankkeen suunnitteluun. Suomen ympäristö 19/2010. 54 s.

kunnostussuunnittelua tehtäessä. Oppaassa todetaan, että suunnittelussa arvioidaan paitsi toimenpiteiden vaikutuksia järven tilaan, myös yksittäisten toimenpiteiden ja niiden yhdistelmien hyväksyttävyyttä, hyötyjä, haittoja ja kustannuksia.

2.3.3 In situ -sedimenttiä koskeva ohjeistus

Suomessa on tehty joitakin yleistason kartoituksia sedimentin pilaantuneisuuden laajuudesta. 1990-luvulla ympäristöhallinnossa selvitettiin mahdollisesti pilaantuneiden järvi- ja rannikkosedimenttien sijaintia ja määrää Suomen saastuneiden sedimenttien kartoitus (SUSASE) -hankkeessa⁴³. Selvityksessä ei kuitenkaan saatu varmuutta sedimenttien pilaantumisesta tai pilaantumisen laajuudesta.

2010-luvun alussa Suomen ympäristökeskus toteutti sisävesien sedimenttien taustaselvityksen, jonka tavoite oli tunnistaa toimintahistorian perusteella todennäköisimmät riskialueet vesistöaluekohtaisesti ja arvioida alustavasti sisävesisedimenttien pilaantuneisuuden laatua.⁴⁴ Selvityksessä esitettiin 28 riskivesistöä/aluetta, joissa on todettu tai epäillä olevan pilaantuneita sedimenttejä.

In situ -sedimenttejä koskevaa ohjeistusta ei toistaiseksi ole laadittu. Taustatyötä mahdollista jonkinasteista pilaantuneisuuden arviointia ja sääntelyä varten on tehty viime vuosina SEDI-ARVI- ja SEDI-ARVI II-hankkeissa⁴⁵, joista jälkimmäistä tämä selvitys tukee. SEDI-ARVI II -hankkeen tuloksissa ja johdopäätöksissä pyritään huomioimaan kestävyysnäkökulma aiempaa paremmin.

2.3.4 Ruoppauksen ja läjityksen ohjeistus

Ympäristöhallinto on kehittänyt sedimentin vesistöläjityskelpoisuuden arviointiin niin sanotun sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeen⁴⁶. Ohjeessa kuvataan ruoppaus- ja läjitystoimintaa, sitä ohjaavaa lainsäädäntöä, toiminnan ympäristövaikutuksia ja niiden hallintaa (ml. vesistöläjityskelpoisuuden arvioinnissa ja näytteenoton suunnittelussa hyödynnettävät haitta-aineiden pitoisuustasot)

⁴³ Salo, S., M. Verta, & K. Kalevi, K., 1997. Suomen saastuneiden sedimenttien kartoitus. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Moniste. 8 s. + 4 liitettä. Julkaisematon.

⁴⁴ Jaakkonen, S., 2011. Sisävesien pilaantuneet sedimentit. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2011. 49 s.

⁴⁵ Häkkinen, J., M. Immonen, V. Junttila, M. Leppänen & O. Pyy, 2022. Sedimenttien pilaantuneisuuden ja puhdistamistarpeen arviointi ja sääntely. Kansainvälisiä käytäntöjä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 26 | 2022. 126 s.

⁴⁶ Ympäristöministeriö, 2015. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2015. 72 s.

sekä tarvittavia selvityksiä ja kohdetutkimuksia. Mikäli käytettävissä ei ole luvitettua vesistöläjitysalueita, jonka lupaehdot sijoitettavaksi aiottu massa täyttää, vaatii läjitysalue vesiluvan.

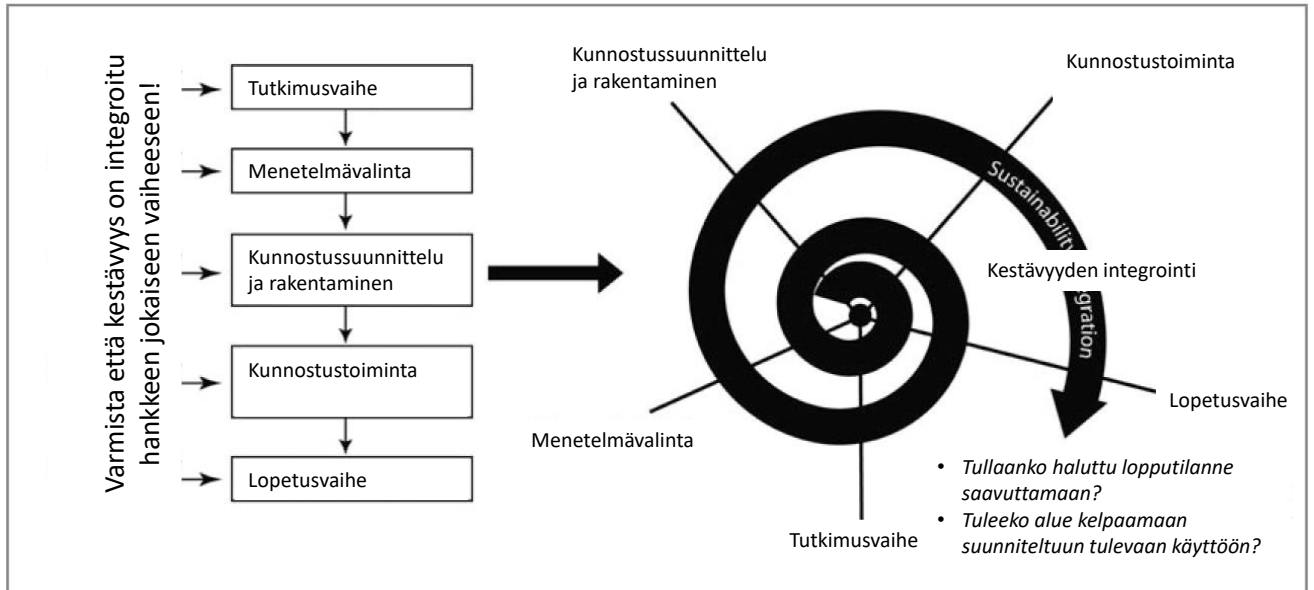
Maalle läjityskelpoisuuden arvioimiseen voidaan käyttää mm. VNa 214/2007 kynnys- ja ohjearvoja sekä liukoisuus- ja hyötykäyttökelpoisuustestejä. Varsinainen sijoituskelpoisuus ja sijoittamiseen liittyvät muut ehdot määräytyvät kunkin paikan ympäristöluvan ehtojen mukaisesti.

Ruoppaus- ja läjityshankkeiden kestävyttä tarkastellaan myös niiden vesilain mukaisissa lupahakemuksissa (mm. yhteisvaikutukset ja kokonaishyödyn tarkastelu). Jos hankkeisiin liittyy myös ympäristövaikutuksia mm. sedimentin käsittelystä johtuen, tarvitaan ympäristölupahakemus. Ympäristölupahakemuksessa edellytetään mm. BAT-tarkastelua käytettävistä menetelmistä.

3 Kestävyyden huomioiminen sedimenttihankkeen eri vaiheissa

3.1 Kestävyys osana koko hanketta

Kunnostuksen kestävyys tulisi huomioida kunnostushankkeen koko elinkaaren ajan (*Kuva 2*). Tällainen prosessiperustainen lähestymistapa tarjoaa huomattavia etuja perinteisempään kunnostustavoiteperusteiseen (esim. viitearvotasoisiin perustuvaan) etenemiseen nähden. Jälkimmäisessä tavoitteen saavuttamista on helpompi mitata, mutta menettely on suhteellisen jäykkä ja sidosryhmien osallistuminen siihen voi olla vaikeaa. Prosessiperusteiseen etenemistapaan kuuluu kunnostuksen kestävyden tarkastelu useissa kohdissa kunnostushanketta, kunnostuksen optimointi olosuhteiden muuttuessa, kunnostuksen virtaviivaistaminen ja sen kestävyden jatkuva parantaminen. Prosessimainen kestävä kunnostus edellyttää runsaasti keskusteluja eri sidosryhmien kesken optimaalisten ratkaisujen löytämiseksi kunnostusmenetelmille, joilla saavutetaan kohteen tulevaan käyttöön soveltuva tila.⁶



Kuva 2 Kestävyyden vaihe vaiheelta -integrointi kunnostushankkeeseen.⁵

Kestävyysarvioinnista vastaa sama taho kuin kunnostussuunnitelmasta. Ympäristöviranomaisen on otettava kantaa kunnostuksen kestävyteen ja sen arviointiin viimeistään kunnostusta koskevan hallintopäätöksen valmistelussa. Kunnostuksen suunnittelijoiden ja sen toteutuksesta vastaavien tehtävänä on varmistaa, että kaikki kunnostuksen sidosryhmät voivat osallistua hankkeeseen, ja että heillä on saatavissa kaikki päätöksenteon kannalta olennaiset tiedot selkeässä ja ymmärrettävässä muodossa.³

Kestävyteen vaikuttavia tekijöitä joudutaan arvioimaan aina tapauskohtaisesti, koska yleisellä tasolla kestäviä kunnostusratkaisuja ei voida määrittellä. Myös tarkastelujakson pituudella on merkitystä valintojen kannalta. Esimerkiksi monitoroitua luontaista puhdistamista voi usein pitää kestäväenä ratkaisuna erityisesti ympäristövaikutusten ja investointikustannusten näkökulmasta, mutta siihen kuuluvan pitkähkön tarkkailu- ja ympäristövaikutusten vaimenemisajan voi monessa tapauksessa katsoa olevan ristiriidassa tulevaisuuden vastuukysymyksiin liittyvän kestävyysperiaatteen kanssa.

Sama ongelma koskee monesti myös paikan päällä tehtäviä eristeratkaisuja, koska niiden pitkäaikaistoimivuus on epävarmaa. Vastaavasti maaperän kunnostaminen ruoppaamalla on kunnostettavan kohteen tulevaisuuden vastuukysymysten ja maankäytön kannalta yleensä kestävä ratkaisu, mutta siihen liittyvät työnaikaiset ja kohteen ulkopuolelle kohdistuvat ympäristövaikutukset, luonnonvarojen käyttö ja korkeat toteutuskustannukset vähentävät sen kokonaiskestävyyttä. Myös kaivettujen massojen käsittely, hyödyntäminen ja loppusijoitus kohteen ulkopuolella vaikuttavat kunnostushankkeen elinkaaren

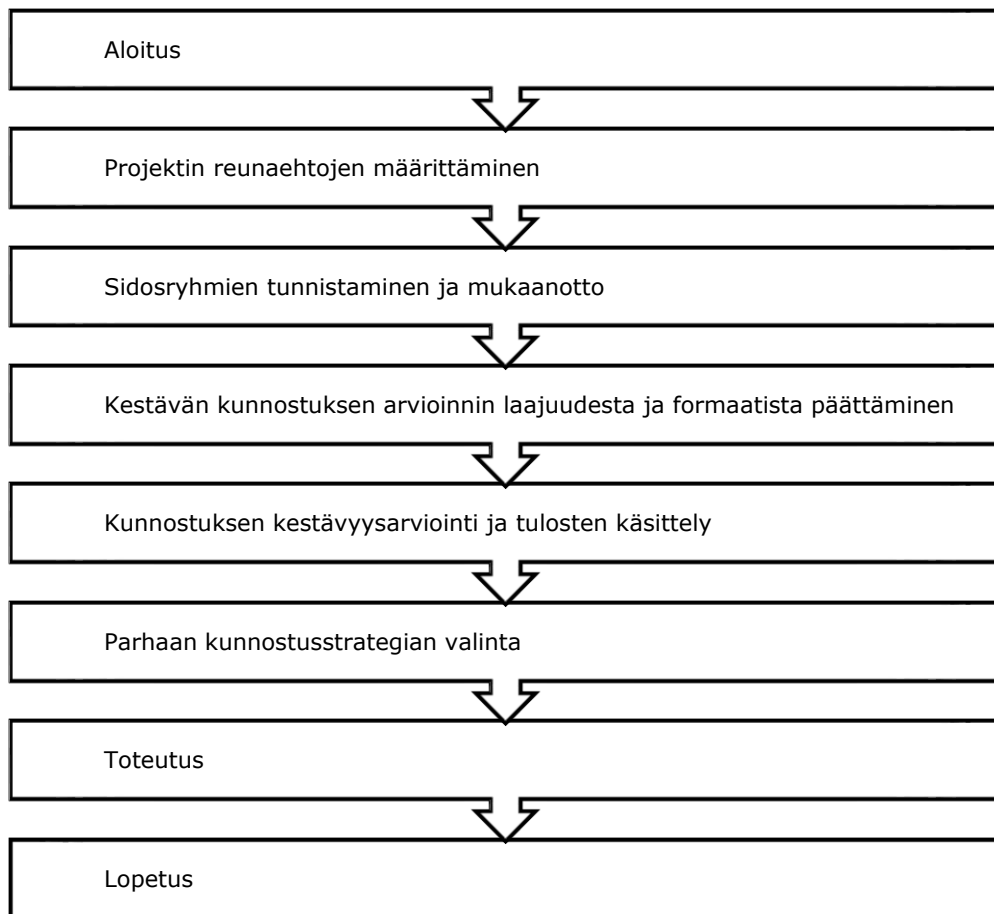
aikaiseen kestävyyteen, mistä syystä ne tulee huomioida kestävyystarkastelussa.^{47 10} Esimerkiksi pilaantumattomien ruoppausmassojen eri sijoitusvaihtoehtojen elinkaarianalyysissa maalle sijoitus voi tuottaa ympäristön kannalta eniten haitallisia vaikutuksia lisääntyneen kuljetustarpeen ja polttoaineen kulutuksen kautta¹¹.

3.2 Kestävän kunnostusstrategian toteutuksen vaiheet

Sedimentin kunnostuksessa suurimmat hyödyt saavutetaan tyypillisesti huomioimalla kestävä kehitys mahdollisimman aikaisessa vaiheessa hanketta, jo osana tulevaa maankäytön suunnittelua. Kestävyysnäkökulmat on kuitenkin perusteltua huomioida koko hankkeen elinkaaren ajan aina riskienhallinnan suunnittelusta kunnostustyön toteutukseen.⁴

ISO-standardi 18504:2017 määrittelee kestävä kunnostushankkeen vaiheet yleisellä tasolla⁵ (Kuva 3). Siinä aloituksen jälkeen määritellään projektin reunaehdot tavoitteiden ja rajoitusten ymmärtämisen kautta. Sidosryhmien mukaanotto ja konsultointi on tärkeää erityisesti sedimenttihankkeissa. Seuraavaksi päätetään arvioinnin laajuudesta ja formaatista. Tähän kuuluvat tavoitteiden varmistaminen ja neuvottelu sidosryhmien kanssa, arvioinnin reunaehtojen määrittely (elinkaari, aikataulu, alueelliset tavoitteet), kestävä kunnostuksen indikaattorien ja mittareiden valinta, kunnostusvaihtoehtojen määrittäminen sekä kunnostuksen kestävyysarviointimenetelmän valinta. Kunnostuksen kestävyysarvioinnin tulosten avulla voidaan valita paras kunnostusstrategia. Toteutusvaiheeseen kuuluvat mm. suunnittelu, tilaaminen, hankinta, rakentaminen, kunnostus, tarkkailu, ylläpito, varmistaminen ja käytöstä poisto. Prosessi päättyy lopetusvaiheeseen.

⁴⁷ Scheffler, A., T. Roth & W. Ahlf, 2014. Sustainable decision making under uncertainty: a case study in dredged material management. *Environmental Sciences Europe* 2014 26:7.



Kuva 3. Kestävän kunnostuksen kunnostusstrategian määrittämisen ja valinnan sekä toteutuksen vaiheet.⁵

Kunnostushankkeen tutkimusvaiheessa tutkimusmenetelmät tulisi valita siten että niiden perusteella voidaan saavuttaa riittävät tutkimustiedot alustavan käsitteellisen mallin laadintaan ja kohteen kestävyysarviointiin. Tutkimusten perusteella kohteeseen tehdään riskinarvio, jossa määritelty kunnostustarve toimii kunnostussuunnittelun ja siten myös kestävyysarvioinnin reunaehtona. Riskinarviota seuraava kunnostusmenetelmien valintavaihe on hyvä ja looginen kohta erityisen kestävyysarvion tekemiseen. Kunnostushankkeen kestävyden arvioinnin keskeisenä lähtökohtanaan on vaihtoehtoisten kunnostusmenetelmien etujen ja haittojen systemaattinen vertailu ja optimointi niille hankkeille, jotka ovat läpäisseet teknisen toteuttamiskelpoisuuden arviointiseulan (kts. kpl 4.3). Kohteeseen teknisesti tai muusta syystä ilmeisen huonosti soveltuvat menetelmät kannattaa hylätä tarkastelusta jo varhaisessa vaiheessa. Kohteen käsitteellistä mallia parannetaan arvioinnissa saatujen tietojen perusteella.⁶

Kestävyysarvioinnin tulisi edeltää kunnostuksen yleissuunnittelua. Yleissuunnitelmassa voidaan kestävyysarvioinnin pohjalta etsiä niitä toteuttamisratkaisuja, joilla parhaiten optimoidaan toiminnan kestävyys rakentamisen ja kunnostustoiminnan aikana. Kunnostussuunnittelussa olisi hyvä määrittää millä lailla kohteen kunnostustavoitteiden toteutumista tarkkaillaan ja miten prosessia optimoidaan kestävämpään lopputulokseen pääsemiseksi. Hankintavaiheessa tulisi varmistaa, että tarjoajilla on riittävät resurssit ja osaaminen kestävään kunnostamiseen toteutusvaiheessa. Tarjoajilta kannattaa kysyä miten he optimoisivat suunnitelmia siten että kunnostuksen kestävyys lisääntyy ja tarvittaessa muuttaa suunnitelmia tältä pohjalta.⁶

Kunnostuksen toteutusvaiheessa toteuttajille täytyy varata mahdollisuus jatkuvaan toiminnan kestävyiden parantamiseen, huomioiden kohteen olosuhteiden muutokset ja kunnostusteknologioiden kehittyminen. Lopetusvaiheessa kunnostuksen osapuolten tulee varmistua siitä, että kunnostuksen kestävyys- ja muut tavoitteet on saavutettu ja että alue kelpaa tulevaan käyttötarkoitukseen. Hankkeen aikana opittua kannattaa hyödyntää tulevien projektien kestävyysarviointiprosessin parantamiseen.⁶

4 Sedimenttihankeen kestävä suunnittelu

4.1 Riskienhallintatarve

Suomessa ylivoimaisesti yleisin syy tehdä ruoppauksia on kunnossapito ja uudisrakentaminen vesialueella, ei pilaantuneen sedimentin kunnostus⁴⁸. Kunnostusmenetelmäksi niissä on jo ennakkoon useimmiten valikoitunut ruoppaus ja ruoppausmassojen läjitys joko maa- tai meriympäristöön, mikä rajoittaa käytettävissä olevia riskien- ja kestävydenhallintamenetelmiä. Ympäristöasiat on huomioitava joka tapauksessa. Lisäksi hankkeissa voidaan parantaa paljon kestävyttä arvioimalla mm. käytettävää ruoppausmenetelmää, sedimentin läjityspaikkaa ja tapaa, sedimentin käsittelymenetelmiä ja massojen hyötykäytön mahdollisuuksia, ja valitsemalla kestävimät ratkaisut.

Sedimentillä ei yleensä ole lainsäädännöllistä kunnostustarvetta, mutta ympäristö- ja terveysriskinarvion tai sedimenttiin kohdistuvien toimenpiteiden seurauksena haitta-ainepitoisen sedimentin riskienhallintatarve konkretisoituu. Mikäli haitta-aineista aiheutuvaa riskiä ei voida hallita ilman pitoisuustason pienentämistä, on pitoisuustason vähentämiseksi valittava kunnostus-

⁴⁸ HELCOM, 2023b. Dredging. <https://helcom.fi/action-areas/industrial-municipal-releases/dredging/>

menetelmä. Kunnostusmenetelmän valinta on tärkeimpiä kunnostuksen kestävyteen vaikuttavia valintoja, ja sillä on vaikutuksia esimerkiksi luonnonvarojen käyttöön, hankkeen aikatauluun, budjettiin, alueen lähiympäristöön ja hiilidioksidipäästöihin.⁴ Sedimenttien osalta kestävä kunnostus voi sisältää myös monitoroidun luontaisen puhdistumisen tai pilaantuneen sedimentin paikalleen jättämisen.

Niissä hankkeissa, joissa tehdään sedimentin kunnostusta ympäristösyistä, muutkin aktiiviset kunnostusmenetelmät sedimentille tulevat kyseeseen, ja riskienhallintamenetelmien valinta on keskeinen kohta, jossa hankkeen kestävyteen voidaan vaikuttaa. Sedimentille käytettävissä olevia riskienhallintamenetelmiä on suuri määrä, mukaan lukien in-situ ja on-site -käsittelyt sekä monitoroidun luontaisen puhdistumisen. Menetelmien kustannustehokkuus on hyvä hankkeiden kestävyden mittari.

Mikään kunnostusmenetelmä ei ole lähtökohtaisesti kestävä tai kestämaton, joten kunnostusmenetelmän vaikutukset täytyy arvioida kohdekohtaisesti riskinarvioinnin tapaan. Sovittamalla kunnostusmenetelmä alueen kehitykseen, ympäristöolosuhteisiin ja riskiperusteiseen puhdistustavoitteeseen on mahdollista päästä vahvempaan kestävyteen ja vähentää kunnostuksen haitallisia vaikutuksia alueella käynnissä oleviin muihin hankkeisiin sekä yhteiskuntaan ja ympäristöön.⁴

4.2 Hankkeen tavoitteiden huomioiminen

Teknisesti soveltuvilla kunnostusmenetelmillä on mahdollista saavuttaa kohteeseen asetettu kunnostustavoite. Kunnostus on kuitenkin osa laajempaa kokonaisuutta ja siksi lopullisen kunnostusvaihtoehdon on täytettävä myös muut vaatimukset, kuten eri vaihtoehdoilla saavutettava kunnostustaso, kunnostuksen kesto, kokonaiskustannukset, mahdolliset jäännösriskit sekä muut hankkeen yleiset tavoitteet.⁴

Hankkeen muiden vaatimusten huomioiminen osana kunnostusmenetelmän valintaa on hyvä tehdä ennen lopullista päätöstä. Käymällä avointa vuoropuhelua oleellisten sidosryhmien välillä voidaan tunnistaa eri osapuolten intressit ja eri strategioihin liittyvät haasteet varhaisessa vaiheessa. Tunnistettuja menetelmiä pystytään tämän jälkeen vertailemaan keskenään tasapuolisesti ja päätös menetelmästä voidaan tehdä kestävyysarvioinnin perusteella.⁴ Sedimenttihankkeissa päätöksentekoon vaikuttaa voimakkaasti se, että hankkeet eivät yleensä ole lähtökohtaisesti ympäristön kunnostushankkeita, vaan esimerkiksi satamien ja väylien ylläpitoon tai uudisrakentamiseen tähtäviä hankkeita, joissa sedimentin hallinta työn mukanaan tuoma reunaehto.

Esimerkkejä sedimenttihankkeiden menetelmävalinnassa huomioitavista muista tavoitteista⁴:

- Riittävän veden syvyyden saavuttaminen
- Resurssitehokkuuden lisääminen
- Kalakantojen suojelu
- Pitkäaikaisseurannan välttäminen
- Vesienhoitotavoitteiden saavuttaminen
- Häiriöttömyys alueen (loma)asukkaille
- Sujuvan satamaliikenteen edistäminen.

4.3 Käytettävissä olevien menetelmien skreenaus

Sedimentille soveltuvista kunnostusmenetelmistä on systemaattisesti kerännyt tietoa erityisesti Federal Remediation Technologies Roundtable⁴⁹, FRTR, joka on USA:n eri valtiollisten toimijoiden yhteinen ohjausryhmä. Sen Technology Screening Matrixista on vuonna 2020 ilmestynyt uusi versio, jossa voidaan helposti hakea soveltuvia kunnostusmenetelmiä. Hakua voidaan niin haluttaessa supistaa käsittelytyyppiä, kehitystasoa, käyttöönottovaihetta, saatavuutta ja haitta-aineryhmäkohtaista tehokkuutta koskevien reunaehtojen määrittelyllä. FRTR:n kotisivulta löytyy menetelmien tarkempi kuvaus, esimerkkejä niiden soveltamisesta ja ohjeita mm. prosessin optimointiin ja kustannusten arviointiin, sekä julkaisuja.

Muitakin sedimentin kunnostusmenetelmiä yleisellä tasolla käsitteleviä julkaisuja on runsaasti^{50 51 52 53 54} ja kunnostusmenetelmäkohtaisia ohjeita. Sedimentille soveltuvat kunnostusmenetelmät ovat suurelta osin samoja kuin

⁴⁹ Federal Remediation Technologies Roundtable, 2023. <https://frtr.gov/matrix/default.cfm>

⁵⁰ Vahanne, P. & E. Vestola (toim.), 2007. Organotinapitoisten sedimenttien ruoppaus ja käsittely. Menettelytapaohje. VTT Tiedotteita 2371. 76 s.

⁵¹ Itkonen, A., 2004. Pilaantuneen sedimentin kunnostus – ruoppaus ja sen vaihtoehdot. Ympäristö ja terveys 2-3/2004: 90-94.

⁵² VTT, 2007. Organotinayhdisteillä pilaantuneiden sedimenttien ympäristövaikutukset ja niiden hallinta (TBT BATman). Taustaraportti. VTTR0050407 30.3.2007.

⁵³ Nathanail, J., P. Bardos and P. Nathanail, 2007. Contaminated land management - ready reference. EPP Publications. Land Quality Press.

