

**VESISTÖTÄYTÖT**  
**JA MUOVIT**  
**BENCHMARKKAUS-**  
**SELVITYS**

9/2022

MUOVITIEKARTTA SUOMELLE

## SISÄLTÖ

<b>Tiivistelmä</b>	<b>3</b>
<b>1. Työn tausta ja tavoite</b>	<b>5</b>
<b>2. Louhinta</b>	<b>6</b>
2.1 Louhintamenetelmät	7
2.2 Sytytysjärjestelmät	13
2.3 Louhinnan vaikutukset vesistöjen roskaantumiseen	22
2.4 Räjähdeaineiden ympäristövaikutukset ja kehitys	25
<b>3. Menetelmät muovien poistamiseksi</b>	<b>26</b>
3.1 Käytössä olevat menetelmät Suomessa ja pohjoismaissa	26
3.2 Menetelmien esittely	26
3.3 Muovien poistamiseen liittyvät haasteet	30
<b>4. Hankinta: Vesistöäyttäjien suunnittelu ja urakan valmistelu</b>	<b>31</b>
4.1 Yleinen ohjeistus vesistöäyttäjien hankintaan sekä Helsingin Kruunusiltojen meritäytön benchmarkkaus	31
4.2 Asiantuntijahaastatteluihin ja kirjallisuudessa esiin nousseet asiat hankintaan liittyen	34
<b>5. Kokemukset Helsingistä</b>	<b>36</b>
5.1 Jätkäsaari Saukonlaiturin ja Melkinlaiturin asemakaava-alueiden meritäytöt	36
5.2 Jätkäsaari Sataman uuden terminaalin meritäyttöalue	36
5.3 Kruunuvuoren rannan Koirasaaren meritäyttöalue	36
<b>6. Johtopäätökset</b>	<b>38</b>
<b>7. Lähteet</b>	<b>41</b>

## LIITTEET

Liite 1. Haastatteluiden yhteenveto, Ramboll, 22.4.2022

Päivämäärä **22.4.2022**  
Laatija **Tero Iikkanen, Taavi Dettenborn, Kaj Karlsson,  
Tommy Nyman, Suvi Ollikainen, Aino Ropponen**

## TIIVISTELMÄ

Tämä selvitys on tehty Helsingin kaupungin, Suomen ympäristöministeriön ja Infra ry:n toimeksiannosta. Työn taustalla on louheen käyttö vesistötäyttöissä: meriin sijoitetun louheen sekaan on huomattu sekoittuneen louhinnan pienmuovijätettä, joka kelluu ja kerääntyy merellä sekä rantalinjalla jätekasoiksi ja siten aiheuttaa roskaantumista ja viihtyisyyden heikkenemistä. Selvityksen tavoitteena on ollut luoda yleiskatsaus louhintamenetelmiin ja sytytysjärjestelmiin sekä louhinnassa syntyvän muovijätteen nykytilanteeseen. Selvityksessä on myös koottu tietoa käytössä olevista menetelmistä muovien poistamiseksi louheesta. Lisäksi työn tavoitteena on ollut selvittää, miten muoviroskien päätyminen vesistöihin voitaisiin ottaa huomioon vesistötäyttöjen suunnittelussa sekä urakan valmisteluprosessista. Selvitykseen on koottu kokemuksia Helsingissä tehdyistä meritäytöistä. Työtä varten on haastateltu alan toimijoita. Lisäksi selvitystä varten on myös koottu laajasti alaan liittyvää kirjallisuutta erityisesti pohjoismaista.

Louhintamenetelmistä selvityksessä on esitelty tunnelilouhinta, avolouhinta ja vedenalainen louhinta. Lisäksi lyhyesti on esitelty räjähteetön louhinta, joka ei kuitenkaan selvityksen perusteella sovellu vesistötäyttöihin. Louhinnassa muovijätteen syntymiseen voidaan vaikuttaa lähinnä panostamisen ja kytkennän työvaiheen materiaalivalinnoilla, mikä puolestaan vaikuttaa kentän suunnitteluun ja panosreikien poraamiseen. Tunnelilouhinta on kaikista ongelmallisinta roskaantumisen kannalta, sillä siinä joudutaan käyttämään selvästi eniten impulssiletkuja louhekuutiota kohden. Myös tunnelilouhinnassa lujitukseen käytettävä ruiskubetoni on ongelmallista sen sisältämien polymeerikuitujen takia. Louhinnasta vesistöihin päätyvää muovijätettä saataisiinkin pienennettyä selvästi käyttämällä tunnelilouheen sijasta avolouhintalouhetta tai vedenalaisen louhinnan louhetta. Karkean arvion mukaan vesistöön päätyvän muovijätteen määrä pienenee noin kymmenekseen siirryttäessä tunnelilouheesta avolouheeseen. Vedenalaisen louhinnan louhetta käyttämällä muoviroskasta voisi olla mahdollista päästä kokonaan eroon.

Sytytysjärjestelmät ovat olennainen osa muovijätteen vähentämistä vesistötäyttöissä. Tässä selvityksessä on esitelty Suomessa yhä pääosin käytössä olevat impulssisytytysjärjestelmät, viime vuosikymmenellä yleistyneet elektroniset sytytysjärjestelmät sekä uusinta teknologiaa edustavat langattomat sytytysjärjestelmät. Impulssisytytysjärjestelmät ovat kaikista ongelmallisimpia roskaantumisen näkökulmasta. Elektronisilla sytytysjärjestelmillä muovin määrää saisi vähennettyä ja langattomien sytytysjärjestelmien myötä muovijätteestä on mahdollista päästä tulevaisuudessa täysin eroon. Impulssisytytysjärjestelmien halpa hinta ja tunnettavuus kuitenkin houkuttelevat yrityksiä yhä käyttämään niitä. Sekä elektronisissa että langattomissa järjestelmissä ongelmana on urakoitsijoiden näkökulmasta niiden korkeampi hinta sekä tietyt käyttöönottoon liittyvät haasteet.

Menetelmistä muovien poistamiseksi louheesta tässä selvityksessä on esitelty muovien poisto käsin, magneettierotin, täyttö penkereen sisäpuolelle, suojaverhon käyttö, muovin kelluttaminen sekä louheen lajitteleva varastointi ja esikäsitteily. Menetelmistä kokonaisuutena toimivin on täyttö penkereen sisäpuolelle, sillä se estää tehokkaasti panoslankojen ja muiden kelluvien jättejakeiden pääsyn vesistöön. Kyseessä on myös halpa menetelmä. Toinen hyväksi havaittu ja laajasti tunnettu menetelmä on suojaverhon käyttö. Suojaverho saattaa kuitenkin tietyissä tapauksissa hajota luonnonolosuhteiden, kuten veden virtausten, jään tai aaltojen, takia ja täten sen käyttöä tulee harkita tapauskohtaisesti.

Vesistötäyttöjen suunnittelua ja hankintaa koskevaan lukuun on koostettu yleinen ohjeistus vesistötäyttöjen toteutusta varten. Yleisesti vesistötäytöt tulee suunnitella siten, että muoviroskaa syntyy mahdollisimman vähän. Täytöissä käytettävän louheen tulee olla mahdollisimman vähäroskaista. Täten täytöissä on suositeltavaa käyttää tunnelilouheen sijaan vähäroskaisempaa louhetta, kuten avolouhinnan tai vedenalaisen louhinnan louhetta. Louheen lajitteleva varastointi ja eri jakeiden suunnitelmallinen käyttö ovat hyödyllisiä työkaluja roskien leviämisen estämiseksi. Muovien hallinta menetelmistä suositellaan reunapenkereen rakentamista ja suojaverhon käyttöä niissä tapauksissa kuin se on mahdollista. Lisäksi

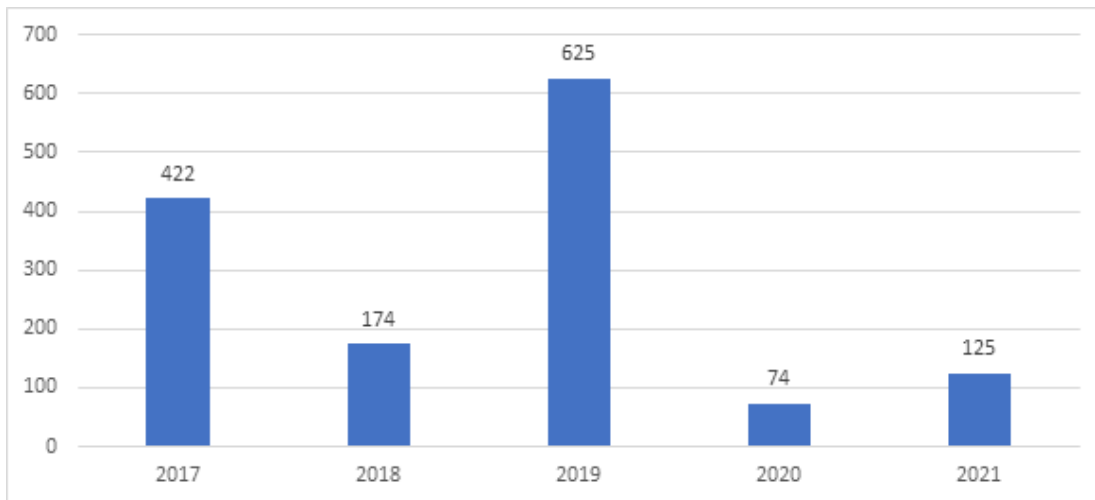
urakoitsijoiden tulee ohjeistuksen mukaan kerätä roskia täyttöjen yhteydessä. Kerätyt roskat olisi myös hyvä dokumentoida.

Alan toimijat ovat tunnistaneet muovijätteestä ympäristölle aiheutuvan ongelman ja ratkaisun löytämiselle on yhteinen tahtotila. Selvityksen perusteella tehokkaita toimia muovin hallinnalle olisivat tilaajien ja/tai viranomaisten suunnalta tulevat vaatimukset tiettyjen muovinhallintamenetelmien käytölle.

# 1. TYÖN TAUSTA JA TAVOITE

Louhinnassa syntyvää louhetta käytetään nykyään usein vesistötäyttöihin. Esimerkiksi Helsingissä on tehty viime vuosina meritäyttöjä mm. Jätkäsaarella, Hernesaarella, Kruunuvuorenrannassa sekä Kalasatamassa. Louhe soveltuu murskattuna rakentamiseen ja yleistäyttöihin sekä usein sellaisenaan merialueiden täyttöihin. Meriin sijoitetun louheen sekaan on kuitenkin huomattu sekoittuneen louhinnan pienmuovijätettä, joka kelluu ja kerääntyy merellä ja rantalinjalla jätekasoiksi. Muovin haitalliset vaikutukset liittyvät sen aiheuttamaan roskaantumiseen ja erityisesti merialueen sekä ranta-alueiden viihtyisyyden heikkenemiseen. Muovista ei aiheudu merkittäviä ympäristövaikutuksia esimerkiksi haitallisten aineiden liukenemisen tai ravinnekuormituksen seurauksena, mutta roskat voivat vesistöissä liikkua jauhautua pienemmiksi mikromuovipartikkeleiksi, jotka voivat helpommin alkaa kertyä ravintoketjussa. Louheen mukana vesistöihin päätyvästä muovijätteestä näkyvin ja tunnistettavin osuus on louhinnassa käytettävien impulssisytytys-järjestelmien muoviletkut ja muut muoviosat.

Helsingissä on tehty rantaroskien keruuta ja dokumentointia Pihlajasaaren, Pitkäourin, Harakan, Teerisaaren ja Mustikkamaan rannoilla. Vuosina 2017–2021 noin 28 prosenttia kaikista näille rannoille päätyneestä muovijätteestä oli räjäytyslankoja tai panosputkia. Räjäytyslangat ja panosputket päätyvät mereen pääasiassa meritäyttöjen seurauksena. Aivan viime vuosina räjäytyslangan ja panosputkien määrissä on ollut nähtävillä suotuisaa kehitystä, sillä määrät ovat vähentyneet vuoden 2019 jälkeen (kuva 1). Huomattava osuus, noin 72 prosenttia kaikista kerätyistä räjäytyslangoista ja panosputkista, on löytynyt Pihlajasaaresta. Pihlajasaari sijaitsee välittömästi Hernesaaren-Jätkäsaaren eteläpuolella, joten on oletettavaa, että Pihlajasaaren räjäytyslangat ja panosputket ovat peräisin sieltä.



Kuva 1: Räjäytyslankojen ja panosputkien yhteenlasketut määrät vuosina 2017–2021 Helsingin rannoilla. Määrissä on huomioitu Pihlajasaaresta, Pitkäourista, Harakasta ja Mustikkamaalta kerätyt roskat (Helsingin kaupunki).

Erytisesti tunnelilouhinnassa tiedetään syntyvän paljon muoviroskaa. Pohjoismaiden ministerineuvosto on vuonna 2020 julkaissut raportin, joka käsittelee louhinnasta peräisin olevaa muoviroskaa meressä. Raportin mukaan Norjassa louhitaan tunnelia noin 60 km vuodessa. Tämä 60 km louhittua tunnelia tuottaa raportissa esitettyjen laskelmien mukaan 70 000 kg muoviroskaa. Arvio perustuu olettamukseen, että tunnelilouhinnassa käytetään impulssiletkuja, joissa on sytytin. Samassa raportissa arvioidaan, että tunneleissa käytettävästä ruiskubetonista syntyy vastaavalta 60 km matkalta 43 000 kg muovikuitujätettä (yhteensä 60 km matkalla käytetään 432 000 kg muovikuitua, josta 10 % arvioidaan päätyvän tunnelin pohjalle ruiskutustyön yhteydessä, josta edelleen ympäristöön).

Tämän selvityksen tavoitteena on luoda yleiskatsaus louhintamenetelmiin ja louhinnassa syntyvän muovijätteen nykytilanteeseen. Louhintatyypeistä esitellään erikseen tunnelilouhinta, avolouhinta ja vedenalainen louhinta. Pääpaino louhinnan esittelyssä on kuitenkin tunnelilouhinnassa, sillä siinä on eniten työvaiheita ja tunnelilouheen seassa on eniten mm. vesistöjen roskaantumista aiheuttavaa muoviroskaa. Selvityksessä tehdään myös vertailua eri louhintatyyppien vaikutuksista vesistöjen roskaantumiseen sekä esitellään ja vertaillaan eri louhinnan syytysjärjestelmiä niin ikään vesistöjen roskaantumisen näkökulmasta. Selvityksessä myös kootaan käytössä olevia menetelmiä muovien poistamiseksi louheesta. Lisäksi selvityksen tavoitteena on koota tietoa, miten muoviroskien päätyminen vesistöihin voitaisiin ottaa huomioon vesistöäytöjen suunnittelussa sekä urakan valmisteluprosessista.

Selvitys perustuu asiantuntijahaastatteluihin sekä kirjallisuuskatsaukseen. Työssä on haastateltu asiantuntijoita 17 eri organisaatiosta (liite 1). Haastatelluista noin puolet työskentelevät louhintaa ja/tai vesistöäytöjä tekevissä yrityksissä. Näiden lisäksi haastateltujen asiantuntijoiden joukossa on ympäristöviranomaisia, räjähdevalmistaja Forcit, norjalainen tutkimuskeskus Sintef sekä Rambollin asiantuntija Norjasta (liite 1).

Selvitys on laadittu Ramboll Finland Oy:ssä. Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet seuraavat henkilöt:

Jon Willberg	Blamec
Olli Korhonen	Destia
Janne Järvinen	Forcit
Mikko Suominen	Helsingin kaupunki
Susanna Hantula	Helsingin kaupunki
Kati Kaskiala	Infra ry
Ari Mantila	Rakennusteollisuus
Juha Laurila	Rakennusteollisuus
Mika Sarkasuo	Rudus
Heikki Pöyhönen	SRV
Janne Paajanen	SRV
Päivi Piispa	Ympäristöministeriö
Kati Trebs	Ympäristöministeriö

Selvityksessä käytetään erityisinä benchmarkkauskohteina Helsingin meritäyttökohteita Jätkäsaarella sekä Kruunuvuorenrannassa. Luvussa 5 on esitelty tiivistetysti mitä kolmessa eri Helsingin meritäyttökohteessa on tehty ja millaisia kokemuksia niissä on saatu muoviroskiin ja niiden hallintaan liittyen. Helsingin kokemuksia on hyödynnetty myös vesistöäytöjen suunnittelua ja urakan valmistelua käsittelevässä luvussa (luku 4).

## 2. LOUHINTA

Suomessa vesistöäytöissä käytetty louhe on pääasiassa peräisin avo-, tunneli tai vedenalaisesta louhinnasta. Viime vuosina on jonkin verran alkanut yleistymään myös vedenalainen louhinta, jota tehdään tyyppillisesti merellä. Tässä raportissa keskitytään näihin louhintamenetelmiin. Louhinta on aina kohdekohtaista ja poikkeaa jonkin verran vertaillaessa avo-, tunneli- tai vedenalaista louhintaa toisiinsa. Louhintatyössä toistuvat kuitenkin aina melko samankaltaiset prosessit hieman kohteeseen suhteutettuna. Luvussa 2.1 esitellään tunneli-, avo- ja vedenalaisen louhinnan tyyppillinen työprosessi. Tunnelilouhinnassa on eniten työvaiheita ja se aiheuttaa eniten muoviroskaa. Tästä syystä se esitellään kaikista tarkimmin.

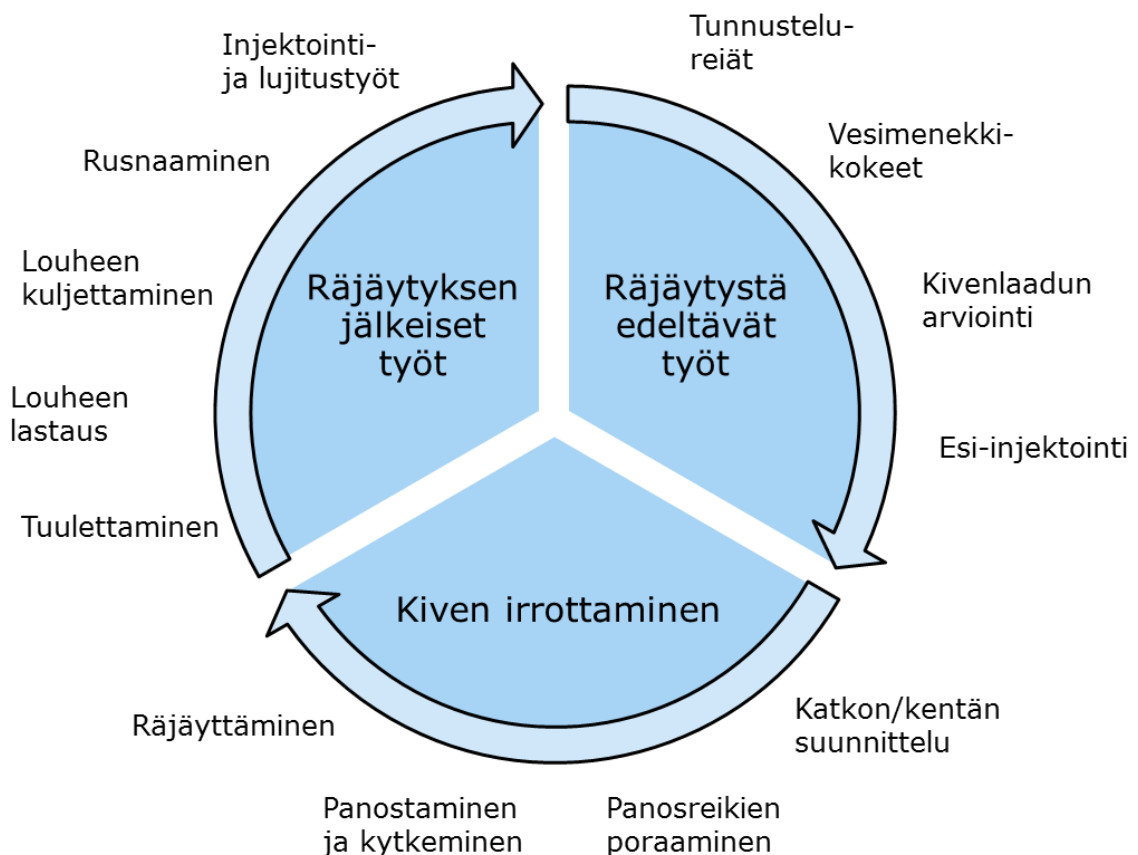
Suomessa louhitaan kovasta kallioperästä johtuen pääasiassa räjäyttämällä ("Drill and Blast method"), joten viittaamme tässä raportissa yleisesti louhinnalla räjäyttämällä tehtävään louhintaan. Tämän lisäksi luvussa 2.1.4 esitellään lyhyesti myös räjähteetöntä louhinta.

