

Maaperän puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset

Kehityshanke

MARKO NURMINEN
EMILIA PÖYRY
TUULI AALTONEN
CHRISTIAN TALLSTEN
PASI VAHANNE

Maaperän puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset

Kehityshanke

Loppuraportti

Vastaanottaja: Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Laatija: Marko Nurminen, Emilia Pöyry, Tuuli Aaltonen, Christian Tallsten, Pasi Vahanne, FCG Finnish Consulting Group Oy

Sisältö

1 Johdanto	2
1.1 Keskeiset määritelmät	2
1.2 Puhdistuksen luvitus ja suunnittelu	3
1.3 Rajaukset	4
2 Puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset	4
2.1 Puhdistuksen elinkaari	4
2.2 Tuotevaihe	5
2.3 Valmisteluvaihe	6
2.4 Puhdistusvaihe	6
2.5 Päätösvaihe	6
2.6 Seurantavaihe	6
3 Puhdistusmenetelmän valinta	7
3.1 Valintakriteerit	7
3.2 Puhdistusmenetelmät	7
3.2.1 Massanvaihto.....	7
3.2.2 Aumakäsittelyt	9
3.2.3 Eristys.....	10
3.2.4 Injektointeihin perustuvat menetelmät	11
3.2.5 Termiset menetelmät	14
3.2.6 Huokosilmakäsittely	15
3.2.7 Fytoremediaatio	16
3.2.8 Biologisen hajoamisen seuranta	17
4 Ilmastovaikutusten arviointi	18
4.1 Ilmastovaikutusten arviointi PIMA-hankkeissa	18
4.2 Hiilijalanjälki	18
5 PIIP-laskentatyökalu	19
5.1 Laskentatyökalun tavoitteet	20
5.2 Laskentatyökalun käyttö	20
5.3 Laskentatyökalun kertoimet	20
5.4 Laskentatyökalun rajaukset	21
6 Case-kohteet	21
6.1 Tarkasteltavien kohteiden valinta ja päästölaskenta	21
6.2 Panfur, Kurikka	22
6.2.1 Kohteen tiedot.....	22
6.2.2 Huokoskaasuihu	23
6.2.3 Injektointi	24
6.2.4 Terminen desorptio.....	26

6.3 Rajalan saha, Kurikka	28
6.3.1 Kohteen tiedot.....	28
6.3.2 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos	29
6.3.3 Hiilijalanjäljen laskenta.....	29
6.4 Petrolan turkistarha, Rääkkylä.....	30
6.4.1 Kohteen tiedot.....	30
6.4.2 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos	31
6.4.3 Hiilijalanjäljen laskenta.....	32
6.5 Entinen jakeluasema, Pyhäntä.....	33
6.5.1 Kohteen tiedot.....	34
6.5.2 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos	34
6.5.3 Hiilijalanjäljen laskenta.....	34
6.6 Kohteiden hiilijalanjäljen vertailu	35
7 Päästöjen arvioinnin haasteet.....	36
8 Ilmastovaikutusten pienentäminen puhdistushankkeissa.....	37
8.1 Vaikutusten pienentäminen ennen puhdistushanketta	37
8.2 Vaikutusten pienentäminen puhdistushankkeen elinkaaren aikana	37
8.3 Ilmastovaikutusten huomioiminen kilpailutuksessa.....	37
9 Jatkokehitysehdotukset.....	39
10 Yhteenveto	39
Lähteet:	40
Kuvailulehti	41
Presentationsblad	42
Documentation page	43

1 Johdanto

Maankäyttö- ja rakennuslain muutosten tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta. Eduskunnan maaliskuussa 2023 hyväksymä rakentamislaki tuo ilmastomuutoksen torjunnan osaksi rakentamisen lainsäädäntöä. Se ohjaa huomiotaan rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvät ilmastohaitat ja -hyödyt. Vähähiilisuuden lisäksi uusi laki sisältää kiertotalousnäkökulman. Rakentamis- tai purkamislupaa haettaessa on selvitettävä käytetyt ja vapautuvat materiaalit sekä rakennuspaikalta pois kuljetettavan maa- ja kiviaineksen ja vaarallisten jätteiden määrä. Laki tulee voimaan 1.1.2025. Rakentamiseen liittyy usein myös pilaantuneen maaperän tai pohjaveden puhdistusta.

Haitallisten ympäristövaikutusten minimointi on tavoitteena myös valtakunnallisessa pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategiassa. Pilaantuneen maaperän puhdistusvaihtoehtojen kestävyys tulee arvioida kohdekohtaisesti puhdistustoimien suunnittelun yhteydessä. Kestävyyden arviointiin kuuluvat erilaisten ympäristötekijöiden lisäksi sosiaalisten ja taloudellisten tekijöiden huomiointi. Ympäristötekijöistä tulee arvioida mm. vaikutukset maaperään, vesistöihin, pohjaveteen ja ilmaan. Puhdistusmenetelmien kasvihuonekaasupäästöistä ja ilmastovaikutuksista on kuitenkin olemassa arvioinnin tueksi melko vähän tietoa.

FCG Finnish Consulting Group Oy toteutti Pirkanmaan ELY-keskuksen tilauksesta vuoden 2023 aikana Selvitys puhdistusmenetelmien ilmastovaikutuksista ja niiden vertailusta hankinnoissa -kehityshankkeen. Sen tavoitteena oli helpottaa ilmastovaikutusten arviointia pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistushankkeissa ja vastata seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä seikat eri puhdistusmenetelmissä aiheuttavat ilmastovaikutuksia ja mitkä ovat puhdistusmenetelmien keskeisimmät ilmastovaikutusten lähteet?
- Miten määritellään puhdistusmenetelmien arvioitava elinkaari ja sen aikana aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrä (ns. hiilijalanjälki)?
- Voidaanko prosessin elinkaaren aikana puhdistusvaihtoehdoilla saavuttaa ilmastohyötyjä, joita ei syntyisi ilman puhdistushanketta (ns. hiilikädenjälki)?
- Kuinka puhdistuksen ilmastovaikutuksia voidaan vähentää?
- Miten puhdistusmenetelmän valinnan jälkeen voidaan kilpailutusasiakirjoissa huomioida hankkeen ilmastovaikutukset ja millä tavoin konkreettisesti ohjata hankintaa ilmastoystävälliseen suuntaan?

Selvityksen pohjalta saatiin käsitys eri tekijöiden vaikutuksista puhdistusmenetelmien ilmastopäästöihin. Työn tavoitteena on edistää ilmastoystävällisten puhdistusmenetelmien käyttöä ja vastata kansallisiin hiilineutraaliuden tavoitteisiin.

Pirkanmaan ELY-keskukselta hankkeen projektipäällikkönä on toiminut Kari Pyötsiä ja viestintäasiantuntijana Freija Metsähalme. FCG Finnish Consulting Group Oy:ssä raportin ovat laatineet ilmastoasiantuntija Marko Nurminen ja ympäristöriskinarvioinnin asiantuntija Emilia Pöyry, projektipäällikkönä on toiminut Christian Tallsten ja asiantuntijoina Tuuli Aaltonen, Pasi Vahanne, Atte Karhima sekä Jussi Virtanen.

1.1 Keskeiset määritelmät

Hiilidioksidiekvivalentti	Hiilidioksidiekvivalentti on kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta (CO ₂ e), jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus ilmastomuutoksen voimistumiseen.
Hiilijalanjälki	Hiilijalanjälki on toiminnan elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen summa.
Hiilivarasto/Hiilinielu	Hiilivarasto on puuston ja kasvien biomassaan, maaperään ja vesialueisiin varastoituneen hiilen määrä. Hiilivarastoa kutsutaan hiilinieluksi, jos siihen sitoutuu vuodessa

	enemmän hiilidioksidia kuin sitä vapautuu ilmakehään ja hiililähteeksi, jos siitä vapautuu vuoden aikana enemmän hiilidioksidia kuin siihen sitoutuu.
Ilmastovaikutus/Ilmastopäästö	Ilmastovaikutus on ihmisen toiminnan tai luonnollisten ilmiöiden aiheuttama vaikutus ilmakehästä, vesivarastoista, meristä, maaperästä ja jäätiköistä muodostuvaan ilmastojärjestelmään. Ilmastopäästöillä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä, jotka vapautuvat ilmakehään ihmisen toiminnan seurauksena.
In situ -menetelmä	Puhdistusmenetelmä, jossa haitta-aineiden pitoisuuksiin tai niiden kulkeutuvuuteen vaikutetaan niitä siirtämättä.
Kasvihuonekaasu	Ilmaston lämpenemistä aiheuttavat ja auringon lämpösäteilyn pääsyä ilmakehästä takaisin avaruuteen haittaavat kaasut, jotka ovat kansainvälisessä kasvihuonekaasuinventaariossa hiilidioksidi (CO ₂), metaani (CH ₄), dityppioksidi (N ₂ O) sekä F-kaasut eli fluorikaasut (HFC, PFC ja SF ₆), Raportissa on käytetty ilmastopäästöjä kasvihuonekaasupäästöjen synonyymina.
Kestävyys / Kestävä riskinhallinta	Riskien hallitseminen turvallisella ja tehokkaalla tavalla siten, että optimoidaan toimenpiteiden vaikutukset ympäristöön, yhteiskuntaan ja talouteen.
Off site	Puhdistusmenetelmä, jossa haitta-aineiden pitoisuuksiin tai niiden kulkeutuvuuteen vaikutetaan puhdistuskohteen ulkopuolella.
On site -menetelmä	Puhdistusmenetelmä, jossa haitta-aineiden pitoisuuksiin tai niiden kulkeutuvuuteen vaikutetaan puhdistuskohteessa, mutta käsiteltävä maa-aines tai pohjavesi siirretään erilliselle käsittelyalueelle tai -laitteistoon.
Puhdistaminen (maaperän ja pohjaveden)	Ympäristölainsäädännössä käytetty termi toimenpiteille, joilla pilaantunut maaperä ja/tai pohjavesi (pilaantunut alue) saatetaan siihen tilaan, ettei siitä voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.
Riski	Arvio haitta-aineista aiheutuvan suoran tai välillisen terveys- tai ympäristöhaitan todennäköisyydestä ja vakavuudesta.
Riskinhallinta	Toiminta, joka sisältää riskien arvioinnin sekä riskien hallitsemiseksi tarvittavien toimenpiteiden suunnittelun, toteutuksen sekä tarvittaessa seurannan ja korjaavat toimenpiteet

1.2 Puhdistuksen luvitus ja suunnittelu

Ympäristönsuojelulain 14 luvussa käsitellään pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistamista. Ellei puhdistaminen vaadi ympäristölupaa, ennen puhdistuksen toteuttamista kohteesta laaditaan YSL 136 §:n mukainen ilmoitus pilaantuneen maaperän ja/tai pohjaveden puhdistamisesta paikalliselle ELY-keskukselle. Helsingissä ja Turussa ilmoitukset käsittelee kaupungin ympäristöviranomainen. Jos pitoisuuksiltaan kynnyсарvot ylittäviä maa-aineksia halutaan hyödyntää kohteessa, myös tämä tulee esittää ilmoituksessa. Ympäristölainsäädännössä käytetty termi puhdistaminen korvataan usein termillä kunnostaminen. Näitä kahta termiä käytetään rinnakkain tarkoittamaan riskinhallintakeinoja, joiden tavoitteena on vähentää maaperän ja pohjaveden haitta-aineista aiheutuvia haittoja.

Puhdistustarve arvioidaan kohdekohtaisesti. Pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistustarpeen arvioinnissa on otettava huomioon pilaantuneen alueen, sen ympäristön ja pohjaveden nykyinen tai tuleva käyttö sekä

pilaantumisesta terveydelle tai ympäristölle mahdollisesti aiheutuva vaara tai haitta. Pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista on annettu erillinen asetus (VNa 214/2007), jossa on esitetty tarkemmat periaatteet arvioinnille sekä apuna käytettävät kynnys- ja ohjearvot. Maaperän ja pohjaveden haitta-aineita poistetaan tietyissä tilanteissa myös ilman todettua riskiperusteista puhdistustarvetta, esimerkiksi rakentamisen vuoksi.

Puhdistusta varten laaditaan tavallisesti vähintään yleissuunnitelma. Siinä kuvataan mm. valitut puhdistusmenetelmät ja puhdistuksen eteneminen, mahdollinen vesien käsittely ja maa-ainesten hyötykäyttö, näytteenotto ja mittaukset sekä raportointi. Tarvittaessa laaditaan tarkennettuja suunnitelmia puhdistuksen eri vaiheista.

1.3 Rajaukset

Tässä raportissa ja laskentatyökalussa ei oteta kantaa puhdistusmenetelmän valintaa edeltäviin tutkimuksiin tai puhdistustarpeen ja -tavoitteiden määrittelyyn. Oikein mitoitetuilla tutkimuksilla ja huolellisesti laaditulla riskinarviolla voidaan kuitenkin tuottaa arvokasta tietoa oikeasuhtaisiin tavoitteisiin ja puhdistusmenetelmän valintaan. Tutkimukset on suunniteltava ja toteutettava huolellisesti. Näin vältetään ylimääräiset käynnit ja tutkimuskaluston kuljetukset tutkimuskohteeseen. Osa puhdistusmenetelmistä vaatii laajempia tutkimuksia ja analytiikkaa, mikä kannattaa huomioida tutkimussuunnittelussa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Hankkeessa tarkasteltavaksi valittiin Suomessa yleisesti käytössä olevia tai käyttökelpoisia puhdistusmenetelmiä. Tarkasteluun valittiin pääasiassa sellaisia menetelmiä, joilla haitta-aineita tai pilaantunutta maa-ainesta poistetaan puhdistettavalta alueelta ja joihin liittyy maa-ainesten, materiaalien ja kemikaalien käyttöä ja kuljetuksia. Esimerkiksi rakennusten rakenteellisia ratkaisuja kuten alustatilan tuuletusta ei tarkasteltu, koska menetelmän ei arvioida aiheuttavan merkittäviä lisäpäästöjä tavanomaiseen rakentamistapaan verrattuna. "Nollavaihtoehtona" tarkasteltiin luontaisen biologisen hajoamisen seuranta.

Raportissa ja laskentatyökalussa tarkastellaan vain ilmastovaikutuksia. Tarkastelussa käytetty hiilijalanjälki antaa vain osittaisen kuvan toiminnan kestävytydestä. Maaperän puhdistusmenetelmän ympäristöön, yhteiskuntaan ja talouteen liittyviä kestävyysnäkökulmia tulee arvioida muilla keinoin. Myös ilmastovaikutusten arvioinnissa on tehty erityisesti aineistollisten, mutta myös laskennallisten haasteiden vuoksi rajauksia.