⁵⁴ U.S. EPA, 2005. Contaminated sediment remediation guidance for hazardous waste sites. United States Environmental Protection Agency EPA-540-R-05-012. Office of Solid Waste and Emergency Response OSWER 9355.0-85.

maaperälle, mutta erojakin on. Sedimentin kunnostusteknologiat voidaan jakaa esimerkiksi seuraavasti⁵⁵ (Taulukko 1):

Taulukko 1. Esimerkki sedimentin kunnostusmenetelmien luokittelusta⁵⁵

<u>In Situ TECHNOLOGIES</u>		
1. Physical/Chemical Treatments		Capping
		Containment Barriers
		Solidification/Stabilization
		Confined Disposal Facility
<u>Ex Situ TECHNOLOGIES</u>		
2. Biological Treatments		Bioslurry
		Containment Land
		Composting
3. Physical/Chemical Treatments		Chelation
		Oxidation
		Dechlorination
		Solidification/Stabilization
		Basic Extractive Sludge
		Solvent Extraction
		Carver-Greenfield Process
		Soil Washing
	Containment Barriers	
4. Thermal Treatments	Thermal Destruction Technologies	Incineration
		Pyrolysis
		High-Pressure Oxidation
		Vitrification
	Thermal Desorption Technologies	X*TRAX System
		Desorption and Vaporization Extraction
		High-Temperature Thermal System
		Low-Temperature Thermal System
		Low-Temperature Thermal Aeration
		Anaerobic Thermal Processor

Optimaalisen kunnostusstrategia kohteeseen koostuu yleensä useista eri menetelmistä, joiden yhdistelmällä kunnostustavoitteet parhaiten saavutetaan. ITRC (2014)⁵⁶ esittää seuraavien periaatteiden huomioimista, kun kunnostusratkaisua kohteelle kehitetään:

1. Keskity kunnostustavoitteiden saavuttamiseen ja nettoriskin vähentämiseen.

⁵⁵ Reis, E., A. Lodolo & S. Miertus, 2007. Survey of sediment remediation technologies. International Centre for Science and High Technology. 124 p.

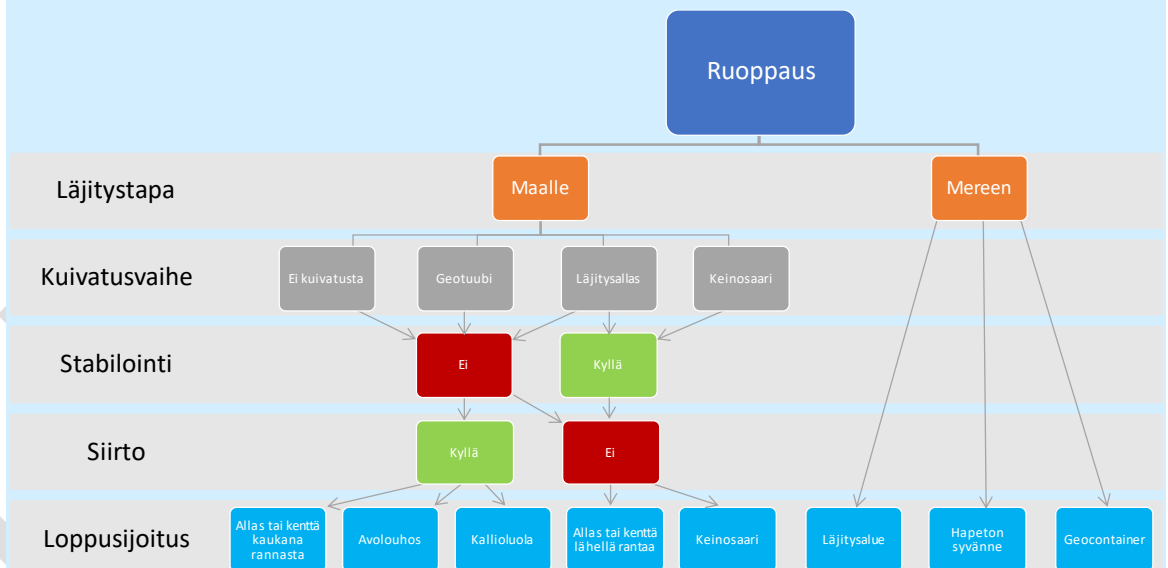
⁵⁶ Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC), 2014. Contaminated sediments remediation: Remedy selection for contaminated sediments. ITRC CS-2. Interstate Technology & Regulatory Council, Contaminated Sediments Team, Washington, DC. Available from https://projects.itrcweb.org/contseds_remedy-selection/

2. Tasapainota lyhyen aikavälin vaikutukset pitkän aikavälin riskien vähentämisen ja tulosten pysyvyyden kanssa.
3. Huomioi erityisesti korkeiden pitoisuuksien alueet, jotka voivat toimia jatkuvina haitta-ainelähteinä.
4. Huomioi epävarmuus tulosten saavuttamisesta.
5. Arvioi kustannustehokkuutta.
6. Harkitse riskinhallintaa.

Case Turun seudun sedimenttien maaläjitysalue. Tarkemmin tarkasteltujen menetelmien valinta.⁸⁴

Varsinais-Suomen ELY-keskus kutsui vuonna 2017 koolle työryhmän, jonka työn tavoitteena oli selvittää Turun seudun vesialueilta ruopattavien sedimenttien maaläjitysratkaisuja ja mahdollisten läjitysalueiden sijaintia. Alue on mataloituvaa maankohoamisrannikkoa jonka väyliä kulkusyvyyden ylläpito vaatii kunnossapitoruoppauksia. Lisäksi alueella oli tiedossa useita sedimenttiin kohdistuvia uudisrakennushankkeita. Työn aluksi tehdyn tarvekartoituksen perusteella alueella arvioitiin syntyvän jopa noin 1 000 000 m³ltr ruoppausmassoja 10 vuoden aikana.

Asiantuntijatyönä ohjausryhmän avustuksella sedimenttien mahdollisille käsittelypoluille laadittiin yleinen prosessikaavio, joka on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 4).



Kuva 4. Turun edustan ruoppausmassojen sijoituksen yleinen prosessikaavio. Turun kaupunki on sittemmin ilmoittanut luopuvansa ruoppausmassojen meriläjityksestä kokonaan.

Esikarsinnan perusteella valituille menetelmille tehtiin kustannus-hyötyanalyysi, jonka perusteella niitä karsittiin lisää. Hankkeen ohjausryhmä painotti kustannus-

hyötyanalyysissä menetelmien saamia hyötypistemääriä. Suurimmat painokertoimet tulivat arviointikriteereille (neljä suurinta suurimmasta pienimpään): a) käsittelyn ympäristövaikutukset, b) ympäristö- ja terveysriskien vähenemä, c) tekninen toteuttamiskelpoisuus ja d) sedimentin hyötykäyttömahdollisuus. Jatkotarkasteluun kelpuutettiin menetelmät, joilla saatu hyötypistemäärä suhteessa kustannuksiin oli kohtuullinen: a) meriläjitys, b) puhtaiden savimassojen hyödyntäminen syvänteiden kunnostuksessa, c) allasijoitus, d) geotuubikentät, e) avolouhokset, f) kalliotilat, g) keinosaaret (CDF:t) ja h) geocontainer-läjitysratkaisut. Näille etsittiin mahdollisia sijoituspaikkoja hankkeen seuraavassa vaiheessa, spatiaalisessa monikriteerianalyysissä (kts. 5.2.2 ja 5.3.1).

4.4 Riskienhallintamenetelmien kestävyysarviointi

4.4.1 Arviointiprosessin yleispiirteet

Sedimenttihankkeiden kestävyysarviointi liittyy niiden riskinarviointiprosessiin, jota se loogisesti seuraa jos kunnostustarvetta todetaan. Kestävyyden arvioinnin sijoittuminen osaksi sedimentin kunnostusprosessia on esitetty edellä (Kuva 3). U.S. EPA:n vaarallisten aineiden varautumisohjeistuksessa on korostettu yhtätoista riskienhallintaperiaatetta, jotka ainakin suuremmissa kohteissa tulisi huomioida ennen kuin riskienhallintapäätöksiä tehdään⁵⁷. Samojen periaatteiden noudattaminen on myös hankkeen kestävyystavoitteiden saavuttamisen kannalta tärkeää.

- 1. Hallitse haitta-aineiden lähteitä aikaisin**
- 2. Ota yhteisö mukaan aikaisin ja usein**
- 3. Koordinoi lupaviranomaisten, paikallishallintojen ja ympäristöhallinnon kanssa**
- 4. Kehitä ja tarkenna käsitteellinen malli, joka ottaa huomioon sedimentin stabiilisuuden**
- 5. Käytä iteratiivista lähestymistapaa riskiperusteisessa kehityksessä**
- 6. Arvioi huolellisesti oletukset ja epävarmuustekijät, jotka liittyvät kohdekohtaiseen dataan ja malleihin**

⁵⁷ U.S. EPA, 2002. Principles for Managing Contaminated Sediment Risks at Hazardous Waste Sites. OSWER Directive 9285.6-08. 12 p.

- 7. Valitse paikkakohtaiset, projektikohtaiset ja sedimenttikohtaiset riskinhallintamenetelmät, joilla saavutetaan asetetut riskiperusteiset tavoitteet**
- 8. Varmista, että sedimentin kunnostuksen tavoitetasot on selkeästi sidottu riskinhallintatavoitteisiin**
- 9. Maksimoi viranomaisten ja lainsäädännön mahdollistamien rajoitusten tehokkuus ja tunnista niiden rajoitukset**
- 10. Suunnittele kunnostustoimenpiteitä lyhyen aikavälin riskien minimoimiseksi samalla kun saavutetaan pitkäaikainen suoja**
- 11. Tarkkaile sedimentin kunnostuksen aikana ja sen jälkeen kunnostustoimenpiteiden tehokkuuden arvioimiseksi ja dokumentoimiseksi.**

Kestävyyden tulevaisuuteen asti ulottuvasta määritelmästä johtuen sen varmistaminen edellyttää kestävyyden eri osatekijöiden johdonmukaista ja toistettavaa tarkastelua kohteen erityisominaisuudet huomioon ottaen, sekä tehtyjen päätösten ja niihin vaikuttaneiden tekijöiden selkeää dokumentointia.³ Tarkastelun tulee olla kattava, systemaattinen ja kohdekohtainen.⁵⁸ Tätä prosessia voidaan kutsua kestävyysarvioinniksi.

Pilaantuneella alueella kestävyysarviointi tarkoittaa erityisesti riskinhallinnan lähtökohtien ja kunnostusmenetelmien valintaa siten, että toimenpiteillä saavutettavat kokonaisyödyt kohteessa ylittävät kunnostuksen negatiiviset vaikutukset.³ Kestävyysarviointi on keino kasvattaa saavutettavia hyötyjä suhteessa kunnostuksen haittoihin.

Kestävyysarvioinnin yhteydessä on tärkeää myös varmistaa, että hanke täyttää kaikilta osin lainsäädännön vaatimukset ja on myös teknisesti toteuttamiskelpoinen kyseessä olevassa kohteessa. Käytännössä juuri kunnostusratkaisujen tekninen toteutettavuus riskien vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle määrittelee pitkälti sen, millaiset vaihtoehdot kohteessa ovat ylipäättään mahdollisia. Siten eri kunnostusratkaisujen kestävyys tarkastelu kannattaa yleensä suorittaa vasta alustavan teknisen arvion jälkeen ja vain niille kohteille, jotka läpäisevät realistisen toteuttamiskelpoisuuden ja parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) lakisääteisen arvioinnin seulan.³

Kunnostusstrategian valinta on aina subjektiivinen ajasta, paikasta ja toteuttajasta riippuvainen prosessi. Tästä huolimatta sekä tekninen arviointi että sitä seuraava kestävyysarviointi on syytä pyrkiä tekemään mahdollisimman avoimesti ja perustellusti, jotta kohteen kunnostukseen mahdollisesti soveltuvia

⁵⁸ Nihtilä, M., 2016. Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan kestävyysarviointi ja siihen käytettävät menetelmät. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Kemian tekniikan korkeakoulu, Kemian tekniikan koulutusohjelma 88 s.

kestäviä ratkaisuja ei rajata subjektiivisten näkemysten vuoksi tarkastelun ulkopuolelle. Tätä vinoutumaa voidaan korjata huomioimalla sidosryhmien ja riippumattomien asiantuntijoiden näkemyksiä mahdollisimman paljon ja varhaisessa vaiheessa hanketta.³

4.4.2 Arviointimenetelmien valinta

Kunnostuksen kestävyysarviointia voidaan tehdä monella eri tasolla (engl. tiered approach). Yksinkertaisen säännön mukaan arviointi kannattaa tehdä yksinkertaisimmalla tasolla, joka mahdollistaa luotettavan päätöksenteon (standardi). Tyypillisesti päätöksenteon kannalta riittävät tiedot voidaan tuottaa melko yksinkertaisilla laadullisilla menetelmillä, joilla eri kunnostusvaihtoehtojen etuja ja haittoja voidaan vertailla. Nämä voivat olla esim. taulukko- tai kaaviomuotoisia työkaluja, joissa eri kestävyystekijöitä arvioidaan ja vertaillaan mm. yksinkertaisilla pisteytyksillä, värikoodeilla tai sanalliseen kuvailuun perustuen. Työkaluja tärkeämpänä tekijänä voidaan pitää itse prosessia eli asioiden jäseneltyä tarkastelua, joka tuottaa päätöksenteon kannalta olennaiset tiedot läpinäkyvästi, ymmärrettävästi ja perustellusti ja vastaa eri sidosryhmien tarpeisiin.³

Kuitenkin myös laskennallisilla menetelmillä on käyttökohteensa. Esimerkiksi projekteissa, joissa päätöksenteko riippuu muutamasta mitattavissa olevasta indikaattorista, laskennallisempi lähestymistapa kestävä kehityksen indikaattoreihin voi puolustaa paikkaansa. Erilaiset arviointimenetelmät voidaan jakaa laadullisiin, semikvantitatiivisiin ja kvantitatiivisiin menetelmiin, vaikkakaan niiden raja ei aina ole kovin selvä. Esimerkkejä eri tasoista kestävä kunnostuksen arviointimenetelmistä ja niiden tyypilliset piirteet on esitetty alla (

Taulukko 2).⁵

LUONNOS

Taulukko 2. Eri tasoiset tekniikat, jotka voivat olla hyödyllisiä kunnostuksen kestävyden arvioinnissa.^{5 59}

	Taso 1	Taso 2	Taso 3
Arviointityyppi	Laadullinen arviointi perustuen projektin tärkeimpiin kestävyys-elementteihin (esim. energian kulutus, sidosryhmien osallistumisen laajuus)	Semikvantitatiivinen analyysi, joka keskittyy muutamaa tason 1 arvioinnin tuloksia täydentävään indikaattoriin	Kvantitatiivinen , kohdekohtainen ja yksityiskohtainen käytäntöjen, prosessien ja teknologioiden analyysi
Soveltuvuus	Soveltuu yleensä pienempiin kohteisiin, joissa on aika-, rahoitus- ja resurssirajoituksia; joissa on kyseessä pieni riski tai yksinkertainen kohde ja jotka eivät merkittävästi hyötyisi korkeatasoisemmasta arvioinnista	Kohteet, jotka ovat melko monimutkaisia tai joissa suurempi harkinta ja sidosryhmäkommunikaatio on tarpeen.	Merkittävän monimutkaiset kohteet, jotka voivat vaatia laajaa osallistumista ja kannanottoa sidosryhmiltä, ja joista on saatavissa tietoa
Tyypilliset piirteet	Yksinkertainen mutta kattava arviointi	Taulukkopohjaisuus, pisteytys ja painotus, kohdekohtaisuus, tarkailudatan hyödyntäminen	Monimutkainen mutta osittainen kohdekohtainen arviointi
Esimerkkejä menetelmistä	<ul style="list-style-type: none"> - Tarkastuslistat - Parhaat toimintatavat - Teollisuuden ohjeet - Arviointimatriisit - Kuvaileva analyysi - Ei-parametrinen järjestysluokitus 	<ul style="list-style-type: none"> - Riskinarvio - Altistumissimulaatio - Päästölaskenta - Yksinkertainen CBA (kustannus-hyötyanalyysi) - Parittainen vertailu - MCA (moniulotteinen korrespondenssianalyysi) 	<ul style="list-style-type: none"> - Yksityiskohtainen CBA (kustannus-hyötyanalyysi) - LCA (elinkaariarviointi) - Alueellinen ja ajallinen raja-arviointi - Energia-analyysi - (Ympäristö)jalanjälkianalyysi - Kustannustehokkuusanalyysi - Nettohyötyarviointi - Sosiaalinen sijoitetun pääoman tuottoanalyysi - Sosiaalinen taloudenpito ja auditointi

Kehittyneimmillä työkaluilla (esim. kvantitatiiviset monikriteerianalyysimenetelmät) eri teki-jöitä voidaan mm. muuttaa yhteismitallisiksi ja niille voidaan

⁵⁹ Holland, K.S., R.E. Lewis, K. Tipton, S. Karnis, C. Dona, E. Petrovskis, L.P. Bull, D. Taeye & C. Hook, 2011. Framework for Integrating Sustainability into Remediation Projects. Remediation, summer 2011: 7-38.

antaa erilaisia painokertoimia. Monikriteerianalyysin periaatteita, käyttöä eri maissa ja soveltamista pilaantuneiden alueiden päätöksenteossa on esitelty tarkemmin monissa julkaisuissa.^{60 59}

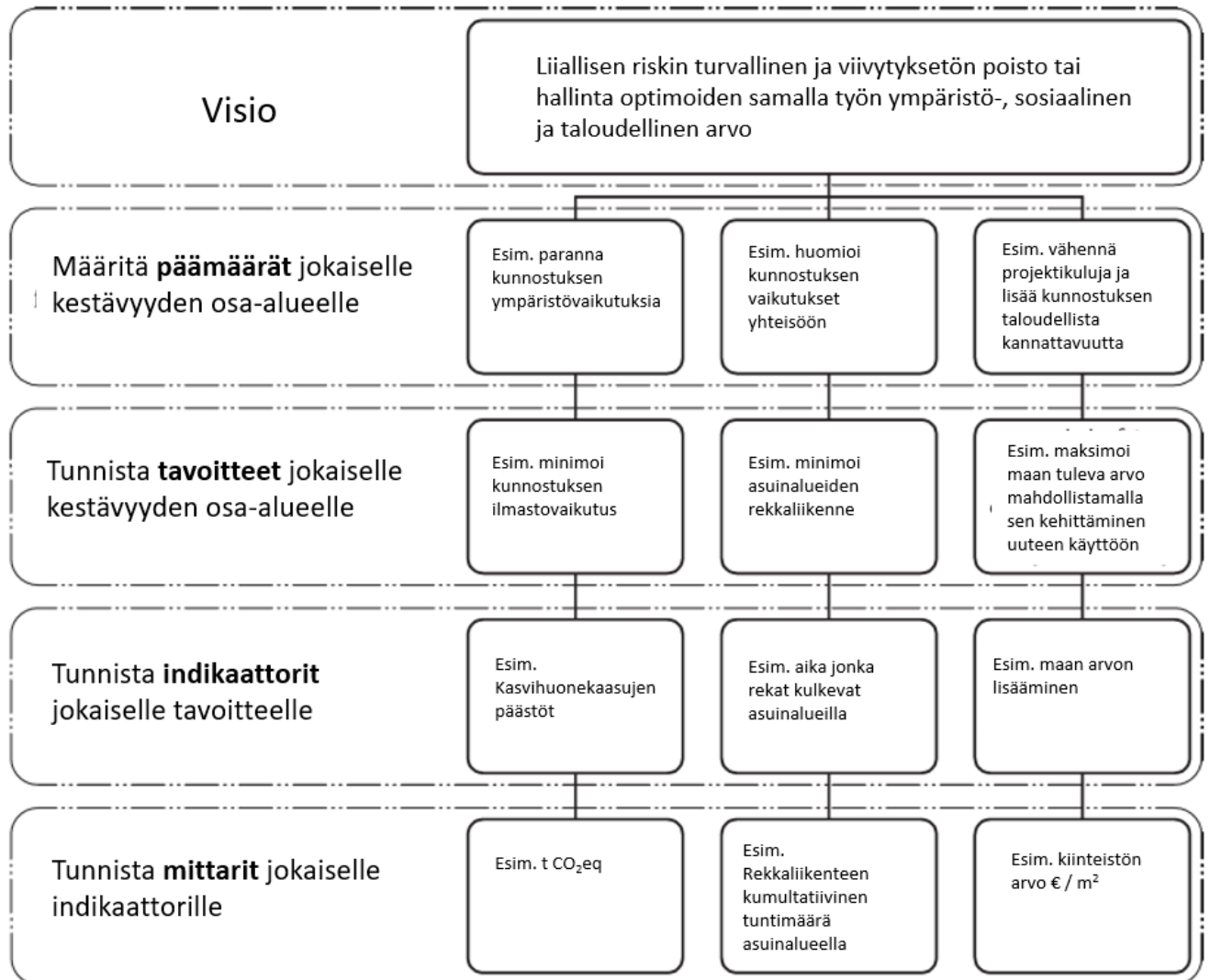
Arviointia helpottamaan on kehitetty erilaisia kestävyysarviointityökaluja, jotka on valittava tarkoituksenmukaisesti. Niitä käytetään tyypillisesti tiettyjen ennalta asetettujen tavoitteiden saavuttamisen arviointiin. Työkalut on varustettu ennalta määrätyillä indikaattoreilla ja mittareilla, ja ne perustuvat maantieteelliseen ja kunnostusprosessiperäiseen informaatioon. Näin ollen niiden käyttökelpoisuutta rajoittaa sekä käytettävissä olevien indikaattoreiden että niiden kattamien kunnostusmenetelmien määrä. Jotkut työkalut saattavat esimerkiksi painottaa voimakkaasti ympäristönäkökohtia sosiaalisten ja taloudellisten näkökohtien sijaan. Vaikutuksia kuvaavat mittarit saattavat olla myös voimakkaasti maantieteellisesti värittyneitä.⁵

Joidenkin kestävyysarviointiin kehitettyjen työkalujen kattavuutta on vertailtu taulukossa 1. Taulukosta ja muista vastaavista selvityksistä⁶⁴ selviää, että eri kestävyysarviointityökalut fokuoitetut hieman eri lailla. Joissakin niistä on suurehkoja puutteita arviointikriteereissä.

4.4.3 Kestävyysindikaattorit

Kunnostuksen kestävyttä arvioitaessa on ensin määriteltävä, mitä kestävyydellä tarkoitetaan pilaantuneen maaperän kunnostuksen kontekstissa. Maaperän kunnostushankkeessa näiden teemojen alle asetettavat kriteerit voivat vaihdella kunnostettavan kohteen erityispiirteiden mukaisesti, ja niitä voidaan painottaa erityyppisissä kohteissa eri tavalla. Kunnostuksen kestävänsä tavoitteenasetteluun liittyviä käsitteitä ja niiden keskinäinen hierarkia on esitetty alla (*Kuva 5*). Yleiset indikaattorit kunnostushankkeissa on esitetty seuraavassa kuvassa (*Kuva 6*).

⁶⁰ Esimerkiksi Sorvari, J. 2010. Application of risk assessment and multi-criteria analysis in contaminated land management in Finland. Väitöskirja. Oulun yliopisto ja Thule instituutti, tekninen tiedekunta, Oulu. 72 s. + liitteet. ISBN 978-952-92-8210-4. Tiivistelmä sarjassa Monographs of the Boreal Environment Research no. 37. 72 s. ISBN 978-952-11-3801-0 (PDF). ISBN 978-952-11-3800-3 (painos). Saatavilla: www.ymparisto.fi/syke/julkaisut > Boreal Environment Research.



Kuva 5. Päämäärä, tavoite, indikaattori ja mittari -hierarkia kestävyysarvioinnissa.⁵

Ympäristötekijät	Sosiaaliset tekijät	Taloudelliset tekijät
<ul style="list-style-type: none"> • vaikutukset ilmaan • vaikutukset maaperään • vaikutukset veteen • vaikutukset ekologiaan • vaikutukset maisemaan ja muu häiritsevyyttä • luonnonvarojen käyttö ja jätteiden synty 	<ul style="list-style-type: none"> • vaikutukset ihmisten hyvinvointiin ja turvallisuuteen • eettisyys ja oikeudenmukaisuus • vaikutukset naapurustolle ja alueellisesti • yhteisön osallistaminen ja tyytyväisyys • yhdenmukaisuus poliittisten tavoitteiden kanssa • luotettavuus ja epävarmuus 	<ul style="list-style-type: none"> • suorat kustannukset ja hyödyt • epäsuorat kustannukset ja hyödyt • työllistäminen ja pääoman kasvu • omavaraisuus • elinikä ja projektin riskit • projektin joustavuus

Kuva 6. Kestävyys yleiset indikaattorit kunnostushankkeissa.³

Kriteeristöjä (indikaattoreita) on työstetty erilaisten maaperän kunnostuksen kestävyysarviointityökalujen tarpeisiin. Työkalut mukautuvat kohdekohtaiseen arviointiin tarjoamalla vaihtoehtoja eri kriteerien priorisoinnille, jolloin niiden käyttäjän tulee ymmärtää kunnostettavan kohteen erityispiirteet osataksaan tehdä päätöksen soveltuvista painotuksista. Seuraavassa (Kuva 7) on esitetty esimerkki kohdekohtaisista indikaattoreista.

Ecological Health	a. Residual risk, T=0	Economic Vitality	a. Economic (long-term)	Quality of Life	a. Quality of life		
	b. Downstream risk		b. Economic (short-term)		b. Socially optimal construction time		
	c. Residual Risk, long term		c. Tourism		c. Truck traffic		
Habitat	a. Temporary habitat degradation		Jobs	d. Economic re-development	Fairness	a. Stakeholder involvement	
	b. Permanent habitat change	a. Employment (local)		b. Aboriginal and treaty rights			
Resilience	a. Recontamination/attenuation	Infrastructure	b. Local training and employment	Recreation		c. Communication of uncertainty	
	b. Extreme event vulnerability		a. Rail impact			d. Cultural assets	
Green Remedy	a. Air Emissions		Cost Effectiveness		b. Utilities	Health & Safety	a. Recreation: in water
	b. Energy consumption				c. River dependent business		b. Other water recreation
	c. Water consumption	d. Navigational impact		c. Access to river			
	d. Hazardous landfill use	a. Capital cost		d. Recreational facilities			
	e. Non-hazardous landfill use	b. Long-term cost		e. Recreational re-use			
	f. Beneficial re-use	c. Cost-effectiveness (T=0)		a. Worker safety			
	d. Cost effectiveness (long-term)	d. Regulatory cost/benefit	b. Human health	c. Fish consumption risk (short term)			

Kuva 7. Esimerkki suuremman sedimenttikohteen kohdekohtaisia indikaattoreita.⁶¹

Työkaluja ja kestävyysarvioinnin teknistä suoritusta tärkeämpää on itse kestävyysarvioinnin prosessi, jonka tuloksena ympäristöä, yhteiskuntaa ja taloutta koskevat näkökulmat on jäsenneily ja arvioitu läpinäkyvästi ja selkeästi siten, että lopputulos on ymmärrettävä, perusteltu ja dokumentoitu

Arvioinnin aluksi kohteen erityispiirteet on tunnettava hyvin. Tämän jälkeen tarkasteltavan kohteen rajaukset määritellään. Varsinainen vertailu suoritetaan aiemmin tunnistettujen teknisesti mahdollisten kunnostusvaihtoehtojen kesken. Vertailussa voidaan käyttää erilaisten kestävyysvertailutyökalujen kriteeristöjä, jolloin vertailun tulos on usein joiltain osin kvantitatiivinen, osin semikvantitatiivinen.