Suomessa louhinnassa käytetään yhä tyypillisesti impulssisytytysjärjestelmiä. Näiden lisäksi käytössä on uudempia elektronisia sytytysjärjestelmiä sekä langattomia sytytysjärjestelmiä. Sytytysjärjestelmät esitellään luvussa 2.2 Lukuun 2.3 on koottu eri louhintamenetelmien ja sytytysjärjestelmien ominaisuuksia vesistöjen roskaantumisen näkökulmasta. Luvussa 2.4 puolestaan esitellään mitä ympäristövaikutuksia louhinnassa käytettävillä räjähdaineilla on.

## 2.1 Louhintamenetelmät

### 2.1.1 Tunnelilouhinta

Tyypillinen tunnelilouhinnan prosessi koostuu yksinkertaistetusti kiven irrottamista (räjäytystä) edeltävistä tunnelitöistä, kiven irrottamisesta ja sen jälkeisistä tunnelitöistä. Edeltäviin töihin lukeutuvat mahdolliset tunnustelureiät, vesimenekki-kokeet, kivenlaadun arviointi ja mahdollinen esi-injektointi (kuva 2). Kiveä irrottavaan työvaiheeseen kuuluvat katkon tai kentän suunnittelu, panosreikien poraaminen ja panostaminen, sytytysjärjestelmän kytkeminen ja katkon/kentän räjäyttäminen. Räjäytyksen jälkeen vielä tuuletetaan, lastataan louhe ja kuljetetaan se pois, rusnataan ja tehdään lujitus- sekä injektointityöt. Prosessin kierto voi alkaa alusta loppuprosessin kanssa päällekkäin heti, kun tilan käyttö ja turvallinen työskentely sen sallivat. Lujitus- ja injektointityöt (esi-injektointi mukaan laskien) ovat tyypillisesti prosessin hitain vaihe ja voivat maksaa jopa enemmän kuin muut tunnelityöskentelyn vaiheet yhteensä.



Kuva 2: Yksinkertaistettu tunnelilouhinnan työkierto.

Tunnelilouhinnassa räjäytetään tyypillisesti useita katkoja päivässä. Katkolla tarkoitetaan kalliosta kerralla irrotettavaa osaa. Louhintaprosessin kustannustehokkuuden eli louhintaprosessin nopean läpikierron ja hyvän louhintajäljen kannalta tulee ainakin seuraaviin asioihin kiinnittää huomiota:

- Kaikkien panostettujen reikien tulee räjähtää kokonaan. Räjähtämättömät ja louheen sekaan jääneet räjähteet aiheuttavat vaaratilanteita lastatessa, murskaimella tai uudelleen panostettaessa etenkin, jos räjähtämätöntä osaa katkosta ei ole huomattu heti räjähdysen jälkeen.
- Toteutuneen louhintaprofiilin tulee olla mahdollisimman lähellä teoreettista ja suunniteltua tavoitetta.
- Ryöstöjen, ylilouhinnan ja rakoilun tulee olla mahdollisimman pientä. Ryöstöt tarkoittavat tahatonta louhinnan paikallista riistäytymistä räjäytystilanteessa esimerkiksi väärin tulkitun kallion heikkousvyöhykkeen takia, jolloin kallio pirstaloituu huomattavasti aiottua louhintaprofiilia laajemmin.
- Louheen tulee olla heti lastattavissa ja sen lastaamisen ja murskaamisen tulee kuluttaa laitteistoa ja energiaa mahdollisimman vähän. Louheen tulee siis olla tasalaatuista ja sopivaa lohkekokoja. Lisäksi sen tulee olla siirtynyt ulospäin räjäytetyistä seinästä riittävästi, jotta sen lastaaminen on helppoa. Tasainen louhintapohja edesauttaa etenkin ”viimeisten” louhekivien lastaamista. Kaivinkoneelle sopivat korkeat ja tiiviit kasat, ja pyöräkuormaaja on tehokkaampi matalampien ja laajojen louhekasojen lastaamisessa. Irronneen kiven lohkaroitumiseen, siirtymiseen ja kasan kokoon voidaan vaikuttaa räjähdysainemäärällä ja panosten välisillä hidasteajoilla.
- Komujen ja ylisuurten lohkeiden määrän tulee olla mahdollisimman pieni. Komut ovat kallioseinämään osittain kiinni jääneitä lohkeita, jotka aiheuttavat tippuessaan vaaratilanteita ja hidastavat louhintaprosessia ylimääräisten lujitustöiden takia. Ylisuuret lohkeet taas hidastavat lastausta ja murskausta ja voivat huonoimmassa tapauksessa olla lohkaroitavissa pienemmiksi vain uudestaan räjäyttämällä.

Louhe on tyypillisesti erikokoista ja epäsäännöllisesti lohkaroitunutta, joten sen laadukkaan käytön takaamiseksi se tulee tyypillisesti murskata ennen käyttöä. Kaupungeissa murskaimet eivät sijaitse työmaalla vaan kauempana asutuksesta, sillä työmailla ei ole tilaa murskaamiselle ja lisäksi kiven murskaaminen aiheuttaa melua ja pölyä ympäristöönsä. Louhe joudutaan siis kuljettamaan työmaalta murskaimelle, jossa se jalostetaan käyttökelpoiseksi kiviainekseksi. Louheen käyttökohteesta riippuen ei kaikissa tapauksissa tosin tarvita murskausta.

Louheen kuljettaminen ja murskaus vievät aikaa ja energiaa, jotka lisäävät lopputuotteen kustannuksia. Louheen ja murskatun kiviaineksen kuljetusmatkat pyritään siksi pitämään mahdollisimman lyhyinä ja murskattu kiviaines käyttämään heti murskauksen jälkeen, jottei sitä tarvitsisi väliavarastoida murskausalueelle tai erilliselle alueelle lisäten yhden työvaiheen louheen hyödyntämiselle. Käytännössä kuitenkin suurilla murskaamoilla on aina omia vähintäänkin lyhytaikaisia väliavarastointialueita, joiden avulla murskatun kiviaineksen eri lajit voidaan erotella. Työvaiheita vähentääkseen voidaan murskain sijoittaa työmaan sijasta myös loppukäyttökohteeseen tai sen lähistölle ympäristön sen salliessa. Louheen elinkaarta on havainnollistettu kuvassa 3.



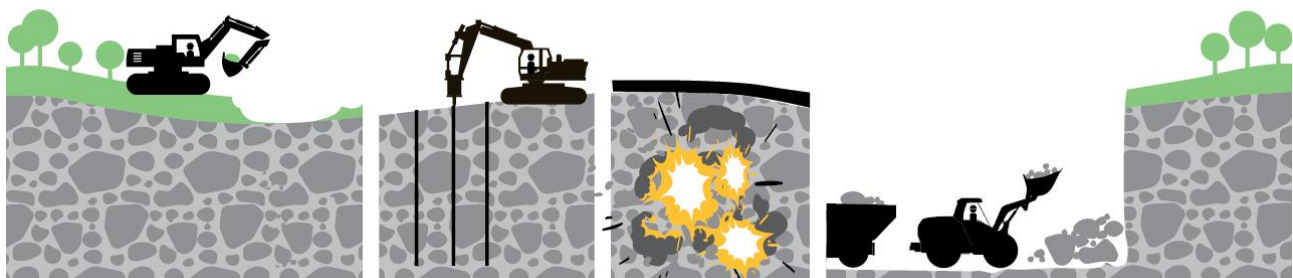


Kuva 3: Louheen yksinkertaistettu elinkaari. Louhinnan jälkeen louhe joko käytetään suoraan tai kuljetetaan murskaamolle jalostamista varten. Murskausaluetta käytetään usein louheen välivarastoalueena ennen kuljettamista lopulliseen käyttökohteeseen.

### 2.1.2 Avolouhinta

Avolouhinta on maan päällä tehtävää louhintaa, joka koostuu tunnelilouhinnan tapaan räjäytystä edeltävistä töistä, kiven irrottamisesta ja räjäytyksen jälkeisistä töistä. Yleensä räjäytystyötä edeltäviä ja seuraavia työvaiheita voidaan kuitenkin karsia, sillä avolouhinnassa kallion jännitystilat ovat pienempiä ja käyttötarkoituksen sekä työturvallisuuden määrittämä lujitustarve usein minimaalinen.

Räjäytystyön edeltäviin vaiheisiin kuuluu Väyläviraston (2022) mukaan mm. kalliopinnan puhdistus, korkeusasemien kartoittaminen, panostus ja kentän suojaus (kuva 4). Korkeusasemien kartoittamisessa kallioon merkitään louhintatasot, jotka ohjaavat kuinka syvälle panosreiät porataan, jotta päästään haluttuun kalliopinnan tasoon. Tämän jälkeen suoritetaan panostus ja kentän suojaus räjäytysmatoilla. Räjäytysuojamatot valmistetaan yleensä käytetyistä kuorma-auton renkaista ja ne estävät kivien sinkoilun. Suojamattoja käytetään aina, kun räjäytystöitä tehdään asuntojen ja teiden läheisyydessä. Räjäytyksen jälkeen syntynyt louhe lastataan ja kuljetetaan jatkokäsittelyyn.



Suunnittelu ► Kalliopinnan puhdistus ja louhintatasojen merkintä ► Panostus ja kentän suojaus kumimatolla ► Räjäytys ► Louheen kuljetus

Kuva 4: Avolouhinnan työvaiheet (Väylävirasto, 2022).

### 2.1.3 Vedenalainen louhinta

Vedenalaisella louhinnalla madalletaan kalliopinnan korkeutta meressä, järvessä tai muussa vesistöissä. Yleisimpiä käyttökohteita vedenalaiselle louhinnalle ovat haastatteluiden perusteella muun muassa vesiväylien ja satamien syventäminen, rakentaminen ja ylläpito. Vedenalainen louhinta koostuu tunneli- ja avolouhinnan tapaan räjäytystä edeltävistä töistä, kiven irrottamisesta ja räjäytyksen jälkeisistä töistä.

Haastattelujen perusteella vedenalaisen louhinnan räjäytystä edeltäviin työvaiheisiin kuuluu mm. ruoppaus, mikäli kallionpinta ei ole esillä sekä porauskaavion luonti ja porausmenetelmän valinta. Ennen ruoppausta asennetaan silttiverho veden samentumista vastaan. Erityisesti vesistöäyttökohteissa silttiverho jätetään usein paikoilleen niin kauaksi aikaa, että täytöt on tehty. Vesiväylien rakentamisen yhteydessä silttiverhon käyttö ei puolestaan ole yleinen toimenpide, koska rakennusalueet ovat niin laajoja. Ruoppaus suoritetaan yleensä kaivinkoneella rannalta, lautalta tai jään päältä. Myös imuruoppausmenetelmää voidaan käyttää, jossa sedimentit poistetaan vesistön pohjalta imemällä ja pumpaamalla massa letkua tai putkea pitkin maalle.

Ruoppauksen jälkeen panostusreiät porataan kallioon vedenalaisilla porilla tai sukeltajien avulla. Vedenalainen poraus voidaan suorittaa laivasta tai lautalta erilaisilla menetelmillä: päältä lyövällä poralla (top down hammer drilling system), DTH-porauksella (down-the-whole hammer system) ja kiertoporauksella (rotary drilling system) (IADC, 2016). Vedenalaisilla porilla pystytään myös operoimaan kalliota, joka ei ole täysin paljasta.

Louhinnassa käytetään vedenalaisiin räjäytyksiin sopivia räjäytysaineita ja nallityyppejä, kuten impulssisytytysjärjestelmää tai langatonta sytytysjärjestelmää. Sähkösytytysjärjestelmää ei puolestaan voida käyttää vedenalaisessa louhinnassa, sillä vesi ja tutkalaitteet voivat aiheuttaa häiriöitä kytkentään (Työturvallisuuskeskus, 2016). Panostus suoritetaan veden päältä laivasta tai lautalta käsin tai vedenpinnan alla.

Asiantuntijahaastattelujen mukaan vedenalaisessa louhinnassa roskaantuminen on tunneli- ja avolouhintaan verrattuna minimaalista. Panostusreikiin menee tietty määrä räjähdelankaa, joka palaa pois räjäytyksessä ja ylimääräinen kelluva räjähdelanka saadaan vedettyä poralauttaan räjäytyksen jälkeen.

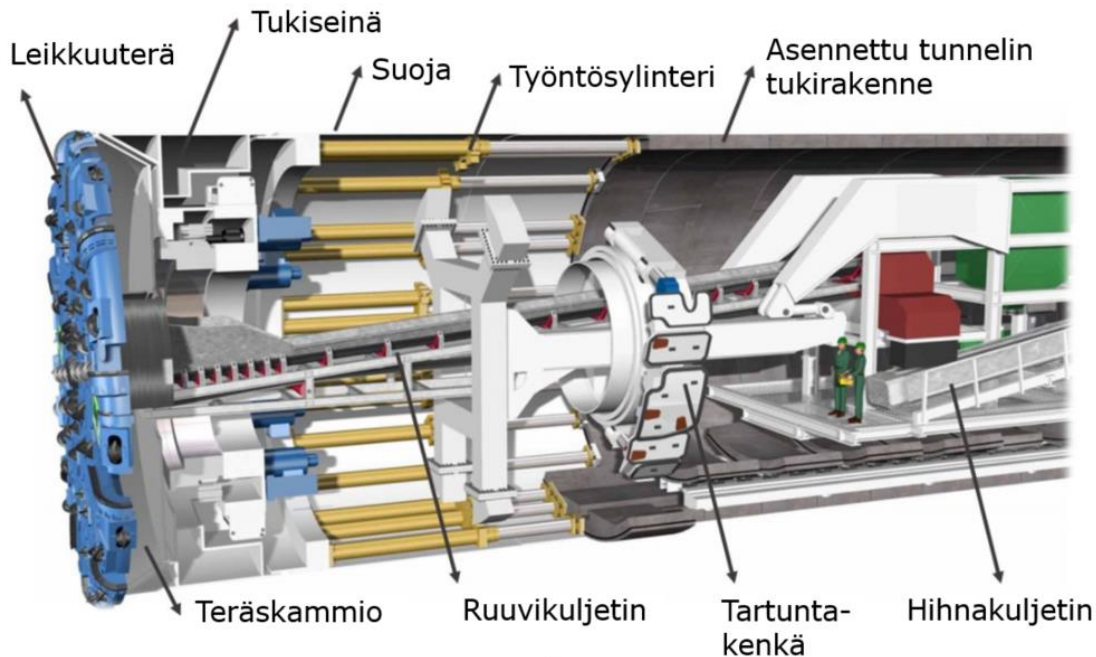
#### 2.1.4 Räjäheteen louhinta

Louhintaa voidaan suorittaa perinteisen räjäytyslouhinnan lisäksi myös ilman räjähteitä. Vaihtoehtoisia menetelmiä ovat mm. tunneliporaus, kiilaus, sahaus ja kemiallisten aineiden käyttö.

##### Tunneliporaus (TBM)

Tunnelipora, jota kutsutaan nimellä TBM (Tunnel Boring Machine) on maailmalla yleisesti käytössä oleva tunnelien rakentamismenetelmä (Päiviö, 2020). TBM-menetelmän avulla tunneleita pystytään poraamaan läpi kallio- ja maaperän häiritsemättä maanpäällisiä tapahtumia, sillä tunneliporaa varten rakennetaan vain aloitus- ja lopetuskaivannot. Muun ajan pora kulkee maan alla näkymättömissä.

Tunneliporan etuosassa on kovametalliset terät, jotka rikkovat kalliota ja irrottavat tunnelin perästä kivimurskaa (kuva 5). Poralaitteisiin on saatavilla myös pehmeälle maaperälle sopiva porapää. Irrotettu kiviaines kuljetetaan välppien ja kourujen kautta hihnakuljettimelle ja edelleen kuorma-autoihin tai kuljetusvaunuihin poistettavaksi tunnelista. Poraamisesta syntyy tasainen tunneliseinä, joka voidaan lujittaa ruiskubetonilla, valubetonilla tai elementeillä.



Kuva 5: Periaatekuva TBM-laitteistosta ja sen toiminnasta (RailSystem, 2022).

TBM-menetelmän huonona puolena haastatteluissa nousi esiin se, että siinä syntyy hienojakoista ja teräväsärmäistä louhetta, joka on heikkolaatuisempaa rakentamisen kannalta, kuin räjäytystekniikalla syntyvä louhe. Tämä louhe ei sovellu vesistöäyttöihin, sillä aaltojen aiheuttama eroosio kuluttaa hienojakoista kiviainesta tehokkaasti. Lisäksi hienojakoinen kiviaines ei syrjäydy pohjamaahan yhtä hyvin kuin suurirakeisempi louhe (Pöyry, 2019).

Pohjoismaissa räjäytyslouhinta on edelleen yleisin tunnelinrakennusmenetelmä, sillä TBM-tekniikka on koettu kalliimmaksi ja sen suunnittelutyö vaatii pidemmän ajan (Pohjoismaiden ministerineuvosto, 2020). Lisäksi TBM-tekniikan käytöstä ei ole yhtä paljon tietoa ja kokemusta, kuin räjäytyslouhinnasta. Toisaalta TBM-menetelmän etuja on, että sillä on pienempi tärinävaikutus, jonka vuoksi se aiheuta häiriötä maan päällä esimerkiksi liikenteelle. Lisäksi TBM on ympäristöystävällisempi menetelmä veden laadun sekä energian ja luonnonvarojen kulutuksen kannalta.

Suomessa on toistaiseksi käytetty vain kerran TBM-menetelmää rakennushankkeessa. Kesällä 2021 Turussa hyödynnettiin mikroluokan TBM-menetelmää pehmeään maaperään, kun puhdistettuja jätevesiä kuljettava 800 metriä pitkä ja halkaisijaltaan 2,5 metriä leveä poistoputki tunkattiin tunneliporan tekemään reikään noin kahdeksan metrin syvyyteen (kuva 6) (Päiviö, 2020). Tällä ratkaisulla vältettiin maan aukikaivuun aiheuttama häiriö kaupungille ja satamalle. Lisäksi hankkeen hiilijalanjälki saatiin huomattavasti pienemmäksi TBM-menetelmällä, kuin perinteisellä aukikaivamisella.



Kuva 6: Noin 70 tonnia painava mikroluokan TBM-tunnelipora laskettiin aloituskaivantoon Turussa 2021 (Päiviö, 2020).