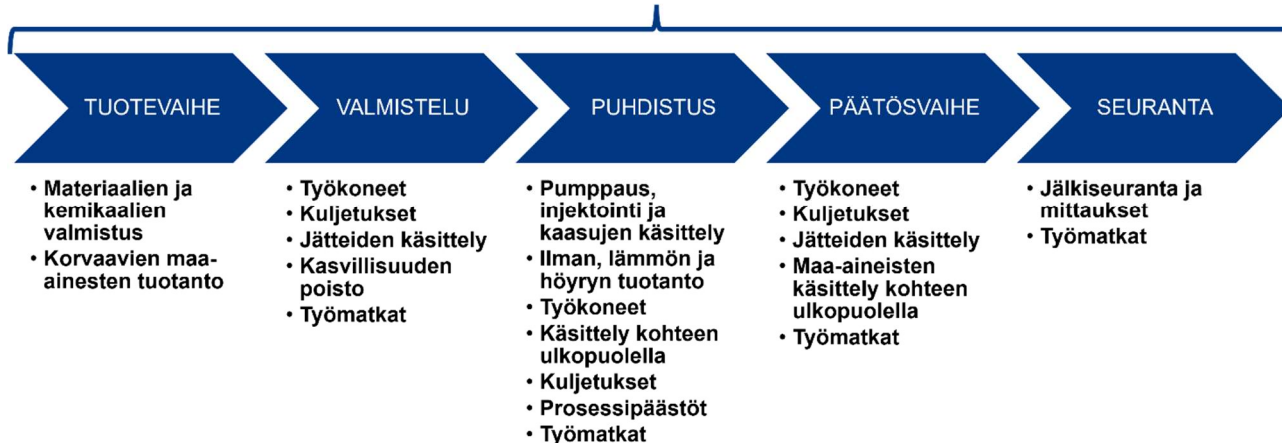
2 Puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset

2.1 Puhdistuksen elinkaari

Maaperän puhdistuksesta aiheutuu ilmasto- eli kasvihuonekaasupäästöjä. Niitä syntyy suoraan fossiilisten polttoainesten käytöstä ja puhdistusmenetelmien kemiallisista tai biologisista prosesseista. Epäsuoria energiaperäisiä päästölähteitä ovat puhdistuksen tarvitsema sähkö ja muu ostoenergia. Tarvittavien rakenteiden, materiaalien ja kemikaalien raaka-aineista ja valmistuksesta aiheutuu välillisiä päästöjä. Maaperän puhdistus voi vaikuttaa kohteessa myös puuston ja maaperän hiilivarastoihin ja niiden hiilen sidontaan eli hiilinieluun.

Maaperän puhdistusprosessi voidaan kuvata viisivaiheisen elinkaaren (kuva 1.) avulla. Se alkaa tuotevaiheella, joka kattaa puhdistamisessa tarvittavien kertakäyttöisten rakenteiden, materiaalien, kemikaalien tai korvaavien maa-ainesten valmistuksen. Valmisteluvaihe kattaa puhdistamisprosessin edellyttämät purku-, perustamis- ja rakentamistyöt. Puhdistamisvaiheessa tehdään varsinainen maaperän puhdistaminen. Päätösvaihe sisältää puhdistusmenettelyn päättämiseen liittyvät toimenpiteet. Viidentenä pilaantuneen maaperän puhdistuksen elinkaarivaiheena on seuranta ja siihen liittyvät päästölähteet. Elinkaari oletetaan päättyväksi, kun asetetut puhdistustavoitteet täyttyvät kohteessa.

Elinkaari



Kuva 1. Puhdistushankkeen elinkaari

Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset syntyvät niistä ilmastohyödyistä tai -haitoista, joita ei voida kohdistaa muihin toiminnan elinkaaren vaiheisiin. Niitä voi syntyä esimerkiksi puhdistusmenettelyn elinkaaren aikana poistettujen maa-ainesten kierrättämisestä. Niin kauan kuin maa-aineksilla, purettavilla rakenteilla tai muilla prosessissa syntyvillä materiaaleilla on jätestatus, niiden käsittelyn ja loppusijoituksen ilmastopäästöt sisältyvät puhdistusmenettelyn elinkaarenaikaisiin ilmastovaikutuksiin (EN 15804 2019). Jos ne kelpaavat ominaisuuksiltaan uudelleenkäyttöön, materiaaliksi tai energiaksi, niiden ilmastovaikutukset siirtyvät määritelmällisesti tarkasteltavan puhdistusmenettelyn elinkaaren ulkopuolelle. Esimerkiksi kaivetun maa-aineksen hyödyntämisestä muualla kuin kohdealueella voi aiheutua nettomääräisiä ilmastohyötyjä. Päästövähennyksiä syntyy, kun hyödynnettävä maa-aines korvaa vastavaa keskimääräistä maa-ainesta. Hyödyistä on vähennettävä kierrätetyn maa-aineksen puhdistuksesta ja muusta käsittelystä aiheutuvat päästöt.

Ilmastopäästöjen ja hiilen sidonnan lisäksi maaperän puhdistukseen liittyy myös muunlaisia ilmastovaikutuksia. Ilmaston lämpenemisen aiheuttamat muutokset lämpötiloissa, sateisuudessa ja sään ääri-ilmiöissä saattavat vaikuttaa kohdealueeseen ja maaperän haitta-ainepitoisuuksiin (katso esimerkiksi Grifoni ym. 2022). Tämä voi aiheuttaa alueella tarvetta tehdä pidemmän aikavälin varautumistoimia riskin pienentämiseksi. Kehityshankkeessa on kuitenkin keskitytty puhdistusmenettelyn ilmastopäästöihin, minkä vuoksi tässä raportissa ei käsitellä ilmastonmuutoksen vaikutuksia puhdistuskohteissa.

2.2.1 Tuotevaihe

Tuotevaiheen ilmastopäästöt syntyvät välillisesti puhdistettavan kohteen ulkopuolella. Vaihe sisältää puhdistukseen liittyvien kertakäyttöisten tai kohteeseen pysyvästi jäävien rakenteiden ja materiaalien päästöt. Periaatteessa mukana ovat valmistuksessa tarvittavien raaka-aineiden, niiden kuljetuksen ja valmistuksen vaikutukset. Puhdistusmenettelyn ilmastovaikutusten arvioinnin ulkopuolelle jätetään tyypillisesti jo pelkästään vaikutusten allokoinnin haasteellisuuden vuoksi päästöt, jotka liittyvät puhdistamisen aikana tarvittujen koneiden, kuljetusvälineiden ja laitteiden kaltaisten pääomahyödykkeiden sekä uudelleen käytettävissä oleviin rakenteiden ja välineiden valmistukseen.

Tuotevaiheen ilmastopäästöt riippuvat maaperän puhdistusmenetelmän tarvitsemista materiaaleista ja niiden määrästä. Joissakin menetelmissä tarvitaan maa- ja muita aineksia korvaamaan kohteesta poistettavia maamasoja. Puhdistusta varten voidaan tarvita erilaisia tiivistys- tai täytemateriaaleja, putkia sekä kapselointi-, komposti- ja muita rakenteita. Erityisesti menetelmien kemiallisten ja biologisten prosessien tehostamiseen ja puhdistuksessa syntyvien päästöjen käsittelyyn tarvittavien ravinteiden, lannoitteiden ja kemikaalien valmistuksen päästöjen

merkitys saattaa kasvaa hyvinkin merkittäväksi puhdistuksen elinkaaren kokonaispäästöjä tarkasteltaessa. Vaikutus riippuu käytettävien aineiden määrien lisäksi myös niiden päästöintensiteetistä, johon vaikuttaa raaka-aineiden ominaisuuksien lisäksi niiden kierrätysaste.

2.2.2 Valmisteluvaihe

Valmisteluvaiheessa tehdään käytettävän puhdistusmenetelmän vaatimat purku-, perustamis- ja rakentamistyöt kohteessa. Ilmastopäästöjä syntyy maa-ainesten kaivussa, alueiden valmistelussa sekä erilaisten rakenteiden ja laitteiden asentamisessa tarvittavien työkonoiden energiankäytöstä. Kuljetuksista aiheutuu ilmastovaikutuksia, kun kohdealueelle tuodaan koneita, laitteita ja materiaaleja ja alueelta viedään pois maa-aineksia ja jätteitä. Vaikutusten suuruus on suorassa suhteessa kuljetettaviin määriin ja kuljetusetäisyyksiin. Vaiheen aikana syntyvien jätteiden ja maa-ainesten käsittely ja loppusijoitus voivat aiheuttaa kohteen ulkopuolisia päästöjä. Puuston ja pintamaan poistot vaikuttavat hiilivarastoihin ja -nieluihin. Valmisteluvaiheessa syntyy päästöjä puhdistus-, päätös- ja seurantavaiheen tavoin puhdistusalueelle tehtävistä työ- ja työasiamatkoista.

2.2.3 Puhdistusvaihe

Puhdistusvaiheessa tapahtuu varsinainen maaperän puhdistaminen. Ilmastovaikutusten lähteet ja niiden aiheuttamien päästöjen määrä riippuvat käytettävästä menetelmästä. Maa-ainesten kaivuun, käsittelyyn, siirtämiseen, väli-varastointiin ja kuormaukseen käytettävistä työkonoiden syntyy päästöjä. Maaperään mahdollisesti injektoitavan kuuman ilman, höyryn ja veden tuottamiseen tarvitaan polttoaineita, sähköä tai muita energialähteitä. Myös ilmastukseen, pumppaamiseen, maaperän lämmittämiseen ja poistokaasujen käsittelyyn liittyy energiankäyttöä. Käsittelymenetelmän kemiallisista ja biologisista reaktioista voi syntyä suoria prosessiperäisiä päästöjä.

Kuljetusten energiaperäiset ilmastopäästöt riippuvat kuljetusvälineestä, käyttövoimasta, kuljetettavasta määrästä ja etenkin kuljetusmatkasta. Puhdistusta varten tuodaan alueelle materiaaleja ja aineita. Alueelta kuljetetaan pois maa-aineksia ja muita jätteitä. Niihin liittyy kuljetusvälineiden päästöjen lisäksi kohteen ulkopuolella vastaanottoalueella tapahtuvasta puhdistuksesta ja muusta käsittelystä aiheutuvia energia- ja prosessiperäisiä päästöjä.

2.2.4 Päätös vaihe

Päätös vaihe sisältää kohteen puhdistusmenettelyn lopettamiseen liittyvät toimenpiteet. Tämänkin työvaiheen päästölähteitä ovat kaikissa tarkastelluissa menetelmissä työkonoidet ja kuljetukset. Puhdistusmenetelmän tarvitsemat rakenteet puretaan ja mahdolliset kaivannot täytetään. Tähän tarvitaan maa-ainesten, jätteiden ja laitteistojen poiskuljettamisen lisäksi maa-ainesten tuontia kohteeseen täyttöjä ja maisemointia varten. Purkumateriaalien ja maa-ainesten käsittelyyn ja loppusijoitukseen voi liittyä päästöjä.

2.2.5 Seurantavaihe

Viimeisenä maaperän puhdistuksen elinkaarivaiheena on seuranta, joka päättyy kohteelle asetettujen puhdistustavoitteiden täytyessä. Vaiheen päästölähteet liittyvät lähinnä seurantakäyntien työasiamatkoihin ja niissä käytettyjen kulkumuotojen päästöihin. Seurannan ja muidenkin elinkaarivaiheiden aikaisten näytteenottojen, mittauksien ja analyysien ilmastovaikutusten arviointi on haasteellista. Esimerkiksi analytiikan vaikutukset voivat olla suhteellisen merkittäviä käytettävien laitteiden ja kemikaalien vuoksi. Lisäksi analyysiin voi liittyä pitkiä kuljetuksia, sillä osa näytteistä voidaan lähettää analysoitavaksi Suomen tai jopa Euroopan ulkopuolelle.

3 Puhdistusmenetelmän valinta ja menetelmien ilmastopäästöjen lähteet

3.1 Valintakriteerit

Puhdistusmenetelmän valintaan vaikuttavat oleellisesti käsiteltävät haitta-aineet ja niiden määrä, pilaantuneen alueen laajuus ja syvyys, puhdistettavan alueen maaperä- ja pohjavesiolosuhteet sekä aikataulu. Myös kustannukset ovat merkittävä tekijä. Osalla puhdistusmenetelmistä haitta-aineet saadaan poistettua maaperästä kokonaan. Joissakin tavoitteena on haitta-aineiden kulkeutumisen estäminen. Useissa tilanteissa voi olla tarkoituksenmukaista käyttää rinnakkain useita menetelmiä täydentämään toisiaan. Soveltuvan menetelmän tunnistamisesta ja valinnasta löytyy tietoa esimerkiksi Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt -oppaasta (Laitinen ym. 2022).

Puhdistusmenetelmän ilmastopäästöihin vaikuttavat kohdekohtaiset piirteet ovat pääosin samoja tekijöitä, jotka vaikuttavat yleisesti menetelmän valintaan kohteessa. Kehityshankkeessa tunnistettuja kohdekohtaisia tekijöitä ovat haitta-aine ja sen pitoisuus, puhdistettava massamäärä, puhdistettavan alueen koko, kohteen mahdollinen työskentelyala, maaperän rakenne ja maa-ainesten laatu, maaston muokkaustarve tai puuston poistotarve, muut työskentelymenetelmiä rajoittavat tai ohjaavat kohteen tekijät kuten esimerkiksi kaivumahdollisuudet ja -syvyydet tai rakenteiden purkamistarve sekä pohjavesiolosuhteet. Myös etäisyydet pilaantuneiden maa-ainesten jälkikäsittelypaikkaan, korvaavien maa-ainesten hankintapaikkaan ja menetelmässä tarvittaviin yhdyskuntateknisiin järjestelmiin ovat päästöihin vaikuttavia kohdekohtaisia tekijöitä.

3.2 Puhdistusmenetelmät

3.2.1 Massanvaihto

Massanvaihdossa pilaantunut maa-aines poistetaan kaivamalla ja siirretään luvanvaraiseen vastaanottoipaikkaan. Kaivettu maa on jätettä ja se tulee ensisijaisesti käyttää uudelleen ja toissijaisesti kierrättää ([Jätelaki, 646/2011, 8 §](#)). Jos maa-aines ei laadultaan tai geoteknisiltä ominaisuuksiltaan sovellu hyödynnettäväksi, se voidaan joutua sijoittamaan esimerkiksi kaatopaikalle. Hyödyntäminen ja loppusijoitus voivat vaatia maa-aineksen esikäsittelyä ja/tai eristämistä vastaanotto paikassa.

Massanvaihdon jälkeen kaivualueelle joudutaan tavallisesti tuomaan korvaavia maa-aineksia. Täytoissä voidaan mahdollisesti hyödyntää kohteesta tai sen ulkopuolelta tuotavia ylijäämämaita. Massanvaihto soveltuu lähes kaikenlaisiin kohteisiin ja kaikille haitta-aineille. Menetelmä voi edellyttää kaivantovesien pumppausta ja käsittelyä. Pohjavesiolosuhteiden muuttuminen voi vaikuttaa haitta-aineiden kulkeutumiseen, mikä on huomioitava puhdistussuunnittelun yhteydessä.