Arviointikriteerien valinta ja niiden painotus riippuu kohteesta. Koska valitut kriteerit vaikuttavat suuresti lopputulokseen, on tärkeää, että niiden käyttö on perusteltu ja ne raportoidaan ymmärrettävästi. Esimerkiksi sosiaalisten

⁶¹ Fitzpatrick, A., A. McNally, S.E. Apitz & D. Harrison, 2019. Operationalizing Sustainability Concepts in Sediment Remediation Making. International Conference on Remediation and Management of Contaminated Sediments. Short course material 11.2.2019. 60 p.

vaikutusten tai terveystarpeiden painoarvo on sitä suurempi, mitä herkempään alueenkäyttöön kunnostuksella tähdätään.

Arviointikriteeristöjä on kehitetty osana arviointityökaluja, mutta työhön voi soveltaa myös esim. SURF UK:n kokoamaa listausta.^{62 63} Raportoinnin tarkoituksena on se, että kaikki alueella toimivat sidosryhmät ymmärtävät, miksi kohteessa käytettävä kunnostusmenetelmä on valittu, ja miten tehty valinta vaikuttaa kunnostuksen kestävyYTEEN.

4.4.4 Kestävyydenarviointityökaluja

Joidenkin kestävyYden arviointiin kehitettyjen työkalujen kattavuutta on vertailtu taulukossa alla (Taulukko 3). Taulukosta ja muista vastaavista selvityksistä⁶⁴ selviää, että eri kestävyYdenarviointityökalut fokuSOITUVAT hieman eri lailla. Joissakin niistä on suurehkoja puutteita arviointikriteereissä. Kaikki nämä työkalut mahdollistavat ymmärryksen syventämisen hankkeiden kestävyysasioista, kunhan johtopäätöksistä on tehty riittävää herkkyyStarkastelua.⁶⁹

⁶² Bardos, P., A. Lazar & N. Willenbrock, 2009. A Review of Published Sustainability Indicator Sets: How applicable are they to contaminated land remediation indicator-set development? SURF UK. 126 p.

⁶³ SuRF UK, 2020b. Supplementary Report 2 of the SuRF-UK Framework: Selection of Indicators/Criteria for Use in Sustainability Assessment for Achieving Sustainable Remediation. (CL:AIRE).

⁶⁴ Esim. Nihtilä, M., 2016. Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinnan kestävyysarviointi ja siihen käytettävät menetelmät. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Kemian tekniikan koulutusohjelma. 88 s.

Taulukko 3. Joidenkin kestävyysarviointityökalujen indikaattorivalikoiman kattavuus.⁶⁵

Työkalu	Ympäristö						Taloudelliset						Sosiaaliset					
	Ilma	Maaperä	Vesi	Ekologia	Resurssit ja jäte	Yhteisvaikutus	Suorat kustannukset ja hyödyt	Epäsuorat kustannukset ja hyödyt	Työllisyys	Aiheutetut kustannukset ja hyödyt	Elinkaari ja joustavuus	Yhteisvaikutus	Ihmisten terveys ja turvallisuus	Etiikka ja tasa-arvo	Naapurusto	Yhteisö ja osallistuminen	Varmuus ja näytö	Yhteisvaikutus
ABC	2	1	2	0	2	1	1	0	0	0	2	1	2	0	0	1	2	1
DARTS	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	2	0	0	1	1	1
DESYRE	2	2	1	0	0	1	2	0	0	0	1	1	2	0	0	1	1	1
PIRTU	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	1
GoldSet	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1
HVS	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	1	1	2	0	2	2	0	1
MKM	2	1	1	1	1	1	2	0	0	0	1	1	2	0	2	0	1	1
PIRTU	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	1
REC	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	2	1	1	1
SCORE	2	2	1	2	1	1	2	1	1	0	2	1	2	1	2	1	1	1
SiteWise	2	0	0	0	2	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1
SRT	2	2	1	0	1	1	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
WILMA	2	2	1	1	1	1	2	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1

Yksi vapaasti saatavilla oleva suhteellisen kattava työkalu on SiteWise™ -ohjelma⁶⁶. SiteWise on Excel pohjainen ohjelma, joka on suunniteltu ympäristöjalanjäljen laskemiseen yleisimmille kunnostusvaihtoehdoille. Sitä on kehitetty myös sedimenttihankeita silmällä pitäen, ja sen kirjastosta löytyy vesirakennustyökoneiden päästöarvoja.

SiteWise tuottaa yksityiskohtaisen analyysin laskennallisista indikaattoreista; kasvihuonekaasut, energian käyttö, ilmapäästöt, veden käyttö, luonnonvarojen käyttö sekä onnettomuusriskit. SiteWise -ohjelma koostuu eri rakennusosista, kuten hankkeen eri vaiheista tai eri kunnostusmenetelmien komponenteista. Jokaiselle osalle lasketaan erikseen ekologinen jalanjälki. Lopuksi eri

⁶⁵ Huysegoms, L. & V. Cappuyns, 2017. Critical review of decision support tools for sustainability assessment of site remediation options. Journal of Environmental Management. Volume 196, 1 July 2017, Pages 278-296.

⁶⁶ Moore, S. & R. Sirabian, 2018. SiteWise™ Version 3.2 User Guide. UG-0000-ENV. Battelle.

osien ekologiset jalanjäljet yhdistetään, jolloin saadaan määritettyä koko hankkeen ekologinen jalanjälki⁶⁴. SiteWise -ohjelma on ladattavissa osoitteesta:

<https://www.sustaineremediation.org/guidance-tools-and-other-resources>.

Suomessa kehitettyjä kestävyysarviointityökaluja ovat esimerkiksi jo hie- man vanhempi SYKE:n koordinoimassa PIRRE-hankkeessa on kehitetty va- paasti saatavilla oleva Excel-pohjainen PIRTU-laskentatyökalu, joka mahdol- listaa kunnostusvaihtoehtojen kvantitatiivisen vertailun kestävyysarvioin- tityökalun avulla.⁶⁷

([https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ ja_kehittamis- hankkeet/Hankkeet/Pilaantuneen_maaperan_ ja_pohjaveden_riskinhallinta- ratkaisujen_ekotehokkuus_PIRRE_PIRRE2/PIRTUekotehokkuuslaskentatyo- kalu](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamis- hankkeet/Hankkeet/Pilaantuneen_maaperan_ ja_pohjaveden_riskinhallinta- ratkaisujen_ekotehokkuus_PIRRE_PIRRE2/PIRTUekotehokkuuslaskentatyo- kalu)).

Toinen, uudempi, kotimainen työkalu on Pirkanmaan ELY-keskuksen koordi- noiman Maaperä Kuntoon -ohjelman teettämä KESY-työkalu (<https://maa- perakuntoon.fi/kestavyysarviointi>). Uusin kestävyysarviointityökalu on Ramboll Finland Oy:n SURE-työkalu (<https://sure.ramboll.com/>). Suomessa kehitettyjen työkalujen käytön etuna on luonnollisesti se, että niiden indikaat- torit ja mittarit on valittu paikallisiin olosuhteisiin soveltuviksi.

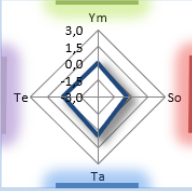
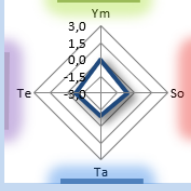
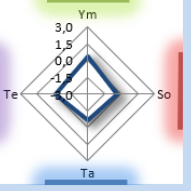
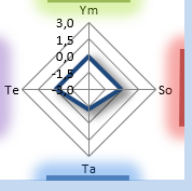
Case Onkilampi. KESY-työkalun hyödyntäminen lyijyllä entisen ampumara- tana toimineen lammen ja sen maa-alueen riskienhallintamenetelmien valin- nassa⁶⁸

Suonenjoen Onkilammen ampumarata-alueella on harjoitettu haulikkoammuntaa vuo- sina 1964-2008. Rata-alue sijoittuu pohjavesialueelle ja itse lampi on pohjaveden pur- kautumispaikka. Onkilampi sijaitsee haulien leviämisalueella, ja metallipitoisuudet lammen itäosan sedimentissä ja ranta-alueen maaperässä ovat huomattavasti kohon- neet. Tämä on aiheuttanut vaaraa ympäristölle, mm. linnuille.

Vuonna 2021 tehtyjen uusien tutkimusten pohjalta tehdyn riskitarkastelun perusteella lammen sedimentillä on kunnostustarve ekologisista riskeistä, erityisesti lintujen lyi- jyhäilyhälystä, johtuen. Tulosten perusteella arvioitiin parhaita kunnostusmenet-elmiä kustannus-, hyöty- ja kestävyysnäkökulmista KESY-työkalulla (*Kuva 8*).

⁶⁷ Sorvari, J., Antikainen, R., Kosola, M.-L., Jaakkonen, S., Nerg, N., Vänskä, M. & Pyy, O. 2009. Pilaantu- neiden maa-alueiden riskinhallinnan ekotehokkuus. Suomen ympäristö 33/2009. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

⁶⁸ Sitowise Oy, 2020. Suonenjoen kaupungissa sijaitsevan Onkilammen vanhan haulikkoradan lisätutkimuk- set vuonna 2020. Riskienhallintaraportti. A. Itonen, O. Hyttinen & M. Vesterinen. 31.12.2020. YKK65177. 37 s.

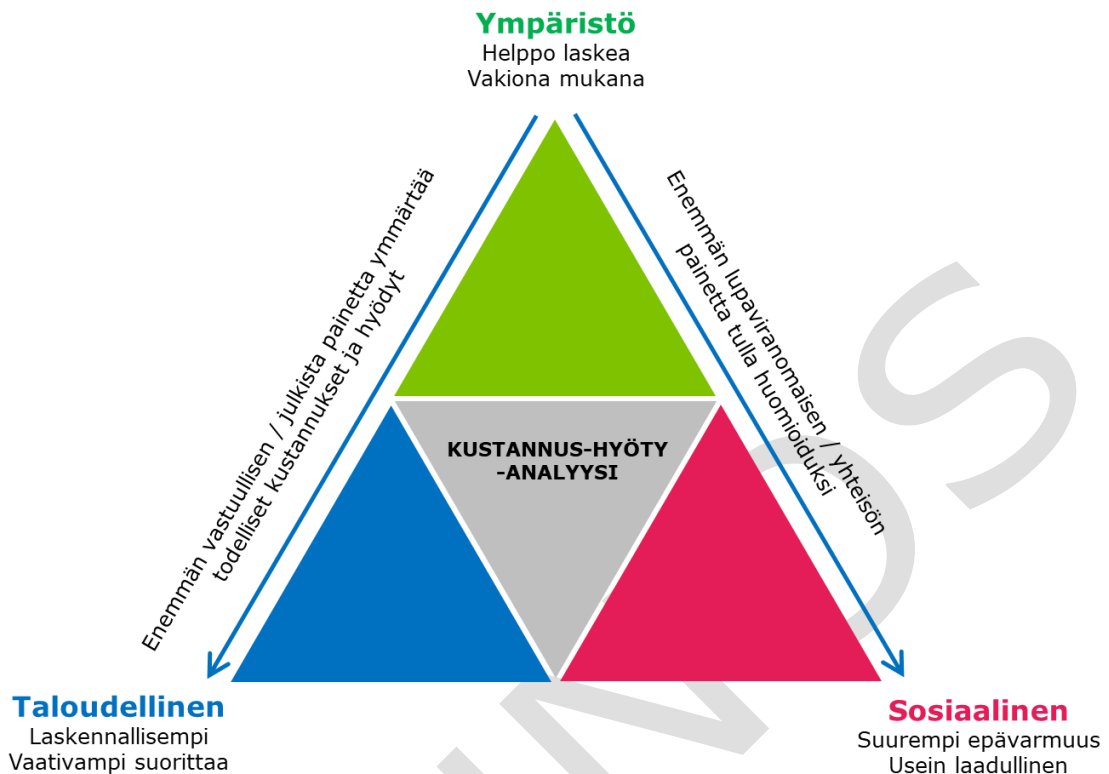
0-vaihtoehto				Vaihtoehto 1				Vaihtoehto 2				Vaihtoehto 3			
Monitoroitu luontainen toipuminen in situ				Peittäminen mineralimaalla in situ				Eristäminen aktiivisella kuorikerroksella in situ				Kaivu ja massojen sijoitus off-site			
Ym	So	Ta	Te	Ym	So	Ta	Te	Ym	So	Ta	Te	Ym	So	Ta	Te
															
0 Menetelmän vaikutus ympäristöön ei ole merkittävä.				0 Menetelmän vaikutus ympäristöön ei ole merkittävä.				0 Menetelmän vaikutus ympäristöön ei ole merkittävä.				0 Menetelmän vaikutus ympäristöön ei ole merkittävä.			
0 Menetelmän vaikutus ihmisten tasapuoliseen kohteluun tai oikeuksiin ei ole merkittävä.				-1 Menetelmällä on lievästi haitallinen vaikutus ihmisten tasapuoliseen kohteluun tai oikeuksiin. Haitta on hyväksyttävissä, jos muut kestävän kehityksen kriteerit ovat tasapainossa. Sosiaalisia haittavaikutuksia tulisi vähentää tehokkaalla viestinnällä.				0 Menetelmän vaikutus ihmisten tasapuoliseen kohteluun tai oikeuksiin ei ole merkittävä.				0 Menetelmän vaikutus ihmisten tasapuoliseen kohteluun tai oikeuksiin ei ole merkittävä.			
0 Menetelmän kustannusvaikutus ei ole merkittävä.				-1 Menetelmän kustannukset ovat kohtuullisen suuret. Kustannukset voidaan hyväksyä, jos muut kestävän kehityksen kriteerit ovat tasapainossa.				-1 Menetelmän kustannukset ovat kohtuullisen suuret. Kustannukset voidaan hyväksyä, jos muut kestävän kehityksen kriteerit ovat tasapainossa.				-1 Menetelmän kustannukset ovat kohtuullisen suuret. Kustannukset voidaan hyväksyä, jos muut kestävän kehityksen kriteerit ovat tasapainossa.			
0 Menetelmän vaikutus ihmisten terveyteen ei ole merkittävä.				-1 Menetelmän avulla kunnostettu maa saattaa aiheuttaa riskejä ihmisten terveydelle. Jos terveysvaikutukset ovat luonteeltaan pelkoa ja ahdistusta, tulee haittavaikutuksia vähentää hyvällä viestinnällä. Kunnostuksen päätyttyä tulee arvioida uudelleen kriittisesti vaikutuksia terveydelle.				0 Menetelmän vaikutus ihmisten terveyteen ei ole merkittävä.				0 Menetelmän vaikutus ihmisten terveyteen ei ole merkittävä.			

Kuva 8. Suonenjoen Onkilammen KESY-kestävyysarvioinnin tuloksia⁶⁸.

KESY-työkalun todettiin soveltuvan erinomaisesti terveystarviteiden aiheuttavien pima-kohneiden kestävyysarviointiin, mutta vain rajoitetusti Onkilammen kaltaiseen tapaukseen, jossa riski on melko puhtaasti ekologinen. Se kuitenkin auttoi kunnostusmenetelmän valinnassa tehdyn kustannus-hyötyanalyysin ohella. Parhaaksi riskienhallintamenetelmäksi valikoitui sedimentin pintakerroksen ruoppaaminen niillä matalammilla lammen pohjan alueilla, joilla on todettu linnuille vaaraa aiheuttavia metallipitoisuuksia tai haulimääriä. Maa-alueella ei arvioitu tarvittavan aktiivisia kunnostustoimenpiteitä.

Kustannus-hyötyanalyysi on ehkä parhaiten sedimenttihankkeiden kestävyysarviointiin soveltuva yksittäinen menetelmä. Kustannusten ja hyödyn suhde sekä osapuolten arvojen ja prioriteettien huomioiminen ovat avain hyvien kestävyystuloksien saavuttamiseen sedimenttihankkeissa. Eri kestävyysarvioinnin osatekijöiden asemaa sedimentin kustannus-hyötyanalyysissä on avattu seuraavassa kuvassa (Kuva 9).⁶⁹

⁶⁹ Fitzpatrick, A., A. McNally, S.E. Apitz & D. Harrison, 2019. Operationalizing Sustainability Concepts in Sediment Remediation Making. International Conference on Remediation and Management of Contaminated Sediments. Short Course materials 11.2.2019.



Kuva 9. Kustannus-hyötyanalyysi. Yhdistetty arviointi huomioi useita eri näkökulmia.⁶⁹

Kustannus-hyötyanalyysin tavoite on määrittää eri toimenpiteiden vaikutusten suhde kustannuksiin, minkä perusteella valitaan ne toimenpiteiden yhdistelmät, jotka toteuttavat tavoitellun ympäristön tilan mahdollisimman vähäisillä kustannuksilla. Analyysin avulla voidaan vertailla altaan käsittely-vaihtoehtojen kustannuksia keskenään ympäristöriskien vähenemän, kunnostuksen ja käsittelyn ympäristövaikutusten, alueen hyötykäytön sekä muiden vaikutusten suhteen. Tarkastelun kulku on esitelty tarkemmin esim. julkaisussa Vahanne & Vestola, 2007⁷⁰.

Kustannus-hyötytarkastelussa esitetään ensin lyhyt kuvaus kunnostusmenetelmästä ja sitten varsinainen arviointi. Arviointi tehdään ainoastaan teknisesti toteutettavissa oleville menetelmille. Arviointi tehdään asiantuntijatyönä käyttäen hyväksi saatavilla olevia menetelmäkuvauskuvaus, tietoja menetelmien vaikutuksista ja kohteesta saatavilla olevia lähtötietoja. Siinä huomioidaan eri sidosryhmien toteutukselle asettamat reunaehdot. Eri tekijöiden painokertoimien valintaan kannattaa pyytää mukaan hankkeen sidosryhmät

⁷⁰ Vahanne, P. & E. Vestola (toim.), 2007. Organotinapitoisten sedimenttien ruoppaus ja käsittely. Menettelytapaohje. VTT Tiedotteita 2371. 76 s.

mahdollisimman laaja-alaisesti. Arvioinnin jälkeen esitetään jokaisesta kunnostusmenetelmästä tehty yhteenveto.

Käsittelykustannukset voidaan arvioida esim. käyttäen julkaisussa Vahanne et al. (2007)⁷¹ erityisesti sedimentin kunnostukseen esitettyjä, ja uudempia yksikköhintoja. Yksikköhinnat riippuvat massamäärästä ja/tai kunnostettavan sedimentin pinta-alasta, joten niiden muuttuminen arvioinnissa käytetyistä voi muuttaa myös kustannus-hyötysuhdetta. Lisäksi on huomattava, että myös menetelmien yhdistäminen on mahdollista, ja myöhemmin suunnittelun aikana löydetään todennäköisesti teknisiä ratkaisuja, joilla kustannuksia saadaan pienennettyä merkittävästi.

Lopussa esitetään kaikkien tulosten yhteenveto sekä tarkastelu alueen tulevasta käyttökelpoisuudesta / kunnostuksen vaikutuksista sekä yhteenveto teknisesti käyttökelpoisimmista menetelmistä. Kustannusarvioiden tuloksia käytettäessä huomioidaan myöhemmästä suunnittelusta ja kustannustason kehittymisestä johtuva epävarmuus. Menetelmistä voidaan esittää ehdotus käsittelypoluksi, tilantarve ja vaiheistus. Kustannus-hyötyraporttiin kuuluu myös epävarmuustarkastelu ja ehdotus jatkotoimenpiteiksi.

Case Onkilampi. Kunnostusmenetelmien tarkastelu kustannus-hyöty-analyysin avulla⁷²

Suonenjoen Onkilammen ampumarata-alueen riskienhallintamenetelmien valintaa varten kohteeseen tehtiin KESY-kestävyysokalutarkastelun lisäksi kustannus-hyöty-analyysi asiantuntijatyönä valituille toteuttamiskelpoisille menetelmille. Tarkasteluun valitut menetelmät olivat seuraavat:

1. Monitoroitu luontainen toipuminen in situ (sedimentti / maaperä)
2. Peittäminen mineraalimaalla in situ (sedimentti / maaperä)
3. Eristäminen aktiivisella kuorikerroksella in situ (sedimentti / maaperä)
4. Kaivu ja massojen sijoitus on-site / off-site (sedimentti / maaperä)
5. Imuruoppaus, massojen kuivatus ja sijoitus on-site / off-site (sedimentti, off-site)
6. Ruoppaus jäädytysmenetelmällä ja massojen sijoitus on-site / off-site (sedimentti)

⁷¹ Vahanne, P., E. Vestola, U.-M. Mroueh, M. Wahlström, J. Laine-Ylijoki, T. Kaartinen, P. Eskola, M. Arnold, H. Huhta, J. Sassi, T. Marjamäki, K. Holm, V. Nikulainen, M. Mäenpää & A. Kultamaa, 2007. Organotinayhdisteiden ympäristövaikutukset ja niiden hallinta, TBT-BATman. Taustaraportti. VTT-R-00504-07. 206 s.

⁷² Sitowise Oy, 2020. Suonenjoen kaupungissa sijaitsevan Onkilammen vanhan haulikkoradan lisätutkimukset vuonna 2020. Riskienhallintaraportti. A. Itonen, O. Hyttinen & M. Vesterinen. Pirkanmaan ELY-keskus ja Suonenjoen kaupunki. 31.12.2020. YKK65177. 37 s.

Menetelmiä arvioitiin seuraavassa esitetyn hyötyasteikon (Taulukko 4) ja esimerkin sen soveltamisesta (Monitoroitu luontainen toipuminen-menetelmä; Taulukko 5) mukaisesti:

Taulukko 4. Tarkastellut parametrit ja niiden arviointiasteikko.

Menetelmä xxx		
Kokemukset tekniikasta ja tulosten varmuus	Tarkasteltu sanallisesti: tuntematon -> taattu	--...++
Tekninen toteuttamiskelpoisuus	Tarkasteltu sanallisesti: suuria teknisiä ongelmia -> hyvin soveltuva	--...++
Ympäristö- ja terveystriskit	Tarkasteltu sanallisesti: suuri -> pieni	--...++
Käsittelyn ympäristöhaitat	Tarkasteltu sanallisesti: suuret -> mitättömät	--...++
Käsittelyaika	Tarkasteltu sanallisesti: pitkä -> lyhyt	--...++
Tarkkailun tarve	Tarkasteltu sanallisesti: merkittävä -> ei ollenkaan	--...++
Vaikutukset alueen tulevaan käyttöön	Tarkasteltu sanallisesti: negatiivinen -> positiivinen	--...++
Imagovaikutukset ja psykologiset riskit	Tarkasteltu sanallisesti: negatiivinen -> positiivinen	--...++
Kuormituksen väheneminen pitkällä aikavälillä	Tarkasteltu sanallisesti: mitätön -> suuri	--...++
Sedimentin hyötykäyttö	Tarkasteltu sanallisesti: ei toteudu -> toteutuu	--...++
Hyöty ilman painotuksia		xx

Taulukko 5. Esimerkki sanallisesta tarkastelusta (Monitoroitu luontainen toipuminen).

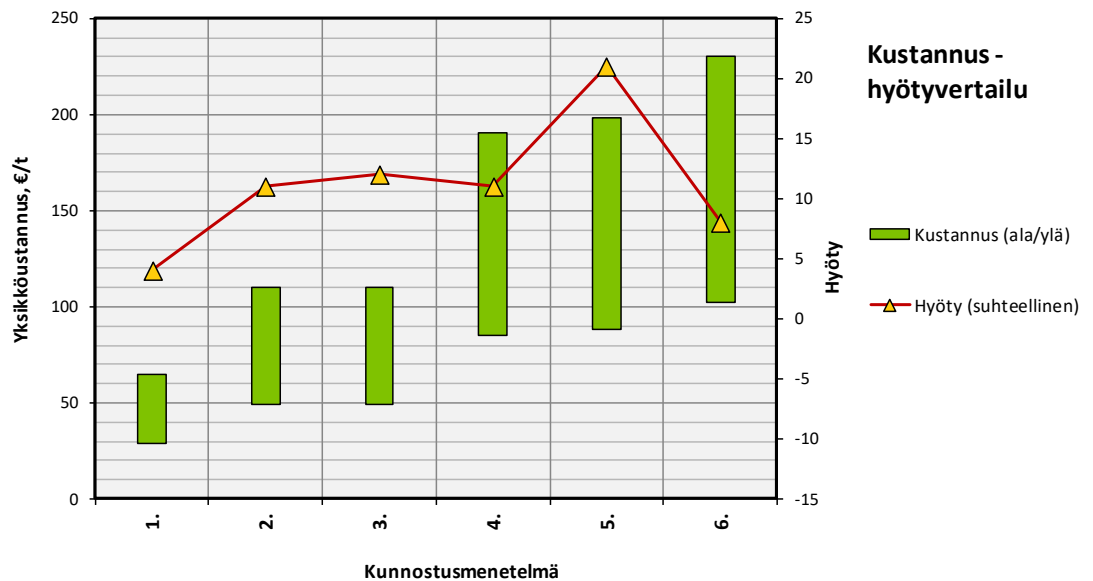
1. Monitoroitu luontainen toipuminen in situ (sedimentti / maaperä)		
Kokemukset tekniikasta ja tulosten varmuus	Tunnettu tekniikka Suomessa ja kansainvälisesti. Monissa laajalti pilaantuneissa / vaikeasti puhdistettavissa vesistökohteissa on lopulta päädytty tähän tekniikkaan.	++
Tekninen toteuttamiskelpoisuus	Ei vaadi rakentamista. Vaatii pitkäaikaista tarkkailua ja sen varmistamista, että kehitys tapahtuu oikeaan suuntaan.	++
Ympäristö- ja terveysriskit	Kohonneet haitta-ainepitoisuudet jäävät kohteeseen. Haitta-aineiden liukeneminen vesimassaan ja edelleen kulkeutuminen on mahdollista. Ihmisten altistuminen sedimentille ruoansulatuselimistön kautta (uimavesi) ja suoran ihokosketuksen (esim. kahlaaminen) kautta on mahdollista. Linnustoon altistuminen lyijyhauleille jatkuu.	--
Käsittelyn ympäristöhaitat	Ei ympäristöhaittoja.	0
Käsittelyaika	Käsittelyä ei tarvita. Sedimentin haitta-aineet eivät hajoa merkittävässä määrin, mutta hautautuvat pitkän ajan kuluessa puhtaamman sedimentin alle.	++
Tarkkailun tarve	Vaatii laaja-alaista tarkkailua, joka jatkuu vuosia, mahdollisesti kymmeniä vuosia.	--
Vaikutukset alueen tulevaan käyttöön	Ei vaikutuksia luonnonsuojelu-alueen / virkistysalueen käyttöön.	0
Imagovaikutukset ja psykologiset riskit	Ei vaikutusta tai vähäinen positiivinen vaikutus.	0
Kuormituksen väheneminen pitkällä aikavälillä	Ei juurikaan vaikutusta.	--
Sedimentin hyötykäyttö	Ei toteudu.	0
Hyöty ilman painotuksia 0		

Onkilammen painotettu hyötyarviointimatriisi on esitetty seuraavassa (Taulukko 6). Parhaan painotetun hyötypistemäärän sai menetelmä Imuruoppaus, massojen kuivaus ja sijoitus off-site.