## Kiilaus

Kiilaus on avolouhintaa ja se voidaan suorittaa kaivinkoneella, jossa on hydraulinen halkaisusylinteri tai käsikäyttöisellä halkaisusylinterillä (kuva 7). Kiilaustyössä kallioon porataan reikä, johon halkaisusylinterin kiilayksikkö asetetaan. Sylinteri muodostaa halkaisuvoiman ja kiila saa kiviaineksen irtoamaan murtamalla ilman tärinää tai sinkoutumaa (Al-Bakri & Hefni, 2021). Haastattelujen perusteella kiilaus on kuitenkin marginaalinen louhintamenetelmä, sillä se on kalliimpaa ja hitaampaa, kuin räjäytyslouhinta. Menetelmää käytetäänkin yleensä silloin, kun räjähteitä ei voida syystä tai toisesta käyttää, esimerkiksi tärinän, pölyn ja kivien sinkoutumavaaran vuoksi. Tällaisia kohteita ovat mm. kaupunkialueilla sekä kaapeliverkostojen ja rakennusten läheisyydessä tehtävät louhintatyöt.



Kuva 7: Kaivinkoneeseen asennettu hydraulinen halkaisusylinteri ja käsikäyttöinen halkaisusylinteri (Kivirock, 2019).

## Etanadynamiitti

Murto- tai paisuntalaasti eli etanadynamiitti on kallion louhintaan sekä kivilohkareiden ja betonirakenteiden murtamiseen käytetty kemiallinen aine. Etanadynamiitti on jauhemainen aine, joka koostuu yleensä Portlandsementistä ja reaktiivisesta aineesta, kuten kalsiumoksidista (Liska et al. 2019). Aine sijoitetaan porareikiin, ja sen teho perustuu sementtijauheen ja veden väliseen kemialliseen reaktioon, joka saa aikaan voimakkaan laajenemispaineen murtaen kallion, kivilohkareet ja betonirakenteet.

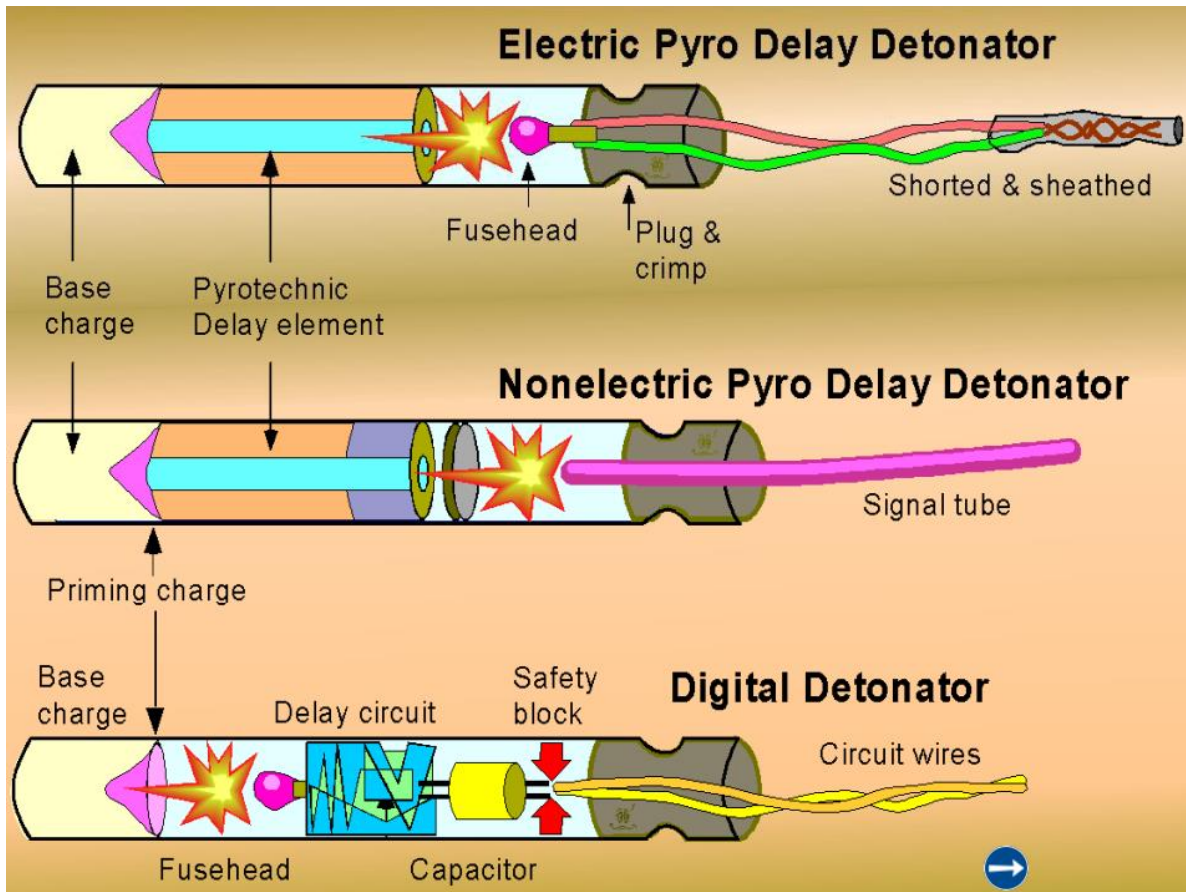
Haastateltujen mukaan etanadynamiitti on maailmalla ja Suomessa käytetty louhintamenetelmä erityisesti kohteissa, joissa perinteiset louhintamenetelmät eivät ole mahdollisia. Myös vedenalaisessa louhinnassa on käytetty etanadynamiittia, mutta Suomessa ei ole toistaiseksi tiedossa vedenalaisia käyttökohteita. Etanadynamiitin etuna on, että se ei aiheuta kivien sinkoutumista ja tärinää tai muodosta muovioskia, kuten räjäytyslouhinnassa. Lisäksi sen käyttö ei vaadi erityistä henkilöstön koulutusta tai räjäytyslupaa. Menetelmän haittapuolena on kuitenkin aika, joka aineen laajenemiseen ja ympäröivän kiviaineksen murtumiseen kuluu. Vaikutusajan arvioidaan olevan muutamista tunneista päiviin, jonka vuoksi se on myös kalliimpi menetelmä, kuin räjäytyslouhinta (Betonamit, 2016; Liska et al. 2019).

## **2.2 Sytytysjärjestelmät**

Louhinnassa käytetään nykyään pääasiassa kolmea erilaista sytytysjärjestelmää:

- 1) impulssisytytysjärjestelmää,
- 2) elektronista sytytysjärjestelmää, tai
- 3) langatonta nallijärjestelmää: sytytysimpulssi voidaan välittää nallien välillä räjähtävällä tulilangalla, ja erikoistapauksissa käyttää sytytykseen aikatulilankaa

Suomessa on käytössä pääasiassa eri valmistajien impulssisytytysjärjestelmiä louhittaessa räjäyttämällä. Impulssisytytysjärjestelmät ovat syrjäyttäneet ennen niitä käytössä olleet sähkösytytysjärjestelmät eli sähkönallit etenkin toimintavarmuutensa, turvallisuutensa, yksinkertaisuutensa ja monipuolisemman käyttönsä ansiosta. Tämän selvityksen yhteydessä tehtyjen asiantuntijahaastattelujen perusteella sähkönallejakin käytetään Suomessa vielä jossain määrin. Impulssisytytysjärjestelmien lisäksi elektronisia sytytysjärjestelmiä on käytössä usealla suomalaisurakoitsijalla (kuva 8). Lisäksi viime vuosina markkinoille on tullut myös langattomia sytytysjärjestelmiä esimerkiksi Oricalta ja Forcitolta (kuva 9). Haastattelujen perusteella langattomien järjestelmien käyttö on vielä melko harvinaista, mutta niitäkin on jo tietyissä yrityksissä käytössä ja niissä nähdään yleisesti paljon potentiaalia.



Kuva 8: Periaatekuva sähkö-, impulssi- ja elektronisesta sytytysjärjestelmästä (ESSEEM, 2016).



Kuva 9: Sytytysjärjestelmien kehitys (Orica, 2020).

Pohjoismaiden ministerineuvoston raportin (2020) mukaan muoveja löytyy useista louhinnassa käytettävistä komponenteista: räjähteistä, sytytysjärjestelmien nalleista, johtimista, varmistimista ja muista komponenteista kuten poratulpat, pakkaukset, kytkimet ja hidasteet.

Lisäksi muovia on ruiskubetonin muovikuituisessa vahvistuksessa, vesivuotojen paikkaamiseen käytettävässä polyuretaanivaahdoissa, pakkausmuoveissa, polyesteristä valmistetuissa kalliopulteissa, joita käytetään irtonaisen kallion ja lohcareiden varmistamiseen, sekä styroksiharkoissa, joita käytetään tunnelien eristykseen tai sulkemiseen.

### 2.2.1 Impulssisytytysjärjestelmät

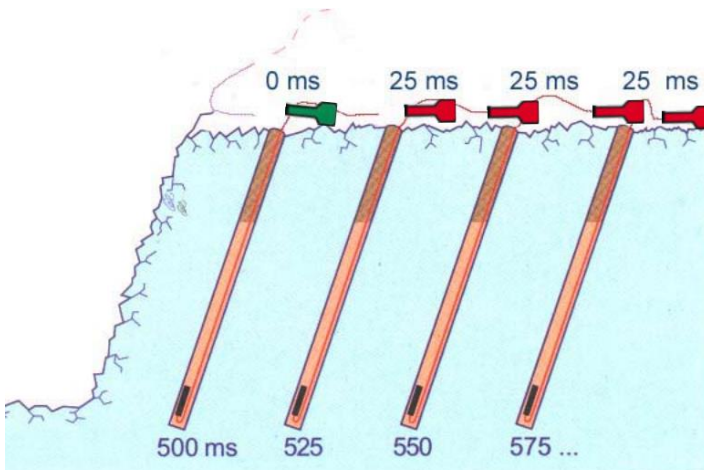
Impulssisytytysjärjestelmissä nallin ja edelleen itse räjähdysaineen sytytysimpulssina toimii järjestelmän impulssiletkujen sisällä siirtyvä paineaalto (kuva 10). Paineaalto välittyy ja saa energiansa letkujen sisäpinnalla olevasta reaktiivisesta materiaalista, joka palaa räjähdysmäisesti, mutta ei vaurioita impulssiletkun sisäosia suojaavaa ulompaa muoviputkea.

Impulssisytytysjärjestelmässä panosreikien räjähdysaineeseen kiinnitetään hidasteisia nalleja, joille sytytysimpulssi siirtyy reiästä ulos tulevaa impulssiletkaa pitkin. Letku kiinnitetään reiän ulkopuolella räjäytystä välittävään pintahidasteeseen (kuvat 11 ja 12), jolle sytytysimpulssi tulee vastaavasti omaa impulssiletkaa pitkin. Näin panosreiät voidaan kytkeä sytytyskentässä haluttuun järjestykseen ja reikien räjähdysjärjestys valita sytytysimpulssia eri ajan viivyttävillä pintahidasteilla. Pintahidasteita on saatavilla eri hidasteajoilla: tyypillisesti hidasteajat vaihtelevat 0–6000 ms välillä 17–500 ms porrastuksella. Impulssisytytysjärjestelmästä on saatavilla lisää tietoa mm. tuoteinfoista (Oy Forcit Ab, 2001).

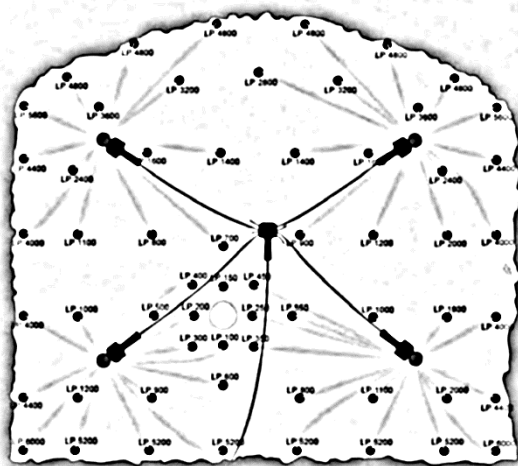
Impulssiletkut (PE-muovia kuten mm. useat vesipullot, ”polyethylene”) ovat ulkohalkaisijaltaan 3 mm ja sisähalkaisijaltaan 1,2 mm (Oy Forcit Ab, 2001). Räjähdysaineita lähellä olevat impulssiletkut palavat ja häviävät arvion mukaan louhinnassa räjähteiden mukana, mutta **erityisesti pintahidasteet ja johtimien niputtamiseen käytetyt impulssiletkujen osat jäävät louheen sekaan pienempinä paloina**. Periaatteessa koko nallijohtimen pituus panostusreiän ulkopuolella jää muovijätteeksi louheeseen satunnaisina pituuksina, palasina räjäytysvaiheessa pirstoutuneesta kivistä ja hankauksesta lastaus- ja kippaustöissä. Osa muovista uppoaa veteen louheen mukana, kun taas osa nousee pintaan, josta miehistö voi kerätä ne veneestä (työvoimavaltainen menettely) ja viedä maalle jätteenkäsittelyyn. Urakoitsijat asentavat usein silttiverhon, joka rajoittaa muovijätteen leviämistä.



Kuva 10: Impulssisytytysjärjestelmän pintahidasteita. Sytytysimpulssin saavuttua violettia impulssiletkaa pitkin kuvassa näkyvään muoviseen jakopäähän räjähtää sen sisällä oleva hidasteinen nalli, mikä siirtää sytytysimpulssin seuraaville hidasteletkuille. Räjähdyksineeseen kiinnitettävät impulssiletkut ovat muuten vastaavanlaisia, mutta jakopään tilalla on pelkkä hidasteinen nalli, joka räjähtäessään sytyttää varsinaisen räjähdysaineen. (Kuva: Oy ForcIt Ab, 2001).



Kuva 11: Impulssisytytysjärjestelmän tyypillinen yksinkertaistettu avolouhinnan kytkentäesimerkki. Kuvan panosreikien nalleissa on kussakin 500 ms ja pintahidasteissa 25 ms hidaste, jolloin peräkkäisten reikien räjähdysten intervalli on 25 ms. Panosreikien nalleissa on pitkät hidasteajat, jotta sytytysimpulssi ehtii kentän pinnalla viimeiseenkin panosreikään ennen ensimmäisen räjähtämistä. (Kuva: Oy ForcIt Ab, 2001).



Kuva 12: Impulssisytytysjärjestelmän tyypillinen tunnelin perän kytkentäesimerkki. Vaaleammat viivat kuvaavat panosrei'istä ulos tulevia johtimia ja tummemmat näitä johtimia yhdistäviä pintahidasteita. (Alkuperäinen kuva: Oy ForcIt Ab, 2001).



### 2.2.2 Elektroniset sytytysjärjestelmät

Elektronisten nallien kytkentä poikkeaa hieman impulssisytytysjärjestelmän nalleista. Elektroniset nallit tulee rekisteröidä hallintalaitteella yksitellen joko panosreikään asettamisen yhteydessä tai panosreikästä ulos tulevia nallijohtimia runkolinjaan yhdistettäessä. Rekisteröinnin yhteydessä tai sen jälkeen voidaan nalleihin ohjelmoida hidasteajat ja siten määrittää nallien räjähdysjärjestys. Kaikki nallit ovat teknisesti samanlaisia, vain ohjelmointia ja johdinpituuksia muutetaan. Laajan ja käytännössä portaattoman hidasteajan vaihteluvälin vuoksi elektroniset nallit tarjoavat selvää etua esimerkiksi tärinäherkissä kohteissa ja laajoissa avolouhinnan kentissä. Esimerkiksi Daveytronicin elektronisissa nalleissa on valittavana 0–14000 ms hidasteaika 1 ms porrastuksella ja yhdellä kentällä voidaan räjäyttää jopa 1500 (lisävarusteilla 3000) nallia. Hidasteaika ohjelmoidaan aina suoraan nalliin, jossa digitaalinen kello pitää kentän sytytyshetken jälkeen huolta nallin räjähdysajasta.

Elektroniset nallit voivat olla muita järjestelmiä toimintavarmempia, sillä ensimmäisten panosreikien räjähtämisestä aiheutuva nallijohdinten katkeaminen ei vaikuta räjäytystyöhön edes suurissa tai ajallisesti pitkissä räjäytyksissä. Elektronisten nallien oikea toiminta on lisäksi varmistettavissa hallintayksiköllä ennen räjäytystä, jolloin voidaan jo etukäteen tunnistaa vioittuneet nallit tai täkkäyksessä katkenneet johtimet ja tarvittaessa korjata kytkentää tai muuttaa räjäytyssuunnitelmaa. Hallintayksikkö on yksilöllinen eikä sillä voi räjäyttää kenttää edes vahingossa, vaan räjäyttämiseen käytetään erillistä laukaisinta. Toisin kuin sähkönallit, elektroniset nallit eivät ole herkkiä ympäristön sähkömagneettisille kentille.

Elektronisissa nalleissa käytetään nallijohtimena (kuva 14) kaksoissydämistä (kuparia tai terästä) johdinta, joka on päällystetty HDPE-muovipinnoitteella (kuten mm. shampoo-pullot, ”high-density polyethylene”). Molempien sydämien halkaisija on 0,3 mm ja halkaisija muovipinnoitteen kanssa 1,35 mm (i-kon II-järjestelmä, Orica, 2018). Välijohdin on nallijohdinten kanssa samaa materiaalia (kuva 15). Nalli- ja välijohdinten yhdistämiseen käytettävä runkojohto on kaksinapaista ja yksisäikeistä kuparijohdinta (2x 23 mm), jonka halkaisija muovipinnoitteen kanssa vastaa nallijohdinten suuruusluokkaa. Pinnoite on tyypillisesti polypropeenimuovia, jota käytetään tyypillisesti mm. ruuan säilytysrasioissa ja leikkuulaudoissa.

Elektroniset sytytysjärjestelmät ovat impulssi- ja sähkösytytysjärjestelmiin verrattuna uudempi järjestelmä. Elektronisia nalleja on ollut markkinoilla jo yli vuosikymmenen, mutta niiden korkeampi hinta ja kytkennässä vaadittava tekninen laitteisto sekä osaaminen eivät ole kannustaneet laajempaan käyttöön. Nykyään hintaero nallien välillä on kuitenkin kaventunut ja elektroniikka tavanomaisempaa. Selvityksessä haastateltujen asiantuntijoiden arviot impulssi- ja elektronisten sytytysjärjestelmien nykyisestä hintaerosta vaihtelevat 1,5 kertaisesta 5–7 kertaiseen. Uuden (teknisemmän) järjestelmän käyttöönotto tuo mukanaan omat haasteensa (mm. kustannukset, henkilöstön kouluttaminen, mahdolliset ennakoasenteet, toimintatapojen etsiminen, laitteiston investoinnit, ym.). Lisäksi elektroniset nallit eivät toimi impulssinallien tasolla kosteissa tunneliolosuhteissa. Elektronisia nalleja käytetään Pohjoismaita enemmän mm. Uuden-Seelannin avolouhoksilla. Käyttökokemuksia on Suomea enemmän myös Ruotsissa ja Norjassa, joissa on edellytetty elektronisten nallien käyttöä tietyissä hankkeissa.



Kuva 14: Elektronisen ”uni tronic 600”-sytytysjärjestelmän nallijohdin, jonka päässä näkyy kuvassa 15 esitetty muovinen kytkentäkappale (Orica, 2018).