Yleensä suurin osa massanvaihdon ilmastopäästöistä liittyy poistettujen ja korvaavien maa-ainesten kuljetukseen. Syntyvään päästömäärään vaikuttavat olennaisesti käsiteltävien maamassojen määrät ja kuljetusmatkojen pituudet. Kehityshankkeessa tunnistettiin seuraavat massanvaihdon elinkaarivaiheiden mahdolliset päästölähteet:

- **Tuotevaihe**
 - o poistettuja maa-aineksia korvaavien maa-ainesten tuotannon raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
 - o puhdistusvaiheessa tarvittavien kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
- **Valmisteluvaihe**
 - o rakennusten, infran ja muiden rakenteiden purkuun tarvittavien työkalujen energiankäyttö

- o puuston ja pintamaan poistoon tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
- o puuston ja pintamaan poiston vaikutukset hiilivarastoihin ja -nieeluihin
- o poistettavien jätteiden poiskuljettamisen energiankäyttö
- o poistettujen materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
- o työkoneiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
- o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Puhdistusvaihe*
 - o maa-aineksen kaivuun, siirtämiseen, välivarastointiin ja kuormaukseen tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o massojen seulonnan ja välppäyksen, kaivantovesien pumppauksen ja käsittelyn, kaivantojen tuennan ja ponttauksen sekä routaisen maan käsittelyyn tarvittavien työkoneiden energiankäyttö ja muut tarvittavat energialähteet
 - o kaivantovesien pumppauksen ja käsittelyn energiankäyttö
 - o poistettua maa-ainesta korvaavan maa-aineksen käsittelyyn tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o maa-aineksen ja jätteiden alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteen ulkopuolella maa-ainesten ja jätteiden vastaanottoaikassa tapahtuvan käsittelyn työkoneiden ja haitta-ainesten poistomenetelmien energia- ja prosessiperäiset päästölähteet
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Päätösvaihe*
 - o puhdistuksen jälkeen tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o maa-ainesten, jätteiden ja laitteistojen alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien kuljetusten energiankäyttö
 - o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o työkoneiden alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Seurantavaihe*
 - o näytteenoton ja mittausten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työasiamatkojen energiankäyttö
- *Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset*
 - o poistetun maa-aineksen ja muiden jätteiden muualla tapahtuvan hyödyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt



Kuvat: Pirkanmaan ELY-keskus

Kuva 2. Massanvaihdon toteutusta

3.2.2 Aumakäsittelyt



Kuva: Henri Seppälä (Nordic Envicon)

Kuva 3. Aumakäsittely

Aumakäsittely on menetelmä, jossa pilaantuneelta alueelta kaivettu maa-aines siirretään aumalle esimerkiksi väli-varastokentälle tai käsittelylaitokseen. Aumalla haitta-aineiden pitoisuuksien pienentämiseen voidaan käyttää muun muassa mikrobeja tai sieniä. Maa-aineksen mikrobitoimintaa voidaan tehostaa sekoittamalla maa-ainekseen huokoisuutta parantavaa tukiainetta, kuten kuoriketta tai turvetta ja ravinteita sekä pitämällä kosteus, happipitoisuus, pH ja lämpötila mikrobitoiminnalle suotuisalla tasolla (Mroueh ym., 2004). Sienet tarvitsevat kasvamiseen hiili- ja typpilähteen (Räsänen, 2012). Tyypillisesti sienikäsittely on mikrobeilla hajottamista pitkäkestoisempi prosessi.

Menetelmä soveltuu haitta-aineille, joiden biohajoavuus on hyvä. Tietyt raskasmetallit voivat olla mikrobeille haitallisia (Penttinen, 2001). Aumakäsittely vaatii suhteellisen paljon tilaa ja valumavesien hallintaa, minkä lisäksi se voi kestää pitkään. Massoihin lisättävä orgaaninen aines voi vaikeuttaa niiden hyödyntämistä ja loppusijoitusta.

Kehityshankkeessa tunnistettiin seuraavat aumakäsittelyihin liittyvät eri elinkaarivaiheiden mahdolliset ilmasto-päästöjen lähteet:

- *Tuotevaihe*
 - o kompostia varten tarvittavien rakenteiden, ravinteiden ja materiaalien valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien tuotannon raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
- *Valmisteluvaihe*
 - o maan kaivuun ja siirtoihin, kompostialueen valmisteluun, aumojen kasaukseen ja muuhun kompostin rakentamiseen tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o puuston ja pintamaan poistoon tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o puuston ja pintamaan poiston vaikutukset hiilivarastoihin ja -nieluihin
 - o valmistelussa tarvittavien materiaalien ja työkoneiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Puhdistusvaihe*
 - o aumojen, tukiaineiden ja ravinteiden käsittelyssä tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o kompostin kasteluveden pumppaamisen energiankäyttö
 - o suotovesien keräämisen ja käsittelyn energiankäyttö
 - o kompostin kemiallisten ja biologisten reaktioiden mahdolliset suorat prosessiperäiset päästölähteet

- o valvonnan ja mittausten energiankäyttö
- o puhdistusvaiheessa tarvittavien materiaalien ja aineiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
- o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Päätösvaihe*
 - o vaiheessa tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o puhdistetun maa-aineksen kuljettaminen loppusijoitukseen tai hyötykäyttöön
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien kuljetusten energiankäyttö
 - o poistettujen kompostirakenteiden ja laitteistojen alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o työkoneiden alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Seurantavaihe*
 - o näytteenoton ja mittausten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työasiamatkojen energiankäyttö
- *Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset*
 - o poistetun maa-aineksen muualla tapahtuvan hyödyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt
 - o poistettujen kertakäyttöisten kompostirakenteiden, kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien uudelleenkäytön, materiaali kierrätyksen ja energiahyödyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt ja -haitat

3.2.3 Eristys

Eristämisessä pilaantunut maa-aines jätetään kohteeseen, mutta haitta-aineiden leviäminen ympäristöön ja niille altistuminen estetään eristerakenteella. Pintaeristyksellä estetään sadeveden imeytyminen eristettävään maa-ainekseen. Tarvittaessa käytetään myös pysty- ja pohjaeristystä.

Eristerakenteen toteutus vaatii tyypillisesti maaperän muotoilua ja mahdollisesti kaivua. Rakenteessa voidaan käyttää keinotekoisia materiaaleja, kuten HDPE-kalvoa tai asfalttia, tai mineraalista tiivistettä, kuten savea, maabentoniittia tai teollisuuden sivutuotteita. Eristerakenteen tulee olla pitkäikäinen ja säilyttää toiminnallisuutensa ilman merkittäviä ylläpitotoimenpiteitä. Rakenteen toimivuus varmistetaan säännöllisellä tarkkailulla.

Eristäminen sopii puhdistusmenetelmänä parhaiten kulkeutumattomille tai heikosti kulkeutuville haitta-aineille.

Kehityshankkeessa tunnistettiin seuraavat eristämiseen liittyvät eri elinkaarivaiheiden mahdolliset ilmastopäästöjen lähteet:

- *Tuotevaihe*
 - o eristysmateriaalien valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien tuotannon raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
- *Valmisteluvaihe*
 - o maa-aineksen kaivamiseen ja rakenteiden purkamiseen tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o rakenteiden valmisteluun tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o puiden ja pintamaan poistoon tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o puuston ja pintamaan poiston vaikutukset hiilivarastoihin ja -nieluihin
 - o poistettavien maa-ainesten ja muiden jätteiden poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o poistettujen maa-ainesten ja muiden jätteiden ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o valmistelussa tarvittavien materiaalien ja työkoneiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Puhdistusvaihe*
 - o maa-ainesten siirtoon ja alueen muotoiluun käytettävien työkoneiden energiankäyttö
 - o rakenteiden asentamiseen tarvittavien työkoneiden energiankäyttö

- o pohjaveden alentamisen ja käsittelyn päästölähteet
- o kemiallisten ja biologisten reaktioiden suorat prosessiperäiset päästölähteet
- o valvonnan ja mittausten energiankäyttö
- o puhdistusvaiheessa tarvittavien materiaalien ja aineiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
- o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- **Päätös vaihe**
 - o vaiheessa tarvittavien työkalujen energiankäyttö
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien kuljetusten energiankäyttö
 - o työkalujen alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- **Seurantavaihe**
 - o näytteenoton ja mittausten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työasiamatkojen energiankäyttö
- **Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset**
 - o poistetun maa-aineksen muualla tapahtuvan hyödyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt
 - o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden uudelleenkäytön, materiaalikierrätyksen ja energiahyödyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt ja -haitat
 - o eristyksen alueen maankäytölle asettamien rajoitteiden ilmastovaikutukset (esim. eristetylle alueelle ei voida myöhemmin istuttaa puita tai muita kasveja, joiden juuristo voi vahingoittaa rakennetta)

3.2.4 Injektointeihin perustuvat menetelmät

Injektointiin perustuvissa menetelmissä maaperään ja/tai pohjaveteen syötetään aineita, jotka tehostavat haitta-aineiden luonnollista hajoamista tai muuttavat ympäristöolosuhteita. Puhdistumista seurataan säännöllisesti ja tarvittaessa maaperään syötettävien aineiden määrää säädellään tarkkailutulosten perusteella. Injektointiin perustuvia menetelmiä on useita, ja niissä käytettävien aineiden vaikutus voi perustua joko biologisiin tai kemiallisiin prosesseihin. Seuraavassa on esitetty muutamia injektointiin perustuvia in situ -tekniikoita.



Kuvat: Pirkanmaan ELY-keskus

**Kuva 4. Injektointien toteutusta
Tehostettu biologinen puhdistus (biostimulaatio)**

Tehostetussa biologisessa puhdistuksessa maaperään ja/tai pohjaveteen syötetään aineita, jotka tehostavat haitta-aineiden luonnollista hajoamista, kuten ravinteita, pohjaveden pintajännitystä pienentäviä aineita tai bakteereja. Samalla luodaan optimaaliset olosuhteet hajoamiselle säätelemällä mm. maaperän pH-arvoa ja kosteutta. Käytetyt ravinteet ovat ihmiselle ja ympäristölle haitattomia, yleisesti kasvinviljelyssä käytettäviä typpiyhdisteitä ja fosforia. Tehostettu biologinen puhdistus soveltuu biohajoaville aineille, kuten öljyhiilivedyille ja PAH-yhdisteille. Heterogeeninen tai tiivis maaperä voi vaikeuttaa puhdistuksen toteuttamista.

Reaktiiviset seinämät

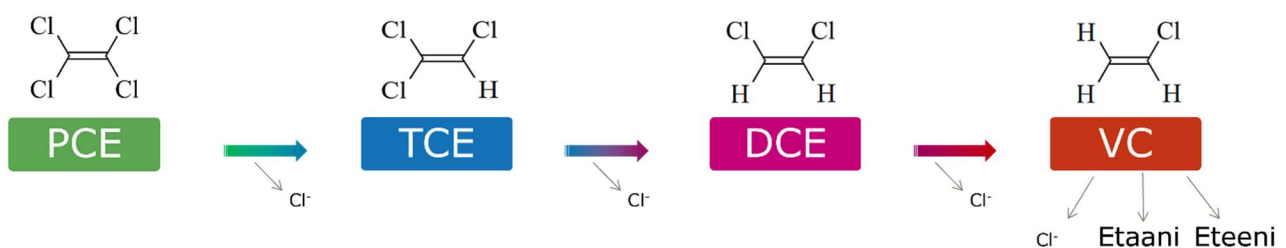
Reaktiivinen seinämä asetetaan kohtisuoraan pohjaveden virtaussuuntaa vastaan, jolloin pilaantunut pohjavesi virtaa sen läpi. Seinämä voidaan toteuttaa injektoidulla maaperään reaktiivisia aineita tai asentamalla fyysinen vettä läpäisevä seinämä. Pohjaveden virtauksen ohjaamisessa voidaan lisäksi hyödyntää tiiviitä fyysisiä seinämiä. Erilaisia seinämiä voidaan käyttää myös rinnakkain. Haitta-aineet reagoivat seinämän materiaalin kanssa ja muuntuvat haitattommiksi tai pidättyvät seinämärakenteeseen.

Rakentaminen vaatii mahdollisesti seinämän alueella massanvaihtoa. Jos seinämä jätetään maaperään, asennusvaiheessa kaivetut maa-ainekset sijoitetaan toisaalle. Seinämää ei tavallisesti asenneta päästölähteeseen, vaan kulkeutumissuunnassa sen alapuolelle, jolloin kaivettavissa maa-aineksissa ei välttämättä ole merkittäviä haitta-ainepitoisuuksia. Seinämä asennetaan usein koko pohjavesikerrokseen, joten käsiteltävät maakerrokset ovat paksuja. Menetelmä ei sovi alueille, joilla pohjaveden virtaama ja maaperän läpäisevyys ovat heikkoja.

Tehostettu reduktiivinen dehalogenaatio

Tehostettu reduktiivinen dehalogenaatio on menetelmä, jolla tehostetaan halogenoitujen hiilivetyjen hajoamista muuttamalla ympäristön kemiallisia, fysikaalisia ja biologisia olosuhteita maaperän mikrobeille suotuisammiksi. Dehalogenaatiossa haitallisen aineen molekyylin halogeeni korvautuu mikrobien vaikutuksesta vetyatomilla. Menetelmässä maaperään syötetään happea kuluttavia ja vetyä tuottavia reagensseja. Lisäksi voidaan käyttää ravinteita ja hivenaineita, kuten typpeä ja fosforia, kiihdyttämään mikrobitoimintaa ja tehostamaan mikrobien kasvua.

Menetelmän seurauksena maaperään ja pohjaveteen voi muodostua väliaikaisesti alkuperäistä haitta-ainetta haitallisempia yhdisteitä. Esimerkiksi tetrakloorieteeni hajoaa ensin trikloorieteeniksi ja edelleen dikloorieteeniksi sekä vinyylidikloridiksi. Väli tuotteet ovat tetrakloorieteeniä herkemmin haihtuvia sekä haitallisempia terveydelle.



Kuva 5. Dehalogenaation eteneminen

Hapetus/pelkistys

Maaperän haitta-aineita voidaan hajottaa tai muuttaa haitattomaan muotoon tehostamalla luontaisia hapetus- ja pelkistysreaktioita. Menetelmässä maaperään ja/tai pohjaveteen syötetään kemikaaleja, joiden kanssa haitta-aineet reagoivat.

Hapetukseen voidaan käyttää mm. vetyperoksidia. Pelkistystä voidaan tehdä esimerkiksi nollaraudalla tai polysulfideilla. Reaktiot tapahtuvat vedessä, jolloin maaperän kastelusta voi olla hyötyä. Lisäksi voi olla tarve säätää maaperän pH-arvoa, mikä voi lisätä metallien liukenemistä. Pelkistysreaktioiden tehostamiseen voidaan käyttää happea kuluttavia ja vetyä tuottavia reagensseja, kuten alkoholeja, maitohappoja, melasseja tai kasviöljyä.

Maaperään injektoitavan hapettimen ja pelkistimen pumppaamiseen tarvitaan energiaa. Mahdollisten poisto-kaasujen käsittelyyn liittyy myös energiankäyttöä. Menetelmän kemiallisista ja biologisista reaktioista saattaa syntyä suoria prosessiperäisiä ilmastopäästöjä. Työkoneita tarvitaan kohteen alussa kaivorakenteiden rakentamiseen ja lopussa niiden purkamiseen. Elinkaarivaiheiden aikana kuljetetaan alueelle ja sieltä pois putkia ja muita rakenteita, erilaisia hapetus- ja pelkistyskemikaaleja, työkoneita ja laitteita sekä jätteitä. Kuljetusvälineiden päästöjen lisäksi jätteisiin ja purkumateriaaleihin voi liittyä kohteen ulkopuolella tapahtuvasta käsittelystä ja loppusijoituksesta aiheutuvia päästöjä. Valmistelu-, puhdistus-, päätös- ja seurantavaiheen puhdistusalueelle tehtävistä työ- ja työasiamatkoista muodostuu myös oma päästölähteensä.