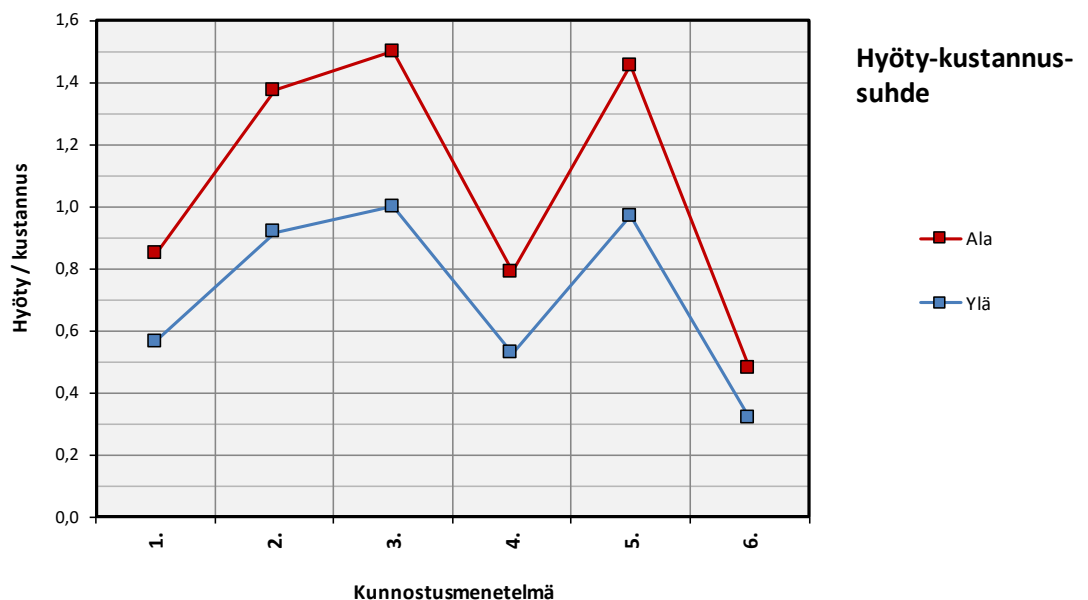
Taulukko 6. Yhteenveto eri menetelmien kustannus-hyötytarkastelusta. Arvioitujen eri parametrien merkitystä on painotettu.

MENETELMÄ	PAINOKERROIN (1-5)	1. Monitoroitu luontainen toipuminen in situ	2. Peittäminen mineraalimaalla in situ	3. Eristäminen aktiivisella kuorikerroksella in situ	4. Kaivu ja massojen sijoitus off site	5. Imuruoppaus, massojen kuivatus ja sijoitus off site	6. Ruoppaus jäädytysmenetelmällä ja sijoitus off-site
Kokemukset tekniikasta ja tulosten varmuus	4	8	4	0	8	8	4
Tekninen toteuttamiskelpoisuus	4	8	4	4	4	4	-4
Ympäristö- ja terveystriskit	5	-10	5	5	5	10	10
Käsittelyn ympäristöhaitat	4	0	0	4	-8	-4	-4
Käsittelyaika	1	2	0	1	0	0	-1
Tarkkailun tarve	2	-4	-4	-4	0	0	0
Vaikutukset alueen tulevaan käyttöön	1	0	1	1	1	1	1
Imago vaikutukset ja psykologiset riskit	1	0	1	1	1	2	2
Kuormituksen väheneminen pitkällä aikavälillä	3	-6	3	3	6	6	6
Sedimentin hyötykäyttö	1	0	-2	-2	0	0	-1
YHTEENSÄ		4	11	12	11	21	8

Seuraavissa kuvissa on esitetty tehty yhteenveto kustannus-hyötyanalyyseistä: kustannus-hyötyvertailu (Kuva 10) ja hyöty-kustannussuhde (Kuva 11).



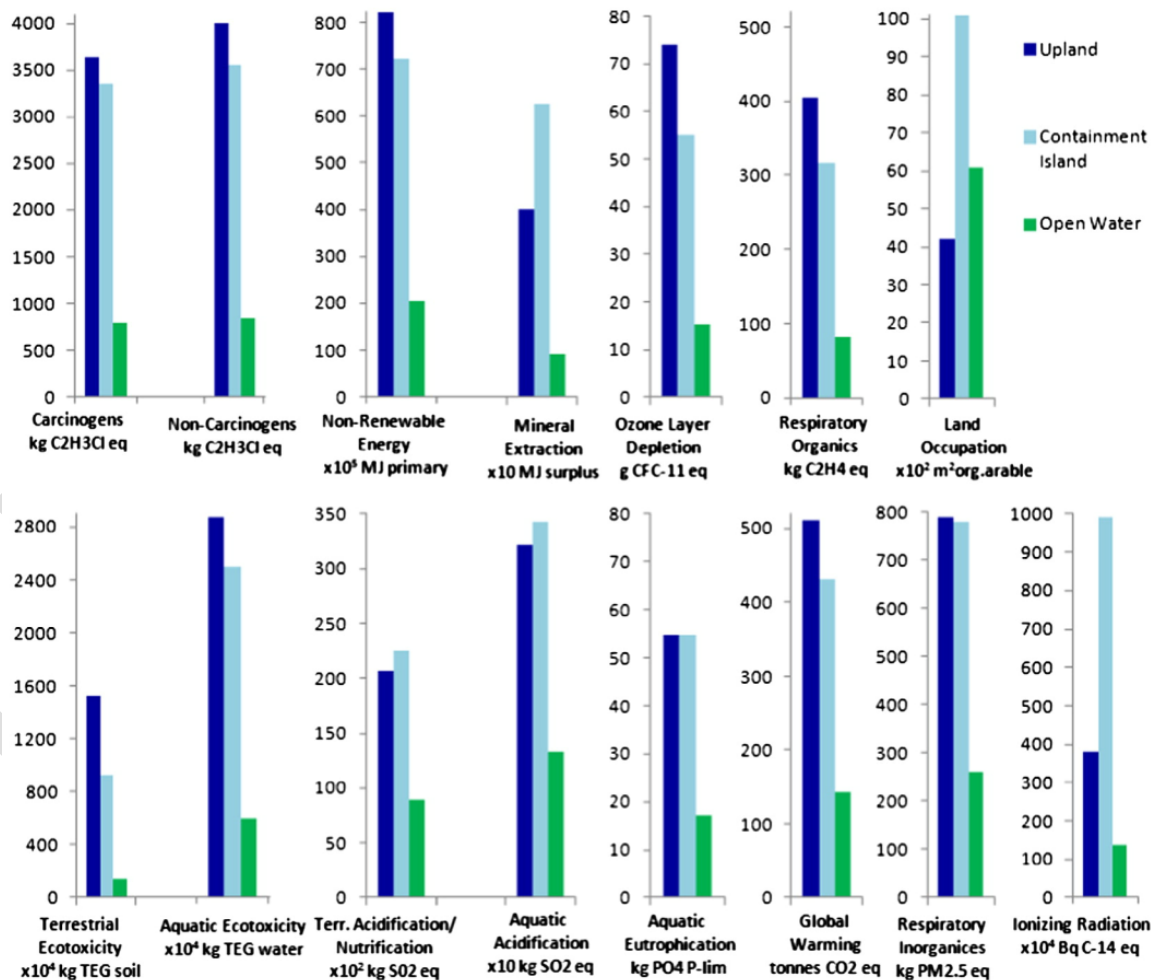
Kuva 10. Yhteenveto sedimentin kunnostusmenetelmien kustannus-hyöty-analyysistä. Vihreä pylväs kuvaa arvioituja kustannuksia (kustannusarvio $\pm 20\%$) eri menetelmävaihtoehdoille Onkilammen tapauksessa. Keltainen kolmio kuvaa saavutettavaa hyötyä tämän tarkastelun mukaan. Huom! hyötyasteikko on suhteellinen.



Kuva 11. Edellisessä kuvassa esitetyn datan perusteella laskettu sedimentin kunnostusmenetelmien hyöty-kustannussuhde (kustannusten ylä- ja alarajalla). Sekä hyöty- että kustannusmuuttujat on muunnettu siten, että korkein arvo on saanut vertailuarvon 1,00 ja muut suhteessa siihen. Huom! hyöty- ja kustannusmuuttuja eivät tässä ole kaikilta osin yhteismitallisia.

Hyöty-kustannussuhde on suurin menetelmällä Imuruoppaus, massojen kuivatus ja sijoitus off-site. Toiseksi parhaiten menestyi menetelmä eristäminen aktiivisella kuorikerroksella ja kolmanneksi parhaiten peittäminen mineraalimaalla in situ. Monitoroitu luontainen toipuminen on muihin nähden edullinen menetelmä, mutta sillä saavutettava hyöty on vähäinen. Kaivulla ja massojen ruoppauksella jäädytysmenetelmällä arvioidaan saavutettavan suhteellisen pieni hyöty suhteessa niiden hintaan.

Myös elinkaarianalyysiä (LCA) voidaan hyödyntää tehokkaasti kvantitatiivisten indikaattoreiden vertailuun hankkeiden koko elinkaaren ajan. Batesin ym. (2015)¹¹ mukaan LCA soveltuu erityisen hyvin ruoppausmassojen läjitysvaihtoehtojen vertailuun tapauksissa, joissa mahdolliset käsittelytavat eroavat huomattavasti toisistaan, käsittelypaikan valinta on kiistanalainen ja missä tarvitaan täydellistä elinkaarianalyysiä. Seuraavassa kuvassa (Kuva 12) on esimerkki indikaattoreista, joita ruoppausmassojen läjitysvaihtoehtojen LCA-analysissä voidaan käyttää.



Kuva 12. Indikaattoreiden keskiarvot kolmelle eri sedimentin sijoitusvaihtoehdolle 10 mailia ruoppauspaikalta. Tulokset on tuotettu LCA IMPACT 2002 -ohjelmalla ja vaikutusarviointimenettelyllä.¹¹

5 Sedimenttihankeksen kestävä toteutus

5.1 Hankintavaihe

Kunnostushankkeen tilaajalle kestävyysarvioinnista on paljon hyötyä. Kestävyysarvioinnin huomiointi on välttämätöntä – se on itseisarvo. Lisäksi kestävyysarvioinnin avulla on mahdollisuus säästää rahaa ja materiaaleja (esim. vähentämällä tarpeetonta kunnostusta), parantaa hankkeen vastuullisuutta sekä selkeyttää hankkeeseen liittyviä vaikutuksia ja riskejä. Se vähentää ennakoimattomuutta hankkeen toteutuksessa. Sillä voidaan myös perustella maa-ainesten hyötykäyttöä ja välivarastointia sekä muiden kierrätysmateriaalien ja kohdekohtaisten kunnostustavoitteiden käyttöä. Lisäksi arviointi helpottaa keskustelua ympäristöviranomaisten kanssa, on lainmukaista, antaa mahdollisuuden vaikuttaa päätöksentekoon, ja tukee kansallista kestävyysstrategiaa. Vastaavasti arviointi tukee tilaajan omien kestävä kehityksen mukaisten tavoitteiden toteutumista, ja voi parantaa tilaajayrityksen imagoa ja brändiä sekä lisätä kunnostetun kiinteistön arvoa. Sen yhteydessä esille saattaa nousta uusia, aiemmin havaitsemattomia, hyödyllisiä näkökulmia.⁷³

Konkreettisia toimia, joilla kestävyystavoitteita voidaan huomioida pilaantuneisiin maa-alueisiin liittyvissä hankinnoissa, on esitetty seuraavassa PIMA-kehittäjäryhmän työpajan tuloksena.⁷⁴

Suunnitteluvaihe

- Varataan nykyistä enemmän aikaa ja resursseja, jotta tutkimukset voidaan tehdä huolella ja tarkoituksenmukaisessa laajuudessa.
- Kaavoitushankkeisiin otetaan varhaisessa vaiheessa mukaan henkilö, joka voi tuoda alueiden käytön suunnitteluun esiin pilaantuneisiin alueisiin ja maa-aineksiin liittyviä näkökantoja. Toisaalta kaavoituksesta vastaavan mukana olo PIMA-

⁷³ Kestävän kunnostamisen käytännöt -kokeiluhanke, 2021. Yhteiskehittäjäryhmän digityöpaja. Julkaisematon yhteenveto.

⁷⁴ Jylhä, H., K. Alhola, R. Antikainen ja O. Pyy, 2021. Kestävät ja innovatiiviset julkiset hankinnat pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksessa. KEINO-osaamiskeskuksen PIMA-kehittäjäryhmän toiminta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30 / 2021. 42 s.

kunnostusta suunniteltaessa auttaa määrittämään kunnostuksen tavoitteita jo toimia luvitettaessa.

Suunnittelijan tai konsultin kilpailutus

- Edellytetään, että valittava suunnittelija on sitoutunut huomioimaan kestävyystavoitteet prosessin eri vaiheissa.
- Vaaditaan, että suunnittelija perehtyy tilaajan ilmasto- ja resurssitehokkuus- sekä muihin kestävyystavoitteisiin.
- Luvat voivat edellyttää uusiomateriaalin käyttöä tai niissä voi olla tällaisten materiaalien määrään ja laatuun liittyviä tavoitteita, joihin myös hankkeen suunnittelijan tulee sitoutua.
- Vaikuttavuustavoitteet voivat liittyä ilmastovaikutuksiin, energia- ja materiaalitehokkuuteen, kiertotalouteen tai sosiaaliseen vastuullisuuteen.

Markkinavuoropuhelu / kilpailutuksen aikana käyty neuvottelukierros

- Kysytään tarjoajien ehdotuksia ja mahdollisuuksia kiertotalouden huomioimiseksi urakassa, materiaalihävikin vähentämiseksi ja uusiomateriaalien suosimiseksi.
- Sopimuskauden aikana mahdollistetaan bonusmenettely, jossa palvelun tuottaja saa bonusta sen mukaan, miten hyvin pystyy täyttämään kestävyys tavoitteet.

Urakan kilpailutusvaihe

- Huomioidaan markkinavuoropuhelun ja/tai neuvottelukierrosten perusteella asetetut tavoitteet kilpailutuksessa.
- Kiinnitetään huomiota erityisesti työmaan ja kuljetusten päästöihin, esimerkiksi mahdollisuuksiin toteuttaa fossiiliton työmaa tai optimoida kuljetusreittejä, tai edellytetään rakennushankkeen toteutuksessa biodieselin käyttöä tai vaihtoehtoisia käyttövoimaratkaisuja.

5.2 Vesialueella tehtävät toimenpiteet

5.2.1 Ruoppaus

Ruoppaus aiheuttaa aina huomattavasti kohonneita työnaikaisia kiintoainepitoisuuksia vesimassaan sekoittamalla sedimenttiä veteen. Samalla suspendoituu myös haitta-aineita. Ruoppausten aiheuttaman resuspension riskinarvioinnissa käytetään yleensä kiintoainepitoisuutta 200 mg/l, joka on mittauksissa ruoppaajan lähellä todetun maksimäärän luokkaa.

Resuspension määrä on jonkin verran riippuvainen ruoppausmenetelmästä. Esimerkiksi sedimentin poisto jäädyttämällä aiheuttaa vain vähän resuspensiota. Kuivakaivussa resuspensiota aiheutuu lähinnä vain valumavesistä. Myös

altaan kuivatus / lasku aiheuttaa resuspension riskiä. Kauha- ja imuruoppausmenetelmien aiheuttaman suspendoitumisen määrä riippuu tarkemmasta kalustotyypistä ja pohjan laadusta. Erilaisten ruoppauskalustojen aiheuttamaa suspendoitumista on arvioitu mm. julkaisussa Riipi (1997).⁷⁵ Seuraavassa taulukossa on eräs luokitus (Taulukko 7).

Taulukko 7. Eri ruoppausmenetelmien aiheuttaman resuspension määrä⁷⁶.

Ruoppaajatyyppe	Suspendoituneen kiintoaineen pitoisuus, mg/l (etäisyys alavirtaan)		
	noin 30 m	noin 60 m	noin 120 m
Leikkuri-imuruoppaaja	25–250	20–200	10–150
Hopperi: ylijuoksutus	250–700	250–700	250–700
Hopperi: ei ylijuoksutusta	25–200	25–200	25–200
Kahmarikauha: avoin malli	150–900	100–600	75–350
Kahmarikauha: tiivis malli	50–300	40–120	25–100

Nykyisin käytetään paljon suljettavia ympäristökauhoja, joilla voidaan vähentää resuspendoitumista luokkaa 30–70 %⁷⁷. Ympäristökauhoista on tullut vakiokäytäntöä erityisesti sellaisissa paikoissa, joita ei voida sulkea siltti- tai kuplaverhoilla. Toinen, uudempi teknologia on ruoppaajissa nykyisin käytettävä koneohjausmalli. Sen avulla saadaan poistettua ruopattavaksi ajateltu kerros tarkasti oikeista kohdista ja oikeilta syvyytasoilta.

Resuspensiota ja haitta-aineiden kulkeutumista voidaan vähentää merkittävästi suojauksilla, ruoppauksen työtapamenettelyillä ja tarkoituksellisella yli-ruoppauksella. Patmont ym. (2018)⁷⁸ korostavat hyvin suunnitellun ja toteutetun jäännöspitoisuuksien hallintasuunnitelman merkitystä. Tärkein ruoppauksen suojausmenetelmä ovat siltti- ja kuplaverhot. Molemmat toimivat yleensä hyvin kiintoaineen kulkeutumisen estämisessä. Kuplaverhot mahdollistavat myös alusliikenteen ruoppausalueelle ja sieltä pois. Suuremmissa ruoppaushankkeissa tulee silttiverhojen käytölle tehdä erillinen suunnitelma, jossa esitetään silttiverhojen sijainti ja tyyppi sekä mahdollinen vaiheistus.

⁷⁵ Riipi, T., 1997. Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutuksien perusteella. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Tiedotteita 1853. 66 s.

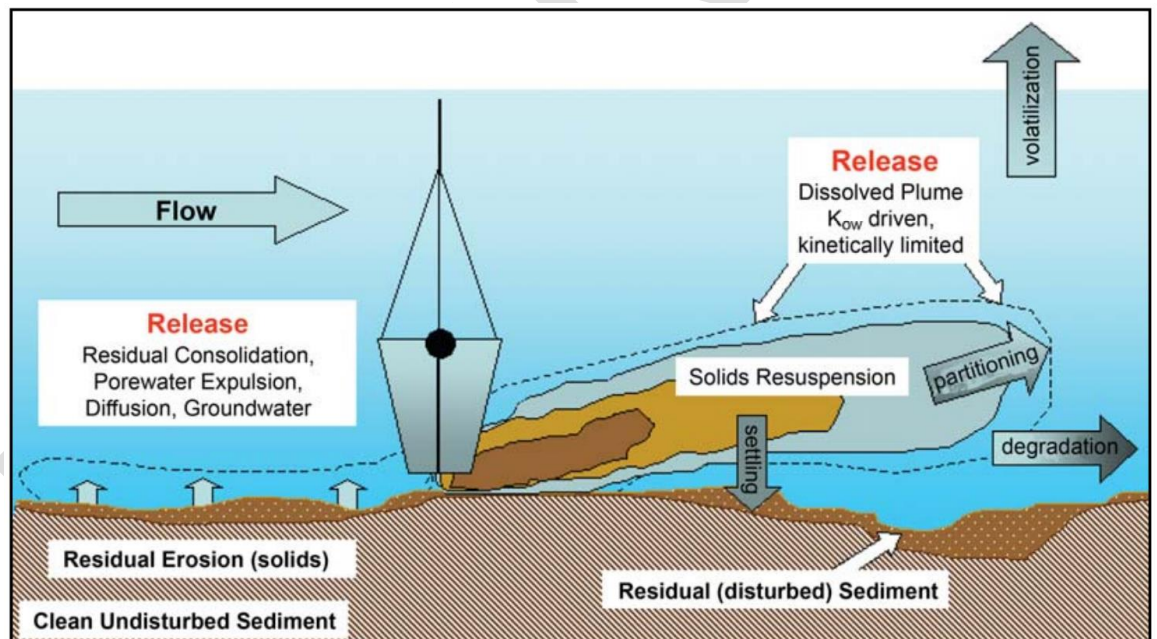
⁷⁶ USACE, 1986. Guide to selecting a dredge for minimizing resuspension of sediment. Environmental effects of dredging, Technical notes. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, U.S.A.

⁷⁷ Herbich, J.B., 1992. Handbook of dredging engineering. McGraw-Hill, USA.

⁷⁸ Patmont, C., P. LaRosa, R. Narayanan & C. Forrest, 2018. Environmental dredging residual generation and management. Integrated Environmental Assessment and Management — Volume 14, Number 3—pp. 335–343.

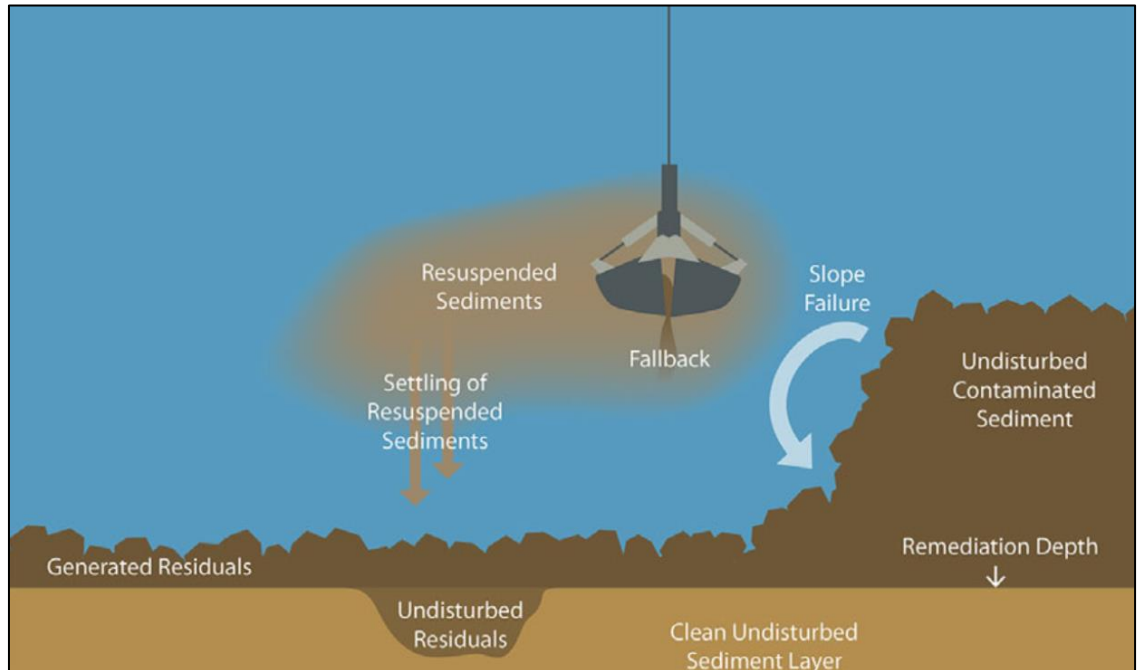
Käytännössä silttiverhojen asennus siten, että ne estäisivät täydellisesti resuspension ruoppausalueiden ulkopuolelle, on osoittautunut monesti vaikeaksi. Ongelmia tulee erityisesti paikoissa, joissa on alusliikennettä tai virtauksia, tai alue on laaja ja hajanainen. Tällaiset olosuhteet saattavat estää suojaverhojen käytön kokonaan. Suojaverhojen käyttö voi osoittautua kestäättömäksi taloudellisista vaikutuksista johtuen myös esimerkiksi tilanteissa, joissa veden syvyys on suuri ja ruoppauskohde on pieni.

Ruoppausalueen ympäristössä tapahtuu resuspendoituneen sedimentin laskeutumista uudelleen ohutkerroksena jo ruopatuille ja mahdollisesti ruoppaamatta jätettäville alueille (ns. postdredging residual; *Kuva 13* ja *Kuva 14*). Tämä on yleinen ongelma ruoppaushankkeissa ja voi aiheuttaa haitta-ainepitoisuuksien kohoamisen pintasedimentissä, jos korkeimmat pitoisuudet sedimentissä esiintyvät hieman nykyisen pintasedimentin alapuolella tai vain ruoppausalueella. Jäännöspitoisuudet saattavat ympäristöruoppauksissa kumota ruoppauksen positiiviset vaikutukset sillä sedimentin aiheuttamien riskien kannalta sedimentti-vesi -rajakerroksen sedimentin laatu vaikuttaa niihin ylivoimaisesti eniten.