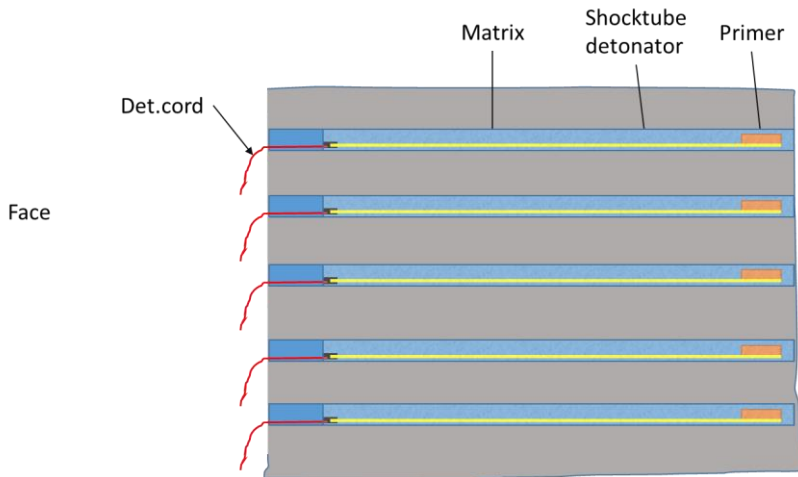
Kuva 15: Elektronisen ”uni tronic 600”-sytytysjärjestelmän johtimien kytkentäkappale. Johto, jossa on pinnalla vihreää, on välijohtinta. (kuva: Lakkala, 2013)

### 2.2.2.1 Austin Powderin hybridisytytysjärjestelmä

Austin Powderin Shock\*Star Plastic Free -tuote on hybridisytytysjärjestelmä, joka on suunniteltu erityisesti tunnelilouhintaan. Tuote koostuu kolmesta osasta: Shock\*Star TS, impulssiletku, sekä matalaenerginen räjähtävä tulilanka. Tuotteen hyötyjä ovat huomattava muovijäämien väheneminen louhekasassa, samankaltainen operointi kuin standardimallisissa ei-elektronisissa sytyttimissä, nopea räjäytyksen valmistautuminen, sekä koko valikoima Shock\*Star TS hidasteita käytettävissä (25–9000 ms). Tuote toimitetaan valmiiksi koottuna. Shock\*Star PF sytytetään 5 tai 6 g/m räjähtävällä tulilangalla. Hybridisytytysjärjestelmä koostuu räjähdyslangasta (3–5 g/m), joka on liitetty impulssiletkuun. Räjähdyslangan tulee olla riittävän pitkä, jotta se ylittää koko porausreiän pituudelle ja reiän toisessa päässä olevaan sytyttimeen. Sytytyslanka räjähtää sytytysjakson aikana (ei roskaa), impulssiletku sulaa räjähdysaineiden räjähdysajan aikana porausreiässä (ei roskaa). Onnistuneessa räjäytyksessä ei synny louhekasaa jäävää muovijätettä (Austin Powder, 2019).



Kuva 16: Austin Powderin hybridisytytysjärjestelmän osat (kuva: Sannerud, 2021).



Kuva 17: Austin Powderin Shock\*Star PF -järjestelmän toimintaperiaate (kuva: Sannerud, 2021).

### 2.2.3 Langattomat sytytysjärjestelmät

Elektroniset, langattomat järjestelmät ovat markkinoiden uusimpia tulokkaita. Näiden suurin hyöty muovijätteen näkökulmasta on, ettei räjäytyslankaa tarvita. Sytytysimpulssi voidaan välittää nallien välillä räjähtävällä tulilangalla ja erikoistapauksissa käyttää sytytykseen aikatulilankaa. Räjäytys laukaistaan radiolähettimellä, joka lähettää signaalin suoraan sytyttimelle. Sytyttimen kuori, jonka tulisi tuhoutua räjäytyksessä, on muovia.

Osa selvityksessä haastatelluista louhintaa tekevästä yrityksistä nostaa esiin antennilla tai tunnistelangalla toimivan / kauko-ohjattavan johdottoman nallin mahdollisen käytön tulevaisuudessa. Toistaiseksi langattoman nallijärjestelmän käyttö on kuitenkin melko harvinaista Suomessa. Haasteena langattomien järjestelmien käyttöönotolle on niiden korkea hinta. Haastatteluissa huomautettiin myös räjähdeaineiden toiminnasta työturvallisuuden näkökulmasta. Järjestelmiä on käytetty tähän mennessä lähinnä kaivosalalla, ei tunnelilouhinnassa testikäyttöä lukuun ottamatta (Pohjoismaiden ministerineuvosto 2020).

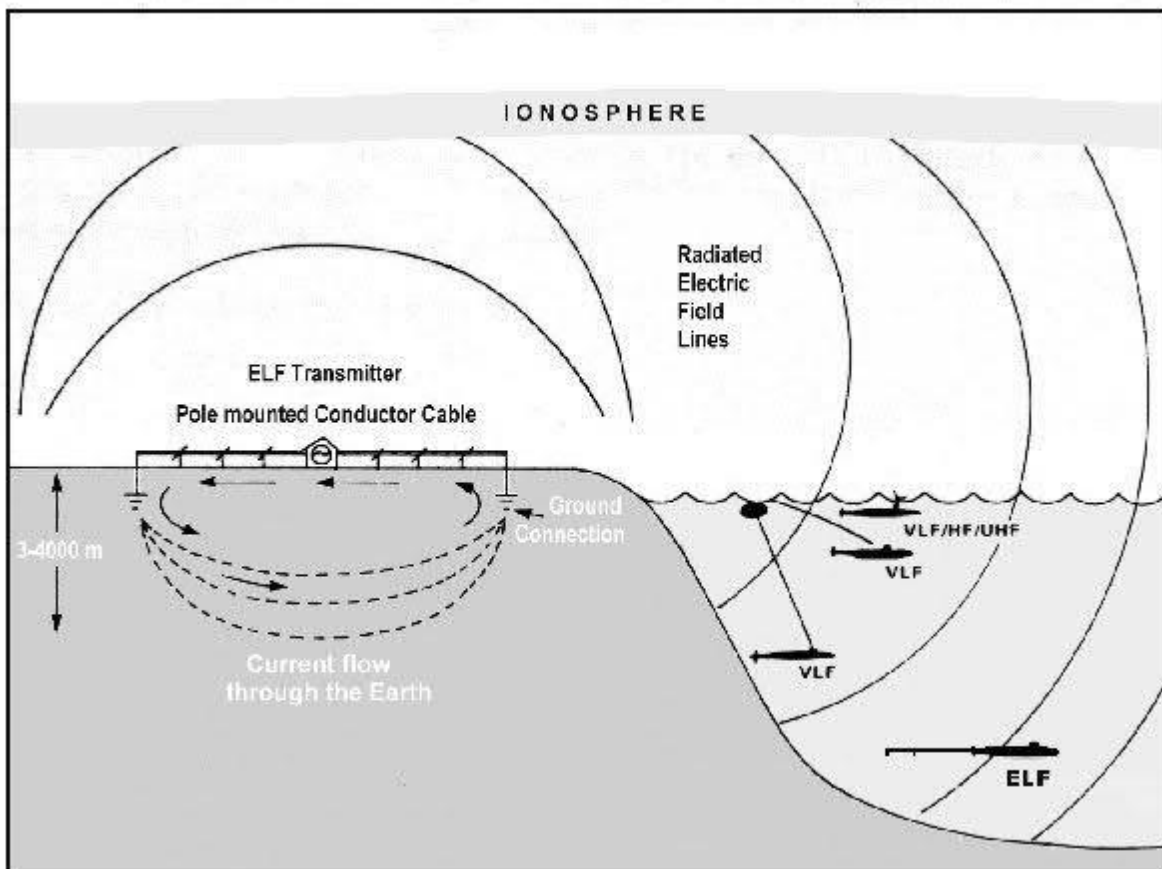
Langattoman järjestelmän avulla voidaan lähettää porarei'issä oleville nalleille langaton laukaisukäsky, joka toimii kiven, veden ja ilman läpi. Tämä poistaa vaatimuksen fyysisestä kontaktista jokaisessa alkupanoksessa. Orican WebGen -järjestelmän käyttö maanalaisessa louhinnassa mahdollistaa turvallisen ja luotettavan tavan esiladata silmukat, mikä puolestaan mahdollistaa suuremman malmimäärän liikuttamisen vuoroa kohden ja vähentää siten kuluja malmitonnia kohden. Myös nopeampi väliaikaisten alusrakenteiden palauttaminen nopeutti ja tehosti louhintasekvenssin etenemistä (Orica, 2017). Langaton järjestelmä voi tehostaa ja lisätä turvallisuutta, kun ennakkoon panostetaan räjäytysreiät. Langattoman järjestelmän käyttö neutralisoi tapahtumia kuten, takaiskuja, reikien katkeilua ja sortumisia, jotka kaikki voivat vahingoittaa tai katkaista räjäytyksen johtimia. Uudelleen porausta voi joutua tekemään jopa 40 % maanalaisessa kaivoslouhinnassa. Langattoman järjestelmän käyttö voi vähentää porauskustannuksia per tuotantotonna sekä vähentää ruiskubetonin käyttöä (Orica, 2016).

Orican (2020) esityksessä ”Langaton nallijärjestelmä vedenalaisessa louhinnassa” esitellään järjestelmään panostettavat osat: vastaanotin (DRX), diginalli, aloitepanos (228 g tai 450 g) sekä jarrusulat (kuva 18). Järjestelmän osa ovat ohjelmointilaite, kääntämätietokone räjäytystiedon lähettämiseen, lähetin + virtalähde, sekä antenni (quad loop). Langaton tiedonsiirto tapahtuu matalataajuuksien magneettisten induktioaaltojen avulla (kuva 19). Johdinsilmukka synnyttää magneettikentän, jonka taajuutta ja suuntaa voidaan vaihdella. Magneettiset induktioaallot läpäisevät ilman, veden, kiven, pohjasedimentit, jne. Signaalikantama ”Quad loop” antennilla on enintään 300 m. Ainoastaan sytyttimet, jotka on fyysisesti kytketty linjaan voivat vastata

räjätyskäskyyn. Sytyttimet ovat ohjelmoitu koodauslaitteella (Encoder) ryhmiin, joilla on yhteinen tunnusnumero GID (Group Identity Number).



Kuva 18: Orican langattoman järjestelmän panostettavat osat (Orica, 2020).



Kuva 19: Langaton tiedonsiirto (Orica, 2020).

### 2.2.3.1 Orica:n WebGen™ 200 -langaton sytytysjärjestelmä

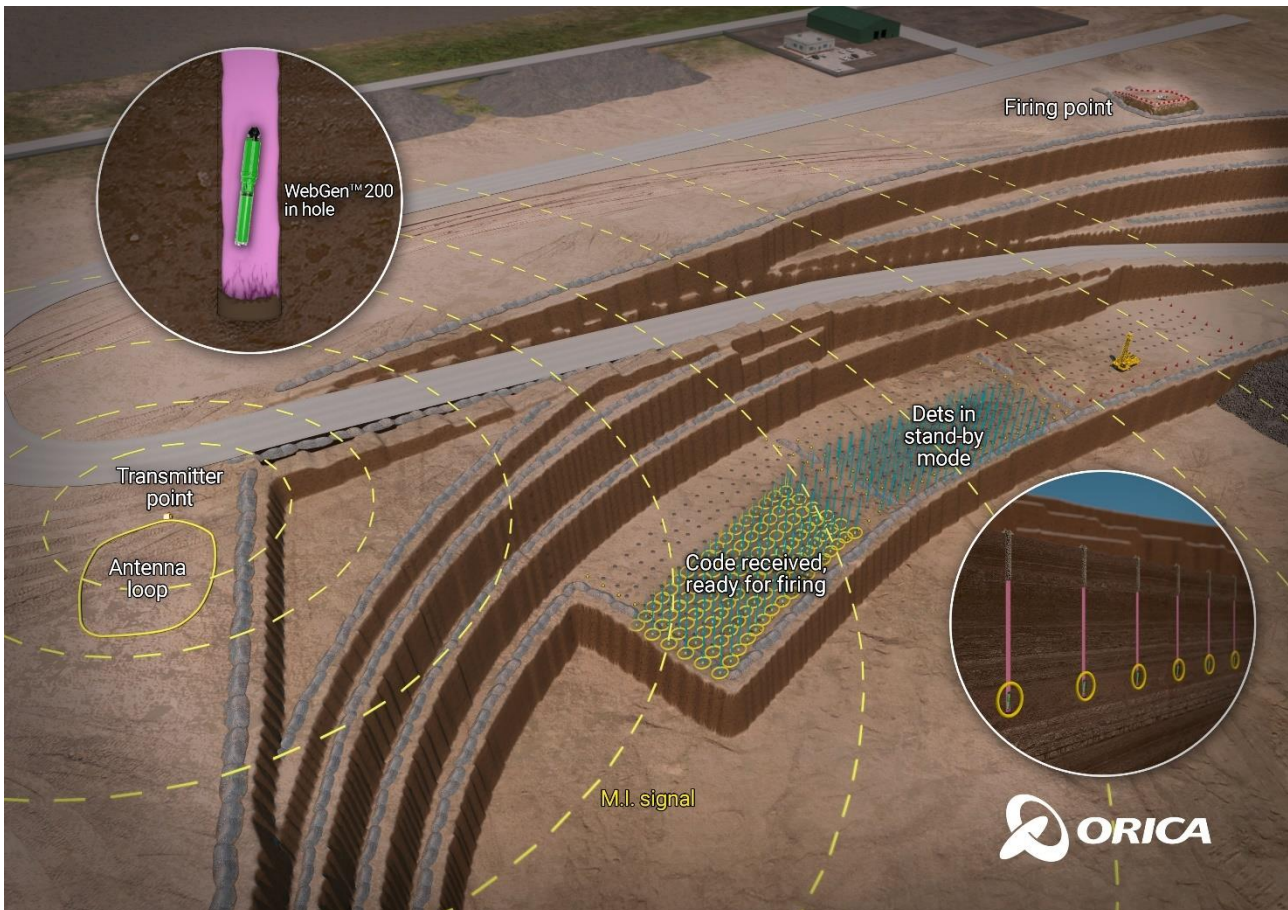
Orica:n WebGen™ 200-langaton sytytysjärjestelmä koostuu WebGen™ Suite langattomasta nallista ja sen kolmesta komponentista: 1) i-kon™ W: Tarkka ja täysin ohjelmoitava sytytin millisekunnin ajastuksen tarkkuudella, jolle voidaan määrittää jopa 30 sekunnin viive, 2) DRX™: The i-kon™ W- sytytin liitetään vastaanottimeen, joka sisältää monisuuntaisen antennin ja akun, joka toimii reiän sisäisenä virtalähteenä. 3) Pentex™ W Booster: Lukkiutuu turvallisesti yksikköön räjäytysreiän lataamisen yhteydessä. Lisäksi järjestelmään kuuluu kooderi, virtageneraattori, lähettimen ohjain ja viisi antennivaihtoehtoa (kaksi yksisilmukka-antennia lyhyen kantaman peittoon 50 ja 150 metrille ja kaksi kannettavaa nelisilmukka-antennia lyhyen kantaman 250 ja 350 metrin lähetykseen sekä maasilmutta-antenni pitkän kantaman lähetykseen 700 metriin asti.)

Monipuolisuus on eri louhintatarkoituksiin suunnitellut sytyttimet ja laajempi valikoima alkupanoksia sytyttimissä. Sytyttimien ryhmien koodaus on nyt nopeampaa ja helpompaa uusilla laitteilla, jotka käyttävät saumattomasti WIFI-, NFC- ja RFID-tekniikoita käsitelläkseen enemmän tietoja. Sisältäen räjähteiden varastohallinnan, Blast Inventory Management (BIM), joka yhdistää varaston panostettuun räjäytysreikään, ja räjähdysen etäisyyden indikaattorit, Blast Proximity Indications (BPI), jotka yhdistävät sijainnin räjähdysen ampumiseen. Näitä toimintoja ja muita lataustyökaluja voi käyttää Windows 10 -käyttöliittymän ja suuren kirkkaan kosketusnäytön kautta. Laukaisukäskyt lähetetään yksittäisille sytyttimille magneetti-induktiosignaalein, Magnetic Induction (MI), laitteiston kautta, joka on päivitetty turvallisuuden ja paremman liikuteltavuuden kannalta. Saatavilla on nyt viisi antennia, jotka räätälöivät lähetyksen kattamaan vain vaaditun työalueen, ja täysin uusi mahdollisuus poistaa räjäytyksen sytyttimiä räjäytyksestä tai säätää hidasteaikoja räjäytysryhmän osissa laukaisuhetkellä. (Orica, 2022).



**WebGen™ 200**

Kuva 20: Orican WebGen™ 200-langaton sytytysjärjestelmä (Orica, 2022).



Kuva 21: Orican WebGen™ 200-langaton sytytysjärjestelmä (Orica, 2022).

### 2.2.3.2 Forcitin DaveyTronic®SP ja DaveyTronic® OP/OPW -digitaaliset sytytysjärjestelmät

Forcitin DaveyTronic®SP -digitaalinen räjäytysjärjestelmä sisältää kolme yksikköä: 1) kädessä pidettävä kaukolaukaisin (DRB), joka ohjaa testausta ja laukaisua ja viestii kunkin nallin kanssa, 2) kaksi ohjelmointiyksikköä (PU) kaikkien nallien tunnistamista ja diagnosoivaa testausta varten kentällä sekä hidasteajan asettamista varten, sekä 3) pienikokoinen laukaisuohjain (DBD), joka on langattomassa yhteydessä kaukolaukaisimeen ja antaa riittävän energian jopa 1 500 nallin laukaisemiseen yhtä laukaisuohjainta kohti. Nallin tarkkuus ja luotettavuus parantaa louhinnan tarkkuutta ja tehokkuutta. Synchroblast™- (jopa 4500 nallia yhdessä räjäytyskohteessa) ja Multiblast -tilat (jopa viisi räjäytyskohdetta, jossa kussakin enintään 1500 nallia) mahdollistavat suuremmat räjäytykset, mikä vähentää räjäytyskertoja ja tuotantokatkoja. Yhdestä sijainnista voi etäohjata verkostoa, joka koostuu useista laukaisuohjaimista, joten useita räjäytyksiä voidaan laukaista eri puolilla samanaikaisesti. (Forcit 2022a). Forcitin DaveyTronic® OP/OPW -digitaalinen räjäytysjärjestelmä on hyvin samankaltainen räjäytysjärjestelmä kuin DaveyTronic®SP. Oleellisena erona siinä on laukaistavien nallien määrä: OP/OPW järjestelmässä energia riittää 500 nallin laukaisemiseen laukaisuohjainta kohti. Sopivia käyttökohteita OP/OPW -räjäytysjärjestelmälle ovat kiviaineksen tuotanto, rakennustyömaiden pienet louhinnat sekä kaivokset. (Forcit 2022b).

## 2.3 Louhinnan vaikutukset vesistöjen roskaantumiseen

Louhinnassa muovijätteen syntymiseen voidaan vaikuttaa lähinnä panostamisen ja kytkennän työvaiheen materiaalivalinnoilla, mikä puolestaan vaikuttaa kentän suunnitteluun ja panosreikien poraamiseen. Kiven irrottamisen työvaiheissa tehdyillä valinnoilla on vaikutus räjäytystyön jälkeisiin työvaiheisiin aina rusnauksesta louheen kuljettamiseen ja loppukäyttöön asti.