Kehityshankkeessa tunnistettiin seuraavat injektointeihin perustuviin puhdistusmenetelmiin liittyvät eri elinkaarivaiheiden mahdolliset ilmastopäästöjen lähteet:

- Tuotevaihe
 - o rakenteiden, täyttemateriaalien yms. valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
 - o käytettävien kemikaalien tai muiden aineiden, mikrobien yms. valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien tuotannon raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
- Valmisteluvaihe
 - o maa-aineksen kaivamiseen ja rakenteiden purkamiseen tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o poistettavien maa-ainesten ja muiden jätteiden poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o poistettavien maa-ainesten ja materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o rakenteiden ja laitteistojen asentamiseen käytettävien työkoneiden energiankäyttö
 - o valmistelussa tarvittavien rakenteiden, materiaalien ja työkoneiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- Puhdistusvaihe
 - o injektointien, pumppaamisen, yms. energiankäyttö
 - o prosessia tehostavan kuuman ilman, höyryn ja veden tuotannon energiankäyttö
 - o kemiallisten ja biologisten reaktioiden suorat prosessiperäiset päästölähteet
 - o poistokaasujen käsittelyn energiankäyttö
 - o valvonnan ja mittausten energiankäyttö
 - o puhdistusvaiheessa syntyvien jätteiden ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö
 - o puhdistusvaiheessa tarvittavien materiaalien ja aineiden kuljetusten energiankäyttö
 - o puhdistusvaiheessa syntyvien jätteiden kuljetusten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- Päätösvaihe
 - o rakenteiden purkamiseen ja maisemointiin tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o työkoneiden kuljetusten energiankäyttö
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien kuljetusten energiankäyttö
 - o poistettavien laitteiden ja rakenteiden kuljetusten energiankäyttö
 - o poistettavien kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- Seurantavaihe
 - o näytteenoton ja mittausten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset
 - o kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien uudelleen käytön, materiaalikierrätyksen ja energiahäydyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt ja -haitat

3.2.5 Termiset menetelmät

Termisessä in situ -menetelmässä maaperän haitta-aineita irrotetaan muuttamalla ne kaasumaiseen muotoon tai hajottamalla ne riittävän korkeassa lämpötilassa. Maaperää voidaan lämmittää johtamalla siihen lämpöä vastuksien avulla, lämmittämällä sähköllä elektrodien avulla tai johtamalla maahan höyryä. Kaasumaiseen muotoon muutetut haitta-aineet johdetaan käsittelylaitteistoon.

Terminen menetelmä sopii teoriassa kaikille orgaanisille haitta-aineille. Termisiä menetelmiä voidaan hyödyntää myös yhdessä muiden puhdistusmenetelmien kanssa. Esimerkiksi huokosilma- tai aumakäsittelyssä haitta-aineita voidaan käsitellä myös termisesti.

Kehityshankkeessa tunnistettiin seuraavat termisiin menetelmiin liittyvät eri elinkaarivaiheiden mahdolliset ilmastopäästöjen lähteet:

- Tuotevaihe
 - o kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien tuotannon raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
- Valmisteluvaihe
 - o rakenteiden purkamiseen tarvittavien työkonien energiankäyttö
 - o puiden ja pintamaan poistoon tarvittavien työkonien energiankäyttö
 - o puuston ja pintamaan poiston vaikutukset hiilivarastoihin ja -nieluihin
 - o poistettavien maa-ainesten ja muiden jätteiden poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o poistettavien maa-ainesten ja muiden jätteiden ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o alueen valmisteluun tarvittavien työkonien energiankäyttö
 - o laitteistojen asentamiseen tarvittavien työkonien energiankäyttö
 - o valmistelussa tarvittavien materiaalien, laitteiden ja työkonien alueelle kuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- Puhdistusvaihe
 - o maaperään lämmittämiseen tarvittavat energialähteet
 - o laitteistojen mahdolliseen siirtoon tarvittavien työkonien energiankäyttö
 - o poistokaasujen käsittelyn energiankäyttö
 - o kemiallisten ja biologisten reaktioiden suorat prosessiperäiset päästölähteet
 - o valvonnan ja mittausten energiankäyttö
 - o puhdistusvaiheessa tarvittavien aineiden ja materiaalien alueelle kuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- Päätösvaihe
 - o rakenteiden ja laitteiden purkaminen sekä muun puhdistuksen päättyessä tarvittavien työkonien energiankäyttö
 - o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten ja muiden materiaalien kuljetusten energiankäyttö
 - o poistettujen rakenteiden, materiaalien ja laitteistojen poiskuljettamisen energiankäyttö



Kuva 6. Terminen käsittely

Kuva: Pirkanmaan ELY-keskus

- o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
- o työkoneiden alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
- o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- Seurantavaihe
 - o näytteenoton ja mittausten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työasiamatkojen energiankäyttö
- Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset
 - o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien uudelleenkäytön, materiaalikierrätyksen ja energiahyödyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt ja -haitat

3.2.6 Huokosilmakäsittely

Huokosilmakäsittelyssä haihtuvia yhdisteitä poistetaan maaperästä alipaineimukaivojen kautta. Pumpattava huokosilma johdetaan käsiteltäväksi esimerkiksi aktiivihiilisuodattimeen tai se voidaan käsitellä polttamalla.

Menetelmä soveltuu haihtuville orgaanisille yhdisteille ja joillekin puolihihtuville yhdisteille. Soveltuvuutta voidaan laajentaa ja prosessia tehostaa esimerkiksi lämpökäsittelyllä tai biologisilla menetelmillä. Maa-aineksen tulee olla ilmaa johtavaa.

Menetelmällä ei tavallisesti päästä kovin pieniin pitoisuuksiin eikä sitä voida käyttää pohjaveden pinnan alapuolella.

Kehityshankkeessa tunnistettiin seuraavat huokosilmakäsittelyyn liittyvät eri elinkaarivaiheiden mahdolliset ilmastopäästöjen lähteet:

- *Tuotevaihe*
 - o kertakäyttöisten putkien ja tiivistysmateriaalien valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
 - o puhdistuksessa tarvittavien muiden materiaalien, kuten aktiivihiilisuodattimien, valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
- *Valmisteluvaihe*
 - o rakenteiden purkamiseen tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o imu- ja pohjavesiputkien sekä tiivistysmateriaalien asentamiseen ja maisemointiin tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o puiden ja pintamaan poistoon tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o puuston ja pintamaan poiston vaikutukset hiilivarastoihin ja -nieluihin
 - o poistettavien maa-ainesten ja muiden jätteiden poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o poistettavien maa-ainesten ja muiden jätteiden ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o valmistelussa tarvittavien materiaalien, laitteiden ja työkoneiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Puhdistusvaihe*
 - o pumppaamiseen tarvittavat energialähteet
 - o maaperään injektoitavan prosessia tehostavan kuumen ilman, höyryn ja veden tuottamiseen tarvittavat energialähteet
 - o poistokaasujen käsittelyn energiankäyttö
 - o pohjaveden pumppauksen ja käsittelyn energiankäyttö
 - o puhdistuksen kemiallisten ja biologisten reaktioiden mahdolliset suorat prosessiperäiset päästölähteet
 - o valvonnan ja mittausten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Päätös vaihe*
 - o rakenteiden poistaminen ja muiden puhdistuksen päättyessä tarvittavien työkoneiden energiankäyttö

- o maisemointia varten tarvittavien maa-ainesten alueelle kuljettamisen energiankäyttö
- o poistettujen rakenteiden ja laitteistojen poiskuljettamisen energiankäyttö
- o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
- o työkoneiden alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
- o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Seurantavaihe*
 - o näytteenoton ja mittausten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työasiamatkojen energiankäyttö
- *Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset*
 - o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien uudelleen käytön, materiaali kierrätyksen ja energiahyödyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt ja -haitat

3.2.7 Fytoremediaatio

Fytoremediaatiolla tarkoitetaan haitta-aineiden poistamista tai niiden kulkeutumisen estämistä kasvien avulla. Kasvit voivat toimia puhdistusmenetelmissä useilla eri tavoilla (Penttinen, 2001):

- Tehostetussa ritosfäärihajoamisessa kasvien juurien tuottamat luontaiset yhdisteet ravitsevat maaperän mikro-organismeja ja tehostavat niiden aktiivisuutta.
- Fytoakkumulaatiossa kasvit keräävät juurillaan haitta-aineet varsiin ja juuriin. Kun kasvit kyllästyvät haitta-aineella, ne kerätään pois ja jatkokäsittellään asianmukaisesti.
- Fytodegradaatiossa kasvit käsittelevät kudoksissaan haitta-aineet haitattomampaan muotoon hajoamista kiihdyttävillä entsyymeillä.
- Fytostabiloinnissa kasvit aiheuttavat maaperässä muutoksia, kuten vaikuttavat maaperän pH-arvoon ja lisäävät orgaanisen aineksen määrää, jolloin haitta-aineiden liikkuvuus vähenee.

Eri menetelmät sopivat erilaisille haitta-aineille. Kasvien juuriston ulottuvuus rajoittaa menetelmää ja liian suuret haitta-ainepitoisuudet voivat vahingoittaa kasveja. Suomessa rajoittavana tekijänä on myös lyhyt kasvukausi. Menetelmän toimivuuden todentaminen vaatii seurantaa.

Kehityshankkeessa tunnistettiin seuraavat fytoremediaatioon liittyvät eri elinkaarivaiheiden mahdolliset ilmastopäästöjen lähteet:

- *Tuotevaihe*
 - o kasvien esikasvattamisen päästölähteet
 - o ravinteiden ja lannoitteiden valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
 - o puhdistuksessa tarvittavien muiden materiaalien valmistuksen raaka-aineiden, kuljetuksen ja valmistusprosessin päästölähteet
- *Valmisteluvaihe*
 - o valmistelussa tarvittavien kasvien, materiaalien, laitteiden ja työkoneiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Puhdistusvaihe*
 - o kasvien istuttamisen energiankäyttö
 - o kohteen kunnossapidon työvaiheiden kuten mahdollisen kastelun, lannoituksen, hyönteistorjunnan, harvennuksen ja uusien kasvien istuttamisen energiaperäiset päästöt
 - o puhdistuksen biologisten reaktioiden mahdolliset suorat prosessiperäiset päästölähteet
 - o fytoakkumulaatiossa haitta-aineita sisältävien kasvien keräämisen ja jatkokäsittelyn päästölähteet
 - o valvonnan ja mittausten energiankäyttö
 - o puhdistusvaiheessa tarvittavien aineiden alueelle kuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö

- *Päätösvaihe*
 - o puhdistuksen päättyessä tarvittavien työkoneiden energiankäyttö
 - o poistettujen rakenteiden, materiaalien ja laitteistojen poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o poistettujen kertakäyttöisten rakenteiden ja materiaalien ulkopuolisen käsittelyn ja loppusijoituksen energiankäyttö ja käsittelyyn mahdollisesti liittyvät prosessiperäiset päästölähteet
 - o työkoneiden alueelta poiskuljettamisen energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työ- ja työasiamatkojen energiankäyttö
- *Seurantavaihe*
 - o näytteenoton ja mittausten energiankäyttö
 - o kohteeseen tehtävien työasiamatkojen energiankäyttö
- *Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset*
 - o kohteessa syntyvän biopohjaisen materiaalin materiaali- ja energiahyödyntämisen nettomääräiset ilmastohyödyt ja -haitat
 - o puhdistamiseen käytettyjen kasvien mahdolliset hiilinielu- ja -varastovaikutukset

3.2.8 Biologisen hajoamisen seuranta

Biologisen hajoamisen seurannassa ei tehdä aktiivisia puhdistustoimenpiteitä, vaan biohajoavien haitta-aineiden annetaan hajota luontaisesti.

Puhdistuksen aikana varmistetaan, että haitta-aineet eivät kulkeudu ympäristöön tai muunnu alkuperäistä haitallisemmiksi yhdisteiksi. Lisäksi pitoisuuksien pienenemistä seurataan säännöllisellä tarkkailulla. Menetelmä soveltuu ainoastaan luontaisesti biohajoaville yhdisteille, kuten osalle öljyhiilivedyistä.

Biologisen hajoamisen seurantaan liittyy ainoastaan seurantavaiheen elinkaaripäästöjä. Ne syntyvät prosessin seurannan, näytteenoton ja mittausten energiankäytöstä sekä kohteeseen tehtävien työasiamatkojen energiankäytöstä.



Kuva: Lauri Martinen (FCG Finnish Consulting Group Oy)

Kuva 7. Vesinäytteenottoa

4 Ilmastovaikutusten arviointi

4.1 Ilmastovaikutusten arviointi PIMA-hankkeissa

Maaperän puhdistamisen vaikutusten arviointi painottui vielä 1990-luvulle tultaessa perinteiseen suorien vaikutusten tarkasteluun. Ekotehokkuusajattelu ja ympäristöindikaattorien hyödyntäminen alkoivat yleistyä arvioinnissa toimintaympäristön ja ajatusmaailman muutosten myötä vuosituhannen vaihteessa. Arviointiin nousivat mukaan suorien vaikutusten lisäksi puhdistusmenetelmien epäsuorat ja välilliset vaikutukset. Suomessa pilaantuneen maaperän ja pohjaveden riskinhallinnan ekotehokkuuden kehittämistarpeita ja toimenpidesuosituksia tunnistettiin vuosina 2003–2006 toteutuneessa PIRRE-hankkeessa. Yhtenä hankkeen tuloksena valmistui PIRTU-työkalu pilaantuneen maaperän vaihtoehtoisten puhdistusmenetelmien ekotehokkuusvertailuun. Työkalua testattiin käytännössä PIRRE2-jatkohankkeessa vuosina 2006–2009.

Ekotehokkuutta laajemmat kestävän kunnostamisen Green Remediation ja Green and Sustainable Remediation -ajattelumallit alkoivat yleistyä 2000-luvulla YK:n kestävän kehityksen tavoitteiden myötä. Tarkasteluun tuli mukaan ympäristökysymysten lisäksi muita kestävyysuolottuvuuksia. Myös ympäristövaikutusten arviointi oli aiempaa laajempaa. Kestävän kunnostamisen ajattelu on valtavirtaistunut viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Kansainvälinen Sustainable Remediation Forum (SURF) perustettiin vuonna 2006 ja kestävän kunnostamisen käsitteestä on saatu oma ISO 18504 -standardinsa. Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2014 Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta -ohjeen ja kolme vuotta myöhemmin valmistui PIRISTE-hankkeessa Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot -raportti (Pyy ym. 2017).

Käsittelymenetelmien kestävyys arviointiin on kehitetty vuosien varrella useita erilaisia kvalitatiivisia tai kvantitatiivisia menetelmiä. Useat niistä hyödyntävät monikriteerianalyysia (Multi Criteria Analysis, MCA). Siinä puhdistusmenetelmiä arvioidaan ja vertaillaan päätöksenteon kannalta merkittävimpien kriteerien kuten riskien hallinnan, ympäristövaikutusten ja kustannusten näkökulmasta. Monikriteerianalyysiin pohjautuvat esimerkiksi hollantilainen REC-työkalu sekä sen pohjalta kehitetty PIRTU-työkalu.