Kuva 13. Käsitteellinen malli haitta-aineiden vapautumislähteistä ja mekanismeista ruoppauksessa.⁷⁹

⁷⁹ Bridges, T. S., Ells, S., Hayes, D., Mount, D., Nadeau, S., Palermo, M., Patmont, C., and Schroeder, P., 2008. The four Rs of environmental dredging: Resuspension, release, residual, and risk. Technical Report ERDC/EL TR-08-4, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

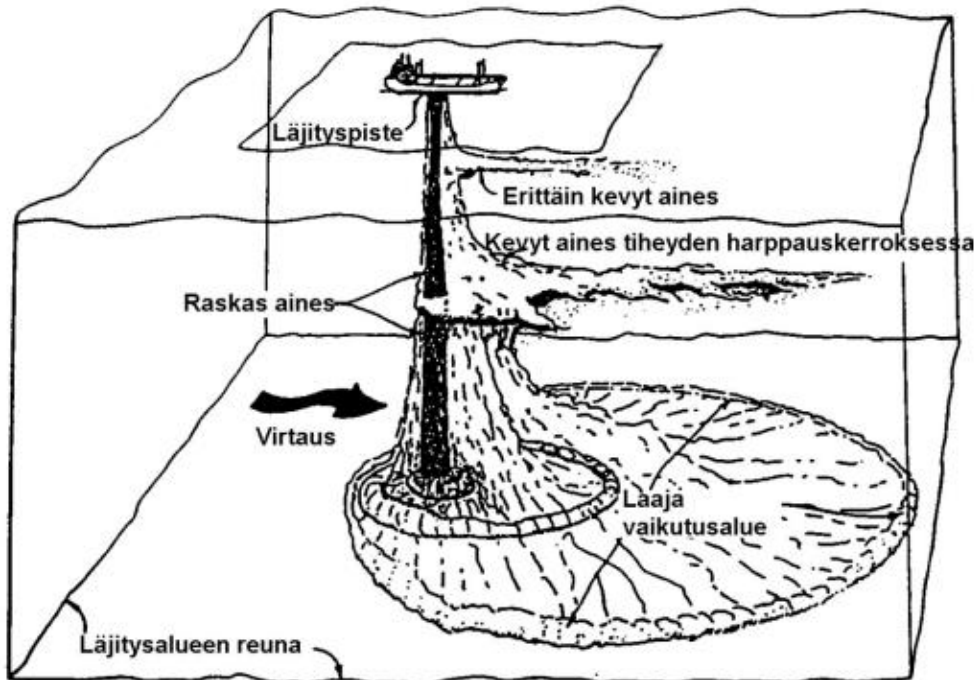


Kuva 14. Käsitteellinen kuva ruoppauksen aiheuttamien jäännöspitoisuuksien muodostumisesta. *Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.*

Yksi tärkeä mahdollisuus lieventää ruoppauksen negatiivisia vaikutuksia on ajoittaa toimenpiteet oikein. Esimerkiksi lintujen pesintäaika on harvoin optimaalisin, jos linnustovaikutuksen hankkeessa ovat tärkeitä. Vastaavasti kalojen kutuajat tai vilkkaat virkistyskäyttö- ja mökkeilykaudet saattavat rajoittaa mahdollista toiminta-aikaa. Sama koskee usein myös (meriläjäystoimintaa). Käytännössä hankkeiden toteutusaikaa rajataan jo lupapäätöksissä siten, että monet hankkeet toteutetaan loppusyksyllä ja alkukeväällä. Toisaalta myös haittaa aiheuttavien toimintojen, kuten ruoppauksen, toteutus mahdollisimman yhtäjaksoisesti ja nopeasti vähentää niiden negatiivisia vaikutuksia.

5.2.2 Massojen merikuljetus ja meriläjäytys

Ruoppausmassojen merikuljetuksella ja meriläjäytyksellä voi olla vaikutuksia fyysiseen meriympäristöön (veden laatu ja virtaukset, merenpohja ja melu), elolliseen meriympäristöön (pohjaeliöstö, vesikasvillisuus, kalasto ja muu eläimistö), suojelualueisiin sekä ihmisen ympäristöön (maankäyttö, liikenne, maisema, kalastus ja hyvinvointi). Meriläjäytystapahtuman lisäksi sedimenttiä voi resuspendoitua mm. palkoproomujen vuotavista pohjaluukuista tai massojen rannassa tapahtuvan lastauksen yhteydessä. Pahimmillaan meriläjäytysalueilta peräisin olevat massat leviävät kalojen kutualueille aiheuttaen niiden hylkäämisen tai tuhoten mädin. Massojen periaatteellinen leviäminen meriläjäytystapahtumassa on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 15).



Kuva 15. Periaatekuva sedimentin leviämisestä meriläjitystapahtumassa.⁸⁰

Veden paikallisen samenenemisen lisäksi läjitys voi paikallisesti kohottaa veden ravinne- ja haitta-ainetasoja kiintoainekseen sitoutuneiden aineiden liuetessa veteen. Näin meriläjitys voi olla merkittävä tekijä merialueen tilan yleisessä heikentymisessä.

Resuspendoitumisen lisäksi ruoppaus, massojen siirrot ja meriläjitys aiheuttavat melua. Vedenalaisen melun vaikutuksista eliöstöön tiedetään vielä liian vähän, mutta se aiheuttaa ainakin kalaston karkottumista alueelta. Erityisesti paalutuksista aiheutuu kovaa iskumaista melua, joka kantautuu kauas toimenpidealueelta.

Meriläjitystapahtuman kestävyyttä voidaan lisätä tekemällä huolellinen riskinarviointi ja valitsemalla läjitysalueet tarkoituksenmukaisesti. Yleisiä kriteerejä hyvälle läjitysalueille on esitetty Ympäristöministeriön sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeessa.⁴⁶ Sen mukaan ruoppausmassat tulee läjittää sellaiseen paikkaan, että kalastukselle, merenkululle, muulle ympäristön hyödylliselle käytölle tai viihtyvyydelle ei aiheudu haittaa. Haitta-aineita sisältävät ruoppausmassat tulee läjittää luonnollisille sedimentaatioalueille haitta-aineiden leviämisen estämiseksi. Läjitystyötä suunniteltaessa tulisi pyrkiä myös siihen,

⁸⁰ Pequegnat, W.E., B.J. Gallaway, & T.D. Wright, 1990. Revised procedural guide for designation surveys of ocean dredged material disposal sites. Technical Report D-90-8, Dredging Operations Technical Support Program, Waterways Experiment Station, U.S. Army, Corps of Engineers, Vicksburg, MS, 262 pp.

että läjitysalueen sedimentti vastaa rakenteeltaan läjitettävää sedimenttiä. Kuten ruoppauksenkin tapauksessa, tulisi läjitysajankohdaksi valita mahdollisimman virtauksettomia päiviä ja eliöstön kannalta häiriöttömiä kuukausia.

Ympäristöministeriön sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeessa annetaan mm. seuraavia sedimentin meriläjityksessä huomioitavia asioita:

Läjityksessä on tärkeää varmistaa sedimentin leviämisominaisuuksiin vaikuttavat tekijät:

- Sedimentin laatu ja rakenne
- Pohjan topografia ja kantavuus
- Veden syvyys (maksimi, minimi, keskiarvo)
- Veden kerrostuneisuus eri vuodenaikoina ja erilaisissa sääolosuhteissa
- Pinta- ja pohjavirtaukset (suunta ja nopeus)
- Tuulen ja aaltojen ominaisuudet ja aiheuttamat virtaukset
- Liettyneen kiintoaineen pitoisuus ja koostumus

Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeessa on annettu seuraavia hyvän ja tyydyttävän läjitysalueen ominaisuuksia:

- Pohjan tyyppi: sedimentaatiopohja tai sedimentaatio-kulkeutumispohja (akkumulaatio- tai transportaatiopohja)
- Topografia ja kaltevuussuunta: ympäristöään syvemmällä harjanteiden ympäröimänä, ei merkittävää kulkeutumista rinneprosessien vaikutuksesta läjitysalueen ulkopuolelle
- Veden syvyys: vähintään 10 m läjityksen jälkeen
- Virtaussuunnat ja -nopeudet: kulkeutuminen vain syvemmälle, hyvällä läjitysalueella virtausnopeus keskimäärin alle 5 cm/s ja yli 10 cm/s harvakseltaan (myrskyihin liittyen ylitykset sallitaan). Tyydyttävällä läjitysalueella ajoittainen kulkeutuminen on mahdollista: virtausnopeus keskimäärin alle 8 cm/s ja yli 15 cm/s harvakseltaan.

Läjitysalueiden sameusvaikutukset ovat tutkimusten mukaan suurimmillaan uuden läjitysalueen käyttöönottovaiheessa. Jos läjityksellä on merkittäviä ympäristövaikutuksia, on merkittävää kohdistuvatko ne samalle alueelle kuin aiemmissa läjityksissä. Läjitettävien massojen tulisi laadultaan vastata läjitysalueen sedimenttejä. Optimaalista olisi, jos ne olisivat läjitysalueella jo olevia sedimenttejä puhtaampia. Jos vähäistä kulkeutumista tapahtuu, ne voisivat aiheuttaa jopa positiivisia pitkäaikaisvaikutuksia laskeutumalla haitta-ainepitoisempien sedimenttien päälle. Haitta-ainepitoisempien massojen

peittymiseen voidaan pyrkiä myös vaiheistamalla läjitys siten että lopuksi alueelle läjitetään puhtaampia massoja.⁸¹

Meriläjitysalueen pohjadynamiikka ja läjitettävien sedimenttien eroosioherkkyys on tärkeää tuntea. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeen mukaan massat luokitellaan eroosioherkiksi, jos niiden irtotiheys on alle 1 300 kg/m³. Tätä karkeaa viitearvoa parempia arvioita eroosioherkkyydestä saadaan eroosioherkkyyden ja -nopeuden mittauksilla.

Meriläjityksen hyväksyttävyyteen ja sosiaaliseen kestävyysvaikutuksiin vaikuttavat paljon psykologiset riskit, jotka aiheutuvat vaikutusten objektiivisen tutkimustiedon riittämättömyydestä. Tätä epävarmuutta voidaan vähentää läjitysvaihtoehtojen systemaattisen ja objektiivisen kestävyysvertailun avulla sekä selvittämällä meriläjitystapahtuman riskit mahdollisimman hyvin ennakkoon.

Case Turun seudun sedimenttien maaläjitysalue. Käsittelymenetelmiin liittyvät riskit.⁸⁴

Turun seudun maaläjitysaluehankkeessa (kts. 4.3 ja 5.3.1) esitettiin ennen tarkempaa gis-analyysiä massojen käsittelymenetelmien kuvaukset ja vaiheistukset, sekä arvioitiin tarkasteltaviin menetelmiin liittyviä riskejä yleisellä tasolla. Riskien yleistason arviointi on esitetty alla (Taulukko 8).

Taulukko 8. Yhteenveto yleisten käsittelymenetelmiin liittyvien riskien esiintymisestä. X = suuri, (X) = kohtalainen ja tyhjä solu = suhteellisen pieni ongelma / riski. Taulukossa ei ole otettu kantaa tilantarpeeseen eikä kustannuksiin. Turun kaupunki on sittemmin ilmoittanut luopuvansa ruoppausmassojen meriläjityksestä kokonaan.

⁸¹ Esim. Lindfors, A. & M. Kiirikki, 2012. Arvio läjitystoiminnan aiheuttamasta veden saamenemisestä uusien läjityspaikkojen ympäristössä. Päivitetty versio lisäalueilla 13 ja 15. Helsingin Satama. Luode Consulting Oy, 14.8.2012.

Käsittelymenetelmä	Ongelma / riski					
	Ruoppaustekniikoihin liittyvät ongelmat	Meriläji-tyksen ympäristövaikutukset	Sedimentin kuivatuksen ongelmat	Kaivun ja kuljetuksen ympäristövaikutukset	Suotoveden aiheuttamat riskit	Psykologiset riskit
1 a) Meriläjitäminen nykytapaan		X			(X)	X
1 b) Puhtaiden massojen hyödyntäminen hapettomien syvänteiden kunnostuksessa	(X)	(X)		X		
1 c) Läjitys geotaintereissa						(X)
2 a) Läjitys tekosaariin			(X)		X	(X)
2 b) Läjitys altaisiin lähelle rantaa ja prosessistabilointi heti				(X)	(X)	(X)
2 c) Läjitys altaisiin lähelle rantaa ja stabilointi myöhemmin			(X)	(X)	X	X
2 d) Allaskuivatus ja siirto kuivatuksen jälkeen kauemmaksi loppusijoitukseen			X	X	X	(X)
2 e) Läjitys lähelle rantaa geotuubeissa	(X)				(X)	X
2 f) Geotuubikuivatus ja siirto kuivatuksen jälkeen kauemmaksi loppusijoitukseen	(X)		(X)	X	(X)	(X)
2 g) Siirto heti ruoppauksen jälkeen kauas rannasta loppusijoitukseen			X	X	(X)	(X)
2 h) Läjitys kalliolouhokseen			X	X	(X)	(X)
2 i) Läjitys olemassa olevaan kallioluolaan			X	X	(X)	(X)
2 j) Läjitys tarkoitukseen rakennettavaan kallioluolaan			(X)	(X)	(X)	(X)

Tämän tyyppinen arviointi on kohdekohtaista, mutta valitut ongelmakokonaisuudet ja niiden arviointitulokset ovat jossain määrin yleistettävissä vesistö- ja sedimenttihakkeisiin yleisemminkin.

5.2.3 Kestävyys in situ -hankkeissa

Sedimentin in situ -käsittelyt liittyvät lähinnä vain kunnostushankkeisiin. Niitä on toistaiseksi ollut vähän. In situ -hankkeiden kestävyudessa korostuu käsittelymenetelmän vaikuttavuus suhteessa sen vaatimiin panostuksiin, sekä menetelmän tekninen toteuttamiskelpoisuus. Näin ollen kunnostusmenetelmävalinta on se kohta, jossa in situ -hankkeen kestävyys voidaan parhaiten vaikuttaa.

Suomessa on toistaiseksi tehty vain vähäinen määrä muita sedimentin in situ -kunnostuksia kuin monitoroitu luontainen puhdistuminen (Monitored Natural Recovery, MNR⁸²) -menetelmällä. MNR-menetelmä käsitetään virheellisesti usein "ei-toimenpiteitä" tai "kunnostamatta jättäminen" -vaihtoehdoksi. Todellisuudessa menetelmään kuuluu tehostettu riskienhallinta mm. tarkkailemalla sen varmistamiseksi, että haluttu ympäristön tila saavutetaan luontaisen prosessien kautta (esim. hautautuminen puhtaan sedimentin alle, biohajoaminen, sitoutuminen tai muuntuminen haitattomaan muotoon) kohtuullisessa ajassa. Tarkkailu on pidempiaikaista kuin muissa kunnostusmenetelmissä. Jos riskit myöhemmin osoittautuvat liiallisiksi tai menetelmä liian tehottomaksi, täytyy siirtyminen muihin kunnostusmenetelmiin olla todellinen vaihtoehto. Näistä syistä menetelmän toteuttamisella voi olla merkittäviä taloudellisia vaikutuksia joihin tulee varautua.

Jos menetelmä osoittautuu toimivaksi, sen etuihin kuuluvat menetelmän vähäisemmät taloudelliset vaikutukset ja sedimenttiin kajoamisen haittavaikutusten välttäminen. Menetelmän heikkouksiin kuuluvat mm. ympäristöriskien merkittävään vähenemiseen tarvittava pitkä aika, jäännösriskit ja mahdollisesti tarvittavat käyttörajoitukset.

Muista sedimentin in situ -kunnostusmenetelmistä Suomessa on käytetty lähinnä vain mineraalimaa- ja geotekstiilipeittoa muutamassa projektissa, ja ainakin yksi sedimentin sulfidointi haitta-aineiden liikkuvuuden vähentämiseksi on toteutettu. Muissa Pohjoismaissa yleisiä reaktiivisia yleensä useista funktionaalisista kerroksista koostuvia ABS-pintakerroksia ei juurikaan ole toteutettu tai suunniteltu. Sedimentin pintakerroksen käsittelyssä ja eristämisessä on tärkeää varmistaa, että rakenne / käsittely on teknisesti mahdollista toteuttaa ja että pohja toimii toteutuksen jälkeen halutulla tavalla eikä rikoonnu. Jos tavoitteena on esimerkiksi haitta-ainevuon hillitseminen eikä tavoite toteudu, ei kunnostusta voida pitää kestäväenä. Toisaalta pohjan heikko kantavuus, kaasukupliminen ja poikkeukselliset virtaukset saattavat

⁸² Magar, V.S., D.B. Chadwick, T.S. Bridges, P.C. Fuchsman, J.M. Conder, T.J. Dekker, J.A. Steevens, K.E. Gustavson & M.A. Mills, 2009. Monitored Natural Recovery at Contaminated Sediment Sites. Technical Guide. ESTCP Project ER-0622.

vaarantaa rakenteen ja siten toimenpiteen kestävyys. Kestävämpään ratkaisuun päästään huolellisen suunnittelun sekä laboratoriomittakaavan ja kentällä tehtävien pilot-kokeiden avulla. Rakennekerrosten toimintaa ja pysyvyyttä on syytä myös mallintaa.

5.3 Maa-alueella tehtävät toimenpiteet

5.3.1 Ruoppausmassojen maalle läjitys vs. meriläjitys

Tärkeimpiä kokonaisuuksia, joissa vesistö- ja sedimenttihankkeiden kokonaiskestävyyteen voidaan vaikuttaa, on ruoppausmassojen läjitystavan valinta. Eri ratkaisut ovat kiistanalaisia ja tarkemmin tarkasteltuna eroavat huomattavasti toisistaan ympäristö-, sosiaalisilta ja taloudellisilta vaikutuksiltaan.

Alueidenkäyttö on sedimenttihankkeissa tärkeä hankkeiden kokonaiskestävyyteen vaikuttava näkökulma. Uudis- ja kunnossapitoruoppauksissa vesialuetta kehitetään johonkin uuteen, suunniteltuun käyttöön, tai sen käyttökelpoisuutta siihen ylläpidetään. Kaavoituksen asettamien reunaehtojen (kts. 2.3.1) lisäksi hankkeessa tulee ottaa huomioon hankkeen vaikutukset mm. vesien-suojelua ja hoitoa koskeviin suunnitelmiin ja ohjelmiin. Näitä ovat mm. vesienhoitosuunnitelmat, vesienhoidon toimenpideohjelmat, tulvariskien hallintasuunnitelmat sekä Suomen merenhoitosuunnitelma ja sen toimenpideohjelma. Mikäli hanke poikkeaa näistä tavoitteista, vähenee sen kestävyys väjäämättä.

Sedimentin meriläjityksellä on negatiivisia ympäristövaikutuksia erityisesti niiden sisältämistä haitta-aineista, samentumisesta ja habitaattien peittymisestä johtuen. Vaikka haitta-ainepitoisten sedimenttien maalle läjitys on todennäköisesti meriläjitystä kestävämpää, erityisesti jos siihen liittyy massojen hyötykäyttöä, on myös maalle läjityksellä omat ongelmansa kestävyysnäkökulmasta. Maaympäristössä sedimenttejä käsiteltäessä ja sijoitettaessa alueidenkäytön kestävyysnäkökulmat tulevat erityisen tärkeiksi. Hankkeiden sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset korostuvat helposti suhteessa meriläjitykseen. Maalle läjityksen kestävyysnäkökohtia suhteessa meriläjitykseen on esitetty seuraavassa⁸³.

⁸³ Itkonen, A., 2022. Ruoppausmassojen hallinta Suomessa. Esitys. CircVol2-webinaari 26.4.2022.

Maalle läjityksen kestävyyttä tukevia vaikutuksia verrattuna meriläjitykseen:

- + Ympäristöhaitat ja riskit meriekosysteemille pienenevät
- + Läjityksen aiheuttama veden sameneneminen vähenee
- + Pohja-alueiden valonsaanti paranee
- + Vesiekosysteemistä poistetaan ravinteita ja haitta-aineita
- + Ei haitallisia muutoksia hapen kulutuksessa tai pH:ssa → sisäinen kuormitus vähenee
- + Ei muutoksia pohjan muotoihin tai virtauksiin läjityksen vaikutusalueella
- + Ei muutoksia sedimentin rakenteeseen läjityksen vaikutusalueella
- + Ei elinympäristöjen ja kutupohjien haitallista peittymistä läjityksen vaikutusalueella
- + Sedimenttejä voidaan hyötykäyttää esim. viheralueiden tai satamakentän rakentamiseen
- + Puhtaiden massojen käyttö maanparannusaineena on mahdollista
- + Hyödyt vesialueen virkistyskäytölle ja imagolle
- + Merikuljetusmatkat lyhenevät → meriliikenneturvallisuus lisääntyy ja meriliikenteen päästöt vähenevät
- + Voi mahdollistaa alueen kehittämisen parempaan käyttötarkoitukseen → maan arvonnousu

Maalle läjityksen kestävyyttä vähentäviä vaikutuksia verrattuna meriläjitykseen:

- Sedimentin suspendoitumisen pitkittyminen ruoppausalueilla (pintakerros voidaan joutua poistamaan eri kalustolla kuin syvemmät kerrokset)
- Suspendoituminen lastausalueella ja kuljetusreittien kuraantuminen
- Rekkaliikenteen lisääntyminen, päästöt ja liikenneturvallisuus
- Maaläjitysalueiden tilankäyttö
- Ruoppausmassojen maaläjityksen merkitys alueen imagolle
- Maaläjitysalueen vakaus ja turvallisuus ulkopuolisille
- Maaläjitysalueiden suotovesien hallinta ja haitta-ainepitoisuudet
- Kasvihuonekaasujen päästöt kuivavista orgaanispitoisista massoista
- Maaläjitettyjen massojen sisältämien haitta-aineiden alueella aiheuttamat ympäristö- ja terveysriskit
- Psykologiset riskit läjitysalueiden tulevassa käytössä
- Huomattavasti kohonneet kustannukset
- Rahoituksen siirtyminen muista ympäristönparannushankkeista
- Hankkeiden aikataulujen venyminen

Esimerkiksi vuosittainen 100 000 m³:n ruoppausmassamäärän maalle läjitys 3 m:n kerroksena vaatii noin 30 000 m² eli noin neljä jalkapallokentällistä maa-alaa vuodessa. Kun huomioidaan että suurimmat ruoppaustarpeet ovat yleensä suurempien kaupunkien satama- ja väyläalueilla, voi tarvittavien maa-alueiden löytäminen olla vaikeaa. Ongelma on korostunut viime vuosina kun merialueiden tila ei ole kohentunut toivotusti, ja kaikkea meriläjitystä on alettu pitämään ympäristövaikutuksiltaan kestävämmänä. Esimerkiksi Turussa on päätetty luopua meriläjityksestä myös puhtaiden massojen osalta.

Läjitystarpeiden huomioimisesta tulisi tehdä maankäytön suunnittelu näkökulmasta jatkuva pitkäjänteinen prosessi, jossa tulee koko ajan olla kaavallinen valmius useamman vuoden läjityksille. Parhaimmillaan ruoppausmassojen läjitys saattaa johtaa myös maaläjitysalueen arvonnousuun, jos se mahdollistaa alueen entistä paremman käytön. Tästä on esimerkkejä myös Suomesta. Maalle läjitykseen käytettävien alueiden varaaminen tulisi aloittaa jo maakuntakaavoituksessa, mitä ei ole vielä juurikaan tehty. Tässä tilanteessa ainoaksi käytettävissä olevaksi ratkaisuksi saattavat osoittautua CDF-tekosaaret.

Maalle läjitys on myös jopa 4–5 kertaa kalliimpaa kuin mereen läjittäminen. Kustannuseroa on mahdollista kuroa umpeen hyötykäyttämällä ruoppausmassoja alusta saakka suunniteltuun jälkikäyttötarkoitukseen (kts. 5.3.4).

Case Turun seudun sedimenttien maaläjitysalue. Massojen sijoitusvaihtoehtojen kustannusarvio ja sijoituspaikkojen paikkatietoanalyysi⁸⁴

Turun seudun maaläjitysaluehankkeessa (kts. 4.3 ja 5.2.2) asiantuntijatyönä yhdessä ohjausryhmän kanssa ja kustannus-hyötyanalyysin avulla esikarsituille massojen sijoitusmenetelmille tehtiin kustannusarvio, joka perustui käytettävissä olleisiin kotimaisiin lähteisiin paikalliset olosuhteet huomioiden. Tulokset on esitetty alla (*Kuva 16*).

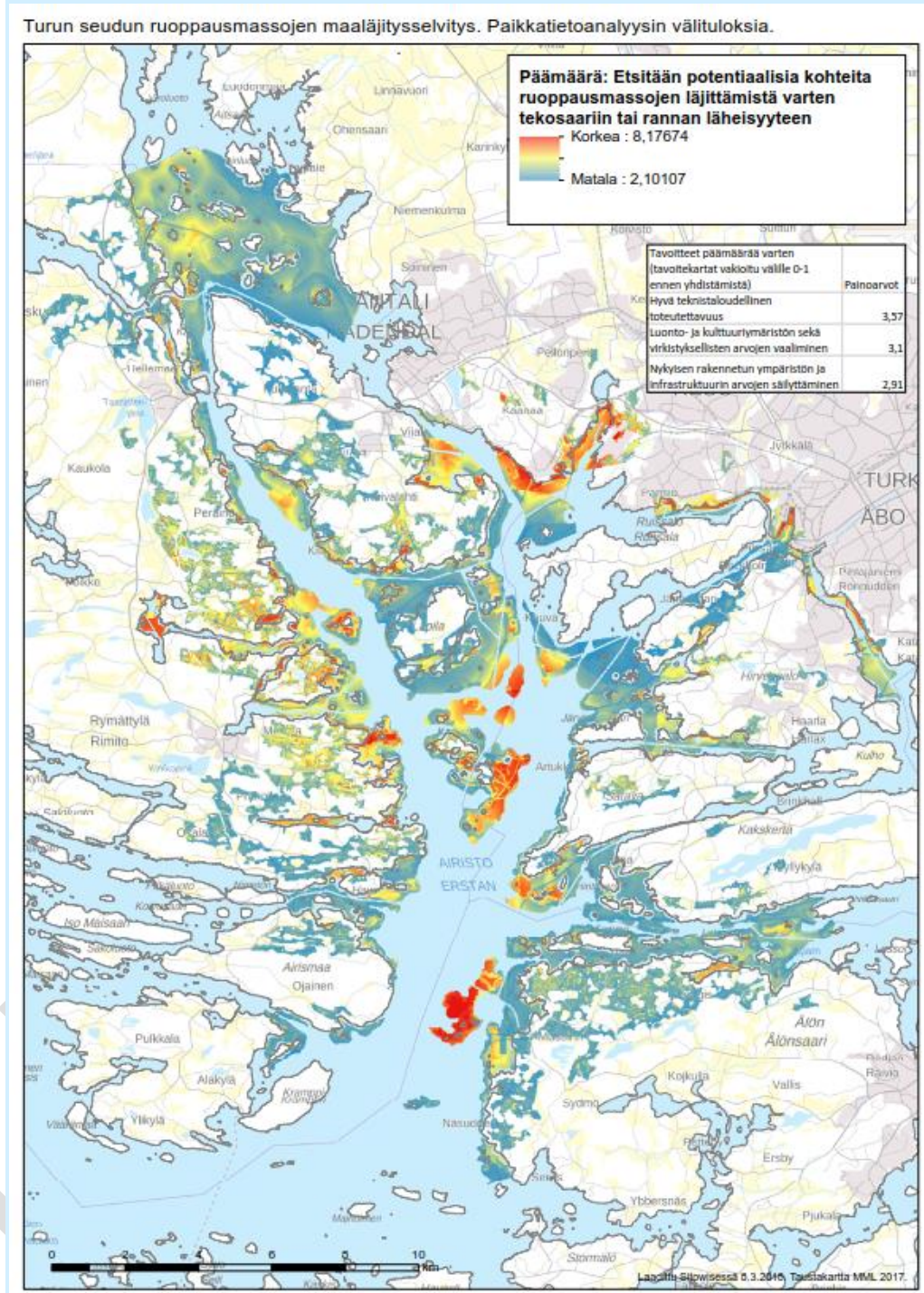
Meriläjitys	9
Puhtaiden massojen hyödyntäminen syvänteiden kunnostuksessa	10
Läjitys geocontainereissa	22
Läjitys tekosaariin	20
Läjitys altaisiin lähelle rantaa ja prosessistabilointi heti	52
Läjitys altaisiin lähelle rantaa ja stabilointi myöhemmin	52
Allaskuivatus ja siirto kuivatuksen jälkeen kauemmaksi loppusijoitukseen	31
Läjitys lähelle rantaa geotuubeissa	38
Geotuubikuivatus ja siirto kuivatuksen jälkeen kauemmaksi loppusijoitukseen	48
Siirto heti ruoppauksen jälkeen kauas rannasta loppusijoitukseen	38
Läjitys kalliolouhokseen	25
Läjitys olemassa olevaan kallioluolaan	25
Läjitys tarkoitukseen rakennettavaan kallioluolaan	44

Kuva 16. Turun seudun sedimenttien maaläjityshankkeessa arvioidut kustannukset eri sijoitusvaihtoehdoille.