Erityisesti tunnelilouhinnassa muovijätteen syntymiseen vaikuttaa myös räjäytyksen jälkeen tehtävien lujitustöiden materiaalit. Maanalaiset kalliotilat lujitetaan Suomessa lähes poikkeuksetta ruiskubetonilla, joka koostuu tavanomaisen valettavan betonin tapaan kiviaineksesta, sementistä ja vedestä. Ruiskubetonissa käytetään yleensä myös kuituja, joiden avulla voidaan korvata joko osittain tai kokonaan perinteinen rauditus. Erityisesti kallioperän vahvistamisessa teräsverkkojen kiinnittäminen on hankalaa, sillä kallio muodostaa epätasaisen alustan. Kuitujen käyttö poistaa teräsverkkojen asentamisvaiheen ja täten helpottaa lujitustyötä. Kuituina voidaan käyttää sekä teräs- että polymeerikuituja. Teräskuitujen käyttö on ollut yleisempää, mutta viime aikoina myös polymeerikuitujen (makro- ja mikrokuitujen) käyttö on yleistynyt (Petrow, 2014). Asiantuntijahaastatteluihin nousi esiin, että erityisesti meren allittavissa tunneleissa on käytetty polymeerikuituja teräskuitujen sijaan, sillä tunneleihin vuotaa suolavettä, joka aiheuttaa teräksen ruostumista.

Polymeerikuidut valmistetaan yleisimmin polyeteenistä ja polypropeenista ja kuidut luokitellaan kokonsa mukaan mikro- ja makrokuituihin. Makropolymeerikuituja käytetään teräskuitujen tapaan mm. taivutuslujuuden lisäämiseksi. Makrokuidun halkaisija on  $> 30$  cm ja kuitujen määrä ruiskubetoniseoksessa on noin  $5\text{--}10$  kg/m<sup>3</sup> (Suomen Betoniyhdistys, 2015). Mikrokuituja puolestaan käytetään varhaisvaiheen kutistumishalkeilun vähentämiseen sekä ruiskutetun rakenteen palokestävyuden parantamiseen esim. liikennetunneleissa. Mikrokuidun halkaisija on alle  $0,3$  mm ja kuitujen määrä betonissa on  $1\text{--}2$  kg/m<sup>3</sup>.

Norjassa muovisia makrokuituja vaadittiin 2007 alkaen merenalaisten tunnelien (Norjassa meriveden kloridipitoisuus huomattavasti korkeampi kuin Suomen rannikoilla) ruiskubetoneissa, koska näissä havaittiin teräskuitujen korroosio-ongelmia. Vaatimus ei kuitenkaan koskenut muita tunneleita, joissa ei ollut kloridipitoisia vuotovesiä tai raskaampaa kemiallista räsytystä. Makrokuidut toimivat teknisesti hyvin, mutta ne aiheuttivat yleisesti havaittuja ympäristöongelmia päästessään mereen esimerkiksi ruiskubetonin hukkaroiskeen mukana. Muovikuidut ovat kelluvia ja leviävät vedessä helposti, vesistöön päässeiden kuitujen kokoaminen esimerkiksi puomeilla on tuulen ja aallokon vuoksi käytännössä melkein mahdotonta.

Teräskuidut eivät kellu, eivätkä leviä vesistöissä. Ne hajoavat meressä paljain ajan mittaan ruostumalla, eikä niiden ole havaittu aiheuttavan ympäristöhaittaa vesistöissä. Vuonna 2015 Norjan Tielaitos kielsikin muovisten makrokuitujen käytön ruiskubetonissa ympäristöongelmien perusteella. Merenalaisissa tunneleissa, joissa vuotovedet ovat suolapitoisia, teräskuitujen säilyvyyden parantamiseksi suojabetonin paksuus korotettiin  $100$  mm ja betonin koostumusvaatimuksia (rasitusluokat XA3, XD2, XD3, XS2, XS3) tiukennettiin betonin tiiviiden ja säilyvyyden parantamiseksi.

Ohuita mikrokuituja (polyproyleeni) on yhä sallittua käyttää betonin palonkeston parantamiseksi. Niiden annosmäärät ovat kuitenkin huomattavasti pienempiä ( $2$  kg/betoni-m<sup>3</sup>) kuin rakenteellisilla makrokuiduilla. Mikrokuiduista aiheutuneita haittoja on havaittu lähinnä ruiskutuksen työolosuhteissa ja koneiden suodattimissa, koska ne kevyinä leviävät helposti ilmaan betonia ruiskutettaessa. Tätä ilmassa leviämistä on pyritty vähentämään ”vesiverholla” tai ohjaamalla puhaltimilla (tai vedon avulla) leijuvia kuituja pois päin työntekijöistä ja laitteista. Mikrokuitujen aiheuttamia ympäristöongelmia ei ole esiintynyt julkisuudessa, sillä niiden määrä on vähäisempi, eivätkä ne ole niin näkyviä, mutta periaatteessa niistäkin voi vesistöihin syntyä haitallisia mikromuoveja. Palosuojakerrokset ruiskutetaan pintakerrokseen viimeisenä, joten näistä syntyvät hukkaroiskeet voisi käsitellä ja sijoittaa erikseen siten, ettei niistä pääse mikromuovikuituja liukenemaan vesistöihin. Vesistöille syntyvä potentiaalinen riski syntyy lähinnä, jos tällaista hukkaroiskeita käytetään esimerkiksi vesistöäyttyihin ja kuidut pääsevät liukenemaan veteen. (Mantila, 2022).

Tunnelilouhinta on kaikista ongelmallisinta roskaantumisen näkökulmasta. Tunnelilouhinnassa porataan tiukempi porauskuvio kuin pintaräjäytyksissä, jolloin impulssiletkuja käytetään enemmän kuutioneliometriä kohden. Tunnelilouheen seassa olevan panoslangan määräksi on arvioitu keskimäärin alle  $10$  m/ $10$  m<sup>3</sup> louhetta (Ramboll Finland Oy, 2019b).

Eniten muovirooskaa tunnelilouhinnassa syntyy impulssisytytysjärjestelmistä. Tunnelilouheessa on myös mukana ruiskubetonin ja injektointisementin jäämiä. Tunnelilouhinnassa joudutaan käyttämään myös enemmän räjähdysainetta kuin avolouhinnassa. Myös impulssiletkuien pituus on tunneleissa suurempi kuin avolouhintakohteissa johtuen pidemmistä turvaetäisyyksistä maan alla. Tarkalla suunnittelulla kunkin impulssiletkun yksilöllinen pituus voidaan määrittää kullekin räjähteelle sen sijaan, että käytettäisiin aina yhteistä vakio pituutta, joka perustuu vaadittuun enimmäisetäisyyteen.

Avolouhinnassa panoslankaa tarvitaan hyvin vähän verrattuna tunnelilouhintaan, sillä porareikien tarvittava määrä on avolouhinnassa pienempi. Panoslankojen määrä avolouhintalouheessa on suuruusluokaltaan noin 10 % tunnelilouheen panoslankamäärästä, sillä kallioon porattavien räjäytysreikien määrä on vähäisempi irrotettavaa tilavuutta kohden, ja nallijohtimet saadaan paremmin kerättyä talteen. Karkea arvio panoslangan määrästä on avolouhintakohteissa alle 1 m/10 m<sup>3</sup> (Ramboll Finland Oy, 2019b). Avolouhinta tehdään tyypillisesti sähkönalleilla räjähdemattojen alla ja sähkönalleissa on eristetty kupari-/rautalanka. Tämän johdosta ne painuvat merenpohjaan ja niissä on suhteessa paljon vähemmän muovia.

Kaikista vähäisintä muovirooskan määrä on vedenalaisessa louhinnassa. Siinä roskaantuminen on asiantuntijahaastatteluiden perusteella maalla tapahtuvaan louhintaan verrattuna hyvin minimaalista, jos ei olematonta. Räjähdelangat palavat pois ja poralauttaan yhteydessä olevat langat vedetään merestä ylös ja toimitetaan jätteen keräykseen. Tukko voi lautalta päästä karkuun, mutta ne on tyypillisesti helppo löytää ja kerätä pois, joten tämä ei yleensä ole ongelma. Avolouhinnassa puolestaan räjähdyslangat ja louhe menevät sekaisin räjäytysmattojen alla, jolloin lankoja ei pystytä keräämään nippuina pois.

Sytytysjärjestelmät ovat olennainen osa muovijätteen vähentämistä vesistötyöissä. Muovirooskaa voidaan vähentää sytytysjärjestelmän valinnan kautta jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa prosessia. Kaikista eniten muovia on impulssisytytysjärjestelmissä. Elektronisia sytytysjärjestelmiä käyttämällä muovin määrää saadaan olennaisesti vähennettyä. Langattomilla sytytysjärjestelmillä muovirooskasta on mahdollista päästä käytännössä kokonaan eroon. Myös Austin Powderin Shock\*Star Plastic Free -tuotteen kaltaisella hybridisytytysjärjestelmällä voidaan päästä louhinnan muovijätteestä eroon.

Pohjoismaiden ministerineuvoston raportin (2020) mukaan osa sytytysjärjestelmien komponenteista voidaan korvata vähemmän muovia sisältävällä materiaalilla ilman, että tekninen käytettävyys tai turvallisuus vaarantuu esim. korvaamalla muoviset kytkimet pienempikokoisilla kytkimillä, avolouhinnassa käytettävät poratulpat voidaan poistaa ennen kytkentää ja räjäytystä ja kierrättää, räjähteiden pakkaushylsyt sekä mahdollisesti sytytyslangat voidaan vaihtaa muovittomiin materiaalitekniikan kehittyessä, sähköisten ja sähköttömien sytytysjärjestelmien sijaan voidaan käyttää langallisia elektronisia järjestelmiä tai vielä mieluummin langattomia järjestelmiä, jotka vähentävät muovijätettä huomattavasti.

Elektronisissa nalleissa on impulssiletkuja vähemmän muovia. Johdot ja johdoissa kiinni olevat kytkinkappaleet eivät myöskään todistetusti kellsu niiden sisältämän kupari-/rautalangan vuoksi. Täten niiden leviäminen ympäristöön on rajatumpaa. Norconsultin laatimassa tutkimuksessa (2017) havaittiin, että elektronisten sytytysjärjestelmien muovista vain n. 1,1–3,3 % nousee pintaan loppujen vajotessa merenpohjaan. Myös liitännärasiat uppoavat, jos ne ovat yhteydessä johtimeen eivätkä sirpaloituneet mekaanisesta kulutuksesta. Kytkinkappaleiden muovi jää metalliosiin kiinni, joten niiden leviäminen ympäristöön on rajatumpaa muovijätteen hautautuessa suurelta osin louhetäytön sisään. Muutamat muoviset löydökset louhetäytön pinnalla ja muutama irrallinen johdin täytön juuren ulkopuolella osoittavat, että suurin osa johtimista ja kytkimistä elektronisista sytyttimistä seuraavat massojen mukana, kun ne tyhjäntyvät proomuista mereen ja jäävät massojen sisään. Hajanaiset letkut uppoavat ja jäävät suurelta osin pohjaan heti täyttöpöngereen juureen (Miljödirektoratet, 2018).

Norconsultin (2017) tutkimuksessa todettiin, että massoista kerätyn muovin kokonaismäärästä noin 0,7–1,1 % oli irrallisia elektronisia johdon palasia täyttöpöngereen ulkopuolella. Noin 10,4 % kokeessa kerätystä muovista oli peräisin elektronisista sytyttimistä ja 86,9 % muualta. Valtaosa muusta muovista koostui



poratulpista ja putkipanoksien putkista, jotka eivät ole riippuvaisia sytytysjärjestelmän valinnasta, vaan räjähdysaineen valinnasta, kun arvioidaan vedenläpäiseväisyys ja kallion laadun ja ominaisuuksien vaikutusta räjähdysaineen valintaan. Kokeessa haluttiin myös tarkistaa, jos irrallisia johtimien ja panosputkien sirpaleita erottuu massoista meressä ja ne ajautuisivat erilleen täyttöpenkereestä sekä kuinka kaukana täytöstä löytyisi näitä. Tutkimuksessa ei tehty mitään suurempia löydöksiä johdoista, jotka havaittiin tunnelin perällä ja välivarastointipaikalla tunnelin ulkopuolella. Tämä tarkoittanee, että ylimääräinen kuormaus välivarastointipaikasta on aiheuttanut niin suuren mekaanisen kulutuksen, että muovijohtimet ja patruunaputket ovat pirstoutuneet. Tai että suurin osa johtimista ja kytkinkappaleista jää massoihin, kun ne lasketaan proomuista mereen ja jäävät täytön sisään. Tutkimuksen yhteydessä todettiin, että jyrkempi maasto aiheuttaa sen, että suurempi osa irrallisia johdonpaloja jää täytön eteen ja nämä pääsääntöisesti löytyvät n. 30 metrin säteeltä täyttöpenkereestä. Löydökset viittaavat myös siihen, että matalammassa vedessä ja loivemmalla penkereellä löydetään minimaalisesti johtoja, jotka irtoavat täyttömassoista, kun ne lasketaan proomusta. Koejakson aikana on todettu, että tuulen suunta, virtaukset ja vuorovesi vaikuttavat suuresti siihen missä kohtaa muovit tulevat pintaan.

Pohjoismaiden ministerineuvoston raportin (2020) mukaan elektroniset sytytysjärjestelmät tuottavat tuotteesta riippuen 27–70 % impulssiletkusytyttimien tuottamasta muovijätteestä (19 000–47 000 kg verrattuna 70 000 kg louhittaessa 60 km tunneleita). Tähän muovimäärään sisältyvät muoviset kytkimet ja hidasteet, jotka ovat 44–45 % kokonaisuomvimäärästä. Norjan ympäristövirasto (Miljødirektoratet) (2018) arvioi, että käyttämällä elektronista tai sähköistä sytytysjärjestelmää, muovin kulutusta voidaan vähentää 30 prosentilla. Norconsultin tutkimuksen (2017) perusteella koko 132 480 m<sup>3</sup> tunnelimassaa sisältävään hankkeen voidaan olettaa tuottavan n. 2,6–8,3 kg kelluvaa muovijätettä elektronisia sytytysjärjestelmiä käytettäessä.

Useat haastateltavat kyseenalaistavat elektronisten nallien hyödyt muovijätteen vähentämisessä, sillä muovin uppoaminen ei sinänsä ole ratkaisu roskan määrään. Haastatteluissa huomautettiin kuitenkin muovin vähenemisestä hidastimien ja niiden pussitusten jäädessä pois. Pohjoismaiden ministerineuvoston (2020) mukaan uppoaminen tekee muovista ”näkyvätöntä” ja paikallisempaa, mutta vaikeampaa poistaa. Uppoavat johdot vievät mukanaan muoviset hidasteet ja kytkimet, niin kauan kun ne vielä ovat kiinni toisissaan.

Haastatteluissa nousi esiin, että osa tilaajista on huomioinut elektronisten nallien edut ympäristövaikutusten näkökulmasta lähinnä tärinän kannalta, eivätkä niinkään ajatelleet muovijätettä merkittävänä tekijänä. Elektronisten nallien todettiin sopivan kaupunkirakentamiseen, joissa tärinärajat ovat tiukat (esim. sairaalat, rata-alueet, museot, ym. herkäät laitteet lähellä).

## **2.4 Räjähdeaineiden ympäristövaikutukset ja kehitys**

Louhinnassa käytettävät räjähteet koostuvat pääosin ammoniumnitraatista ja orgaanisesta polttoaineesta. Pohjoismaiden ministerineuvoston raportin (2020) mukaan nykyään yleisin seos, 80 % Pohjoismaissa käytetyistä räjähteistä, ovat emulsioräjähteet (kutsutaan myös ammoniumnitraattiemulsioksi, ANE), jotka ovat ammoniumnitraatin ja kaasukomponenttien seos.

Räjähdeaineet saattavat olla haitallisia vesistöille esimerkiksi aiheuttamalla rehevöitymistä. Syynä tälle on ammoniumnitraatin sisältämä typpi. Räjähteiden typpimäärät ovat tyypillisesti noin 25–33p-%. SveMinin (2012) raportin mukaan esimerkiksi avolouhinnassa tyypillisesti 5–10 % käytetystä räjähdysaineesta jää reagoimattomana louheeseen. Osa tästä määrästä saattaa päätyä vesistöihin. Asiantuntijahaastattelun perusteella typen kulkeutuminen louheessa irrotuspaikalta eteenpäin riippuu vallitsevista olosuhteista (lähinnä veden huuhteleva vaikutus) ja näiden olosuhteiden vaikutusajasta, sekä louheen mahdollisesta jatkokäsittelystä (esim. murskaus ja pesu). Typen määrät ja kulkeutuminen ovat riippuvaisia niin käytetyn

räjähdyksineen koostumuksesta kuin louhintatyön suunnittelusta ja toteutuksesta sekä muista louhintapaikan ja -työn järjestelyistä.

Nykyisin suosiossa olevien ns. bulk-emulsioräjähteiden avulla räjähteiden käsittelyyn liittyvää pakkausmateriaalien käyttöä ja mahdollista työmaiden roskaantumista on pystytty vähentämään radikaalisti, sillä bulk-emulsioräjähdysaineiden valmistuksessa ja panostuksessa ei käytetä mitään pakkausmateriaaleja. Aiemmin louhinnassa on ollut käytössä ns. putkipanoksia, jotka sisältävät paljon muovia. Putkipanoksia kutsutaan myös patrunoiduiksi panoksiksi, eli ne ovat valmiiksi pakattuina kovaan muoviin.

Forcilla on meneillään työttömän sekä kloorittoman, vetyperoksidiin pohjautuvan, ympäristöystävällisen räjähdysaineen kehitystyö. Täysin uudenlaisen räjähdysaineteknologian kehittäminen ja käyttöönotto on pitkä ja monivaiheinen prosessi turvallisuuden kriittisyyden vuoksi. Tällä hetkellä on meneillään yhden tuoteversion tyyppihyväksyntäprosessi, jonka jälkeen seuraava askel on ominaisuuksien testaaminen kenttäkokeissa. Vetyperoksidi-räjähteen teho on hyvä, verrattavissa säiliöstä porareikään pumpattaviin nitraattipohjaisiin emulsioräjähteisiin. Aineen säilyvyyden optimointi on kuitenkin vaatinut kehittämistä.

### **3. MENETELMÄT MUOVIEROIKSISEKSI**

#### **3.1 Käytössä olevat menetelmät Suomessa ja pohjoismaissa**

Vesistöihin päätyvän muovieroiksemiseksi on olemassa erilaisia keinoja. Luvussa 2.2 esitelty syytysjärjestelmät ovat olennainen tekijä muovieroiksemisessä. Tässä luvussa esitellään muita keinoja vesistöihin päätyvän muovieroiksemiseksi. Osa esitellyistä menetelmistä liittyy louhintaan ja osa vesistöäyttöprosessin myöhempiin vaiheisiin.

Alan toimijoiden haastattelujen perusteella tyypillistä on, että louhekasoiista poistetaan käsin irtoroskia sekä muita turvallisesti kerättäviä roskia. Irtoroskien keräämisen lisäksi tyypillisimpiä menetelmiä muovieroiksemiseksi ovat suojaverhon tai puomien käyttö vesistöäytöissä sekä täyttö penkereen sisäpuolelle. Harvemmin käytössä oleva menetelmä on syytysjärjestelmän johdinten poistaminen louheesta magneettierottimella. Lisäksi haastatteluissa mainittiin potentiaalisina menetelminä muovieroiksemisen kelluttaminen ja louheen pesu tai puhallus. Nämä menetelmät eivät kuitenkaan ole haastatelluilla organisaatioilla käytössä. Luvussa 3.2 esitellään edellä mainitut menetelmät. Näiden menetelmien lisäksi kyseisessä luvussa esitellään yhtenä menetelmänä myös louheen lajittelu varastointi ja esikäsitteily.