Monet kvantitatiiviset ilmastovaikutusten arviointityökalut perustuvat elinkaariarviointiin (Life Cycle Analysis, LCA) ja ne hyödyntävät laskennassa elinkaaritietokantoja. Puhdistuksen ilmastovaikutuksia voidaan arvioida myös suoraan elinkaarilaskennan työkaluilla kuten SimaPro-, GaBi- tai OpenLCA-ohjelmalla. Haasteena ovat hintavat työkalut ja tietokannat, jotka vaativat ohjelmiston käytön ja arvioinnin osaamista. Etenkin pienemmissä kohteissa elinkaarimallintaminen on yleensä liian aikaavievää ja kallista.

Esimerkkejä pilaantuneiden maiden puhdistuksen elinkaari- tai ympäristöjalanjälkipohjaisista työkaluista ovat yhdysvaltalaiset SEFA, SRT ja SiteWise GSR. Puhdistusmenetelmän kestävyysalanjälkianalyseistä tunnetuin ja merkittävin on hiilijalanjälki. Sen laskureista ovat esimerkkeinä Ruotsin geoteknisen seuran SGF:n Microsoft Excel-pohjainen pilaantuneen maaperän jälkikäsittelyyn tarkoitettu VHGFM-päästölaskentatyökalu ja hollantilainen CO2 Calculator -laskuri standardinomaiseen pilaantuneen maaperän käsittelymenetelmävaihtoehtojen elinkaari-pohjaiseen hiilijalanjälkilaskentaan. Puhdistushankkeiden kestävyys arviointiin kehitettyjä laskennallisia ja laadullisia menetelmiä ja työkaluja on käsitelty laajemmin mm. Suomen ympäristökeskuksen koordinoimassa Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot -hankkeessa (Pyy ym., 2017).

4.2 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kuvaa puhdistusprosessin elinkaaren aikana syntyvien ilmasto- eli kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Hiilijalanjälki perustuu elinkaariarviointiin. Yleensä hiilidioksidiekvivalentteina (CO₂e) mitattu hiilijalanjälki lasketaan kertomalla ilmastovaikutuksia aiheuttaviin toimintoihin liittyvät määrät tai suoritteet sopivilla päästökertoimilla ja summaamalla lasketut päästömäärät yhteen. Laskentaa ja siihen liittyviä valintoja ohjaavat hiilijalanjälki- ja elinkaari-standardit. Näistä ovat esimerkkeinä kansainvälinen GHG-protokolla, hiilijalanjälkistandardi SFS EN ISO 14067, rakentamisen elinkaariarvioinnin standardi SFS EN 15978 sekä infrarakentamisen ympäristö-, taloudellisen

ja sosiaalisen arvioinnin periaatteet kattava standardi EN 17472. Laskenta-aineiston laatu ja epävarmuudet asetavat arvioinnille reunaehdonsa. Siksi hiilijalanjäljen laskennassa joudutaan tekemään rajauksia ja tilannetta yksinkertaistavia oletuksia sekä keskittymään laskennassa merkittävimpiin päästölähteisiin ja elinkaarivaiheisiin.

Hiilijalanjälki on käytön myötä valtavirtaistunut. Ympäristöministeriön vetämä rakentamisen vähähiilisyysyö on edistänyt rakennusten elinkaariarviointia ja nostanut hiilijalanjäljen laskennan roolia. Elinkaariymmärrys kehittyi myös infrarakentamisessa. Tässä kehityshankkeessa onkin ollut pyrkimyksenä hakea menetelmällistä yhtenevyyttä talon- ja infrarakentamisen elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjälkilaskennan standardien EN 15978 ja EN 17472 kehikkojen kanssa. Kansainväliset ilmasto-, ekotehokkuus- ja kestävyyspainotteiset mallit ovat periaatteessa soveltuvin osin hyödynnettävissä rakenteen ja lähestymistavan (CO2 Calculator ja RemS), mallin (VHGFM, SRT, RemS, SiteWise GSR ja SEFA) sekä kertoimien määrittelyn (VHGFM, SRT, RemS ja SEFA) osalta, mutta käytännössä sisällöltään hyödynnettäviä työkaluja ei hankkeen aikana kuitenkaan tunnistettu.

Rakennustuotteiden standardi EN 15804 jakaa ilmastopäästöjen aiheuttaman ilmastonlämpenemispotentiaalin fossiilisista päästöistä, biogeenisistä eli biopohjaisista päästöistä sekä maankäytöstä ja maankäytön muutosten päästöistä muodostuviin osiin. Fossiiliset päästöt ovat peräisin fossiilisten polttoaineiden, turpeen ja fossiilista hiiltä sisältävien materiaalien hapettumisesta, hajoamisesta tai käsittelystä esimerkiksi polttamalla tai sijoittamalla kaatopaikalle. Fossiilispohjaisia poistumia syntyy esimerkiksi sementtipohjaisten materiaalien karbonatisoitumisen seurauksena. Kehityshankkeessa ja siinä kehitetyssä työkalussa on keskitytty puhdistusmenetelmän elinkaaren fossiiliperäisiin ilmastovaikutuksiin.

Biopohjaiset ilmastopäästöt sisältävät poistumat hiilen siirtyessä elävästä biomassasta tai aiemmista tuotejärjestelmistä tarkasteltavaan tuotejärjestelmään. Lisäksi mukana ovat biomassan palamisesta tai hajoamisesta aiheutuvat päästöt. Pilaantuneen maaperän puhdistuksessa syntyy biopohjaisia päästöjä lähinnä joidenkin menetelmien suorina prosessiperäisinä päästöinä sekä mahdollisesti myös menettelyn aikana syntyneiden jätteiden biosuoksien käsittelyssä.

Maankäytöstä ja maankäytön muutosten ns. LULUCF-päästöissä ovat mukana päästöt ja poistumat, jotka johtuvat toiminnasta aiheutuneiden maankäytön muutosten aiheuttamista hiilivarastojen muutoksista. Kyse on biopohjaisen hiilen muutoksista, jotka johtuvat esimerkiksi puuston poistamisesta tai maaperähiileen liittyvistä muutoksista. Kehityshankkeen työkaluversiossa ei ole huomioitu erikseen kaikkia raportoitavia biogeenisiä ja maankäytön muutoksen LULUCF-päästöjä. Kuitenkin esimerkiksi fyto-remediaation osalta tällaisia päästöjä voisi syntyä puhdistusmenetelmässä käytetyn puuston ja kasvien hiilivarasto- ja nieluvaikutuksista sekä kohteessa syntyvien biopohjaisten materiaalien jatko-työntämisestä materiaalina ja energiana.

Elinkaaren ulkopuoliset mahdolliset ilmastohyödyt ja haitat jätetään hiilijalanjälkitarkastelun ulkopuolelle hiilijalanjäljen standardien ohjeiden mukaisesti (ks. esim. EN 15804). Tällaisia nettomääräisiä ilmastohyötyjä saattaa syntyä kaivetun maa-ainesten kohteen ulkopuolella tapahtuvasta hyödyntämisestä. Myös alueen kertakäyttöisten rakenteiden tai materiaalien jatko-työntämisestä voi syntyä positiivisia elinkaaren ulkopuolisia ilmastovaikutuksia.

5 PIIP-laskentatyökalu

Kehityshankkeen yhteydessä tehtiin Microsoft Excel -ympäristössä toimiva PIIP-laskentatyökalu (Pilaantuneen maaperän puhdistamisen Ilmastopäästöjen laskentatyökalu) puhdistushankkeiden hiilijalanjäljen laskentaan. Sen avulla voi vertailla puhdistettavan kohteen ominaisuuksiin ja puhdistustavoitteisiin sopivia puhdistusmenetelmiä keskenään. Sillä voidaan havainnollistaa puhdistusmenetelmän ilmastovaikutusten suuruusluokkia ja päästöjen vähentämismahdollisuuksia. Työkalu keskittyy varsinaiseen puhdistusprosessiin. Sen ulkopuolelle on jätetty kohdekartoitus ja -tutkimukset, riskinarviointi sekä puhdistussuunnittelu. Tarkastelun ulkopuolelle on jätetty myös hiilijalanjäljen näkökulmasta vähämerkitykselliseksi arvioituja päästölähteitä. Työkalun käyttö vaatii jonkun verran tietämystä puhdistusmenetelmistä. Hiilijalanjäljen osalta riittää tietämys sen laskennan periaatteista.

5.1 Laskentatyökalun tavoitteet

Tavoitteena on ollut rakentaa pilaantuneiden maiden puhdistuksen asiantuntijoiden ja muiden aiheen parissa toimivien käyttöön soveltuva elinkaarilaskennan linjauksiin nojautuva laskentatyökalu pilaantuneiden maiden puhdistusmenettelyn hiilijalanjäljen laskentaan kotimaisessa kontekstissa. Työkalu auttaa hahmottamaan elinkaarivaiheiden ja ilmastopäästöjen kokoluokkaa ja panostamaan ilmastovaikutusten vähentämisen kannalta olennaisimpiin päästölähteisiin. Laajempaan tavoitteena onkin lisätä pilaantuneiden maiden parissa toimivien ilmastotietoisuutta ja -ymmärrystä.

Laskentatyökalun suunnittelun lähtökohtina ovat olleet helppokäyttöisyys, selkeys ja saatavuuden varmistaminen. Tavoitteena on ollut suunnitella työkalu eri kokoisten hankkeiden elinkaaren ilmastopäästöjen arviointiin. Laskentatyökalu ei saisi olla liian työläs pienempienkään kohteiden arvioinnissa. Käytettävyyttä selviää työkalun käytön myötä. Tavoitteena on saada työkalu mahdollisimman laajaan käyttöön ja kehittää sitä enemmän päätöksenteon tueksi. Moduulijatteluun perustuva työkalu on suunniteltu siten, että sitä voidaan päivittää ja jatkokehittää helposti.

5.2 Laskentatyökalun käyttö

Laskentatyökalu on tehty Microsoft Excel -ympäristöön siten, että se ei vaadi makroja tai erillistä käyttöliittymää. Työkalun käyttöohjeet on esitelty sen "Ohje"-välilehdellä.

Laskentatyökalulla eri puhdistusmenetelmien ilmastovaikutusten arviointi tehdään omilla välilehdillään. Työkalulla voidaan vertailla useampia puhdistusmenetelmiä tai arvioida puhdistuksen hiilijalanjälkeä, kun yhdessä hankkeessa käytetään useampaa eri menetelmää. Puhdistettavan alueen tiedot ja laajuus täytetään "Kohdetiedot ja yhteenveto" -välilehdelle ja puhdistusmenetelmien omilla välilehdillä käytetään prosenttiosuuksia puhdistuksesta. Laskentatyökalulla on halutessaan mahdollista tarkastella myös yksittäisten elementtien, kuten putkistojen tai lisääntyvän sähkönkulutuksen, ilmastopäästöjä.

Käyttäjän täytettäväksi tarkoitetut solut on merkitty vihreällä värillä. Lisäksi työkalussa on merkitty keltaisella värillä solut, joita voi halutessaan muokata (esim. muutokset). Punaisella merkittyihin soluihin työkalu valitsee tai laskee arvot lähtötietojen perusteella, joten niiden sisältöä ei muokata. Harmaat solut ovat laskentaa varten, eikä niitä ole tarpeen muokata laskurin tavanomaisessa käytössä.

Työkalun viimeisillä välilehdillä on esitetty hiilidioksidiekvivalenttimääräisiä kertoimia erilaiselle kalustolle sekä materiaaleille. Kalusto ja materiaalit voidaan puhdistusmenetelmäkohtaisilla välilehdillä valita pudotusvalikoista. Käyttäjä voi tiedon lisääntyessä tarvittaessa muokata oletuskertoimia. Lisäksi työkaluun on mahdollista lisätä omia kalustoja ja materiaaleja tms., jolloin päästökerroin lisätään taulukkoon itse.

5.3 Laskentatyökalun kertoimet

Kehitetyn laskentatyökalun parametrien aineistoina on pyritty käyttämään maksuttomia elinkaarilaskennan tietokantoja sekä muita avoimia lähteitä. Lisäksi kehitystyössä on hyödynnetty yksittäisten parametrien osalta puhdistusmenetelmien elinkaaritutkimusten tuloksia. Tärkeimmät laskentatyökalun oletusarvojen tietolähteet ovat seuraavat:

- kuljetusten ja työkoneiden päästökertoimet (Suomen ympäristökeskuksen CO2data.fi-palvelu ja merikuljetuksissa EcoTransitIT-palvelu)
- työkonekierroalettien oletusarvot (Rakennustiedon Ratu-kortisto)
- puhdistusmenetelmien laitteiden energiankäyttö (CO2data.fi)
- kemikaalit ja muut puhdistusmenetelmien aineet ja materiaalit (CO2data.fi, Ecoinvent-tietokanta ja valmistajien ympäristöselostetiedostot)
- erilaiset rakennusmateriaalit (CO2data.fi)

- polttoaineiden päästökertoimet (Tilastokeskuksen Polttoaineluokitus ja Suomen ilmastopaneelin Autokalkulaattori)
- henkilö- ja pakettiautojen päästökertoimet (Autokalkulaattori)
- sähkön ominaispäästökertoimet (Fingrid, Energiategollisuus ry ja Energiavirasto)

Laskentatyökalun parametrit ovat helposti päivitettävissä uusilla tiedoilla. Lisäksi käyttäjä voi syöttää työkaluun paremmin laskentakohteeseen sopivat päästökertoimet ja muut laskentaparametrit, jos ne ovat tiedossa. Omien parametrien käyttö on syytä tuoda esiin ja perustella selkeästi laskennan tuloksia raportoitaessa ja hyödynnettäessä. Kerroinaineiston osalta on vielä kehitettävää ainakin seuraavien teemojen osalta:

- Puhdistusmenetelmissä käytettyjen epätavallisempien kemikaalien ja muiden aineiden koostumuksen ja päästökertoimien selvittäminen ja tietojen hankkiminen esimerkiksi aineiden valmistajalta jää työkalun käyttäjälle.
- Puhdistusmenetelmien laitteiden energiankäyttö perustuu tehopohjaiseen laskentaan. Jatkokehityksenä pitäisi kerätä kattavampaa energiankäyttötietoa Suomessa käytössä olevien menetelmien tyypillisestä puhdistuslaitteistokannasta. Sama pätee maa-ainesten ja jätteiden vastaanottoaikoissa tapahtuvan loppusijoitukseen kelpaamattoman maa-aineksen käsittelyn tyyppikertoimien määrittelyyn eri käsittelymenetelmille.
- Puhdistusmenetelmien kemiallisissa ja biologisissa prosesseissa syntyvien suorien, ei-energiaperäisten ilmastopäästöjen tunnistaminen ja tarkempi tarkastelu.
- Maankäytön ja maankäytön muutoksen ilmastovaikutusten eli hiilivarastojen ja -nielujen muutoksen lisääminen tarkasteluun.

5.4 Laskentatyökalun rajaukset

PIIP-laskentatyökalun ensimmäisessä versiossa ei huomioida puhdistushankkeen elinkaaren ulkopuolisia päästöjä kuten tutkimusten ja suunnittelun energiankäyttöä. Laskentatyökalun ulkopuolelle on rajattu myös sellaiset päästöt, joiden arviointi on erityisen vaikeaa tai jotka on arvioitu hyvin pieniksi, kuten analyysit, erilaiset uudelleenkäytettävät materiaalit ja pumppausvesien käsittely puhdistuskohteessa.