Spatiaalisessa monikriteerianalyysissä poissulkevan ja arvottavan tarkastelun perusteella muodostettiin kohdetietokanta. Lähtöaineistona hyödynnettiin avoimesti saatavilla olevia valtakunnallisen ja maakunnallisen tason paikkatietoaineistoja ympäristön, infrastruktuurin ja rakennettavuuden kannalta tärkeistä teemoista. Niiden perusteella laadittiin eri muuttujien suhteen arvottavia karttoja, jotka yhdistettiin tavoitekartoiksi. Tavoitteita olivat a) Hyvä teknistaloudellinen toteutettavuus, b) Luonto- ja kulttuuriympäristön sekä virkistysellisten arvojen vaaliminen ja c) Nykyisen rakennetun ympäristön ja infrastruktuurin säilyminen. Niitä painotettiin yhdessä hankkeen monipuolisen ohjausryhmän kanssa. Lopuksi tulokset voitiin yhdistää yhdeksi päämääräkartaksi, jossa esitettiin potentiaalisimmat kohteet ruoppausmassojen läjittämiseksi tekosaariin tai rannan läheisyyteen (*Kuva 17*). Kartasta tehtiin toinen versio jossa on

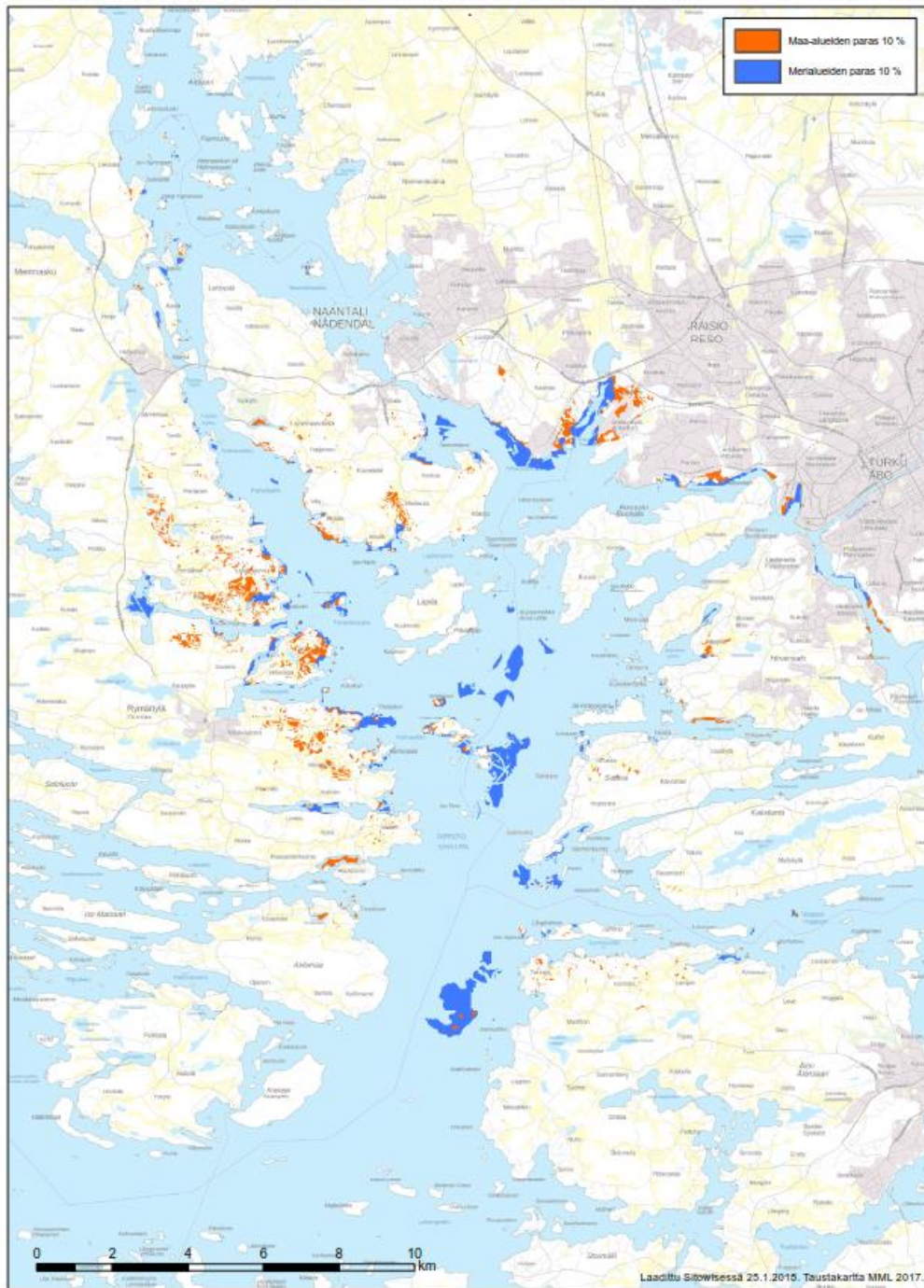
⁸⁴ Sitowise Oy, 2018. Turun seudun sedimenttien maaläjitysalue selvityksen loppuraportti. A. Itkonen, S. Oksman & S. Vaalgamaa. Meyer Turku Oy, Naantalın kaupunki, Naantalın Satama Oy, Neste Oyj, Puolustusvoimat, Rasion kaupunki, Turun kaupunki, Turun korjaustelakka Oy, Turun Satama Oy & Varsinais-Suomen ELY-keskus 31.5.2018. YKK62626. Versio A1. 42 s.

korostettu maa-alueiden ja merialueiden paras 10 % näiden kriteerien suhteen (Kuva 18). Parhaista kohteista tehtiin vielä kohdekortit.



Kuva 17. Lämpökartta potentiaalisimmista kohteista ruoppausmassojen läjittämiseksi tekosaariin tai rannan läheisyyteen Turun edustalla.

Turun seudun ruoppausmassojen maaläjitys selvitys. Ohjausryhmän kokouksen 8.2.2018 materiaaleja



Kuva 18. Paras 10 % maa-alueella (oranssi) ja merialueella (sininen) edellisessä kuvassa esitetystä aineistosta.

Tuloksista voidaan todeta että maalle läjitykseen soveltuvia läjityspaikkoja on Turun seudun maa-alueella vain hyvin vähän tarjolla. Merialueilta voidaan tunnistaa laajempia yhtenäisiä soveltuvia alueita.

5.3.2 Sedimentin kuivatus ja suotovedet

Sedimentin kuivatukseen ja suotovesien käsittelyyn liittyy tärkeitä kestävyysnäkökohtia. Syntyvien suotovesien määrä riippuu ruoppausmenetelmästä.

Esimerkiksi 10 000 m³:n imuruoppauksessa syntyvän suotoveden kokonaismäärä on luokkaa 80 000 m³. Jos määrä johdetaan vesistöön 60 päivän aikana, virtaukseksi saadaan 1 300 m³/vrk. Jos suotovedet ovat haitta-ainepitoisia, ylittyvät PNEC-viitearvot tai ympäristölaatunormit herkästi purkupaikan läheisyydessä. Laimentuminen riippuu kohdasta, jossa vedet johdetaan vesistöön. Laimenemisen voidaan kuitenkin yleensä arvioida olevan vähintään 1:10. Esimerkiksi 1 mg/l lähtöpitoisuus suotovedessä on tällöin purkupaikan läheisyydessä luokkaa 0,1 mg/l. Öljy-yhdisteille tämä voi olla hyväksyttävä pitoisuus, mutta useimmille muille orgaanisille haitta-aineille viitearvot todennäköisesti ylittyvät. Vastaavia laskelmia voidaan tehdä myös muille haitta-aineille käyttäen tarvittaessa avuksi niiden vesi-sedimentti -jakautumiskertoimia. Laskelma osoittaa, että melko pienetkin haitta-ainemäärät suotovedessä voivat aiheuttaa ympäristövaikutuksia ilman tehokasta vedenkäsittelyä.

Mekaanisessa ruoppauksessa (kauharuoppauksessa) suotovesiä syntyy vähemmän, mutta vedenkäsittely altaissa on vaikeampaa kuin esimerkiksi geotuubikuivatuksessa, joka edellyttää hydraulista ruoppausta (imuruoppausta). Imuruoppausta rajoittaa tasaista alustaa vaativien kuivatuskenttien saatavuus kohteen läheisyydessä. Kuivatusallas voidaan rakentaa myös rantavyöhykkeelle. Joissakin pienemmissä kohteissa massojen kuljetus suoraan pois kohteelta vesitiiviillä lavoilla tai jäätyneenä on mahdollista, mutta vesipitoisen sedimentin kuljetus on hankalaa ja kallista. Ruoppausmassassa on usein jopa 85–90 % vettä. Lingot ja suotonauhapuristimet ym. mekaaniset apukuivatusmenetelmät soveltuvat yleensä huonosti orgaanisipitoiselle sedimentille. Laitteistoihin liittyy kapasiteetti- ja rikkoutumisongelmia. Yleisesti ottaen on kestävämpää kuivattaa massat mahdollisimman hyvin on-site.

Geotuubikuivatuksessa saavutetaan usein allaskuivatusta parempi kuivatus-tulos, erityisesti jos kuivatusta on mahdollista jatkaa vähintään yhden talvikauden yli. Suotovesiä syntyy enemmän, mutta toisaalta ne ovat puhtaampia kuin allasvedet. Geotuubit mahdollistavat myös hajunhallinnan. Toisaalta suotovesien lisäkäsittely voi imuruoppaustapauksessa olla suotoveden suuresta virtaamasta johtuen mahdotonta.

Kuivatusaltaisiin liittyy kapasiteetin lisäksi vedenerotuksen toimivuus- ja aikatauluongelmia. Sedimentin kuivatus altaissa on hidasta, eikä melko nopeaan prosessimaiseen massojen kuivatukseen usein päästä, vaikka allaskapasiteettia olisikin riittävästi. Normaalisti kuivatusaltaisiin läjitetään sedimenttiä monesti vain 2–3 m:n kerrospaksuudella, ja massojen annetaan kuivaa altaissa

2-3 vuotta ennen siirtoa loppusijoituspaikkaan. Kuivatusaltaiden hiekkasuodatus ei ehkä toimi talvisaikana lainkaan.

Haitta-ainepäästöjen lisäksi kuivatusprosessista laskettavat vedet ovat huomattavan kiintoainepitoisia. Ne aiheuttavat paitsi vesistöjen samentumista, myös esimerkiksi happamoitumista (järviympäristö) ravinnepäästöjä. Lisäksi ne aiheuttavat ympäristövaikutuksia sisältämiensä haitta-aineiden kautta.

Kuivatusvedet sekä käsittely- ja loppusijoituspaikoilla muodostuvat suoto- ja pintavedet on pääsääntöisesti koottava ja johdettava keräysaltaaseen tai -kai-voon. Tarvittaessa vedet on syytä käsitellä. Suotoveden mukana vesistöön lasketettavien haitta-aineiden (kriittiset haitta-aineet) enimmäismäärät ja pitoisuudet tulee olla tasolla, jolla ne eivät aiheuta liiallista riskiä. Enimmäismäärät on syytä määrittää ennen kuin hankkeelle haetaan lupaa. Suotovesien määrän ja laadun määrittämiseksi massoille olisi hyvä tehdä myös läjityskoe ennakkoon.

Kiintoaineeseen sitoutuneen osuuden suodatus poistaa usein suurimman osan suotovesien haitta-aineista. Sedimentissä haitta-aineiden on yleensä todettu olevan melko niukkaliukoisia. Olosuhteiden muutos saattaa kuitenkin lisätä liukoisuutta. Vesi on aina tutkittava ja tarvittaessa puhdistettava ennen sen johtamista luontoon tai viemäriin. Organotinayhdisteitä sisältävien vesien käsittelyyn soveltuvia tekniikoita on lueteltu alla (*Taulukko 9*).

Taulukko 9. Organotinayhdisteitä sisältävien vesien käsittelyyn soveltuvia tekniikoita.⁷⁰

Vedenkäsittelymenetelmä	Huomioitavia tekijöitä
Aktiivilietekäsittely	Tuottaa haitta-aineita sisältävää lietettä
Aktiivihiilisuodatus	Kallis, käytetyn hiilen käsittely tarpeen
UV-hapetus + kemiallinen hapetus	Suuri kemikaalitarve
Liutinuutto	Kallis
Aktiivihiilipulverikäsittely ja saostus	Ei suurille pitoisuuksille, kallis, rajoitettu kapasiteetti
Saostus ja aktiivihiilisuodatus	Suuret investointikustannukset, rajoitettu kapasiteetti
UV-hapetus	Pitkä käsittelyaika, kallis, rajoitettu kapasiteetti
Kemiallinen hapetus	Kemikaalitarve, rajoitettu kapasiteetti
Strippaus	Kaasujen käsittelytarve, rajoitettu kapasiteetti

Usein vedenerotusta tehostetaan kemikaalien käytöllä. Kemikaalikäyttö vähentää myös erottuvan veden sameutta, jolloin veden jatkokäsittely ja/tai palauttaminen takaisin vesistöön yksinkertaistuu. Vedenkäsittelykemikaaleina

käytetään sekä epäorgaanisia että orgaanisia yhdisteitä. Esimerkiksi geotuu-
bikuivatus vaatii aina imuruoppauksesta syntyvän vesi-sedimentti -seoksen
flokkauksen, yleensä polymeerikäsitteilynä. Vedenkäsittelykemikaaleja pide-
tään yleensä suhteellisen vaarattomina ympäristölle, mutta ne saattavat sisäl-
tää esim. akryyliamidia, jonka vaikutukset ovat osin epäselvät.

Kuten vesialueella, myös maaympäristössä massojen kaivu ja kuljetus aiheut-
tavat merkittäviä ympäristövaikutuksia. Vaikutuksia aiheutuu mm. melusta,
liikenneturvallisuudesta, tienpintojen likaantumisesta, energian käytöstä ja
tuotannosta (fossiilisista polttoaineista) sekä polttoaineiden päästöistä joh-
tuen. Jos massoja ei voida loppusijoittaa on-site, on sedimenttimassojen siirto
kaksivaiheinen: ensin vesistöstä kuivatusaltaaseen ja toisessa vaiheessa kui-
vatusaltaasta loppusijoituspaikkaan. Meluun, liikenneturvallisuuteen ja tien-
pintojen likaantumiseen voidaan vaikuttaa suunnittelemalla kulkuväylät hyvin.
Ennen mahdollista massojen siirtoa off-site tulee autojen renkaat ja lavojen
reunat pestä lähtöpäähän rakennettavalla pesupaikalla. Massojen siirto tulee
tehdä umpilavoilla tai hyvin kuivatetun sedimentin tapauksessa vähintään
pressuilla peitettynä.

Loppusijoituspaikassa aiheutuu ympäristövaikutuksia ja käsittelytarvetta ti-
lantarpeesta ja sinne siirtyneistä riskeistä johtuen. Vaikka loppusijoituspaikan
oletetaan olevan hallitumpi ympäristö, tulee erityisesti vaaralliseksi jätteeksi
luokiteltavien massojen riskienhallinta suunnitella sielläkin kunnolla. Suotove-
den että pintaveden haitta-ainepitoisuuksien tarkkailu on tarpeen sekä on-site
että off-site toiminta-aikana ja sen jälkeen, kunnes haitallisia vaikutuksia ei
enää ilmene.

5.3.3 Käsittelyn ja maalle sijoituksen ilmastovaikutukset

Ilmastonmuutoksen torjuminen ja hiilineutraalisuuteen pyrkiminen ovat nykyisin
keskeisiä kestävyysnäkökohtia, joihin pyrkimisen kustannusvaikutukset ovat suu-
ret. Ruoppaus- ja läjitystyön aikana ilmastopäästöjä aiheutuu työkoneista (ruop-
paus, kuljetus ja läjitys) sekä käytetyistä materiaaleista. Seuraavissa taulukoissa
on verrattu eri työkoneiden (

Taulukko 10) ja eri kuljetusmuotojen (*Taulukko 11*) kaasupäästöjä. Niiden jälkeen on esitetty silttiverhon pinta-alaa kohden lasketut päästöt (*Taulukko 12*).

LUONNOS

Taulukko 10. Eri työkoneiden yksikkökaasupäästöjä.⁶⁶

Työkone	kg CO ₂ / h	g N ₂ O / h	g CH ₄ / h	g NO _x / h	g SO _x / h	g PM ₁₀ / h
Telaketjunosturi, 25 t, 0,8 m ³	40,31	0,8	4,7	308	46	20
Telaketjunosturi, 50 t, 1,5 m ³	33,90	0,8	4,7	308	46	20
Telaketjunosturi, 100 t, 3 m ³	43,49	1,4	7,7	479	76	27
Kaivinkone, hydraulinen, 1 m ³	57,82	1,7	4,0	340	88	32
Kaivinkone, hydraulinen, 1,5 m ³	93,35	2,4	5,4	546	149	45
Kaivinkone, hydraulinen, 3 m ³	168,68	4,7	10,7	1082	263	75
Hydraulinen imuruoppauspää, 15 cm	10,27	0,2	0,4	82	18	10
Hydraulinen imuruoppauspää, 25 cm	25,85	0,5	1,1	226	44	28
Kauhakuormaaja, 65 HP, 0,8 m ³	11,42	0,3	0,7	88	18	17
Kauhakuormaaja, 100 HP, 1,5 m ³	15,91	0,4	0,9	124	26	24
Kauhakuormaaja, 200 HP, 3 m ³	31,44	0,6	1,5	278	53	32
Diesel-pumppu, 40–50 HP	12,89	0,3	0,7	28	2,0	1,0
Diesel-generaattori, 40–50 HP	19,39	0,7	27,6	57	9,3	3,5

Taulukko 11. Eri kuljetusmuotojen yksikkökaasupäästöjä.⁶⁶

Kuljetusmuoto	kg CO ₂ / t km	g N ₂ O / t km	g CH ₄ / t km	g NO _x / t km	g SO _x / t km	g PM ₁₀ / t km
Kevyt diesel-kuorma-auto (8,5 m ³)	0,0334	0,0008	0,0377	0,0177	0,0002	0,0021
Raskas diesel-kuorma-auto (22 m ³)	0,0322	0,0004	0,0363	0,0104	0,0002	0,0009
Raidekuljetus	0,0249	0,0004	0,0012	0,4506	0,0664	0,0277
Proomukuljetus	0,0298	0,0009	0,0025			

Taulukko 12. Silttiverhon pinta-alayksikköä kohden lasketut ilmastovaikutukset.⁶⁶

Materiaali	kg CO ₂ e / m ²	g NO _x / m ²	g SO _x / m ²	g PM ₁₀ / m ²
Silttiverho	1,89E+00	3,66E+00	5,92E+00	8,55E-01

Voidaan todeta, että kauharuoppauksessa syntyy yleisesti ottaen hieman imuruoppausta enemmän kaasupäästöjä, ja massojen maakuljetuksessa syntyy jonkin verran muita kuljetusmuotoja enemmän hiilidioksidi- ja metaanipäästöjä. Kuljetus aiheuttaa lisäksi pölyämistä joka kohteiden sijainnista johtuen kohdistuu usein kaupunkien taajama-alueille. Tarvittavat kuljetusmäärät ovat suuria. Esimerkiksi noin 10 000 m³:n ruoppausmassamäärän siirtoon tarvitaan noin 450 kasettikuorma-auton (22 m³) kuormaa.

Vedenkäsittelystä aiheutuu vesistövaikutusten lisäksi ilmastovaikutuksia. Niiden suuruutta on arvioitu alla (*Taulukko 13*).

Taulukko 13. Huleveden ja jäteveden käsittelyn arvioidut ilmastovaikutukset.⁶⁶

Vedenkäsittely	kg CO ₂ e / l	g NO _x / l	g SO _x / l	g PM ₁₀ / l
Hulevesi	6,60E+00	3,70E-02	1,98E-02	1,06E-01
Jätevesi	7,26E+00	4,07E-02	2,18E-02	1,16E-01

Massojen käsittelyssä stabiloimalla tavoitteena voi olla haitta-aineiden liukoisuuden vähentäminen, happamien päästöjen estäminen, ruoppausmassojen geoteknisten ominaisuuksien ja tiivistyvyyden parantaminen tai hyötykäytön mahdollistaminen.

Stabiloinnin huomattavia ruoppausmassoja parantavia vaikutuksia himmentää kestävyysnäkökulmasta se, että stabiloinnissa käytettävien sideaineiden valmistuksella voi olla huomattavia kasvihuonekaasuvaikutuksia. Taulukossa alla (*Taulukko 14*) on esitetty joidenkin yleisten maa- ja vesirakentamisessa käytettyjen materiaalien kaasupäästövaikutuksia / kg ko. materiaalia. Erityisesti sementin valmistus aiheuttaa suuria päästöjä.

Taulukko 14. Eri maa- ja vesirakentamisessa käytettyjen materiaalien yksikkökaasupäästöjä.⁶⁶

Materiaali	kg CO ₂ e / kg	g NO _x / kg	g SO _x / kg	g PM ₁₀ / kg
Asfaltti	1,40E-01	2,80E-01	5,60E-01	1,12E-01
Bentoniitti	2,20E-01	4,40E-01	8,80E-01	1,76E-01
Kalkki	8,48E-01	1,70E+00	3,39E+00	6,78E-01
Sora	1,70E-02	6,80E-02	8,50E-02	3,40E-02
Hiekka	5,00E-03	2,00E-02	2,50E-02	1,00E-02
Maa-aines	2,30E-02	9,20E-02	1,15E-01	4,60E-02
Teräs	1,77E+00	5,31E+00	8,85E+00	1,77E+00
HDPE-kalvo	3,00E+00	6,20E+00	1,10E+01	1,60E+00
HDPE	2,00E+00	4,00E+00	5,33E+00	6,67E-01
LDPE	1,70E+00	5,10E+00	8,50E+00	1,70E+00
Tyypillinen sementti	8,30E-01	1,66E+00	3,32E+00	6,64E-01

Stabiloinnin päästöjä voidaan pienentää käyttämällä siihen teollisuuden sivutuotteita, mikä ne soveltuvat tarkoitukseen. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset tuhkat, masuunikuona ja meesa. Sementtiä korvaavien tuotteiden toimivuus

sedimentin stabiloinnissa täytyy aina selvittää tapauskohtaisesti. Niiden käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat mm. hankintahinta, saatavuus, pH-vaikutus, kuivausvaikutus, liukoisuusvaikutus ja varastointimahdollisuudet.

Massojen kaatopaikkasijoituksella on ilmastovaikutuksia, joiden suuruutta voidaan arvioida niiden jäteluokituksen perusteella. Eräs arvio tavanomaisen jätteen ja vaarallisen jätteen ilmastovaikutuksista on esitetty seuraavassa (Taulukko 15).

Taulukko 15. Tavanomaisen jätteen ja vaarallisen jätteen arvioidut ilmastovaikutukset / kg jätettä.⁶⁶

Kaatopaikkasijoitus	kg CO ₂ e / kg	g NO _x / kg	g SO _x / kg	g PM ₁₀ / kg
Tavanomainen jäte	1,13E-02	6,35E-02	3,40E-02	1,81E-01
Vaarallinen jäte	1,25E-02	6,99E-02	3,74E-02	2,00E-01

Yksi sedimentin maalle sijoittamiseen liittyvä kestävyysongelma ovat massojen kuivaessa suoraan orgaanisen aineksen hajoamisesta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt. Näiden päästöjen määrää on vaikea arvioida, mutta pitkällä aikavälillä niiden uskotaan olevan merkittäviä. Orgaanisen aineksen hajoamisesta peräisin olevia päästöjä voitaisiin vähentää sijoittamalla massat maaympäristössä pohjaveden pinnan alapuolelle (esim. rantavyöhykkeeseen), jolloin hajoamisnopeus hidastuu murto-osaan. Tämä ei kuitenkaan ole optimiratkaisu kulkeutumisen kannalta, jos massat ovat huomattavan haitta-ainepitoisia.

Paitsi huomattavia kasvihuonekaasujen päästöjä, vapautuu sedimentistä sen kuivuessa myös toksisia yhdisteitä. Erityisesti rikkibakteerien tuottama rikkivety on myrkyllistä ja suurina annoksina se saattaa aiheuttaa terveysriskiä.