#### **3.2 Menetelmien esittely**

##### **3.2.1 Muovieroiksemisen käsin**

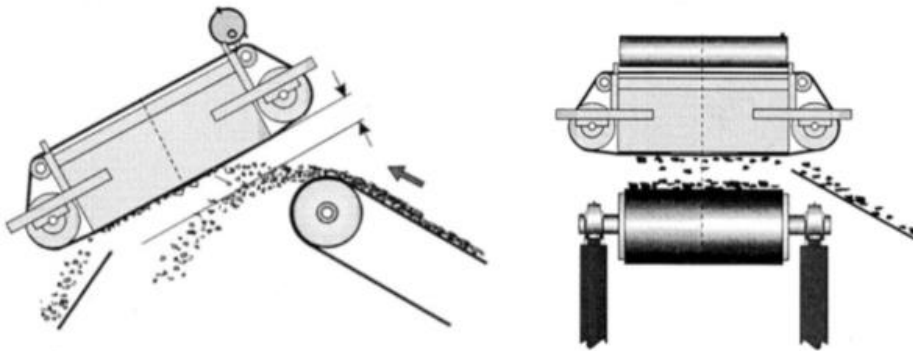
Haastateltavien mukaan erityisesti avolouhinnassa suurimmat muovijätteet pystytään poistamaan käsin, jos niitä on näkyvillä louhekasojen laidoilla. Myös lastaustyön aikana louhekasoija pyritään tarkkailemaan ja poistamaan mahdolliset suuret näkyvät roskat. Kaikkea ylimääräistä materiaalia ei kuitenkaan pystytä keräämään louheesta, sillä esimerkiksi louhekasojen päällä liikkuminen on työturvallisuussyistä kielletty. Myöskään louheen levitystä esimerkiksi kentälle, josta muovieroikat voitaisiin poimia, ei koettu taloudellisesti järkeväksi vaihtoehdoksi.

Tunnelilouhinnassa on puolestaan mahdotonta kerätä muovijätteitä käsin pois, sillä räjähdystapahtuman jälkeen tunneli on turvaamaton ja tarkistamaton paikka, johon ei säännöstenkään mukaan saa mennä. Vedenalaisessa louhinnassa panoslankojen kerääminen käsin on helpompi toteuttaa, sillä panoslangat pystytään keräämään nippuina takaisin lautalle. Avo- ja tunnelilouhinnassa panoslangat taas pilkkoutuvat pieniin osiin räjäytystyön aikana ja sekoittuvat louheeseen.

### 3.2.2 Magneettierotin

Elektronisen ja sähköisen sytytysjärjestelmän johtimet sisältävät metallia, jolloin ne voidaan poistaa louheesta magneettierottimella. Menettely tapahtuu louheen jatkojalostuksen yhteydessä murskauslaitoksella. Murskattu louhe siirretään laitoksella eteenpäin hihnakuljettinta pitkin, joka on varustettu magneettierottimella. Erotin on tyypillisesti sijoitettu hihnakuljettimen pätyyn tai suoraan yläpuolelle ja sen vahva magneettikenttä poistaa metallit kuljettimella liikkuvasta louheesta (kuva 22).

Magneettierotin voi poimia suuren osan johtimista louheen seasta, mutta se ei sovellu kaikkien johdintyyppien poistoon. Magneetin avulla ei saada poistettua esimerkiksi impulssisytytysjärjestelmän johtimia, sillä ne eivät sisällä metallia tai kuparijohtimia, sillä kupari ei ole magneettinen metalli. Magneettierotinta käytetään kuitenkin yleisesti teollisuudessa erilaisiin tarkoituksiin, kuten metalliroskan keräämiseen, joten sen käyttö louheen käsittelyssä on mahdollista. Erään haastateltavan arvion mukaan magneettierottimien käyttö suurissa kiviainestehtaissa ei ole merkittävä lisäkustannus ja se on koettu toimivaksi menetelmäksi erityisesti elektronisten nallien poistoon.

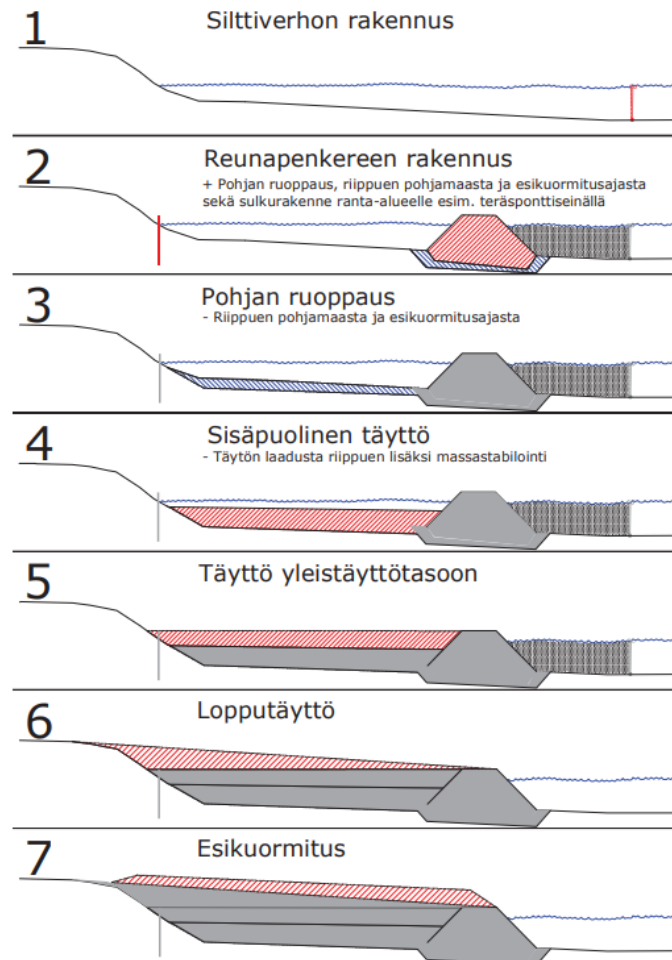


Kuva 22. Magneettierotin voidaan sijoittaa hihnakuljettimen pätyyn tai suoraan kuljettimen yläpuolelle (Helmich).

### 3.2.3 Täyttö penkereen sisäpuolelle

Vesistötäytöt voidaan pyrkiä mahdollisuuksien mukaan suunnittelemaan ja toteuttamaan siten, että täyttöalueen ulkoreunaan muodostuu (jätteettömästä louheesta) yhtenäinen reunapenger (kuva 23). Menetelmästä puhutaan myös allastamisena tai aallonmurtajarakenteena. Tällöin penkereen sisäpuolelle tehtävistä täytöistä ei pääse kulkeutumaan panoslankoja vesistöön, sillä aallot jauhavat puhtaita louhepenkereitä.

Reunapenkereen rakentaminen ei kuitenkaan ole aina mahdollista esimerkiksi vesistötäytön laajuuden tai saatavilla olevan louhemäärän vuoksi (Ramboll Finland Oy, 2016). Tällöin täytöt pyritään suunnittelemaan siten, että täytön alkuvaiheessa rakennettavista vesistötäytöistä muodostuu suojaa myöhemmin täytettävälle alueelle esimerkiksi suojaverhon avulla. Erillisiä täyttöpenkereitä rakennettaessa vesistön pohja on pääsääntöisesti ruopattava ennen läjitystä, jotta penkereen stabiileetti on riittävä. Ylimääräinen ruopaus taas lisää läjityksen kustannuksia merkittävästi.



Kuva 23: Periaatepiirustus vesistötäyttötyön etenemisestä, kun täyttö rakennetaan penkereen sisäpuolelle (Tampereen kaupunki, 2019).

### 3.2.4 Suojaverhon käyttö vesistötäytöissä

Vesistötäytöissä voidaan käyttää kelluvan muovijätteen leviämisen estävää suojaverhoa, puomitusta tai siltiverhoa (samennusverho). Siltiverhoa on perinteisesti käytetty vesistö rakentamisessa sedimenttien aiheuttamaa vesistön samentumista vastaan. Suojaverhorakenteeseen kuuluu kangas, kellukkeet rakenteen pinnalla, painot verhon alaosassa sekä selkävaijeri, joka on kiinnitetty maalle ja ottaa vastaan tuulen ja aaltojen aiheuttamia vaakavoimia. Menetelmä ei haastateltavien kokemusten mukaan kuitenkaan sovellu kaikkiin vesistötäyttökohteisiin esimerkiksi tuulisuuden tai vilkkaan vesiliikenteen aiheuttamien virtausten vuoksi.

Suojaverhoa on kokeiltu käytännössä mm. Jätkäsaaren meritäytöissä (kuva 24), mutta verhon toistuvan rikkoontumisen takia kokeilusta jouduttiin luopumaan. Verhon rikkoontuminen aiheutui arvioiden mukaan mm. kovasta aallokosta ja matkustajalauttojen potkureiden aiheuttamista virtauksista (Ramboll Finland Oy, 2016).



Kuva 24: Meritäytön suojaverho käytössä Jätkäsaarella (Ramboll Finland Oy, 2016).

Suojaverhon kellukkeisiin kasaantunutta muovijätettä voidaan kerätä veneestä käsin esimerkiksi haavilla. Verho rajaa myös pohjaan uppoavan jätteen keskitetylle alueelle. Mikromuovin leviäminen riippuu puolestaan suojaverhon materiaalista. Yleensä suojaverhon materiaalina käytetään neulottua polypropyleenikangasta, joka läpäisee vettä, mutta pidättää sedimenttipartikkelit (Ramboll Finland Oy, 2019a).

Käytännössä on havaittu, että suojaverhon korjaustarve projektin aikana on vähintäänkin kohtalainen ja suojaverhon laatu vaikuttaa suuresti menetelmän toimivuuteen. Materiaaleille ei välttämättä aina aseteta vaatimuksia, jolloin on riskinä, että suojaverhon toteuttaja valitsee käyttöönsä halvimmat ja heikkolaatuisimmat materiaalit eikä suojaverhon eheyttä valvota.

Öljyvuomit ovat silttiverhon kaltainen ratkaisu. Öljyvuomit rajaavat kelluvan roskan veden pinnalta, kun taas silttiverho rajaa myös pohjaan menevää roskaa. Puomien ja verhojen käyttö on hankalaa kohteissa, joissa on kova tuuli ja virtaukset.

### **3.2.5 Louheen lajitteleva varastointi ja esikäsittely**

Kaupunkialueiden työmaa-alueilla louheen välivarastointi ja käsittely ei ole useinkaan mahdollista, vaan varastointi ja käsittely tehdään erillisillä murskaamoilla. Lajittelevan varastoinnin idea on, että tunnelilouheet läjitetään omiin louhekasoihin ja avolouhintakivi omiin kasoihin. Menettely ehkäisee oletettavasti vähemmän muovijätettä sisältävän avolouhinnan louheen roskaantumista, jolloin louheen loppukäytöstä voidaan päättää louheen alkuperän mukaan. Avolouhinnan puhtaampaa louhetta käytetään kuitenkin vain harvoin meritäyttöihin.

Varastolajittamisen yhteydessä louhe voidaan myös välpätä eri jakeiden mukaan hyötykäytön mahdollisuuksien tehostamiseksi, jolloin louheesta erottuu kerättäväksi arvion mukaan vähintäänkin osa muovijätteestä. Louheen välppäys ei kuitenkaan ole työkustannuksiltaan kustannustehokas ratkaisu eikä näyttöjä muovin erottumisesta ole. Laadullisesti parempi lopputulos lienee mahdollista saavuttaa panostamalla sama työmäärä ja kustannus johonkin muuhun vaiheeseen louhintaprosessissa.

### **3.2.6 Muovin kelluttaminen**

Kysyttäessä tekniikoista panoslankojen ja muovijätteen poistamiseksi louheesta louhintatyön ja louheen jatkojalostuksen yhteydessä, osa asiantuntijoista ehdottaa mahdolliseksi menetelmäksi muovien kelluttamista louheesta. Louhe voitaisiin esimerkiksi ajaa hihnakuljettimella jonkinlaisen vesialtaan läpi, jolloin veden pinnalle nousevat impulssisytytysjärjestelmän muovijohtimet pystyttäisiin keräämään pois. Kaikki sytytysjärjestelmien muovikappaleet eivät kuitenkaan välttämättä kellu, esimerkiksi pintahidasteissa käytetyt umpinaiset muovikappaleet, jotka jäisivät louheeseen. Tällöin vesialtaassa voitaisiin käyttää veden ja esimerkiksi piirautajuuhen seosta sopivassa suhteessa siten, että nesteen kohonneesta tiheydestä johtuen umpinaisetkin muoviosat nousisivat pintaan. Lisäksi tällainen vesikäsitteily voisi liuottaa louheessa olevaa räjähdysaineperäistä tyyppijäännettä niin, että täyttömateriaalin mukana kulkisi vähemmän tyypeä vesistöihin.

Haastateltavat kuitenkin toteavat, että kyseinen menetelmä vaatisi mahdollisesti pitkiäkin kuljetusmatkoja louheelle, jolloin sekä päästöt ympäristöön että kustannukset kasvavat. Myös veden käyttö prosessissa lisäisi luonnonvarojen käyttöä. Lisäksi louheesta irtoava hienoaines olisi ylimääräinen jätelaji hävitettäväksi.

### **3.3 Muovien poistamiseen liittyvät haasteet**

Osa louhintaa tekevästä yrityksistä mainitsi, että yksinkertaisin tapa vähentää muovijätteen syntyä on oikean mittaisen nallijohtimen käyttäminen ja panosreiästä tulevan johtimen ylijäämäosuuden minimointi, jottei syntyisi hukkaa vaan kaikki lanka palaisi pois. Haastatteluissa mainittiin myös, että esimerkiksi Forcitin impulssiletkunalleissa on räjähtävää tulilankaa, jonka avulla muovia saadaan vähennettyä. Pohjoismaiden ministerineuvoston tekemässä selvityksessä (2020) todettiin kuitenkin, että sähköisten ja ei-sähköisten nallijärjestelmien muovijohtimia ei saa katkaista turvallisuussyistä. Muovijohtimet valmistetaan kiinteäpituusina, joten usein joudutaan käyttämään pidempää lankaa kuin mitä todellisuudessa tarvitaan. Täten työn huolellinen suunnittelu on paras keino välttää tarpeettoman pitkien johtojen käyttöä. Panosreikien ulkopuolelle jäävät johdot eivät pala ja jäävät muovijätteeksi.

Haasteina muovin poistamiseen liittyen pidettiin sen vaatimaa tilaa, aikaa ja taloudellisia resursseja. Koettiin, että louheen jatkojalostuksessa on tällä hetkellä hyvin vähän toimintoja, joiden avulla roskaamista voitaisiin vähentää. Esimerkiksi erillisten kellutusaltaiden käyttöä tai louheen pesua ei pidetty järkevänä, sillä se olisi valtava lisäkustannus louheen käsittelylle. Tiettyjen louhintaa tekevien yritysten mukaan paras tapa olisi estää jätteen leviäminen vesistöjäyttyön aikana. Tällöin vesistöjäytön tilaajan tulisi vaatia tiettyjä toimia jäytön suunnitteluun, valmisteluun ja toteutukseen. Esimerkiksi pohjaan kiinnitetyn suojaverhon rakentaminen ja tarpeeksi isojen suojapuomien asentaminen sekä roskien kerääminen. Osa haastateltavista totesi, että mikäli tilaaja pyytää halvinta tarjousta, käytetään halvimpia mahdollisia menetelmiä ja yleensä nämä menetelmät eivät huomioi roskaantumisen vähentymistä.

Muutama vesistöjäyttyjä tekevä yritys mainitsi, että vesistöjäyttyjen yhteydessä jätteiden leviämisen estäminen ei aina onnistu. Vaikka suojaverhorakenne olisi kunnossa, aallot ja merivirrat tekevät työtä koko ajan. Joka säässä tai jokaisena vuorokauden aikana muoviroskia ei pystytä keräämään.

## **4. HANKINTA: VESISTÖTÄYTTÖJEN SUUNNITTELU JA URAKAN VALMISTELU**

Tässä luvussa esitellään vesistötäyttöjen hankinnassa eli suunnittelussa ja urakan valmistelussa huomioitavia asioita. Luvussa 4.1 on yleistä ohjeistusta vesistötäyttöjen hankintaan liittyen – luvussa on käytetty benchmarkkauskohteena Helsingin Kruunusiltojen meritäyttöä ja ohjeistusta annetaan kyseisen täyttökohteen roskaantumisen estämissuunnitelmaan peilaten. Luvussa 4.2 tuodaan puolestaan esiin tämän selvityksen asiantuntijahaastatteluissa sekä kirjallisuuskatsauksessa esiin nousseita asioita vesistötäyttöjen hankintaan liittyen.

### **4.1 Yleinen ohjeistus vesistötäyttöjen hankintaan sekä Helsingin Kruunusiltojen meritäytön benchmarkkaus**

Vesistötäytöt tulee suunnitella siten, että muoviroskaa syntyy mahdollisimman vähän. Nykyisin pääosin käytössä olevien langallisten sytytysjärjestelmien myötä louheen seassa on lähes aina panoslankaa. Louheen seassa ei lähtökohtaisesti ole panoslankoja lukuun ottamatta muita jättejakeita ja mahdollisia muita jättejakeita tuleekin erityisesti välttää. Helsingin Kruunusiltojen meritäytön suunnitelmassa roskaantumisen estämiseksi (Ramboll Finland Oy, 2019) todetaan, että mikäli louhekuormien mukana alueelle kulkeutuu sinne kuulumattomia muita jättejakeita, louheen vastaanotto lopetetaan välittömästi kyseisen toimittajan osalta ja jätteen toimittajaa veloitetaan poistamaan kyseiset jättejakeet alueelta. Myös täytöissä käytettävä maa-aines on lähtökohtaisesti jätteenontä. Mikäli maa-aineksen joukossa todetaan jättejakeita, toimintatapa on vastaava kuin louheen kanssa.

#### **4.1.1 Maa- ja kiviaineksen toimittajien ohjeistus, louheen lajitteleva varastointi sekä esikäsitteily**

Maa- ja kiviaineksen toimittajia tulee ohjeistaa ennen kuljetusten aloittamista. Ohjeistuksessa tulee painottaa poistamaan kaikki poikkeavat jätteet täyttökuormista. Mikäli toimituksessa havaitaan poikkeuksellisen paljon roskaa, keskeytetään toimitukset kyseiseltä työmaalta. Ennen vastaanoton jatkamista tulee varmistaa, että toiminta on asianmukaista. Tämä vaatimus on käytännössä toiminnassa kaikilla Helsingin kaupungin massojen välivarastoalueilla, joihin louhetta on lupa välivarastoida.

Täytöissä käytettävä louhe tulee lähtökohtaisesti olla mahdollisimman vähäroskaista. Täten täytöissä on suositeltavaa käyttää tunnelilouheen sijaan vähäroskaisempaa louhetta, kuten avolouhinnan tai vedenalaisen louhinnan louhetta. Louheen lajittelevalla varastointi ja eri jakeiden suunnitelmallinen käyttö ovat hyödyllisiä työkaluja roskien leviämisen estämiseksi. Helsingin Kruunusiltojen meritäytön suunnitelmassa (Ramboll Finland Oy, 2019) roskaantumisen estämiseksi linjattiin, että jos Kruunusillat hanketta varten kerätään louhemateriaalia erikseen, esimerkiksi hanketta varten perustettavalle välivarastoalueelle, ohjeistetaan kiviaineksen vastaanotto siten, että tunnelilouheet läjitetään omalle kasalle ja avolouhintakivi omalle kasalle. Näin eri massajakeita voidaan tarvittaessa käyttää meritäytöissä suunnitelmallisesti.

Vähäisiä määriä jätettä sisältävää louhetta voidaan välpätä jätteiden (esim. panoslankojen) poistamiseksi. Välppäämisen yhteydessä täyttömateriaalista erottuvat jätteet kerätään talteen ja toimitetaan asianmukaiseen vastaanottoon.