6 Case-kohteet

6.1 Tarkasteltavien kohteiden valinta ja päästölaskenta

Kehityshankkeen yhteydessä tarkasteltiin neljää Maaperä kuntoon -ohjelman puhdistuskohdetta ja tehtiin niiden puhdistuksista hiilijalanjälkilaskelmat kohteista saatavilla olleiden dokumenttien tietojen avulla. Tarkasteltavat kohteet valittiin siten, että saadaan käsiteltyä erilaisia puhdistusmenetelmiä ja sijainniltaan erilaisia kohteita. Näin ne havainnollistavat erityyppisten menetelmien ilmastopäästölähteiden ja niiden jakauman eroavaisuuksia. Yhdessä kohteista käytettiin kolmea eri menetelmää.

Tarkasteltujen esimerkkikohteiden maaperän puhdistuksen hiilijalanjälki muodostuu luvun 2 mukaisen menetelyn elinkaaren tuote-, valmistelu-, puhdistus- ja päätösvaiheista; lähinnä työasiamatkojen päästöistä muodostuvat kohteen seurantavaiheen päästöt jätettiin tällä kertaa tarkastelematta. Luvussa 4 esitettyjen hiilijalanjäljen laskennan rajausten mukaisesti ja lähtöaineiston asettamien rajoitteiden vuoksi mukana ei ole myöskään biopohjaisia tai maankäytön muutoksen päästöjä (hiilivarastoja ja -nieluja), puhdistusmenetelmien biologisten ja kemiallisten prosessien suorita kasvihuonekaasupäästöjä eikä työ- ja työasiamatkoja. Laskenta tehtiin hankkeen aikana kehitetyn pilaantuneiden maiden hiilijalanjäljen laskentamallin kehitysversiolla. Tämän vuoksi esimerkkikohteiden puhdistusmenetelmien tulokset ja tarkkuus voivat erota jonkin verran lopullisen laskentatyökalun esitystavasta.

6.2 Panfur, Kurikka

6.2.1 Kohteen tiedot

Panttilan alueella Kurikassa on käsitelty turkkeja 1830-luvulta asti ja tutkimusten aikaan alueella toimi edelleen turkismuokkaamo. Toiminnassa on käytetty liuottimia rasvan poistoon. Toiminnan seurauksena tetra- ja trikloorieteeniä on päätenyt alueen maaperään ja pohjaveteen. Alueella todettiin myös tetra- ja trikloorieteenin hajoamistuotteita: dikloorieteeniä ja vinyylifloridia.

Kokonaisuudessaan pilaantuneen alueen laajuudeksi arvioitiin noin 1 500–2 000 m². Pohjavedessä tetrakloorieteenin pitoisuus oli suurimmillaan (noin 66 000 µg/l) vuonna 2009, trikloorieteenien 1 400 µg/l ja dikloorieteenien 20 000 µg/l. Pilaantuneen pohjaveden laajuudeksi arvioitiin noin 1,5–2,5 ha. Tehdasalueelle oli tuotu täyttöhiekkaa 5 m kerros massanvaihtotyön seurauksena. Luonnonmaa alueella on karkeaa silttiä ja sen alapuolella osittain myös savea. Kallion pinnalla pohjakerroksena esiintyy hiekkamoreenia. Pohjaveden pinta oli tehdasalueella noin 3–6 m syvyydellä. Kallion pinta vaihteli voimakkaasti, korkeimmillaan kallio havaittiin kahdeksan metrin, mutta tehdasrakennuksen länsipuolella vasta 60 m syvyydellä.

Kohde rajautui jokeen ja noin 50 m etäisyydellä oli 1-luokan pohjavesialue. Lähin pohjavedenottamo sijaitsee noin 150 m etäisyydellä kohteesta. Tehdasalueen ja pohjavesialueen hydraulisesta yhteydestä ei ollut varmuutta, mutta tutkimuksissa kloorattuja liuottimia todettiin myös joen länsipuolella.

Alueen puhdistusta lähdettiin edistämään demonstraatiohankkeena, jonka tavoitteena oli ympäristön laadun parantamisen lisäksi edistää kestävästä kehityksen mukaisia ja innovatiivisia ratkaisumalleja monimutkaisten ympäristöongelmien ratkaisuun sekä edistää suomalaisen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja puhdistustoiminnan kehittämistä.

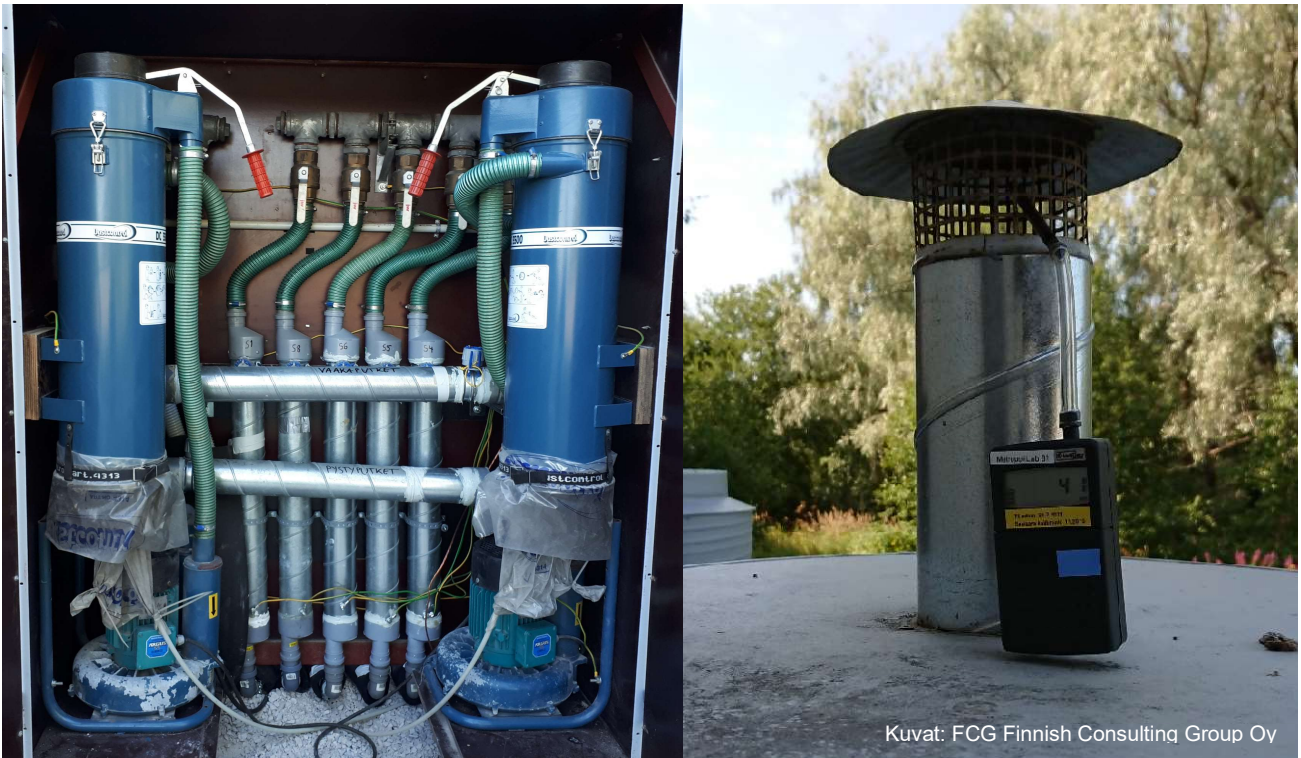
Puhdistuksen yleistavoitteeksi asetettiin pohjaveden ottamisen ja pohjavesialueen tilan turvaaminen pitkällä aikavälillä. Yleistavoitteen toteuttamiseksi asetettiin kolme alatavoitetta:

- 1) Pienentää haitta-aineen massaa ja massavirtaa päästölähteen alueella.
- 2) Hallita leviämää ja estää haitta-aineiden kulkeutuminen laajemmalle.
- 3) Turvata vedenottamon raakavedenotto puhdistuksen aikana ja sen jälkeen.

Puhdistustyölle ei asetettu numeerista tavoitearvoa. Urakoitsijan toteutussuunnitelmassa ohjeelliseksi puhdistustavoitteeksi maaperän vedellä kyllästyneessä kerroksessa asetettiin kuitenkin kloorattujen hiilivetyjen summapiitoisuudeksi 0,5 mg/kg. Huokoskaasukäsittelyn osalta tavoitteeksi asetettiin alipaineen ylläpitäminen rakennuksen alapuolisessa maaperässä siten, että haihtuvien yhdisteiden kulkeutuminen sisätilaan estyy.

Puhdistusmenetelmiksi valittiin lähdealueen vajovesivyyhykkeessä huokoskaasukäsittely ja lähdealueen kylästyneelle vyyhykkeelle anaerobinen reduktiivinen dehalogenaatio. Puhdistusmenetelmän valinnan jälkeisissä tarkemmissa tutkimuksissa todettiin, että rakennuksen varasto-osan alapuolisessa maaperässä on niin suuria CVOC-pitoisuuksia, että anaerobinen deklorinaatio ei sovellu kyseisen maakerroksen puhdistukseen. Uudeksi tavoitteeksi asetettiin, että puhdistuksella estetään CVOC-yhdisteiden kulkeutuminen raaka-ainevärosten alueelta laajemmalle pohjaveteen, jonka seurauksena injektoitavan kemikaalin määrää lisättiin 20 % aiemmin suunniteltuun verrattuna. Päästölähdealueella toteutettiin myöhemmin lisäksi terminen desorptio.

6.2.2 Huokoskaasuimu



Kuvat: FCG Finnish Consulting Group Oy

Kuva 8. Huokoskaasuiimun pumppaus- ja mittaustaitteistoa

6.2.2.1 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos

Tehdassalin lattian alle asennettiin viisi pystyputkea ja neljä vaakaimuputkea. Haitta-ainepitoinen ilma imettiin imu-
rilla ja ohjattiin aktiivihiiisuodattimeen, johon haitta-aineet kerättiin. Urakka-ajaksi huokosilmaimun osalta oli en-
nakkoon päätetty 24 kuukautta.

Puhdistuksen aikana imetystä ja poistuvasta ilmasta mitattiin haihtuvien hiilivetyjen summapitoisuutta PID-
mittarilla ja alipainetta sekä ilman määrää vaak- ja pystyputkissa seurattiin. Imetyn huokosilman VOC-pitoisuus
vaihteli PID-mittauksissa välillä 1,0–5,2 ppm ja aktiivihiiianalyysien perusteella välillä 1,0–4,2 mg/m³. Poistuvassa
huokosilmassa pitoisuudet olivat pääsääntöisesti alle 0,02 mg/m³ kolmea vaakaputkistossa todettua poikkeusta
(0,07 mg/m³) lukuun ottamatta. Tarkkailutulosten perusteella imulla arvioitiin saadun talteen noin 12–13 kg hiilive-
tyjä eli noin 30–50 % alkuperäisestä määrästä.

Kahden vuoden toiminta-aika oli suhteellisen lyhyt verrattuna tavanomaiseen huokosilmapuhdistukseen (yli 5
vuotta). Imuputkien vaikutusalue jäi melko suppeaksi, mutta CVOC-yhdisteitä saatiin poistettua erityisesti 0–3 m
syvyydeltä sora-/hiekkakerroksesta. Syvemmällä olevaan siltti-/savikerrokseen ja kosteaan maaperään puhdistuk-
sella ei arvioitu olevan vaikutusta.

6.2.2.2 Hiilijalanjäljen laskenta

Puolet Panfurin huokosilmakäsittelyn hiilijalanjäljestä syntyi materiaalien valmistuksesta. Osa näistä välillisistä
päästöistä liittyi aktiivihiiisuodattimiin. Oletuksena oli, että kohteessa käytettiin regeneroitua eli uudelleen aktivoi-
tua aktiivihiihtä. Sen päästökerroin on Ecoinvent-tietokannan perusteella noin kymmenesosa markkinoilla yleisim-
min tarjolla olevaan kivihiiipohjaiseen aktiivihiiheen verrattuna. Jos suodatin olisi valmistettu kivihiihestä, koko me-
nettelyn hiilijalanjälki olisi ollut 85 % suurempi. Tuotevaiheen osalta laskelmissa huomioitiin myös muoviset pysty-
ja imuputket ja niiden asentamiseen tarvittava leca-sora, betoni ja betonirauoituksena käytettävä harjateräs. Tau-
lukossa 1 on esitetty huokosilmakäsittelyn hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain.

Taulukko 1. Kurikassa sijaitsevan Panfurin turkistehtaan huokosilmäkäsittelyn hiilijalanjälki elinkaari-vaiheittain

Elinkaarivaiheet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Tuotevaihe	1 041	51 %
<i>Pysty- ja vaakaimuputket (muovi)</i>	155	8 %
<i>Betonirakenteet (betoni, harjateräs ja leca-sora)</i>	680	33 %
<i>Aktiivihiiლისუოდატინ (regeneroitu)</i>	205	10 %
Valmisteluvaihe	650	32 %
<i>Kaivun ja massojen siirron työkoneet</i>	254	12 %
<i>Jätteiden käsittely (purkubetoni)</i>	64	3 %
<i>Kuljetukset (työkoneet, laitteet ja jätteet)</i>	333	16 %
Puhdistusvaihe	145	7 %
<i>Imurin energiankäyttö</i>	145	7 %
Päätös vaihe	200	10 %
<i>Kuljetukset (työkoneet ja laitteet)</i>	200	10 %
Hiilijalanjälki yhteensä	2 036	100 %

Hiilijalanjäljen osalta toinen merkittävä elinkaarivaihe on puhdistuksen valmisteluvaihe. Putket asennettiin tehtaahan betonilattian alle. Sisätiloissa tapahtuneeseen työhön tarvittiin sähkökäyttöinen minikaivuri ja massojen siirtoon nestekaasukäyttöinen minikuormaaja. Koneiden, imulaitteiden ja tarvittavien materiaalien kuljetuksista aiheutui päästöjä. Koneet kuljetettiin Kuortaneelta (73 km) ja laitteet Sipoosta (370 km). Purkubetoni toimitettiin Kurikasta 144 km:n päähän Alhaisissa sijaitsevaan teollisuusjätekeskukseen käsiteltäväksi. Työkoneiden ja kuljetusten laskennassa hyödynnettiin kerroinaineistona Syken CO₂data.fi-palvelua.

Puhdistusvaiheen lasketut ilmastopäästöt aiheutuivat imureina käytettyjen kanavapuhallinten sähkön käytöstä. Kolmelle eri vuodelle ulottuneelle puhdistuksen aikana käytetyn sähkön ominaispäästökerroin laskettiin yksinkertaisuuden vuoksi kotimaisen sähköntuotannon keskimääräisten vuosittaisen päästökertoimien keskiarvona. Siihen lisättiin vielä sähkön raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen välillisiä päästöjä kuvaava kerroin, jotta saatiin hiilijalanjäljen laskentaan sähkön elinkaarikerroin. Päätös vaihe sisältää laskennassa vain työkoneiden ja imulaitteiden kuljetukset takaisin Kurikasta Kuortaneelle ja Sipooseen. Taulukossa 2 on esitetty huokosilmäkäsittelyn hiilijalanjälki päästölähteittäin.