Case Helsingin Hernesaaren itärannan ruoppauksen CO₂ -päästölaskelmavertailu.⁸⁵

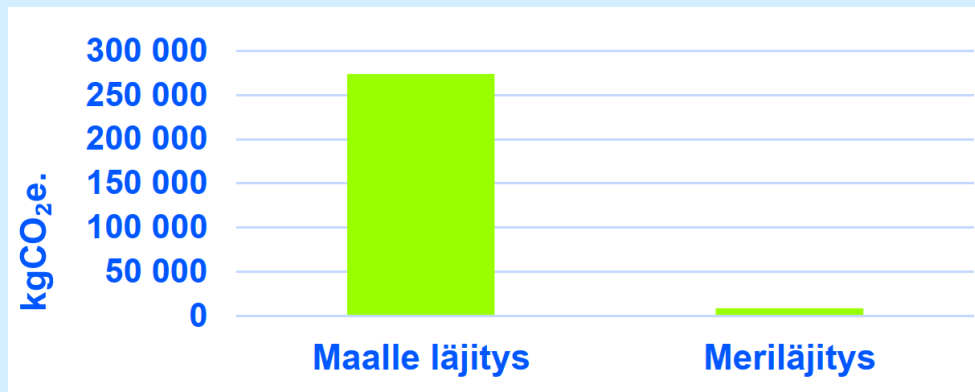
Hernesaaren itärannan ruoppaussedimenttejä läjitettiin mereen ja maalle. Maalle läjitystä tehtiin sedimentin haitta-ainepitoisuuksista johtuen. Maalle läjitetty massamäärä oli niin suuri, että sitä voitiin mielekkäästi verrata meriläjitettyyn osuuteen. Laskenta perustui seuraavaan toimintatapaan:

⁸⁵ Isokauppila, V., 2022. Maalle nousevat ruoppausmassat Helsingissä. Ajankohtaista sedimenttien ruoppauksesta ja läjityksestä -kokous 3.5.2022.

- Maalle läjityksessä sedimentit esikuivatetaan Hernesaaren välivarastoalueella (ei stabilointia), jonka jälkeen ne kuljetetaan maa-ainesten vastaanottoaikaan (60 km päähän).
- Meriläjäyksessä sedimentit kuljetetaan proomulla Lökkiluodon tai Koirasaarenluotojen meriläjäytysalueille (3–9 km).

Päästölaskennasta todettiin, että stabiloitujen sedimenttien päästöjen esittäminen ei ole suoraviivaista. Tuloksen todettiin riippuvan paljon mm. stabiloinnissa käytetyistä sideaineista ja saadaanko esim. korvattua neitseellisiä kiviaineksia. Arviointi tulee tehdä tapauskohtaisesti ko. kokonaisuus ymmärtäen.

Päästölaskennan tulokset on esitetty alla (**Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt.**). Maalle läjityksestä aiheutuviksi päästöiksi arvioitiin 265 000 kg CO₂e. Ruopattua m³:ä kohden maalle läjityksen CO₂-päästöt arvioitiin noin 33 kertaa suurempi kuin vastaavan meriläjäytyksen päästöt.



Kuva 19. Maalle läjityksen ja meriläjäytyksen CO₂-päästölaskelmavertailu Herne-saaren itärannan massoilla. Laskenta: Ramboll Finland Oy, 2022.

Johtopäätöksenä todettiin, että Helsingin olosuhteissa meriläjäytyksen CO₂-päästöt ovat merkittävästi pienimmät kuin maalle läjityksen. Myös erot taloudellisissa vaikutuksissa ovat suuret. Jos massat vietäisiin stabiloituina ulkopuoliseen läjitykseen, olisivat vaikutukset sekä CO₂-päästöinä että taloudellisesti vieläkin suuremmat. Maalle läjitys saattaa kestävyuden kokonaisvaikutusten kannalta kuitenkin olla kannattavaa, jos massat voidaan hyötykäyttää stabilointipaikalla niin, että ne korvaavat neitseellisiä raaka-aineita, mutta eivät heikennä merkittävästi muiden resurssien käyttöä.

5.3.4 Ruoppausmassojen hyötykäyttö

Ruoppausmassojen hyötykäyttömahdollisuus lisää huomattavasti hankkeen kokonaiskestävyyttä. Paalosmaa (2018) on opinnäytetyössään arvioinut eri tyyppisten ruopattujen sedimenttien soveltuvuuksia joihinkin

hyötykäyttötarkoituksiin (*Taulukko 16*)⁸⁶. Hänen mukaansa ympäristöä tukeva toiminta soveltuu ruopattujen sedimenttien hyötykäytölle parhaiten. Muiden kohteiden osalta käyttöä rajoittavat haitta-ainepitoisuudet ja geotekniset ominaisuudet, joihin voidaan vaikuttaa käsittelyllä, tiettyyn rajaan asti. Myös taloudelliset seikat, sedimenttien saatavuus ja määrä, ruoppaustoiminnan ajoitus, lisätutkimusten tarve sekä resurssit ja logistiikka vaikuttavat asiaan.

*Taulukko 16. Ruoppausmassojen käyttömahdollisuudet maa- ja infrarakentamisessa + = soveltuu hyvin ja - = soveltuu huonosti.*⁸⁶

	Pehmeä savi	Siltti	Hiekka	Tiivis savi	Sora	Kiviaines
1. Vesirakentaminen ja erilaiset penkereet						
Rantaerosion estäminen	-	-	+	-	+	+
Maa-alueen luominen / parantaminen	+	+	+	+	+	+
Rannikkoalueiden suojaaminen	-	-	+	-	+	+
Rannikkoalueiden suojaaminen geotuubeilla	-	-	+	-	+	-
2. Ympäristöä tukeva toiminta						
Jättemaiden peittäminen	+	+	+	+	+	-
Vanhat teollisuusalueet	+	+	+	+	+	-
Louhosten ja kaivosten täyttö	+	+	+	-	-	-
Puistot sekä urheilu- ja virkistysalueet	+	+	+	+	+	-
Kosteikkojen suojelu	+	+	+	-	-	-
Neitseellisen sedimentin suojaaminen	+	+	+	+	+	+
Tekosaarien luominen linnustolle	-	+	+	+	+	+
3. Maatalous ja rakennustuotteet						
Betonin valmistus	-	+	+	-	+	-
Teiden rakennekerrokset ja vallit	-	-	+	-	+	+
Maa- alueiden peittäminen	-	+	-	+	-	-
Maakerroksen pintamateriaalin tuotanto	+	+	+	-	-	-
Tiilet	+	-	+	+	-	-
Lannoitteet	+	+	+	+	-	-

Hyötykäyttöön liittyy paljon ongelmia; mm. kohteiden löytäminen ja niiden etäisyys ruoppauskohteesta. Suomessa runsaasti massoja ruoppaavilla rannikkokaupungeilla on ollut vaikeuksia löytää sopivia kohteita. Jos massaa ei käsitellä voimakkaasti, soveltuu haitta-ainepitoinen sedimentti yleensä vain rajoitetusti rakentamiseen ja sen kuljetettavuus on huono. Lisäksi täytyy huomioida missä määrin massat korvaavat neitseellisiä materiaaleja ja miten ne vaikuttavat muiden resurssien käyttöön. Hyötykäytön lupaprosessia on myös arvosteltu raskaaksi ja hitaaksi. Kaupunkien edustojen pintasedimentin

⁸⁶ Paalasmaa, T., 2018. Ruoppaus sedimenttien käyttö maa- ja infrarakentamisessa. Opinnäytetyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Energia- ja ympäristötekniikka. 101 s.

kohonneet heikosti hajoavien haitta-aineiden pitoisuudet saattavat estää hyötykäytön kokonaan.

Sedimenttien hyötykäyttöä voidaan edesauttaa stabiloinnilla. Stabiloituja sedimenttejä voidaan hyötykäyttää esim. melusuojaus-, puisto- tai kenttärakenteissa ohuina laattoina, mikäli stabiloinnilla saavutetaan riittävät tekniset ominaisuudet. Kenttärakenteiden osalta olennaisimmat vaatimukset ovat riittävä puristuslujuus (noin 35 MPa) ja pakkasenkestävyys. Ennen ruoppausmassojen stabilointia sedimentille on määritettävä sopiva sidosaineiden sekoitussuhde sekä tehtävä liukoisuustesti, jolla varmistetaan, ettei haitta-aineita liukene yli sallitun määrän. Vedenläpäisevyys ja liukoisuus ovat tärkeitä tarkkailuparametreja myös toteutuksen yhteydessä.

Mikäli sedimentti on mahdollista sijoittaa lähelle rantavyöhykettä pysyvästi, kannattaa alue valita siten että sillä on loppusijoituksen lisäksi muitakin käyttökohteita. Tällaisia ovat mm. satamakentät joihin Suomessakin on saatu sijoitettua suuria määriä ruoppausmassoja, ja uusia hankkeita ollaan toteuttamassa. Satamakenttien lisäksi merkittävien sedimenttimäärien maalle sijoitukseen soveltuvat suuret tekosaaret ja rantavyöhykkeen läjitysmaat, CDF:t (Confined Disposal Facility). Pieniä CDF-tekosaaria on rakennettu joitakin Suomessa.

CDF:iä suunniteltaessa on tärkeää selvittää alueen tuleva käyttötarkoitus alusta saakka. Kun CDF:t sijaitsevat lähellä kaupungistuneita alueita, ne voidaan suunnitella loppukäytettäväksi teollisiin ja kaupallisiin tarkoituksiin. Muita käyttötarkoituksia voivat olla tuulienergian tuotantoalueet sekä rantaviivaa suojaavat saarialueet. Näillä toiminnoilla voi olla myös positiivisia ekologisia ja taloudellisia vaikutuksia.

CDF:t voivat toimia myös käsittelyalueina, kuten sedimentaatioaltaina. Tämän tyyppiset altaat vaativat paljon pinta-alaa, mutta istuttamalla ruovikoita tai ilmaversoisia kasveja ne voidaan muuntaa lintujen elinympäristöiksi. CDF:issä olevasta ruopatusta materiaalista syntyvät kosteikot voivat myös tarjota ratkaisuja hulevesien vedenpuhdistukseen, tai toimia luontoympäristöinä. Molemmat ratkaisut eivät ainoastaan tue luontoympäristön suojelua, vaan myös parantavat maisemaa.

CDF-alueita voidaan käyttää myös tietyn tyyppisissä maataloudessa (ei-syötäväksi tarkoitettut kasvit), tai puuntuotannossa metsätaloudelle. Esimerkiksi pajut voivat lisäksi auttaa pilaantuneen sedimentin puhdistamisessa (fyto-remediaatio). Puut houkuttelevat alueelle eläimiä, ja parantavat sitä kautta ympäristön laatua. Myös suunniteltu virkistyskäyttö, kuten golf- tai urheilukenttänä, maasto pyöräilyalueena, kalastukseen, veneilyyn tai muuhun vesiurheiluun, on mahdollista.

CDF:ien suunnitteluvaiheessa ennen paikkavalintaa ja rakentamista on mahdollisuuksia yhdistää CDF:ien ensisijainen tehtävä (sedimentin sijoituspaikka) muihin käyttötarkoituksiin. Jos ilmeistä toissijaista käyttötarkoitusta ei jostain syystä ole alussa tiedossa, on mahdollinen jälkikäyttö pidettävä mielessä koko toiminta-ajan. Koska CDF:t toimivat pitkiä aikoja, jopa vuosikymmeniä, tämä vaatii valppautta kaikilta kaavoitukseen osallistuvilta sidosryhmiltä.

Haasteena sedimentin käsittelylaitosten rakentamisessa on löytää alueita, jotka soveltuvat em. käyttötarkoitukseen. Erityisesti lähellä rannikkoalueita, joissa CDF:ien tarve on suurin, kilpailu muiden maankäyttömuotojen, kuten asumisen, virkistykseen ja luonnonsuojelun kanssa, on suurta. Koska CDF:t ovat osa julkista maankäyttöä, sidosryhmien vaikuttaminen ja poliittiset näkökohdat voivat vaikuttaa asiaan voimakkaasti ja NIMBY-reaktio (ei minun takapihalleni) on mahdollinen. Tässä mielessä tarve suunnitella varhaisessa vaiheessa CDF:ien tehokas käyttö toiminnan aikana ja sen jälkeen, on ehdottoman tärkeää.

Joskus psykologisia riskejä jää, vaikka CDF:n ei voida osoittaa aiheuttavan minkäänlaista muuta haittaa suunnitellussa käytössä. Psykologisia riskejä voidaan lieventää tehokkaalla ja avoimella tiedottamisella liittyen alueen käyttöön. Myös CDF:ien muiden käyttötarkoitusten löytäminen täyttövaiheessa ja sen jälkeen voi vähentää kielteisiä reaktioita, parantaa yleisön käsitystä ja lisätä maalle läjitysalueista saatavaa hyötyä.

Meriläjitysalueiden jälkikäyttömahdollisuudet ovat minimaaliset maalle läjitysalueiden mahdollisuuksiin verrattuna. Meriläjitys nykytapaan edustaa vanhaa ajattelua ruoppausmassoista jätteenä, joka voidaan nähdä nykyisen kiertotalousajattelun näkökulmasta materiaalin tuhlauksena. Turun seudun maaläjitysaluehankkeessa tarkastelluista meriläjitysratkaisuista ainoastaan ratkaisu, jossa ruoppausmassoja käytetään hapettomien syvänteiden kunnostuksessa, edusti kiertotalousnäkökulmaa.⁸⁴

5.4 Tarkkailu ja varautuminen

Niin ruoppauksessa kuin meriläjityksessäkin keskeinen riskienhallintamenetelmä on tarkkailu. Kestävyyden kannalta hyvä tarkkailuohjelma onkin avainasemassa, jotta mahdollisista suunnitelmista poikkeavista päästöistä, uusista haitta-aineista ja odotettua suuremmista ympäristövaikutuksista saadaan ajoissa tietoa ja niihin pystytään reagoimaan ennen kuin hankkeen kokonaiskestävyys heikkenee liikaa. Vesistö- ja sedimenttihankkeiden oikeaoppista tarkkailua on kuvattu mm. Organotinapitoisten sedimenttien ruoppaus- ja käsittely -menettelytapaohjeessa.⁷⁰ Se koostuu ruoppauksen ja läjityksen

tarkkailusta, jäännöspitoisuuksien tarkkailusta, käsittelyn tarkkailusta ja jälki-tarkkailusta ko. hankkeessa järkevässä laajuudessa.

Varautumissuunnitelma on se asiakirja, jossa on toimintaohjeet yllättävien tapahtumien, esim. onnettomuuksien varalta. Varautumista tarvitaan myös kes-tävyyšnäkökulmasta, sillä esimerkiksi yksittäinen onnettomuus tai poikkeama saattaa nopeasti ja voimakkaasti heikentää hankkeen kokonaiskestävyyttä. Seuraavassa taulukossa on esitetty sedimenttien ruoppaus-, läjitys- ja käsit-telytyön aikaisia riskitilanteita ja niiden hallintatoimenpiteitä (Taulukko 17).

Taulukko 17. Sedimenttien ruoppaus-, läjitys- ja käsittelytyön aikaisia riskiti-lanteita ja niiden hallintatoimenpiteitä.⁷⁰

Työvaihe / tapahtuma	Riskitilanne	Seuraus	Riskinhallinta-toimenpide
Ruoppaus	Kuljettaja kaivaa väärästä paikasta tai syvyydeltä	Pilaantunutta sedimenttiä voi jäädä ruoppaamatta, tai puhtaat sedimentit sekoittuvat pilaantuneisiin	Kaivunvalvontajärjestelmän kalibrointi Kaivutyön reaaliaikainen seurantaluoetus.
	Kauha osuu esteisiin, tavoitetasoa ei saavuteta	Ruoppaus alle tavoitetason, kauhan rikkoutuminen.	Riskialueiden etukäteiskartoitus Työmenetelmän / kauhan vaihto.
	Romu tms. estää kauharuoppaajan kauhan sulkeutumisen	Pilaantunutta sedimenttiä huuhtoutuu kauhasta ylösnoston/lastauksen aikana	Kaivujärjestyksen suunnittelu Proomu ruoppaamattomalla puolella
	Imuruoppauksessa sedimentti löyhtyy ruoppauskohdan ympäristöstä	Pilaantunut sedimentti kulkeutuu ruoppausalueen ulkopuolelle	Säädetään painevesisuihkun ja imutehon suhdetta sellaiseksi, että suspendoituminen mahdollisimman vähäistä
	Imuruopatun sedimentin proomuun lastaamisen aikana tapahtuu ylijuoksumista	Veden voimakas samentuminen	Lopetetaan lastaus, kun ylijuoksumuksen vaara olemassa
	Löyhän sedimentin ruoppaus aiheuttaa suspendoitumista	Veden samentuminen ja hienoaineksen leviämisen ympäristöön	Silttiverhon käyttö
Kuljetus	Potkurivirtojen vaikutus saa pilaantuneen sedimentin liikkeelle	Pilaantunutta sedimenttiä leviää ruoppaus- tai läjitysalueen ulkopuolelle	Käytetään alhaisia nopeuksia Pyritään minimoimaan potkurivirtaukset
	Lastitilan tiivisteet ovat vaurioituneet	Pilaantunutta sedimenttiä huuhtoutuu lastitilasta	Lastitilan tiiveyden säännöllinen tarkistaminen

Työvaihe / tapahtuma	Riskitilanne	Seuraus	Riskinhallinta-toimenpide
	Lastaustilavuus ylittyy	Pilaantunutta sedimenttiä huuhtoutuu mereen lastitilan laitojen yli	Proomua ei lastata täyteen
Läjitys mereen	Sedimentti liikkuu läjitysvaiheessa	Sedimentti leviää läjitysalueen ulkopuolelle, veden voimakas samentuminen	Läjittäminen putkiston kautta suoraan pohjalle Läjitysalueen ympäröinti silttiverholla
	Läjitetyn sedimentin hienoaines suspendoituu ja joutuu pohjavirtausten kuljettamaksi	Sedimentti leviää läjitysalueen ulkopuolelle, veden voimakas samentuminen	Läjityspaikan huolellinen valinta Läjittäminen putkiston kautta suoraan pohjalle ja diffusorin käyttö Läjitysalueen ympäröinti silttiverholla
	Pohjasedimentti liikkuu läjitettävän massan vaikutuksesta	Veden samentuminen	Läjittäminen putkiston kautta suoraan pohjalle Läjitysalueen ympäröinti silttiverholla
	Läjittäminen väärään paikkaan	Sedimentti leviää läjitysalueen ulkopuolelle Monia muita vaikutuksia	Paikannusjärjestelmien käyttö
	Jyrkkäreunaisten sedimenttikasojen muodostuminen	Sedimentti leviää läjitysalueen ulkopuolelle (sortumat)	Läjityksen huolellinen esisuunnittelu Läjityspaikan huolellinen valinta Paikannusjärjestelmien käyttö
	Läjitys rannalle	Penger tai penkereen osa sortuu	Pilaantunutta sedimenttiä leviää ympäristöön
Pilaantunutta sedimenttiä leviää ympäristöön penkereen läpi		Vesipinta läjitysalueella ylittää kriittisen korkeuden	Läjitystyö keskeytetään, kun kriittinen vesipinta ylittyy
Stabilointi	Stabilointi nostaa sedimentin pH:ta	Tiettyjen haitta-aineiden, mm. TBT:n, liukoisuus kasvaa	Liukoisuustutkimusten suorittaminen Sideainevalinta
	Stabilointi epäonnistuu mm. joidenkin haitta-aineiden tai sedimentin liian korkean humuspitoisuuden vuoksi	Haitta-aineet kulkeutuvat sijoitusalueen ulkopuolelle	Sedimentin laadun perusteellinen tutkiminen Huolellinen reseptointi Liukoisuustutkimusten suorittaminen

5.5 Kestävyyden seuranta ja raportointi

Kuten maaperän kunnostushankkeissakin, myös vesistö- ja sedimenttihankkeissa olisi hyvä saada kestävyystavoitteiden asettaminen, indikaattoritavoitteiden toteutumisella ja toteutumisen seuranta vakiintuneeksi osaksi

prosessia. Kestävyiden seuranta voidaan toteuttaa vesistö- ja sedimentti-hankkeissa vastaavalla tavalla kuin työturvallisuuden seuranta talonrakennus- (TR) sekä maa- ja vesirakennustyömailla (MVR). Toteutusvaiheessa korostuu aiemmin määriteltyjen kriteerien ja tavoitteiden seuranta, koska asetettujen vaatimusten täyttymistä ei voida luotettavasti todentaa ilman valvontaa.⁴

Kestävyiden seuranta voidaan toteuttaa osana työmaan kirjanpitoa, jossa raportoidaan työkoneiden kulutuslukemia, käsiteltäviä sedimentti- ja massamääriä, sekä hankkeessa käytettävien ja kemikaalien, veden, energian ja tarvikkeiden määriä. Tietoja voidaan kerätä turvallisuuskierrosten tai ympäristöteknisen valvonnan yhteydessä, tai normaalin työmaavalvonnan osana.⁴

Hankkeen päätyttyä kestävyysindikaattoreiden tulokset ja kokonaisarvio kestävyystavoitteiden toteutumisesta raportoidaan joko urakoitsijan loppuraportissa tai hankkeen valvojan toimesta. Raporttiin sisällytetään yhteenveto kestävyysarviointissa, hankkeen yleissuunnitelmassa ja hankintavaiheessa esitettyjen kestävyystekijöiden toteutumisesta. Mahdolliset työn aikaiset muutokset suunnitteluvaiheessa esitettyyn kestävään toimintaan tulee niin ikään raportoida ja selvittää syy muutoksiin sekä muutosten vaikutukset hankkeen kestävyteen.⁴ Tiedot hankkeesta ovat saattaneet muuttua suunnitteluvaiheen jälkeen joten myös kestävyysuunnitelma on saattanut vaatia päivitystä.

Kestävyystavoitteiden toteutumisen systemaattinen, huolellinen ja objektiivinen arviointi kunnostuksen päätösvaiheessa tuo arvokasta tietoa toisaalta esteistä jotka ovat vaikeuttaneet kestävyystavoitteiden saavuttamista, ja toisaalta parhaista ratkaisuista joita voidaan käyttää myös tulevilla hankkeilla.

6 Yhteenveto – kestävyys sedimenttihankkeissa

6.1 SEDKE-hankkeen tausta

Vesistö- ja sedimenttihankkeissa tehtäviä toimenpiteitä pyritään entistä enemmän arvioimaan kestävyysnäkökulmasta, joka sisältää ympäristövaikutusten lisäksi sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset. Näihin asioihin liittyen on tunnistettu kuitenkin tietopuutteita. Sedimenttien kunnostustoimenpiteiden kestävyiden arviointi (SEDKE) -hanke, jonka tulokset on esitelty tässä raportissa, tukee ja täydentää SEDI-ARVI II -projektissa laadittavaa opasluonnosta sedimenttien riskiperusteisesta pilaantuneisuuden ja kunnostustarpeen arvioinnista tältä osin. Sedimenttihankkeet poikkeavat maaperän kunnostushankkeista, mistä johtuen oma kestävyysohjeistus niille on paikallaan.

6.2 Kansainvälinen ja kotimainen ohjeistus

SEDKE-hankkeessa laadittiin katsaus siitä, miten sedimentin kestävä hallinta on toteutettu EU:ssa ja muissa maissa. EU-tasolla tavoitteena on pilaantuneen sedimentin aiheuttamien riskien hallinnan sijaan usein esimerkiksi rantaeroosion vähentäminen, tulvariskien pienentäminen tai vesivoiman tuotannon, keinokastelun ja navigoinnin turvaaminen. Sedimentin kulkeutumisen hallinta liittyy usein koko jokisysteemin tai laajemman rannikkoalueen suunnitteluun. Ohjeistuksessa korostetaan kokonaisvaltaisen tarkastelun ja valtioiden välisen yhteistyön lisäksi riittävän pitkää ja laadukasta tutkimus- ja tarkkailuaineistoa. Keskeisiä sedimenttihankkeiden kestävyttä ohjaavia dokumentteja ovat Vesiputedirektiiviin liittyvä tekninen ohjedokumentti ja Merialuedirektiivi.

Ruotsissa ja Norjassa on molemmissa toteutettu kattava kartoitus pilaantuneiden sedimenttikohteiden sijainnista. Tuloksia halutaan käyttää hyvän yleiskuvan ja tietämyksen hankkimiseen pilaantuneiden sedimenttialueiden laajuudesta ja pilaantumisen asteesta, jotta toteutettavat toimenpiteet olisivat tehokkaita. Keskeinen työkalu riskinarvioinnin ja sedimentin käsittelyn ohjeistuksen lisäksi on alueiden priorisointi. Lisäksi pyritään hyvien käytänteiden ja kokemusten keräämiseen sekä kohteiden systemaattiseen kunnostukseen ja raportointiin.

Suomessa sedimentin pilaantuneisuuden taustaselvityksiä on tehty vuosina 1997 ja 2011. Vesistö- ja sedimenttihankkeiden toteutusta ohjaa mm. alueiden käytön ohjeistus, jossa kestävä kehitys tärkeänä periaatteena. Vesilain mukaisissa hakemuksissa yhteisvaikutusten ja kokonaishyödyn tarkastelu. Muita keskeisiä dokumentteja ovat Suomen merenhoitosuunnitelma ja Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje. Lisäksi muissa vesistön kunnostussuunnitteluoppaissa ja -ohjeistuksissa sivutaan kestävyysnäkökulmaa, mutta se ei ole systemaattisesti mukana. Sijoitusta ja hyötykäyttökelpoisuutta maalle ohjaavat mm. Vna 214/2007 kynnys- ja ohjearvot sekä liukoisuus- ja hyötykäyttökelpoisuustestit ohjeistuksineen.

6.3 Kestävä sedimenttihanke

6.3.1 Kestävyyden huomiointi hankkeen eri vaiheissa

ISO-standardi 18504:2017 määrittelee yleisesti kestävä kunnostushankkeen vaiheet. Kestävyysnäkökohdat tulisi huomioida vesistö kunnostushankkeen koko elinkaaren ajan. Prosessimainen kestävä kunnostus edellyttää runsaasti keskusteluja eri sidosryhmien kesken optimaalisten ratkaisujen löytämiseksi menetelmille, joilla saavutetaan kohteen tulevaan käyttöön soveltuva tila. Kestävin ratkaisu on yleensä kompromissi eri tahojen intresseistä.

Vesistö- ja sedimenttihankkeiden kestävyteen voidaan vaikuttaa erityisen paljon suunnittelu- ja hankintavaiheissa, mutta myöhemminkin hankkeiden aikana. Suunnittelu- ja hankintavaiheissa erityisesti käytettävät (kunnostus)menetelmät vaikuttavat hankkeiden kokonaiskestävyyteen. Menetelmien valintaan on käytettävissä työkaluja ja ohjeistusta. Vaihtoehtona tulee harkita myös monitoroitua luontaista puhdistumista ja sedimentin jättämistä ilman aktiivisia toimenpiteitä, mikäli tämä on hankkeen tavoitteiden kannalta mahdollista ja toimenpiteiden negatiiviset vaikutukset olisivat suuremmat kuin positiiviset.