#### **4.1.2 Suojaverhon käyttö ja täyttö penkereen sisäpuolelle**

Vesistötäytöissä käytetään suojaverhoa sellaisilla alueilla, joissa se on mahdollista. Suojaverho vähentää kelluvien jättejakeiden, kuten panoslankojen ja muiden muovijätteiden leviämistä merialueelle. Panoslankoja tulee kerätä vesistötäytön ympärille tehdyn suojarakenteen sisältä rakentamisen aikana ja sen jälkeen. Verhorakenne ei kuitenkaan toimi kaikissa olosuhteissa. Esimerkiksi myrskyn sattuessa se saattaa irrota tai

revetä. Suojaverhon käytettävyyttä pohdittaessa tulee huomioida mm. veden virtausten, aaltojen ja jään aiheuttamat paineet sekä poikkeukselliset sääolosuhteet, kuten myrskyt. Lisäksi on huomioita vaurioituneesta verhosta mahdollisesti aiheutuvat turvallisuusriskit mm. laiva- ja veneliikenteelle.

Kruunusillat hankkeessa suojaverhorakennetta esitettiin käytettäväksi Korkeasaaren ja Palosaaren pohjoispuolella tehtävien pysyvien ja tilapäisten meritäyttöjen mahdollisten roskien leviämisen rajaamisessa. Suojaverho tuli varustaa proomujen kulun mahdollistavalla portilla.

Yleisesti vesistötyöt tulee mahdollisuuksien mukaan suunnitella ja toteuttaa siten, että täyttöalueen ulkoreunaan muodostuu yhtenäinen reunapenger. Tämän penkereen sisäpuolelle tehtävistä täytöistä ei pääse kulkeutumaan panoslankoja tai muita kelluvia jätejakeita meriympäristöön. Vesistötyttöjen dimensiot ja saatavilla olevan louhevinnan määrä huomioiden, yhtenäisen reunapengeren rakentaminen ei ole aina mahdollista. Tällöin täytöt pyritään suunnittelemaan siten, että täytön alkuvaiheessa rakennettavista meritäytöistä muodostuu suojaa myöhemmin täytettävälle alueelle.

Reunapenger ei sovellu kaikkiin kohteisiin. Esimerkiksi Kruunusilltojen meritäyttöhankeessa reunapenger ei käytetty. Syynä tähän oli se, että louhemassat kuljetettiin meritäyttöalueille pääasiassa proomuilla ja näin syntyneestä meren alaisesta täytöstä osa nostettiin ruoppaajalla tai rannalta kaivinkoneella merenpinnan yläpuolelle tehtävään täyttöön. Täyttö oli lisäksi melko kapea ja näin ollen louheesta ei voitu rakentaa reunapengeriä, jonka sisäpuolelle jäisi merkittävää osa täyttötilavuudesta.

#### **4.1.3 Merenalainen läjitys tasaisesti täyttöalueelle**

Täytettäessä merialuetta proomulla täyttöä voidaan tehdä maalta täyttöä paksumpina kerroksina. Maa-alueelta tehtävissä täytöissä täyttö tehdään vyöryttämällä täyttömassa täyttöluiskaan, jolloin massakerros on ohut ja etenkin mahdolliset kelluvat roskat pääsevät erottumaan massasta helposti. Jos täyttö tehdään pudottamalla se proomusta suoraan täyttö paikalle, jota täytetään tasaisesti, täyttömassan seassa olevat roskat pysyvät paremmin massan sisällä eivätkä pääse erottumaan siitä.

Kruunusillat hankkeen kaikki meritäytöt pyritään toteuttamaan proomusta mahdollisimman tasaisina kerroksina. Täyttöä ei saanut tehdä esimerkiksi samaan kohtaan useampaan kertaan ennen kuin kohdan ympäristö on täytetty noin samaan tasoon.

#### **4.1.4 Roskien poisto vedestä ja rannoilta keräämällä sekä roskien dokumentointi**

Täyttöjä tekevältä urakoitsijalta tulee edellyttää roskien keräämistä. Helsingin Kruunusilltojen meritäytön suunnitelmassa roskaantumisen estämiseksi edellytettiin urakoitsijaa keräämään päivittäin merialueelta meritäyttöjen ympäristöstä kelluvia roskia. Lisäksi Helsingin kaupunki asetti täyttökohteiden lähialueiden ranta-alueiden panoslankojen siivoukseen rantojen siivouspartiot, jotka kiersivät rannoilla säännöllisesti. Kruunusillat hankkeessa roskien poistoa keräämällä esitettiin tehtäväksi Korkeasaaren ja Palosaaren suojaverholla rajatun alueen sisäpuolelta sekä alueen ulkopuolelta, mikäli Kruunuvuorensillan pylonia varten on tehtävä merialueen täyttöä.

Roskien keräämisen lisäksi urakoitsijaa tulisi velvoittaa kerättyjen roskien dokumentointiin. Dokumentoinnissa olisi hyvä tuoda jätelajeittain esille mitä roskia rannoilta on löytynyt. Esimerkiksi Pidä Saaristo Siistinä ry:n Siisti Biitsi -ohjelmassa on käytetty dokumentointilomaketta, jossa roskat on lajiteltu seuraaviin tyyppeihin:

- Muovi
- Paperi ja pahvi
- Metall
- Lasi ja
- keramiikka



- Kangas
- Puuaines
- Orgaaninen jäte
- Kumi
- Tupakantumpit
- Vaarallinen jäte (ent. ongelmajäte)
- Sähkö- ja elektroniikkajäte (SER)
- Muu

Esimerkiksi tämänkaltaista roskien dokumentointitapaa voisi edellyttää urakoitsijalta vesistötyttöjen yhteydessä.

Helsingin Kruunusiltojen meritäyttöä varten on laadittu myös erillinen ohjekortti (Helsingin kaupunki, 2021), johon koottiin vesirakennustöiden työnaikaisen roskaantumisen estämiseksi suunnitellut toimenpiteet. Taulukkoon 1 on koottu ohjekortissa olleet toimenpiteet. Taulukossa toimenpiteet on jaettu ennen työn aloitusta tehtäviin- ja työn aikana tehtäviin toimenpiteisiin.

**Taulukko 1: Helsingin Kruunusiltojen meritäyttöä varten laadittu ohjekortti (Helsingin kaupunki, 2021),**

Toimenpide	Toiminta	Kohteet
<b>Ennen työn aloitusta</b>		
Maa- ja kiviaineksen toimittajien ohjeistaminen jätteiden osalta	Ohjeistetaan maa- ja kiviaineksen toimittajia poistamaan kaikki roskat kohteeseen kuljetettavasta maa- ja kiviaineksestä. Mikäli toimituksessa havaitaan roskaa, keskeytetään toimitukset kyseiseltä työmaalta. Ennen vastaanoton jatkamista tulee varmistaa, että maa- ja kiviaines on roskatonta	Urakka- ja väliavarastointialue
Eri louhejakeiden varastointi	Hanketta varten mahdollisesti varattua louhemateriaalia varastoidaan siten, että tunnelilouheet on läjitetty omalle kasalle ja avolouhintakivet omalle kasalle.	Urakka- ja väliavarastointialue.
<b>Työn aikana</b>		
Aistinvarainen tarkkailu	Jos louheen joukossa on sinne kuulumattomia jätteitä, louheen vastaanotto lopetetaan välittömästi kyseisen toimittajan osalta ja jätteen toimittajaa veloitetaan poistamaan kyseiset jättejakeet alueelta.	Urakka- ja väliavarastointialue
Roskien poisto vedestä ja rannoilta keräämällä	Meritäytöt tekevä urakoitsija kerää täyttötöiden aikana päivittäin merialueelta meritäyttöjen ympäristöstä kelluvia roskia. Kerättyjen roskien määrästä pidetään päivittäin kirjaa ja tiedot kirjataan työmaapäiväkirjaan.	Suojaverholla rajattu alue. Mikäli kelluvia roskia joutuu suojaverhon ulkopuolelle myös ranta-alueet, johon roskia kerääntyy tai merialue, jossa roskia tavataan

Tasainen merenalainenläjitys, proomulla	Proomuilla tehtävä meritäyttö tehdään mahdollisimman tasaisina kerroksina. Täyttöä ei saa tehdä tyhjentämällä proomuja yhteen samaan kohtaan tai vain muutamaa kohtaan. Proomujen tyhjennykset on tehtävä niin, että niiden seurauksena täyttökerros on koko täytettävällä alueella mahdollisimman tasainen.	Urakka-alue
Suojaverhon käyttö	Meritäytöissä käytetään ns. suojaverhoa rajaamaan kelluvien roskien leviämistä. Suojaverho on tarvittaessa varustettava proomujen kulun mahdollistavalla portilla. Suojaverho pidetään toimintakuntoisena ja mahdolliset verhon vauriot korjataan viipymättä.	Suojaverhorakennetta käytetään kaikkien meritäyttöalueiden ja niiden mahdollisten osavaiheiden ympärillä.

#### 4.2 Asiantuntijahaastatteluissa ja kirjallisuudessa esiin nousseet asiat hankintaan liittyen

Vesistötäyttöjen suunnittelu tapahtuu nykyään pääasiassa tilaajan suunnittelukonsulttien toimesta. Suunnitteluosaaminen on nykyään vähentynyt ja keskittynyt muutamaan suunnittelutoimistoon. Haastatteluissa nousi esille toive alan osaajien yhteen kokoamisesta vesistötäyttöjen suunnittelun parissa.

Useat haastateltavat nostivat esille tilaajan vastuun kilpailutusvaiheessa. Nykyisellään hintakilpailu syrjäyttää tarjouspyynnöissä ja tarjouksissa esimerkiksi muovijätteen vähentämiseen liittyvät näkökohdat. Niin kauan, kuin tilaajat pyytävät halvinta mahdollista tarjousta, käyttävät urakoitsijat halvimpia mahdollisia menetelmiä, jotka eivät välttämättä huomioi muovijätteen vähentämistä.

Sytytysjärjestelmien ja välineiden valikoima on riippuvainen markkinoiden tarjonnasta. Ruotsissa on annettu määräys käyttää valtion hankkeissa elektronisia nalleja, minkä seurauksena niiden käyttömäärä on kasvanut ja hinnat laskeneet. Myös Norjan ympäristövirasto on suosittanut käyttämään elektronisia sytytysjärjestelmiä, muovin keräämistä sekä muovin määrän kokonaisbudjetin laatimista. Norjassa makrokuidun käyttö ruiskubetonissa on kielletty NPRA:n toimesta ja vaatimuksia asetettu teräksen päälle tulevan betonikorroosiosuojan paksuudelle.

Lisäämällä vastaavia muutoksia vaatimuksiin eri työvaiheissa ja osoittamalla vastuutahot eri työvaiheisiin, saataisiin ratkottua roskaantumisongelmaa. Urakoitsijat toteavatkin parhaan tavan vähentää roskaantumista olevan tilaajan vaatimukset suunnitteluun, valmisteluun ja toteutukseen, sillä louhinnassa ja jatkojalostuksessa mahdolliset toimenpiteet ovat rajalliset. Esimerkkejä haastateltavien esiin nostamista vaatimuksista:

- muovin vähentämisen nostaminen osaksi ympäristövaikutusten arviointia
- vähemmän muovijätettä tuottavien sytytysjärjestelmien edellyttäminen hankkeissa
- tarjouksessa hinnan pyytäminen elektronisen tai langattoman järjestelmän käytölle kuutio- tai metrimäärän mukaan
- suojaverhojen ja puomien käyttö
- roskien kerääminen

Myös tiukat aikataulurajoitukset saattavat olla ristiriidassa joidenkin aikaa vievien muovinpoistamismenetelmien käytön kanssa. Tämä voi olla työvaiheiden suunnittelulla ratkaistava haaste esimerkiksi pengerryksissä, jos louheen toimitusaikataulusta ei ole tarkkaa tietoa.

Haastateltavat nostivat esiin tilaajan vastuun myös louheen käyttötarkoituksesta päättämässä tapauksissa, joissa louhe tulee tilaajalta. Esimerkiksi roskaisen tunnelilouheen osalta on järkevää miettiä, käytetäänkö

louhetta nimenomaan vesistötäyttöihin. Vesistötäyttöihin tulee valita mahdollisimman roskatonta louhetta esimerkiksi avolouhoksista samalla huomioiden kokonaisratkaisu, johon liittyvät myös esim. kuljetuksesta syntyvät päästöt.

Haastattelussa hankkeen hakemusvaiheessa tiettyjä selvityksiä esimerkiksi roskan määrän minimointiin liittyen. Hakijan tulee selvittää, miten roskan määrää aiotaan minimoida. Lupamääräykseen tulee lisätä määräyksiä esimerkiksi roskan keräämisestä ja silttiverhon käytöstä.

Norjan ympäristöviranomaisen, Miljødirektoratet (2018), vaatii projektinomistajia ja urakoitsijoita ottamaan vastuuta muovijätteen määrän vähentämisestä hankkeista, ja suosittaa lisäksi tiukentuvia vaatimuksia ympäristölupaprosesseihin. Lisäksi viranomaisen kehottaa yhteistyöhön alalla myös muovia korvaavien vaihtoehtoisten materiaalien testaamisessa.

Miljødirektoratet antaa seuraavan tarkistuslistan vesistötäyttöjen suunnitteluun muovin vähentämisen näkökulmasta:

- 1) Massojen tulee sisältää mahdollisimman vähän muovia. Massojen toimittajille asetetaan vaatimukset määritetyn alhaiselle muovipitoisuudelle täyttömassoissa.
- 2) Muovista vahvistusta ei sallita.
- 3) Poratulpat poistetaan ennen räjäytystä ja uusiokäytetään tai käsitellään jätteenä.
- 4) Sytytysjärjestelmissä tulee suosia sähköisiä tai sähköttömiä sytytysjärjestelmiä (uppoavat johtimet)
- 5) Toimijan on tehtävä mahdollisimman hyvä vastaanottotarkastus täyttöpaikalla louheen seassa olevalle muoville.
- 6) On edelleen asetettava vaatimuksia, jotka tarkoittavat, että massan toimittajien on työskenneltävä aktiivisesti louheen muovipitoisuuden vähentämiseksi (erityisesti isommissa projekteissa).
- 7) Jos käytetään kelluvaa muovia, rakentajalla tulee olla jatkuvasti käytössä kattavat järjestelmät, joilla estetään muovin leviäminen toiminta-alueella.
- 8) Toimijan tulee aktiivisesti monitoroida muovijätettä rannoilla ja poistaa rannoille ajautunut muovi
- 9) Täytön jälkeinen muovin leviäminen tulee minimoida (kohteen vedenalainen verhouk ja pinnalla kelluvat puomit).
- 10) Työlle on asetettava edellytykset valvonnalle sekä täyttötyön aikana että sen jälkeen
- 11) Suurissa hankkeissa monitoroinnin aikahorisontin tulisi ulottua kymmenen vuoden päähän valmistumisesta.

## 5. KOKEMUKSET HELSINGISTÄ

Helsingissä on tehty meritäyttöjä viime vuosina Jätkäsaarella ja Kruunuvuorenrannassa. Tässä luvussa esitellään keskeiset kokemukset meritäytöistä Jätkäsaaren Saukonlaiturin ja Melkinlaiturin asemakaava-alueilla, Jätkäsaaren sataman uuden terminaalin meritäyttöalueella sekä Kruunuvuorenrannan Koirasaaren meritäyttöalueella.

### 5.1 Jätkäsaari Saukonlaiturin ja Melkinlaiturin asemakaava-alueiden meritäytöt

- Töitä tehtiin vuosina 2011–13.
- Täyttöjä yhteensä reilu 2 milj. m<sup>3</sup>rtr.
- Täytöt oli suunniteltu tehtäväksi ensimmäisessä vaiheessa rakennettavien täyttöaluetta rajaavien reunapenkereiden sisään.
- Täyttötyötä ei voitu tehdä suunnitellusti, sillä louhetta tuli Länsimetrosta useammasta samaan aikaan louhittavasta kohteesta niin paljon, että reunapenkereiden rakentaminen ei ollut käytännössä mahdollista – useamman kuorma-auton piti päästä kippaamaan samaan aikaan vierekkäin.
  - o Meritäyttöä tehtiin leveänä rintamana ja louheen seassa ollutta muoviroskaa pääsi leviämään merialueelle.
  - o Muoviroskasta aiheutui haittaa sen ajautuessa ja kasaantuessa lähirannoille merivirtausten kuljettamana ja aallokon kasaamana.
  - o Roskia kerättiin rannoilta jälkikäteen.
- Täyttötyön aikana kokeiltiin rajata meritäyttöalue silttiverholla, mutta se ei pysynyt paikoillaan ja sen käytöstä jouduttiin luopumaan.
- Käytetystä louheesta tunnelilouhetta noin 1,5 milj. m<sup>3</sup>rtr ja avolouhinta louhetta noin 0,6 milj. m<sup>3</sup>rtr.
- Meritäyttöalueen valmistuttua louhetta ohjattiin välivarastoon rakennetulle meritäyttöalueelle.

### 5.2 Jätkäsaari Sataman uuden terminaalin meritäyttöalue

- Töitä tehtiin vuosina 2011–2014.
- Täyttöjä yhteensä reilu 1,3 milj. m<sup>3</sup>rtr.
- Täytöt oli suunniteltu tehtäväksi leveänä päätypenkereinä suojaverhon rajaamalle merialueelle, sillä täyttöalueen muoto ei mahdollistanut reunapenkereen rakentamista järkevillä dimensioilla.
- Täyttötyötä ei voitu tehdä suunnitellusti suojaverhon osalta.
  - o Täyttöalue on erittäin avoin aallokolle ja tuulelle, lisäksi lähialueella liikennöivät matkustajalaivat voimistavat merialueen virtauksia.
  - o Hankalista olosuhteista johtuen suojaverhoa ei voitu pitää alueella turvallisesti matkustajalaivaliikennettä vaarantamatta muutamaa viikkoa kauemmin.
- Käytetystä louheesta tunnelilouhetta noin 0,8 milj. m<sup>3</sup>rtr ja avolouhinta louhetta noin 0,5 milj. m<sup>3</sup>rtr ja nämä oli välivarastoitu Jätkäsaaren alueelle (Saukonlaiturin ja Melkinlaiturin asemakaava-alueiden meritäyttöalueelle).
- Muoviroskia kerättiin täyttötyön aikana merestä ja lähirannoilta. Lisäksi muoviroskia kerättiin työn jälkeen lähirannoilta.
- Täyttötyön aikana ilmeni, että louheen seassa oli tuotu täyttöihin pieni määrä betonijätettä ja kuitubetonin muovikuituja. Asian paljastuttua muovikuituja sisältäneet louhelastit käännytettiin takaisin, mutta tämän seurauksena muovikuituja pääsi leviämään merialueelle ja niitä löytyi lähirannoilta.

### 5.3 Kruunuvuorenrannan Koirasaaren meritäyttöalue

- Töitä tehtiin vuosina 2019 ja 2020.
- Täyttöjä yhteensä reilu 0,9 milj. m<sup>3</sup>rtr.

- Täytöt oli suunniteltu tehtäväksi ensimmäisessä vaiheessa rakennettavien täyttöaluetta rajaavan reunapenkereen sisään. Lisäksi täyttöalueen ympäri oli suunniteltu suojaverhon rajaamalle merialueelle.
- Täyttötyö tehtiin suunnitelmien mukaisesti.
- Käytetty louhe oli pääosin Kalasataman alueelta peräisin olevaa, avolouhinnassa syntynyttä louhetta, joka oli välivarastoitu Koirasaaren läheisyyteen.
- Roskia (pääosin muita kuin muoviroskia) poistettiin välivarastoidusta louheesta ennen sen meritäyttöön kuljetusta.
- Muoviroskia kerättiin täyttötyön aikana suojaverhon sisäpuolelta.
- Muoviroskia todettiin löytyneen hieman lähirannoilta täyttötyön aikana, mutta roskien alkuperästä ei ollut täyttä varmuutta. Suojaverho pysyi ehjänä täyttötyön ajan. Täyttötöitä oli käynnissä myös Kalasatamassa.
- Kerättyjen roskien dokumentointi kuului meritäyttöurakkaan. Taulukossa 2 on esitetty ote laaditusta dokumentista. Muovia löytyi merestä 585,3 kg 1,5 kuukautta kestäneen dokumentoinnin aikana.