Taulukko 2. Kurikassa sijaitsevan Panfurin turkistehtaan huokosilmäkäsittelyn hiilijalanjälki päästölähteittäin

Päästölähteet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Materiaalit	1 041	51 %
Työkoneet	254	12 %
Kuljetukset	533	26 %
Muu energiankäyttö	145	7 %
Jätteiden käsittely	64	3 %
Hiilijalanjälki yhteensä	2 036	100 %

6.2.3 Injektointi

6.2.3.1 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos

Injektointeja suoritettiin 86 pisteestä 3–11 metrin syvyyteen. Injektointeihin käytetty aika oli neljä viikkoa kesä-heinäkuussa 2018. Injektoinnit tehtiin CAP18-ME®-nesteellä, joka sisältää kasviöljyä ja rasvahappoja. Kemikaalin kulutus oli noin 13 400 l (12 880 kg). Kalustona toimi porakonekaira, johon oli asennettu injektio päät. Injektointiaineen lisäksi maaperään injektointiin vettä yhteensä noin 4 m³. Ennen varsinaista injektointia kahdeksassa pisteessä suoritettiin koeinjektointeja vesijohtovedellä, jota kului noin 1,5 m³.

Injektoinnin vaikutusta seurattiin vuosina 2018–2022 näytteenotilla kahdesti vuodessa. Vuonna 2019 seuranta näytteet otettiin kolmesti. Neljä vuotta ja kaksi kuukautta injektointien jälkeen voitiin todeta, että pohjavedessä

todettu haitta-aineen leviämisalue oli reunoiltaan supistunut ja muutamia pohjavesiputkia oli voitu rajata pois pi-laantuneesta alueesta. Leviämistä ei ollut tapahtunut. Kahdessa tarkkailuputkessa CVOC-pitoisuuksien oli todettu pienentyneen noin 90 %. Pohjaveden virtaus alueella on hidasta ja puhdistusvaikutus oli tarkkailu aikana todetta-vissa lähinnä injektointialueen havaintoputkissa. Pohjaveden virtaussuunnassa käsittelyalueen alapuolella pitoi-suuksien laskua odotettiin tapahtuvan vielä myöhemmin.



Kuvat: FCG Finnish Consulting Group

Kuva 9. Biologinen puhdistus

6.2.3.2. Hiilijalanjäljen laskenta

Injektoinnin tuotevaiheen ilmastopäästöt ja käytännössä koko hiilijalanjälki aiheutuivat puhdistuksessa käytetystä kasviöljy- ja rasvahappopohjaisen nesteen valmistuksen päästöistä. Oletuksena on, että Yhdysvalloissa valmistettu injektointiaine on soijapohjainen kasviöljy. Jos kertoimena olisi käytetty maailmanmarkkinoilla keskimäärin myydyin kasviöljyn kerrointa, tuotevaiheen osuus olisi noussut 95 %:iin. Taulukossa 3 on esitetty injektointikäsitte-lyn hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain.

Taulukko 3. Kurikassa sijaitsevan Panfurin turkistehtaan injektointikäsitteilyn hiilijalanjälki elinkaari-vaiheittain

Elinkaarivaiheet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Tuotevaihe	25 535	88 %
<i>Kasviöljy (CAP-18 ME ®)</i>	25 535	88 %
Valmisteluvaihe	3 417	0,1 %
<i>Kuljetukset (poravaunu)</i>	41	0,1 %
Puhdistusvaihe	3 377	12 %
<i>Kuljetukset (kasviöljy)</i>	1 404	5 %
<i>Työkoneet (poravaunu)</i>	1 973	7 %
Päätös vaihe	41	0 %
<i>Kuljetukset (poravaunu)</i>	41	0 %
Hiilijalanjälki yhteensä	28 993	100 %

Muiden elinkaarivaiheiden osalta valmistelu muodostuu injektoinnissa tarvittavien koneiden tuomisesta kohde-alueelle. Puhdistusvaiheeseen sisällytettiin injektioaineen kuljetukset ja keskiraskaan poravaunun avulla tehdyn injektoinnin työkoneiden polttoainekäyttö. Myös päätös vaiheessa on työkoneiden kuljetusten energiankäytön vai-kutuksia. Työkoneet tuotiin Seinäjoelta kuorma-autolla 35 km:n päästä Kurikasta. CAP-18 ME ® -liuos tuli IBC-

konteissa Belgiasta Tallinnan kautta Helsinkiin ja sieltä kohteeseen täysperävaununkuljetuksella. Laskennassa käytettiin yksinkertaisuuden vuoksi kaikissa kuljetuksissa suomalaisia CO2data.fi-palvelun kertoimia. Taulukossa 4 on esitetty injektointikäsitellyn hiilijalanjälki päästölähteittäin.

Taulukko 4. Kurikassa sijaitsevan Panfurin turkistehtaan injektointikäsitellyn hiilijalanjälki päästölähteittäin. Merkintä (-) tarkoittaa laskentatietojen puuttumisen vuoksi puuttuvaa laskentatulosta.

Päästölähteet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Materiaalit	25 535	88 %
Työkoneet	1 973	7 %
Kuljetukset	1 485	5 %
Muu energiankäyttö	-	-
Jätteiden käsittely	-	-
Hiilijalanjälki yhteensä	28 993	100 %

6.2.4 Terminen desorptio

6.2.4.1 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos

Päästölähdealueelle asennettiin vuoden 2020 keväällä 30 lämmityskaivoa, joiden lämmitysteho oli noin 250 kW. Lämmitettävän alueen päälle asennettiin geomembraani. Kaivojen tarkoituksena oli nostaa maaperän lämpötila yli veden kiehumispisteen, minkä seurauksena höyrystyneet haitta-aineet kerättiin alipaineella maanpäälliseen käsittelylaitteistoon. Laitteistossa höyry jäähdytettiin ja siitä erotettiin neste- ja kaasufaasi, jotka käsiteltiin erikseen aktiivihiehillä.

Aktiivisen puhdistuksen kesto oli yhteensä 105 päivää ja sähkönkulutus 581 MWh, josta lämmitykseen käytettiin 543 MWh. Sähkö tuotettiin 100 % uusiutuvilla energianlähteillä. Maaperästä kerättiin aktiivihiekkäsittelyyn huokosilmaa yhteensä noin 536 000 m³ ja vettä noin 170 m³. Ilmasta ja vedestä arvioitiin poistetun yhteensä noin 490 kg kloorattuja liuottimia. Puhdistuksen jälkeen alueella tehtiin jäännöspitoisuusnäytteenotto, jonka perusteella toimennpidealueen keskimääräinen CVOC-pitoisuus oli 1,2 mg/kg (vaihteluväli 0–5,03 mg/kg). Puhdistuksella arvioitiin saavutetun noin 99,7 % reduktio.



Kuva: Pirkanmaan ELY-keskus

Kuva 10. Panfurin termisen puhdistuksen toteutusta

6.2.4.2 Hiilijalanjäljen laskenta

Termisen käsittelyn hiilijalanjälkeen vaikuttaa maaperän lämmitykseen tarvittavan energian määrä ja energialähde. Myös puhdistuslaitteiston jäätymissuojaukseen, höyryn jäähdytys ja alipaineimu käyttävät energiaa. Käytetyn sähkön alkuperällä on merkittävä vaikutus. Vaikka Panfurin kohteessa käytettiin kokonaan uusiutuvilla luonnonvaroilla tuotettua sähköä, laskennassa käytetään sähkön elinkaarikerrointa. Se sisältää tässä tapauksessa energialähteen nollapäästöjen lisäksi sähkön tuotantovaiheen välilliset päästöt. Jos kohteessa olisi käytetty vuoden 2020 kotimaista keskivertosähköä, hiilijalanjälki olisi ollut nelinkertainen ja puhdistusvaiheen hiilijalanjälkiosuus olisi kasvanut yli 90 %:iin. Taulukossa 5 on esitetty termisen käsittelyn hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain.

Taulukko 5. Kurikassa sijaitsevan Panfurin turkistehtaan termisen käsittelyn hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain. Merkintä (-) tarkoittaa laskentatietojen puuttumisen vuoksi puuttuvaa laskentatulosta.

Elinkaarivaiheet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Tuotevaihe	224	2 %
<i>Betoni</i>	-	-
<i>Geomembraani (muovikalvo)</i>	224	2 %
<i>Aktiivihiihisuodatin</i>	-	-
Valmisteluvaihe	2 727	20 %
<i>Lämmityskaivojen asennus (paalutuskone)</i>	551	4 %
<i>Käsittelyalueen tasaus ja betonoinnit</i>	683	5 %
<i>Geomembraanin asennus</i>	-	-
<i>Termisen käsittelyn laitteiston asennus</i>	-	-
<i>Kuljetukset (työkoneet ja laitteet)</i>	1 494	11 %
Puhdistusvaihe	9 296	68 %
<i>Maaperän lämmitys (sähkö)</i>	8 688	63 %
<i>Jäätymissuojaukseen, höyryn jäähdytys ja alipaine (sähkö)</i>	608	4 %
Päätös vaihe	1 494	11 %
<i>Kuljetukset (työkoneet ja laitteet)</i>	1 494	11 %
<i>Jätteet</i>	-	-
Hiilijalanjälki yhteensä	13 741	100 %

Puhdistusmenettelyn eri elinkaarivaiheissa tapahtuvien kuljetusten osuus koko hiilijalanjäljestä on suhteellisen iso. Se johtuu oletuksesta, että teknologian toimittaja toi termisessä käsittelyssä käytetyn laitteiston ja muun menettelyyn liittyvän työmaakaluston rekkarahtina yli 1 100 km:n matkana Tanskasta Tukholman ja Turun kautta Kurikkaan. Työkoneet tuotiin kohteeseen Kauhajoelta puoliperävaunun kuljetuksena. Yhdensuuntainen kuljetusmatka oli 73 km. Taulukossa 6 on esitetty termisen käsittelyn hiilijalanjälki päästölähteittäin.

Taulukko 6. Kurikassa sijaitsevan Panfurin turkistehtaan termisen käsittelyn hiilijalanjälki päästölähteittäin. Merkintä (-) tarkoittaa laskentatietojen puuttumisen vuoksi puuttuvaa laskentatulosta.

Päästölähteet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Materiaalit	224	2 %
Työkoneet	1 233	9 %
Kuljetukset	2 988	22 %
Muu energiankäyttö	9 296	68 %
Jätteiden käsittely	-	-
Hiilijalanjälki yhteensä	13 741	100 %

6.3 Rajalan saha, Kurikka

6.3.1 Kohteen tiedot

Rajalan sahan toiminta Kurikassa oli päättynyt vuonna 1983. Sahalla oli käytetty KY-5 -sinistymisenestoainetta ulkomaille vietävään sahatavaraan. Vuosien 2009–2020 aikana tehdyissä tutkimuksissa alueen maaperässä todettiin kohonneina pitoisuuksina pentakloorifenolia, antimonia, dioksiineja, furaaneja ja dioksiinien kaltaisia PCB-yhdisteitä. Kynnysarvon ylittävä pitoisuus todettiin myös läheisen joen sedimentistä otetussa näytteessä. Kloorifenoleiden pitoisuudet olivat pieniä.

Saha on ollut toiminnan jälkeen asuinkäytössä ja osittain metsäaluetta. Asuinrakennuksen vesijohto kulki haitta-aineita sisältävän alueen läpi. Kohde ei sijainnut luokitellulla pohjavesialueella tai sellaisen läheisyydessä. Kohde rajautui idässä jokeen.

Dioksiinit ja furaanit ovat maaperässä hyvin pysyviä ja ravintoketjussa kertyviä haitta-aineita. Ne ovat terveydelle haitallisia jo hyvin pieninä pitoisuuksina, minkä seurauksena kohteen asuinkiinteistön alueella todettiin terveysriskien vuoksi puhdistustarve. Puhdistustavoitteeksi asetettiin dioksiineille ja furaaneille ylempi ohjearvotaso (0,0015 mg/kg) 0,5 m syvyyteen asti. Lisäksi tavoitteena oli poistaa jätteensekaiset maa-ainekset, joissa jätteen osuus oli yli kymmenen tilavuusprosenttia.



Kuva: Mikko Kilpiäinen (Ramboll Finland Oy)

Kuva 11. Massanvaihto Rajalan sahalta

6.3.2 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos

Kohteessa puhdistusmenetelmänä käytettiin massanvaihtoa. Ennen kaivutyön aloittamista toimenpidealueelta sekä sen välittömästä läheisyydestä poistettiin puut ja pensaat. Kaivetut maa-ainekset pyrittiin mahdollisuuksien mukaan lastaamaan suoraan kuorma-autoihin ja ne kuljetettiin Poriin sekä Ilmajolle kuormat peitettynä.

Puhdistettavan alueen laajuus oli noin 1 300 m², minkä lisäksi alueelta poistettiin jätteen sekainen maa-ainekasa, joka oli pinta-alaltaan noin 370 m². Yhteensä maa-aineksia poistettiin 2 300 t. Suomen Erityisjätteelle Poriin (157 km etäisyydellä kohteesta) vietiin 40 kuormaa ja Lakeuden Etappiin Ilmajolle (30 km etäisyydellä kohteesta) yhdeksän kuormaa. Lisäksi alueelta toimitettiin vastaanottoaikkoihin kahdeksan kuormaa erilaisia jätteitä. Kaivun jälkeen kaivannot täytettiin puhdistusta edeltävään tasoon osin alueelta kaivetuilla pilaantumattomilla maa-aineksilla (kivillä) ja muualta tuodulla moreenilla. Moreenitäytön päälle levitettiin kasvukerros ja kylvettiin nurmikko.

Dioksiinien ja furaanien osalta kohteessa saavutettiin tavoitetaso (ylempi ohjearvo). Alueella puhdistustyön aikana todetuille öljyhiilivedyille ei ollut asetettu tavoitepitoisuutta. Kohdekohtaisen riskinarvion perusteella todetuista alemmat ohjearvot ylittävistä öljyhiilivetyistä ei aiheudu ympäristö- ja terveysriskejä. Puhdistuksen jälkeen alueelta esitettiin poistettavan sillä aiemmin ollut alkuperäisessä maaperässä kasvaneiden ravintokasvien ja sienten käyttörajoite. Jatkotoimenpiteille kohteessa ei arvioitu olevan tarvetta.

6.3.3 Hiilijalanjäljen laskenta

Esimerkkikohteen hiilijalanjäljen rakenne on massanvaihdolle tyypillinen. Suurin osa ilmastopäästöistä syntyy, kun poistettuja maa-aineksia kuljetetaan kohteesta vastaanottoaikkoihin Poriin ja Ilmajolle sekä kohteeseen tuodaan maa-aineksia täyttöihin ja pintakerroksiksi oletuksen mukaisesti 30 km:n kuljetusmatkan takaa. Kuljetusten jälkeen seuraavaksi suurimman hiilijalanjälkiosuuden muodostavat massanvaihdossa poistettavia maa-aineksia korvaavien maa-ainesten ja muiden materiaalin välilliset valmistuksen päästöt puhdistusmenettelyn elinkaaren tuotevaiheessa. Taulukossa 7 on esitetty massanvaihdon hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain.

Taulukko 7. Kurikassa sijaitsevan Rajalan sahan massanvaihdon hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain. Merkintä (-) tarkoittaa laskentatietojen puuttumisen vuoksi puuttuvaa laskentatulosta.