Erityisesti massojen käsittelytavan ja sijoituspaikan (in situ, meriläjitys, hyötykäyttö on-site, off-site vastaanottopaikka) valinnalla voidaan useimmissa hankkeissa vaikuttaa voimakkaasti niiden vaikutuksiin. Myös mm. suojaukset ja varautuminen ovat tärkeitä hankkeen kestävyden kannalta. Keskeistä on tunnistaa, onko ruoppaus tai kunnostus yleensäkin tarpeen ja miten käytettävien menetelmien negatiivisia vaikutuksia lievennetään.

6.3.2 Suunnittelu- ja hankintavaihe

Käytettävien menetelmien valintavaihe ennen yleissuunnittelua on hyvä kohta erityisen kestävyysarvioinnin tekemiseen. Tarkastelun tulee olla kohdekohtainen ja systemaattinen, ja tavoitteena siinä on kasvattaa saavutettavia hyötyjä suhteessa kunnostuksen haittoihin. Arviointi on aina ajasta, paikasta ja toteutajasta riippuvainen prosessi. Arvioitavien menetelmien tulee olla teknisesti toteuttamiskelpoisia ja parasta käyttökelpoista tekniikkaa.

Kestävyysarviointia voidaan tehdä monella tasolla. Yksinkertaisimmillaan se on kvalitatiivista eri ratkaisujen vertailua. kvalitatiivinen tarkastelu on usein riittävää ja sen tulokset ovat yksiselitteisimpiä. Joissakin tapauksissa on tarpeen tehdä kvantitatiivisempaa tarkastelua. Käytettävissä on useita erilaisia kestävyysarviointiohjelmia, jotka auttavat kestävyysvertailussa. Kehittyneimmät niistä laskevat hyvin tarkasti esimerkiksi vaihtoehtojen ilmastovaiikutuksia koko niiden elinkaaren ajalta. Monimutkaisimpia menetelmiä käytettäessä korostuu niiden käyttäjän ymmärryksen hankkeesta merkitys ja käytettäviksi valitut kestävyysindikaattorit. Huolimattomasti toteutettuna laskennallinen tarkastelu voi johtaa harhaan.

Eräs erityisen hyvin sedimenttihankkeille soveltuva kestävyystarkastelumenetelmä on kustannus-hyötyanalyysi. Siinä käytettävien menetelmien valittuja ympäristö-, sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia pyritään yhteismitallistamaan, jolloin ne ovat asetettavissa paremmuusjärjestykseen. Tarkasteltavat totutuspolut ja eri indikaattoreiden painoarvo päätetään optimitilanteessa mahdollisimman laajasti hankkeen sidosryhmiä edustavan ohjausryhmän kesken. Kestävin menetelmä on se jolla saavutetaan suurin eniten hyötyjä tai riittävä ympäristön tila pienimmällä panostuksella tai rahoituksella.

Hankkeen tilaajalle on kestävyiden huomioimisesta paljon hyötyä, mistä syystä se kannattaa ottaa yhdeksi kriteeriksi jo hankkeen kilpailutusvaiheessa.

6.3.3 Toteutusvaihe - vesiympäristö

Toteutusvaiheessa hankkeen kestävyiden voidaan vaikuttaa suhteellisen paljon. Kestävyttä voidaan parantaa ruoppauksen yhteydessä mm. valitsemalla mahdollisimman vähän resuspensiota aiheuttava ruoppausmenetelmä, käyttämällä siltti/kuplaverhoja, huomioimalla ruoppauksen yhteydessä muodostuvat jäännöspitoisuudet, ajoittamalla toimenpiteet oikein. Käytettävillä materiaaleilla, mm. stabiloinnin sideaineilla, on merkittäviä ympäristövaikutuksia.

Merikuljetusten ja meriläjityksen kestävyttä voidaan parantaa valitsemalla toimintaan mahdollisimman vähän häiriötä aiheuttavia ajankohtia ja valitsemalla läjitysalue oikein. Läjitettävien massojen laadusta, rakenteesta ja kulkeutumisherkkyydestä ennakoitu läjityksen jälkeinen tilanne tulee tarkastella ennakkoon huolellisesti suhteessa läjitysalueen lähtötilanteeseen. Läjitystapahtumaan liittyvän eliöstön altistuksen määrää ja sedimentin kulkeutumista voidaan myös mallintaa niin ruoppaus- kuin läjitystapahtumassa.

In situ -kunnostushankkeissa, joita on suhteellisen vähän kaikista sedimentti-hankkeissa Suomessa, korostuu menetelmävalinnan merkitys. Poikkeuksena tästä Monitoroitu luontainen puhdistuminen (MNR) on tosin valikoitunut menetelmäksi useissa hankkeissa. Sen kestävyys ja hyväksyttävyys riippuu tarkasteltavasta aikajänteestä ja hyväksyttävissä olevista jäännösriskeistä. Usein MNR on kestävä ratkaisu erityisesti ympäristövaikutusten ja investointikustannusten näkökulmasta, mutta se voi olla ristiriidassa tulevaisuuden vastuukysymyksiä kestävä hallinnan kanssa. Joka tapauksessa menetelmään kuuluu laaja ja pitkäaikainen tarkkailu.

6.3.4 Toteutusvaihe - maaympäristö

Vaikka haitta-ainepitoisten sedimenttien maalle läjitys on todennäköisesti meriläjitystä kestävämpää, erityisesti jos massat ovat hyvin pilaantuneita tai maalle läjitykseen liittyy massojen hyötykäyttöä, on myös maalle läjityksellä omat ongelmansa kestävyysnäkökulmasta. Maaympäristössä sedimenttejä käsiteltäessä ja sijoitettaessa alueidenkäytön kestävyysnäkökulmat tulevat erityisen tärkeiksi. Hankkeiden sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset ovat helposti suuret suhteessa meriläjitykseen.

Läjitystarpeiden huomioimisesta tulisi tehdä maankäytön suunnittelu näkökulmasta jatkuva pitkäjänteinen prosessi, jossa tulee koko ajan olla kaavallinen valmius useamman vuoden läjityksille. Parhaimmillaan ruoppausmassojen

läjitys saattaa johtaa myös maaläjitysalueen arvonnousuun, jos se mahdollistaa alueen entistä paremman käytön.

Sedimentin kuivatus ja suotoveden puhdistus on hankalaa ja kallista. Sekä puhdistamattomien suotovesien johtaminen että huonosti kuivatettujen masojen kuljetus heikentävät sedimenttihankkeen kestävyttä. Sedimentin maakuljetus kauas kohteelta aiheuttaa paitsi ilmastovaikutuksia, myös mm. melua ja kuljetusreittien likaantumista, liikenneturvallisuuden heikentymistä, pölyämistä sekä kustannusvaikutuksia. On huomattava, että myös loppusijoituspaikassa off-site aiheutuu ympäristövaikutuksia ja käsittelytarvetta tilantarpeesta ja sinne siirtyneistä riskeistä johtuen.

Toimenpiteiden ilmastovaikutuksiin voidaan vähentää erityisesti pitämällä kuljetusmatkat lyhyinä ja käyttämällä mahdollisessa stabiloinnissa ilmastovaikutuksiltaan vähäisiä sideaineita, mm. uusiomateriaaleja ja sivutuotteita. Meri- ja raidekuljetus aiheuttavat maantiekuljetusta vähemmän ilmapäästöjä. Eri-tyisen paljon päästöjä voidaan vähentää hyötykäyttämällä ruoppausmassoja. Vaikka ruoppausmassat soveltuvat lähtökohtaisesti huonosti minkäänlaiseen rakentamiseen, voidaan niiden ominaisuuksia siihen parantaa, ja rakentaa niistä mm. kenttiä ja puistoympäristöjä. Suurien massamäärin hallintaan soveltuu tähän käyttöön erityisesti suunniteltu käsittelyratkaisu, CDF. Alueen varaaminen sellaiselle tulisi tapahtua jo maakuntakaavavaiheessa ja alueen rakentamisen ja loppukäytön optimoimiseksi sen käyttötarkoitus tulisi olla selvillä alusta saakka. Onnistuneista CDF-projekteista erilaisiin käyttötarkoituksiin on olemassa runsaasti kansainvälisiä esimerkkejä.

6.4 Lopuksi

Kaiken kaikkiaan kestävästi toteutettu vesistö- ja sedimenttihankkeen lähtökohtana voidaan käyttää alan BAT-manuaaleja, mm. TBT BATman -hankkeen ohjeistusta, sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjetta sekä pima-riskienhallintaohjeistusta. Ongelmana näissä on, että niissä usein ympäristöriskit korostuvat sosiaalisten ja taloudellisten riskien kustannuksella. Tässä raportissa ja muissa kestävyysohjeistuksissa on kuvattu menetelmiä, joilla kestävyden eri osatekijät voidaan ottaa tasapainoisemmin huomioon.

Hankkeiden kestävä toteutus edellyttää myös huolellista riskienhallintaa, jossa avainasemassa ovat tarkoituksenmukainen ja hyvin toteutettu tarkkailu, sekä varautuminen erilaisiin yllättäviin skenaarioihin ja onnettomuuksiin.

Kestävyysnäkökohdat tulee huomioida hankkeen kaikissa vaiheissa. Huomioidmisesta tulisi tehdä rutiini, joka sisältää kestävyysarviointiin perustuvan kestävyysuunnitelman tekemisen jokaiselle hankkeelle, sekä sen toteutumisen

systemaattisen, huolellisen ja objektiivisen seurannan osana työmaavalvontaa ja kokouskäytäntöjä. Suunnitelmaa päivitetään tarvittaessa. Lopuksi laaditaan raportti kestävyystavoitteiden toteutumisesta hankkeessa.

Kestävyysparantamiseen ja kestävyysasioiden käsittelyyn tulisi sitouttaa hankkeen sidosryhmät mahdollisimman laaja-alaisesti.

7 Kirjallisuus

- Apitz, 2012. Conceptualizing the role of sediment in sustaining ecosystem services: Sediment-ecosystem regional assessment (SEcoRA). *Science of the total environment* 415:9-30.
- Bardos, P., A. Lazar & N. Willenbrock, 2009. A Review of Published Sustainability Indicator Sets: How applicable are they to contaminated land remediation indicator-set development? SURF UK. 126 p.
- Bates, M.E., C. Fox-Lent, L. Seymour, B.A. Wender & I. Linkov, 2015. Life cycle assessment for dredged sediment placement strategies. *Science of the total environment* 511: 309-318.
- Blenckner, T., C. Möllmann, J. Stewart Lowndes, J.R. Griffiths, E. Campbell, A. De Cervo, A. Belgrano, C. Boström, V. Fleming, M. Frazier, S. Neuenfeldt, S. Niiranen, A. Nilsson, H. Ojaveer, J. Olsson, C.S. Palmlov, M. Quaas, W. Rickels, A. Sobek, M. Viitasalo, S.A. Wikström & B.S. Halpern, 2021. The Baltic Health Index (BHI): Assessing the social-ecological status of the Baltic Sea. *People and Nature* 3:359-375.
- Bridges, T. S., Ells, S., Hayes, D., Mount, D., Nadeau, S., Palermo, M., Patmont, C., and Schroeder, P., 2008. The four Rs of environmental dredging: Resuspension, release, residual, and risk. Technical Report ERDC/EL TR-08-4, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Bruce, P., A. Sobek, Y. Ohlsson & C. Bradshaw, 2020. Risk assessments of contaminated sediments from the perspective of weight of evidence strategies—a Swedish case study. Human and ecological risk assessment.
- Bruce, P., C. Bradshaw, Y. Ohlsson, A. Sobek & A. Christiernsson, 2021. Inconsistencies in How Environmental Risk Is Evaluated in Sweden for Dumping Dredged Sediment at Sea. *Front. Mar. Sci.*, 20 October 2021, Sec. Marine Pollution, Volume 8 – 2021.
- CL:AIRE, 2010. A framework for assessing the sustainability of soil and groundwater remediation. UK Sustainable Remediation Forum. Contaminated Land: Applications in Real Environment (CL:AIRE). ISBN 978-1-905046-19-5.

Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC), 2022. Integrated sediment management – Guidelines and good practices in the context of the Water Framework Directive. 226 p.

ECHA, 2014. Principles for Environmental Risk Assessment of the Sediment Compartment: Proceedings of the Topical Scientific Workshop. ECHA-14-R-13-EN

Environment and climate change Canada, 2022. Evaluation of Project Designs for Contaminated Sediment Management. User guide.

Federal Remediation Technologies Roundtable, 2023. <https://frtr.gov/matrix/default.cfm>

Fitzpatrick, A., A. McNally, S.E. Apitz & D. Harrison, 2019. Operationalizing Sustainability Concepts in Sediment Remediation Making. International Conference on Remediation and Management of Contaminated Sediments. Short course material 11.2.2019. 60 p.

HELCOM, 2018. State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011–2016. Baltic Sea Environment Proceedings 155.

HELCOM, 2023a. Baltic Sea Action Plan. <https://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/>

HELCOM, 2023b. Dredging. <https://helcom.fi/action-areas/industrial-municipal-releases/dredging/>

Herbich, J.B., 1992. Handbook of dredging engineering. McGraw-Hill, USA.

Holland, K.S., R.E. Lewis, K. Tipton, S. Karnis, C. Dona, E. Petrovskis, L.P. Bull, D. Taeye & C. Hook, 2011. Framework for Integrating Sustainability Into Remediation Projects. Remediation, summer 2011: 7-38.

Häkkinen, J., M. Immonen, V. Junntila, M. Leppänen & O. Pyy, 2022. Sedimenttien pilaantuneisuuden ja puhdistamistarpeen arviointi ja sääntely. Kansainvälisiä käytäntöjä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 26 | 2022. 126 s.

Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC), 2014. Contaminated sediments remediation: Remedy selection for contaminated sediments. ITRC CS-2. Interstate Technology & Regulatory Council, Contaminated Sediments Team, Washington, DC. Available from https://projects.itrcweb.org/contseds_remedy-selection/

ISO 18504:2017, 2023. Soil quality – Sustainable remediation.

Isokauppila, V., 2022. Maalle nousevat ruoppausmassat Helsingissä. Esitys. Ajankohtaista sedimenttien ruoppauksesta ja läjityksestä -kokous 3.5.2022.

Itkonen, A., 2004. Pilaantuneen sedimentin kunnostus – ruoppaus ja sen vaihtoehdot. Ympäristö ja terveys 2-3/2004: 90-94.

Itkonen, A., 2022. Ruoppausmassojen hallinta Suomessa. Esitys. CircVol2-webinaari 26.4.2022.

Jaakkonen, S. 2011. Sisävesien pilaantuneet sedimentit. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2011. 49 s.

Jansson, S., L. Gottby & G. Robinson, 2021. Varför riskerar sedimentprojekt att stanna av? SGU Rapport 2021:24.

Jensen, J., H. Sanderson, M.M. Larsen, L. Sander Johansson & H. Kallestrup, 2019. Assessment of hazardous substances in Danish sediment and biota according to Norwegian, Swedish and Dutch quality standards. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 38 pp. Technical Report No. 146. 38 p.

Jersak, J., G. Göransson, Y. Ohlsson, L. Larsson, P. Flyhammar, P. Lindh, 2016. In-situ capping of contaminated sediments. Contaminated sediments in Sweden: A preliminary review. SGI Publication 30-2E. 15 p.

Jylhä, H., K. Alhola, R. Antikainen ja O. Pyy, 2021. Kestävät ja innovatiiviset julkiset hankinnat pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksessa. KEINO-osaamiskeskuksen PIMA-kehittäjäryhmän toiminta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30 / 2021. 42 s.

Kaskela, A.M. & A.T. Kotilainen, 2018. Seabed geodiversity in a glaciated shelf area, the Baltic Sea. *Geomorphology* 295 (2017): 419–435.

Kestävän kunnostamisen käytännöt -kokeiluhanke, 2021. Yhteiskehittämissyhmän digityöpaja. Julkaisematon yhteenveto.

Laamanen, M., Suomela, J., Ekeboom, J., Korpinen, S., Paavilainen, P., Lahtinen, T., Nieminen, S. ja Hernberg, A. (toim.), 2021. Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma vuosille 2022–2027. Ympäristöministeriö. Helsinki. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:30. 403 s.

Laitinen, J. (toim.), V. Kilponen, A. Kettunen, O. Virta, E. Pöyry, J. Tengvall, A. Nousiainen ja A. Itkonen, 2022. Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt. Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Opas 5 / 2022. Verkkojulkaisu. 67 s.

Lindfors, A. & M. Kiirikki, 2012. Arvio läjitystoiminnan aiheuttamasta veden saamenemisestä uusien läjitys-paikkojen ympäristössä. Päivitetty versio lisäalueilla 13 ja 15. Helsingin Satama. Luode Consulting Oy, 14.8.2012.

Magar, V.S., D.B. Chadwick, T.S. Bridges, P.C. Fuchsman, J.M. Conder, T.J. Dekker, J.A. Steevens, K.E. Gus-tavson & M.A. Mills, 2009. Monitored Natural Recovery at Contaminated Sediment Sites. Technical Guide. ESTCP Project ER-0622.

Martinmäki, K., M. Marttunen, T. Ulvi, M. Visuri, M. Dufva, I. Sammalkorpi, H. Ahtiainen, E. Lemmelä, H. Auvinen, M. Partanen-Hertell, A. Lehto, T. Väisänen, J. Mustajoki ja R. Ihme, 2010. Uusia menetelmiä järven kunnostushankkeen suunnitteluun. Suomen ympäristö 19/2010. 54 s. 2010. Suomen ympäristö 19/2010. 54 s.

Miljødirektoratet, 2015. Veileder for håndtering av sediment – revidert 25.mai 2018. Veileder M-350 / 2015.

Miljødirektoratet, 2016. Oppsummering av erfaring med tildekking av forurenset sjøbunn. Miljødirektoratet. Rapport M-502 / 2016. 64 s.

Miljødirektoratet, 2023. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/Forurenset-sjobunn>

Miljøministeriet, 2005. Vejledning om dumping af optaget havbundsmateriale –klapning. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 8:2005. 31 p.

Moore, S., R. Sirabian, 2018. SiteWise™ Version 3.2 User Guide. NAVFAC Engineering and Expeditionary Warfare Center. UG-0000-ENV. 95 p.

Nathanail, J., P. Bardos ja P. Nathanail, 2007. Contaminated land management - ready reference. EPP Publications. Land Quality Press.

Nihtilä, M., 2016. Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinnan kestävyysarviointi ja siihen käytettävät menetelmät. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Kemian tekniikan korkeakoulu, Kemian tekniikan koulutusohjelma 88 s.

Norwegian environmental agency, 2018. Risk assessment of contaminated sediments. Guidelines. Guidance notes M-1132 / 2018.

Paalasmaa, T., 2018. Ruoppaus sedimenttien käyttö maa- ja infrarakentamisessa. Opin näytetyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Energia- ja ympäristötekniikka. 101 s.

Patmont, C., P. LaRosa, R. Narayanan & C. Forrest, 2018. Environmental dredging residual generation and management. Integrated Environmental Assessment and Management — Volume 14, Number 3—pp. 335–343.

Pequegnat, W.E., B.J. Gallaway, & T.D. Wright, 1990. Revised procedural guide for designation surveys of ocean dredged material disposal sites. Technical Report D-90-8, Dredging Operations Technical Support Program, Waterways Experiment Station, U.S. Army, Corps of Engineers, Vicksburg, MS, 262 pp.

Reinikainen, J., 2022. Kestävä kunnostus – standardit ja ohjeet. Esitys. KEMKO-koulutus: Kestävyys PIMA-riskihallinnassa 15.-16.6.2022.

Reis, E., A. Lodolo & S. Miertus, 2007. Survey of sediment remediation technologies. International Centre for Science and High Technology. 124 p. Reis et al., 2007

Riipi, T., 1997. Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutuksien perusteella. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Tiedotteita 1853. 66 s.

Saarela, S.-R., T. Turunen, U. Saastamoinen, A. Raunio, P. Ahlroth, S. Korpinen, T. Hjerpe ja K., Kostamo, 2020. Luonnon monimuotoisuuden ja vesien- ja merenhoidon tavoitteiden edistäminen maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28 | 2020. 31 s.

Salo, S., M. Verta, & K. Kalevi, K. 1997. Suomen saastuneiden sedimenttien kartoitus. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Moniste. 8 s. + 4 liitettä. Julkaisematon Salo et al.,

1997. Suomen saastuneiden sedimenttien kartoitus. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Moniste. 8 s. + 4 liitettä. Julkaisematon.
- Scheffler, A., T. Roth & W. Ahlf, 2014. Sustainable decision making under uncertainty: a case study in dredged material management. *Environmental Sciences Europe* 2014 26:7.
- SedNet, 2014. Moving Sediment Management Forward. The Four SedNet Messages. <https://sednet.org/download/Moving-Sediment-Management-Forward.pdf>
- Severin, M. (editor), S. Josefsson, P. Nilsson, Y. Ohlson & A.-S. Wernersson, 2018. Förorenade sediment – behov och färdplan för en renare vattenmiljö. SGU-rapport 2018:21 Diarie-nr: 39-2211/2018.
- SGU, 2022. Erfarenhetsåterföring från projekt med förorenade sediment. Konsultrapport 02, Sveriges geologiska undersökning.
- Side, R.C., W.H. Benson, et al., 2013. Broader perspective on ecosystem sustainability: Consequences for decision making. *PNAS* 110 (23): 9201-08.
- Sitowise Oy, 2018. Turun seudun sedimenttien maaläijitysalueselvityksen loppuraportti. A. Itkonen, S. Oksman & S. Vaalgamaa. Meyer Turku Oy, Naantalin kaupunki, Naantalin Satama Oy, Neste Oyj, Puolustusvoimat, Raisio kaupunki, Turun kaupunki, Turun korjaustelakka Oy, Turun Satama Oy & Varsinais-Suomen ELY-keskus 31.5.2018. YKK62626. Versio A1. 42 s.
- Sitowise Oy, 2020. Suonenjoen kaupungissa sijaitsevan Onkilammen vanhan haulikkoradan lisätutkimukset vuonna 2020. Riskienhallintaraportti. A. Itkonen, O. Hyttinen & M. Vesterinen. Pirkanmaan ELY-keskus ja Suonenjoen kaupunki. 31.12.2020. YKK65177. 37 s.
- Sorvari, J. 2010. Application of risk assessment and multi-criteria analysis in contaminated land management in Finland. Väitöskirja. Oulun yliopisto ja Thule instituutti, tekninen tiedekunta, Oulu. 72 s. + liitteet. ISBN 978-952-92-8210-4. Tiivistelmä sarjassa Monographs of the Boreal Environment Research no. 37. 72 s. ISBN 978-952-11-3801-0 (PDF). ISBN 978-952-11-3800-3 (painos). Saatavilla: www.ymparisto.fi/syke/julkaisut > Boreal Environment Research.
- Suomen merenhoitosuunnitelma, 2023. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/meri/Merenhoito>
- SuRF UK, 2020a. Supplementary Report 1 of the SuRF-UK Framework: A General Approach to Sustainability Assessment for Use in Achieving Sustainable Remediation. (CL:AIRE).
- SuRF UK, 2020b. Supplementary Report 2 of the SuRF-UK Framework: Selection of Indicators/Criteria for Use in Sustainability Assessment for Achieving Sustainable Remediation. (CL:AIRE).
- Svensson, N., A. Norén, O. Modin, K. Karlfeldt Fedje, S. Rauch, A.-M. Strömvall & Y. Andersson-Sköld, 2022. Integrated cost and environmental impact assessment of management options for dredged sediment. *Waste Management* 138: 30–40.

- Swedish EPA, 2021. Compendium remediation of contaminated sites in Sweden. Version 1. 79 p.
- U.S. EPA, 2002. Principles for Managing Contaminated Sediment Risks at Hazardous Waste Sites. OSWER Directive 9285.6-08. 12 p. U.S. EPA 2002
- U.S. EPA, 2005. Contaminated sediment remediation guidance for hazardous waste sites. United States Environmental Protection Agency EPA-540-R-05-012. Office of Solid Waste and Emergency Response OSWER 9355.0-85. U.S. EPA 2005
- UNESCO, 2019. Outline of the Sediment Management Plan for the Sava River Basin Doc. No: 1R-59-O-22-2/2-2.
- USACE, 1986. Guide to selecting a dredge for minimizing resuspension of sediment. Environmental effects of dredging, Technical notes. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, U.S.A.
- Vahanne, P. & E. Vestola (toim.), 2007. Organotinapitoisten sedimenttien ruoppaus ja käsittely. Menettelytapaohje. VTT Tiedotteita 2371. 76 s. Vahanne & Vestola, 2007
- Vahanne, P., E. Vestola, U.-M. Mroueh, M. Wahlström, J. Laine-Ylijoki, T. Kaartinen, P. Eskola, M. Arnold, H. Huhta, J. Sassi, T. Marjamäki, K. Holm, V. Nikulainen, M. Mäenpää & A. Kultamaa, 2007. Organotinayhdisteiden ympäristövaikutukset ja niiden hallinta, TBT-BATman. Taustaraportti. VTT-R-00504-07. 206 s.
- Valtioneuvosto, 2017. Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista. YM/2017/81.
- Vattenmyndigheten, 2018. Muddring och hantering av muddermassor. Göteborg, Havs- och vattenmyndigheten. 2018 19. 143 p.
- VELMU-karttapalvelu, 2023. <https://paikkatieto.ymparisto.fi/velmu/>
- Vesikartta, 2023. https://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikarttaviewers/Html5Viewer_4_14_2/Index.html?configBase=https://paikkatieto.ymparisto.fi/Geocortex/Essentials/REST/sites/VesikarttaKansa/viewers/VesikarttaHTML525/virtualdirectory/Resources/Config/Default&locale=fi-FI
- Vesistökuunnostajan karttapalvelu, 2023. <https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=3a9031b0547d43a1b7265d95351abd21>
- VTT, 2007. Organotinayhdisteillä pilaantuneiden sedimenttien ympäristövaikutukset ja niiden hallinta (TBT BATman). Taustaraportti. VTTR0050407 30.3.2007.
- Ympäristöministeriö, 2014. Pilaantuneiden maa-alueen riskinarviointi ja kestävä kunnostaminen. Ympäristöministeriö, Helsinki. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. 235 s. ISBN 978-952-11-4327-4.
- Ympäristöministeriö, 2015. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2015. 72 s.