**Taulukko 2: Koirasaaren meritäyttöalueen roskien keruudata: merestä kerättyjen roskien määrät kiloina roskatyypeittäin välillä 15.5.–29.6.2019.**

<b>Roskatyyppi</b>	<b>Punnittu määrä (kg)</b>
Muovi	585,3
Puuaines	3662,4
Kankaat	14,5
Pahvit/paperit	0,4
Kumi	4,0
Vahtolasi	23,5
Metalli	2,7
Lasi	2,0
Muut	415,9
<b>Yhteensä</b>	<b>4710,7</b>

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Muovijätteen määrää vesistöäyttyjen yhteydessä on mahdollista vähentää täyttökettun eri vaiheissa. Louhintavaiheessa louhintamenetelmissä ja sytytysjärjestelmissä tehtävät valinnat ovat keskiössä. Tämän selvityksen perusteella sillä, millä tavoin tuotettua louhetta vesistöäyttyssä käytetään, on suuri merkitys roskaantumisen ehkäisemisessä. Tunnelilouhinta on kaikista ongelmallisinta roskaantumisen kannalta, sillä siinä joudutaan käyttämään selvästi eniten impulssiletkuja louhekuutiota kohden. Myös tunnelilouhinnassa lujitukseen käytettävä ruiskubetoni on ongelmallista sen sisältämien polymeerikuitujen takia. Louhinnasta vesistöihin päätyvää muovijätettä saataisiinkin pienennettyä selvästi käyttämällä tunnelilouheen sijasta avolouhinta-louhetta tai vedenalaisen louhinnan louhetta. Karkean arvion mukaan vesistöön päätyvän muovijätteen määrä pienenesi noin kymmenekseen siirryttäessä tunnelilouheesta avolouheeseen. Vedenalaisen louhinnan louhetta käyttämällä muoviroskasta voisi olla mahdollista päästä kokonaan eroon. Vedenalaisessa louhinnassa on haasteena se, että sitä tehdään toistaiseksi hyvin harvan yrityksen toimesta ja siten louheen saatavuus voi usein olla ongelmallista.

Taulukkoon 3 on koottu louhintamenetelmien hyvät ja huonot puolet roskaantumisen näkökulmasta. Edellä mainittujen räjäyttämiseen perustuvien louhintamenetelmien lisäksi tässä selvityksessä esiteltiin räjähteettömän louhinnan menetelmistä tunneliporaus sekä kiilaus. Nämä eivät kuitenkaan ole realistisia vaihtoehtoja vesistöäyttyjen näkökulmasta: tunneliporausessa syntyvän louheen ongelmana on se, että se on hienojakoista ja teräväsärmäistä louhetta ja siten heikkolaatuisempaa rakentamisen kannalta, kuin räjäytystekniikalla syntyvä louhe. Kiilaus puolestaan on harvinainen louhintamenetelmä sen kalliin hinnan ja hitauden johdosta.

Taulukko 1: Räjäyttämiseen perustuvien louhintamenetelmien vertailu vesistöjen roskaantumisen näkökulmasta

	Tunnelilouhinta	Avolouhinta	Vedenalainen louhinta
<b>Hyvät puolet</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Porareikien määrä pienempi kuin tunnelilouhinnassa</li> <li>→ vähemmän impulssiletkuja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Roskaantuminen verrattuna maalouhintaan on hyvin minimaalista, jos ei olematonta.</li> <li>Arviolta noin 70 % räjähdyslangoista saadaan pois</li> </ul>
<b>Huonot puolet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muoviroskaa tulee enemmän kuin muilla vertailluilla menetelmillä</li> <li>Louheessa on mukana mikro- ja makropolymeerikuitua sekä ruiskubetonin ja injektointisementin jäämiä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muoviroskaa tulee melko paljon, kuitenkin vähemmän kuin tunnelilouhinnasta (noin 10 % tunnelilouhinnan määrästä)</li> </ul>	

Itse louhinnassa muovijätteen syntymiseen voidaan vaikuttaa panostamisen ja kytkennän työvaiheen materiaalivalinnoilla. Olennaisin tekijä roskaantumisen hillitsemisessä on sytytysjärjestelmän valinta. Tässä selvityksessä on esitelty perinteiset, laajalti Suomessakin käytössä olevat impulssisytytysjärjestelmät, elektroniset sytytysjärjestelmät sekä uusinta teknologiaa edustavat langattomat sytytysjärjestelmät.

Impulssisytytysjärjestelmät ovat kaikista ongelmallisimpia roskaantumisen näkökulmasta. Impulssisytytysjärjestelmien halpa hinta ja tunnettavuus kuitenkin houkuttelevat yrityksiä käyttämään niitä. Käyttämällä vesistötäyttöissä louhetta, joka on räjäytetty elektronisella sytytysjärjestelmällä impulssisytytysjärjestelmän sijaan, saataisiin Pohjoismaiden ministerineuvoston raportin (2020) mukaan vähennettyä muovin määrää 27–70 prosentilla. Tällä saavutettaisiin hyötyjä myös ympäristön viihtyisyyden ja rantojen roskaantumisen näkökulmasta, sillä lähes kaikki elektronisten sytytysjärjestelmien muoviosat päätyvät vesistöjen pohjaan.

Elektronisissa sytytysjärjestelmissä haasteena on niiden korkeampi hinta ja uudenlaisen järjestelmän käyttöönottoon liittyvät haasteet. Ruotsissa hinnat tippuivat alas määräyksellä käyttää elektronisia nalleja. Tämä voisi Suomessakin olla yksi potentiaalinen tapa vaikuttaa elektronisten nallien käytön lisääntymiseen. Tulevaisuudessa vesistötäyttöjen muoviroskaongelma on todennäköisesti ratkaistavissa langattomien sytytysjärjestelmien avulla. Toistaiseksi alan toimijat näkevät langattomat järjestelmät liian kalliina ratkaisuna, jotta niitä voisi ottaa laaja-alaisesti käyttöön. Taulukossa 4 vertaillaan impulssisytytysjärjestelmiä, elektronisia sytytysjärjestelmiä ja langattomia sytytysjärjestelmiä. Langattomien järjestelmien ja elektronisten järjestelmien lisäksi muovin määrää voidaan hallita hybridisytytysjärjestelmällä, kuten tässä selvityksessä esitellyllä Austin Powderin Shock\*Star Plastic -sytytysjärjestelmällä. Siinä sytytyslangat räjähtävät ja impulssiletku sulaa jo räjäyttäessä, joten järjestelmän käyttö ei aiheuta roskaantumista.

**Taulukko 2: Tässä selvityksessä esiteltujen sytytysjärjestelmien vertailu (- / 0 / + / ++). – tarkoittaa huonoa, 0 neutraalia, + hyvää ja ++ erittäin hyvää.**

<b>-/0/+ / ++</b>	<b>Impulssisytytysjärjestelmät</b>	<b>Elektroniset sytytysjärjestelmät</b>	<b>Langattomat sytytysjärjestelmät</b>
<b>Muovin hallinta</b>	-	+	++
<b>Käytetty</b>	++	0	-
<b>Hinta</b>	++	0	-
<b>Haasteet</b>		hinta, käyttöönotto	hinta, käyttöönotto

Tässä selvityksessä esitellyistä muoviroskan hallinta -menetelmistä kokonaisuutena toimivin on täyttö penkereen sisäpuolelle. Menetelmä estää tehokkaasti panoslankojen ja muiden kelluvien jättejakeiden pääsyn vesistöön. Kyseessä on myös halpa menetelmä. Ongelmana täytössä penkereen sisäpuolelle on kuitenkin se, että yhtenäistä reunapenkerettä ei ole aina mahdollista rakentaa täyttöalueelle. Näissä tapauksissa on suositeltavaa suunnitella täyttö siten, että täytön alkuvaiheessa rakennettavista vesistötäytöistä muodostuu suojaa myöhemmin täytettävälle alueelle. Toinen kokonaisuutena hyväksi havaittu ja hyvin laajalti käytetty muovien hallintamenetelmä on suojaverhon käyttö. Yleisesti suojaverho vähentää hyvin kelluvien jättejakeiden kulkeutumista suojaverhon ulkopuolelle. Muovin ja mikromuovin leviäminen on kuitenkin sidoksissa suojaverhon materiaalin tyyppiin ja laatuun. Reunapenkereen sisäpuolelle täyttämisen lisäksi myöskään suojaverho ei sovellu kaikkiin vesistötäyttökohteisiin. Sen käyttöä harkittaessa tulee huomioida mm. veden virtasten, aaltojen ja jään aiheuttamat paineet sekä poikkeukselliset sääolosuhteet ja vesiliikenteen turvallisuusriskit. Tiedossa onkin tapauksia, joissa suojaverho on hajonnut luonnonolosuhteiden takia.

Täyttöä penkereen sisäpuolelle ja suojaverhoa tulee siis käyttää vesistötäytöissä mahdollisuuksien mukaan. Muita muovin hallintamenetelmiä, joita on suositeltavaa käyttää, ovat muovien poisto käsin sekä louheen esikäsittely ja lajittelu. Näkyvää muoviroskaa on suositeltavaa poistaa käsin jo ennen täyttöjen tekoa. On kuitenkin huomioitava, että kaikkea louheen mukana olevaa muoviroskaa ei ole mahdollista poimia käsin. Täten sitä ei tule käyttää ainoana muovin hallinta -menetelmänä. Louheen esikäsittelyä ja lajittelua on suositeltavaa käyttää menetelmänä erityisesti silloin, kun sen avulla saadaan eroteltua vähäroskainen louhe (avolouhinnan tai vedenalaisen louhinnan louhe) roskaisemmasta louheesta (tunnelilouhe). Taulukossa 5

vertaillaan kaikkia tässä selvityksessä esiteltyjä muovin hallinta -menetelmiä muovin hallinnan, tunnettavuuden, hinnan, haasteiden ja ajankäytön osalta.

**Taulukko 5: Tässä selvityksessä esiteltyjen muovinhallintamenetelmien vertailu ( - / 0 / + / ++ ). – tarkoittaa huonoa, 0 neutraalia, + hyvää ja ++ erittäin hyvää.**

-/0/+ / ++	Muovien poisto käsin	Magneetti-erotin	Louheen esikäsitely ja lajittelu	Täyttö penkereen sisäpuolelle	Suoja-verho	Muovin kelluttaminen
<b>Muovin hallinta</b>	0	0	+	++	+*	?
<b>Tunnettu</b>	++	-	0	+	++	-
<b>Hinta</b>	++	0	0	++	-	-
<b>Haasteet</b>	kaikkia roskia ei pystytä keräämään	melu, hiilijalanjälki, ei poista impulssisytytysjärjestelmän johtimia	toimivuus	rakentaminen, ei sovellu kaikkialle	virtaukset, aallot, jää	ei kokeiltu käytännössä, kuljetusmatkat
<b>Ajankäyttö</b>	0	++	-	0	-	?

\* muovin ja mikromuovin leviäminen riippuu suojaverhon materiaalin tyypistä ja laadusta

Sytytysjärjestelmät, vähäroskaisen louheen käyttö sekä erilaiset menetelmät muovien poistamiseksi ovat siis keskiössä muovijätteen vähentämisessä vesistötäyttöjen yhteydessä. Koska muovijätettä kuitenkin päätyy useimpien täyttöjen yhteydessä vesistöihin, on rantojen siivoaminen erittäin tärkeää. Urakoitsijalta tulisivin edellyttää roskien keräämistä täyttöalueen lähistöltä. Lisäksi erilaisten siivouspartioiden kiertäminen läheisillä rannoilla on suotavaa. Täyttöjen vaatimuksiin olisi hyvä lisätä vaatimus, että urakoitsija dokumentoi roskat jätelajeittain.

Tämän selvityksen perusteella alan toimijoiden keskuudessa on muovin synnyttämä ympäristöongelma tiedostettu ja ratkaisujen löytämiselle on yhteinen tahtotila. Alan asiantuntijat nostivat haastatteluissa esille tilaajan vastuun kilpailutusvaiheessa. Nykyisellään hintakilpailu syrjäyttää tarjouspyynnöissä ja tarjouksissa esimerkiksi muovijätteen vähentämiseen liittyvät näkökohdat. Niin kauan, kuin tilaajat pyytävät halvinta mahdollista tarjousta, käyttävät urakoitsijat halvimpia mahdollisia menetelmiä, jotka eivät huomioi muovijätteen vähentämistä. Selvityksen perusteella tehokkaita toimia muovin hallinnalle olisivatkin tilaajien ja/tai viranomaisten suunnalta tulevat vaatimukset. Nämä vaatimukset voisivat sisältää esimerkiksi vaatimuksia tiettyjen muovinhallintamenetelmien käytölle sekä muovin vähentämisen nostamisen osaksi ympäristövaikutusten arviointia.



## 7. LÄHTEET

Al-Bakri, A., Hefni, M. 2021. A review of some nonexplosive alternative methods to conventional rock blasting. Open Geosciences Volume 13 Issue 1.

Austin Powder. 2019. Shock Star PF. Product Information brochure.

Betonamit. 2016. Betonamit® Etanadynamiitti. Saatavissa: [https://www.semtu.fi/application/files/1415/2189/4807/Betonamit\\_Etanadynamiitti\\_FI.pdf](https://www.semtu.fi/application/files/1415/2189/4807/Betonamit_Etanadynamiitti_FI.pdf) Viitattu 20.4.2022.

Forcit. 2022a. DaveyTronic®SP. Saatavissa: <https://forcitexplosives.fi/tuote/daveytronic-sp/>. Viitattu 22.2.2022.

Forcit. 2022b. DaveyTronic® OP/OPW. Saatavissa: <https://forcitexplosives.fi/tuote/daveytronic-op-opw/>. Viitattu 22.2.2022.

Helmich. T. The True Value of Magnetic Separators and Metal Detector in Bulk Handling. Eriez Magnetics Europe Ltd.

Helsingin kaupunki. 2021. Roskaantumisen estäminen – ohjekortti Kruunusillan vesirakennustöille.

IADC, International Association of Dredging Companies. 2016. Underwater Drilling & Blasting.

Kivirock. 2019. Louhintaa ilman räjäyttämistä - kivi rikki halkaisusylintereillä. Saatavissa: <https://www.kivirock.fi/uutiset.html?155320>. Viitattu 22.2.2022.

Lakkala, P. 2013. Elektronisten nallien vertailu impulssiletkunalleihin räjäytystöissä sekä räjähdysksen laatuun vaikuttavat tekijät. Opinnäytetyö, Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Liska, M., Wilson, A., Bensted J. 2019. Expansive cements. Lea's Chemistry of Cement and Concrete 5th edition, ch. 13, pg. 585–649.

Mantila, A. 2022. Betoniteollisuus ry. Sähköpostikeskustelu 22.3.2022.

Miljødirektoratet. 2018. FAKTAARK M-1085 | 2018. Problemer med plast ved utfylling av sprengstein i sjø.

Norconsult. 2017. Testforsøk - spredning av plast i sjø fra utfylte tunnelmasser skutt med elektroniske tennere - Aldersundet - Rassikringsprosjekt Rv 17 Liafjell. Statens vegvesen Region vest.

Orica. 2016. Wireless blasting solutions. Saatavissa: <https://www.orica.com/ArticleDocuments/2178/Sub%20Level%20Cave%20Brochure.pdf.aspx?Embed=Y>. Viitattu 9.3.2022.

Orica. 2017. Going wireless. Saatavissa: [https://www.orica.com/ArticleDocuments/2202/AMM\\_1710\\_Drill-and-Blast\\_Wireless%20Editorial%20and%20Ad.pdf.aspx?Embed=Y](https://www.orica.com/ArticleDocuments/2202/AMM_1710_Drill-and-Blast_Wireless%20Editorial%20and%20Ad.pdf.aspx?Embed=Y). Viitattu 9.3.2022.

Orica. 2020. Langaton nallijärjestelmä vedenalaisessa louhinnassa.

Orica. 2022. WebGen™ 200 – second generation Wireless Initiating System. Saatavissa: <https://www.orica.com/Products-Services/Blasting/Wireless/How-it-works/WebGen-200/webgen-200#.YijKpXpByUm>. Viitattu 9.3.2022.

Oy Forcit AB & Orica Mining Services Ltd. 2001. Nonel, käyttäjän opas / tuotetieto. Saatavissa: <https://docplayer.fi/19477939-Nonel-sytytys-2-100-m-sec-6-500-m-sec-paineaalto-pysyy-nonel-letkun-sisalla-kun-taas-rajahava-tulilanka-rajahava.html>. Viitattu 9.3.2022.

Petrow. S. 2014. Ruiskubetonointi ja sen mahdollisuudet. Betoni-lehti 4/2014. Betoniteollisuus ry.

Pidä Saaristo Siistinä ry. Siisti Biitsi -ohjelman roskalomake.

Päiviö, O. 2020. Tunneliporalla 800 metriä betoniputkea viidessä viikossa. Konepörssi. Saatavissa: <https://koneporssi.com/tyokoneet-2/tunneliporalla-800-metria-betoniputkea-viidessa-viikossa/>. Viitattu 1.2.2022.

Pöyry. 2019. Finest Bay Area - Rautatietunneli Suomen ja Viron välillä. Valtioiden rajat ylittävien ympäristövaikutusten arviointiohjelma-asiakirja.

Sannerud, O. E. Ramboll Norway. Sähköpostikeskustelu 3.12.2021.

SveMin. 2012. Kväveutsläpp från gruvindustrin, Tukholma.

RailSystem. 2022. Tunnel Boring Machine (TBM). Saatavissa: <http://railsystem.net/tunnel-boring-machine-tbm/>. Viitattu 9.2.2022.

Ramboll Finland Oy. 2016. Suunnitelma roskaantumisen estämiseksi, Hernesaaren massojen välivarastointi ja esikäsitteilyalue.

Ramboll Finland Oy. 2019a. Hiedanrannan vesistötyttö, Tampere. Vesilain mukainen hakemussuunnitelma.

Ramboll Finland Oy. 2019b. Suunnitelma roskaantumisen estämiseksi, Kruunusillat Helsinki.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2015. BY 63, Ruiskubetoniohjeet 2015. Suomen rakennusmedia Oy, Helsinki.

Tampereen kaupunki. 2019. Kantakaupungin yleiskaava 2040. Hiedanrannan rakentamisen ympäristö- ja terveysvaikutukset.

Työturvallisuuskeskus. 2016. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. Saatavissa: [https://ttk.fi/files/6418/Rajaytys\\_ja\\_louhintatyon\\_turvallisuusohje\\_23123.pdf](https://ttk.fi/files/6418/Rajaytys_ja_louhintatyon_turvallisuusohje_23123.pdf). Viitattu 1.2.2022.

Väylävirasto. 2022. Louhintaa ja räjäytyksiä tietyömailla. Saatavissa: <https://vayla.fi/ymparisto/melutarina/louhinnat>. Viitattu 1.2.2022.

YIT. 2022. Ruoppaus ja vedenalainen louhinta. Saatavissa: <https://www.yit.fi/infra/vesirakentaminen/ruoppaus>. Viitattu 1.2.2022.