Elinkaarivaiheet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Tuotevaihe	9 167	21 %
<i>Hiekka</i>	9 120	21 %
<i>Kasvukerros</i>	47	0,1 %
Valmisteluvaihe	332	1 %
<i>Puuston poisto (työkoneet)</i>	-	-
<i>Jätteiden käsittely</i>	2	<0,1 %
<i>Kuljetukset</i>	331	1 %
Puhdistusvaihe	34 048	78 %
<i>Maa-ainesten kaivuu ja lastaus</i>	934	2 %
<i>Maa-ainesten levitys</i>	1 712	4 %
<i>Kuljetukset (maa-ainesten vienti ja tuonti)</i>	31 402	72 %
Päätösvaihe	74	0,2 %
<i>Kuljetukset</i>	74	0,2 %
Hiilijalanjälki yhteensä	43 621	100 %

Taulukossa 8 on esitetty massanvaihdon hiilijalanjälki päästölähteittäin.

Taulukko 8. Kurikassa sijaitsevan Rajalan sahan massanvaihdon hiilijalanjälki päästölähteittäin. Merkintä (-) tarkoittaa laskentatietojen puuttumisen vuoksi puuttuvaa laskentatulosta.

Päästölähteet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Materiaalit	9 167	21 %
Työkoneet	2 646	6 %
Kuljetukset	31 807	73 %
Muu energiankäyttö	-	-
Jätteiden käsittely	2	<0,1 %
Hiilijalanjälki yhteensä	43 621	100 %

6.4 Petrolan turkistarha, Rääkkylä

6.4.1 Kohteen tiedot

Petrolan turkistarha Rääkkylässä oli toiminut vuoteen 2007 asti noin neljän hehtaarin suuruisella alueella. Turkistarhatoiminnan päätyttyä alue toimi yksityisessä omistuksessa hevoslaitumena. Kiinteistön alapuolisessa uomassa ja Onkamojärvessä todettiin ravinnekuormitusta, jonka lähdettä alettiin selvittää vuonna 2015.

Selvityksissä alueella todettiin korkeita fosforin ja typen pitoisuuksia. Lisäksi alueen salaojavesissä todettiin korkeita ravinnepitoisuuksia. VNa 214/2007 mukaisia haitta-aineita ei todettu kynnyksarvot ylittävinä pitoisuuksina, lukuun ottamatta arseenia, jonka pitoisuus ylitti yhdessä näytteessä kynnyksarvon, mutta alitti alemman ohjearvon. Arseenin ei arvioitu aiheuttavan puhdistustarvetta kohteessa. TOC-pitoisuudet vaihtelivat välillä 2,8–7,9 %. Yhdessä näytteessä todettiin vähäinen määrä (<40 pmy/g) E.coli-bakteeria, mutta pienen määrän ei arvioitu viittaavan ulosteperäiseen saastumiseen.



Kuva: Olli Kolari (Ramboll Finland Oy)

Kuva 12. Petrolan turkistarhan alue Rääkkylässä

Turkistarhan todettiin olevan suuri pistemäinen kuormittaja Suuri-Onkamon järviolueelle. Puhdistustarve arvioitiin kohonneiden ravinnepitoisuuksien vuoksi olevan noin 2,7 ha laajuisella alueella, jolla oli sijainnut turkistarhaukseen liittyviä varjotaloja.

Ravinnepitoisten maa-ainesten loppusijoitus todettiin hyvin vaativaksi ja kalliiksi. Maa-aineksesta tehtiin mm. viljavuustutkimus, mutta peltosijoitus todettiin kuitenkin mahdottomaksi. Kaivumassojen sijoitus vastaanottoonpaikkaan ja niiden korvaaminen neitseellisellä maa-aineksella olisi ollut kustannuksiltaan mahdoton toteuttaa.

6.4.2 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos

Maa-ainekset, joissa oli tutkimuksissa todettu korkeita fosforin ja liukoisen typen pitoisuuksia poistettiin 2,7 ha laajuiselta alueelta. Kaivetut ravinnepitoiset maat (9 800 m³tr) hyödynnettiin Pyhäselän Metsästäjät ry:n Hammaslahden ampumaradan suoja- ja meluvalleissa.

Korvaavina maa-aineksina alueelle tuotiin pohjatäyttöön Fortum Oyj:n Joensuun voimalaitoksen pohja- (6 300 m³rtr) ja suodatinhiekkaa (2 100 t) ja kasvukerrokseen läheisiltä kosteikkotyömailta kaivettuja humuspitoisia maa-aineksia (3 500 m³rtr). Kaikista hyödynnettävistä maa-aineksista tehtiin tarvittavat selvitykset ja hyödyntämiselle haettiin asianmukaiset luvat.

Massanvaihdoilla saatiin poistettua ravinnekuormituksen lähde. Kaivettujen maa-ainesten ja täyttöjen hyötykäytöllä kuljetusmatkat voitiin pitää lyhyinä ja vastaanottomaksuissa säästettiin. Hyötykäytöllä säästettiin myös neitseellisten korvausmassojen käyttöä sekä massanvaihtokohteessa että kaivettujen massojen hyödyntämissäpaikassa.



Kuva: Olli Kolari (Ramboll Finland Oy)

Kuva 13. Massojen loppusijoitusta ampumarata-alueelle

6.4.3 Hiilijalanjäljen laskenta

Aiemman Rajalan sahan esimerkkikohteen tavoin myös Petrolan turkistarhan massanvaihdon suurimmat elinkaarenaikaiset päästölähteet liittyvät maa-ainesten kuljetuksiin. Kuljetusten osuus korostuu tässä tapauksessa, koska korvaavat maamassat ja pintamaat ovat kierrätettyjä maa-aineksia. Näin niiden valmistuksen päästökertoimet ovat tuotevaiheessa käytännössä nolliä. Taulukossa 9 on esitetty massanvaihdon hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain.

Taulukko 9. Rääkkylässä sijaitsevan Petrolan turkistarhan massanvaihdon hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain. Merkintä (-) tarkoittaa laskentatietojen puuttumisen vuoksi puuttuvaa laskentatulosta.

Elinkaarivaiheet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Tuotevaihe	582	1 %
<i>Pohjahiekka</i>	0	0 %
<i>Suodatinhiekkä</i>	0	0 %
<i>Humuspitoinen maa-aines</i>	0	0 %
<i>Ratsastuskentän hiekka</i>	-	-
<i>Työmaatien sora</i>	536	1 %
<i>Dolomiittikalkki</i>	2	<0–1 %
<i>Maarakennuskangas</i>	44	<0–1 %
Valmisteluvaihe	51	0–1 %
<i>Purkutyö</i>	-	-
<i>Työmaatien rakentaminen</i>	-	-
<i>Jätteet</i>	-	-
<i>Kuljetukset (työkoneet ja materiaalit)</i>	51	0–1 %
Puhdistusvaihe	98 191	99 %
<i>Maa-ainesten kaivuu ja lastaus</i>	3 997	4 %
<i>Maa-ainesten levitys</i>	8 888	9 %
<i>Kuljetukset (maa-ainekset ja dolomiittikalkki)</i>	85 306	86 %
Päätösvaihe	51	0,1 %
<i>Kuljetukset</i>	51	0,1 %
Hiilijalanjälki yhteensä	98 875	100 %

Elinkaaren ulkopuoliset mahdolliset ilmastohyödyt ja haitat jätetään hiilijalanjälkitarkastelun ulkopuolelle. Petrolan turkistarhan massanvaihdossa syntyy nettomääräisiä ilmastohyötyjä, kun kohteesta poistetut maa-ainekset voitiin hyödyntää kohteen ulkopuolella. Niiden voidaan olettaa korvaavan vastaavia paikallisesti saatavia keskimääräisiä maa-aineksia.

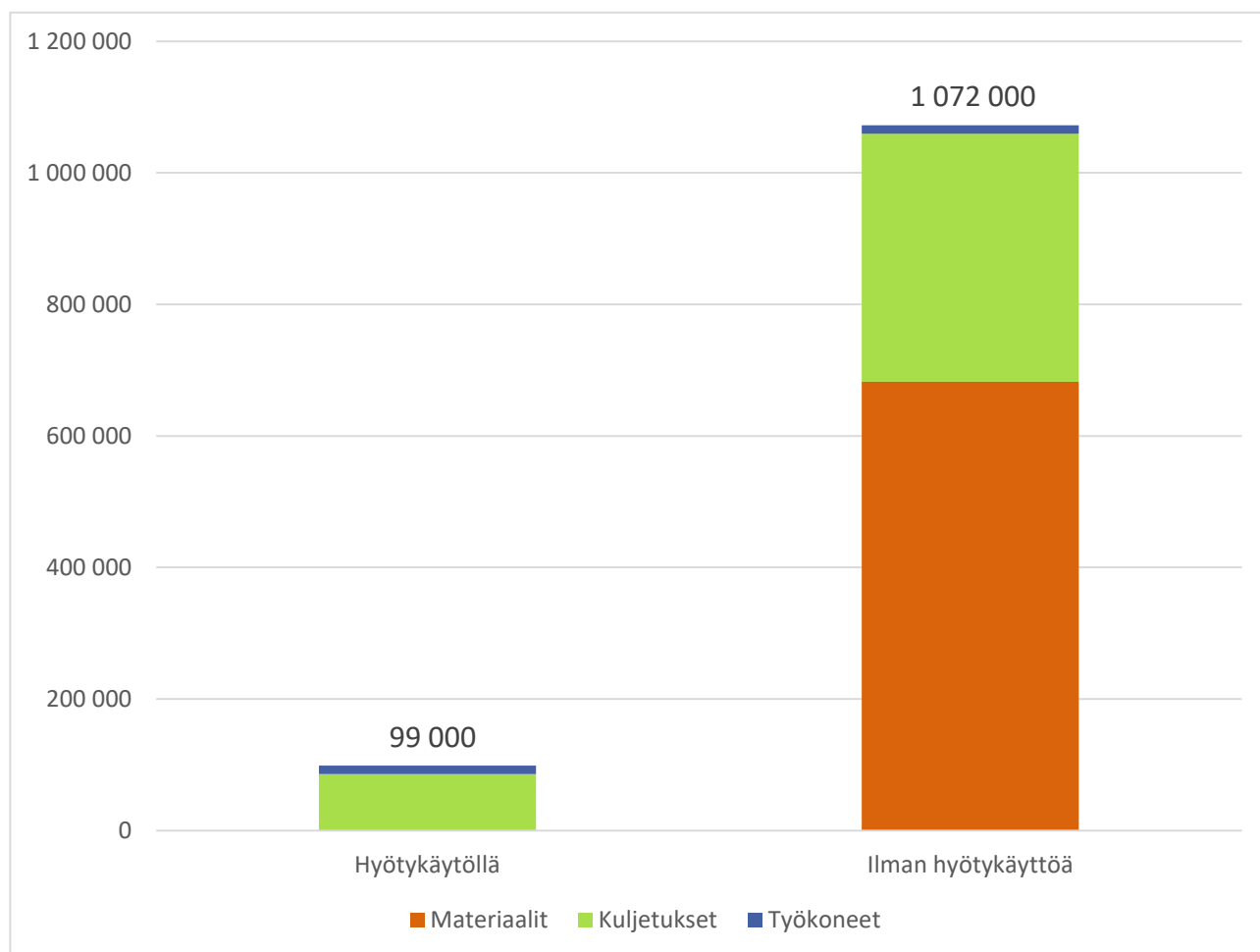
Arvioinnissa tulee kuitenkin huomioida, ettei ilmastohyötyjä lasketa mukaan sekä puhdistushankkeen että hyödyntämiskohteen hiilijalanjäljen arvioinnissa. Koska puhdistushankkeessa kohteessa hyödynnettyjen materiaalien valmistuksen päästökertoimenä käytettiin nolliä, ei ole tarkoituksenmukaista vähentää myös kohteesta poistettujen maa-ainesten hyödyntämisestä seuraavaa ilmastohyötyä suoraan hiilijalanjäljen laskentatuloksesta. Hyödyntämisellä saavutettiin kohteessa kuitenkin kuljetusmatkojen lyhenemistä, mikä osaltaan pienentää hiilijalanjälkeä verrattuna loppusijoitukseen kauempana kohteesta sijaitsevalla kaatopaikalla tai vastaavalla. Taulukossa 10 on esitetty massanvaihdon hiilijalanjälki päästölähteittäin.

Taulukko 10. Rääkkylässä sijaitsevan Petrolan turkistarhan massanvaihdon hiilijalanjälki päästöläheteittäin

Päästölähteet	Ilmastopäästöt (kg CO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Materiaalit	582	1 %
Työkoneet	12 885	13 %
Kuljetukset	85 408	86 %
Muu energiankäyttö	0	0 %
Jätteiden käsittely	0	0 %
Hiilijalanjälki yhteensä	98 875	100 %

Petrolan osalta laskentatulosta voidaan verrata tilanteeseen, jossa poistettujen maa-ainesten hyödyntäminen ei olisi ollut mahdollista ja toisaalta korvaavina maa-aineksina olisi jouduttu käyttämään neutraaleja materiaaleja. Jos oletetaan, että poistetut maamassat olisi kuljetettu noin 200 km etäisyydelle käsiteltäväksi, kuljetusten hiilijalanjälki kasvaa noin kahdeksankertaiseksi. Jos kohteessa hyödynnettyjen materiaalien sijaan täytöt olisi tehty neutraalilla maa-aineksella ja kasvukerroksella (turve), olisi materiaalien hiilijalanjälki kasvanut noin 680 000 kg CO₂e.

Kuvassa 14 on esitetty arvio hankkeen hiilijalanjäljestä toteutuneella hyötykäytöllä sekä vertailu tilanteeseen, jossa täyttöihin olisi käytetty neutraalista ainesta ja kaivetut maa-ainekset olisi jouduttu toimittamaan kauemmas (200 km etäisyydelle) loppusijoitukseen.



Kuva 14. Petrolan turkistarhan puhdistuksen hiilijalanjälki (kg CO₂e) hyötykäyttö huomioiden ja ilman hyötykäyttöä

6.5 Entinen jakeluasema, Pyhäntä

6.5.1 Kohteen tiedot

Entisen jakeluaseman alueella Pyhäntällä oli maaperään päässyt hiilivety-yhdisteitä. Kiinteistö on asuinkäytössä. Kohteessa maaperän pintakerros oli pääosin täyttömaata noin metrin syvyyteen ja sen alapuolella toteutuneeseen kairausyvyteen asti siltistä hiekkaa. Osassa pisteitä kairaus päättyi kallioon 4,2–5 m syvyydellä. Kohteen lähistöllä ei sijaitse luokiteltuja pohjavesialueita tai pintavesistöjä.

Vuonna 2014 tehdyissä tutkimuksissa todettiin haihtuvia hiilivetyjä ylemmät ohjearvot ylittävinä pitoisuuksina kolmessa tutkimuspisteessä noin 1–3 m syvyydellä. Suurin hiilivetyjen C₅-C₁₀ kokonaispitoisuus oli 7 300 mg/kg. Puhdistettavan alueen laajuudeksi arvioitiin noin 300 m² ja pilaantuneen maan kokonaismääräksi noin 750 m³ ktr. Haitta-aineiden kokonaismääräksi arvioitiin 4 500 kg.

Puhdistustavoitteeksi esitettiin alempia ohjearvoja koko pilaantuneessa maakerroksessa. Kohteessa todettujen haitta-aineiden ja ympäristöolosuhteiden perusteella menetelmäksi valittiin huokoskaasukäsittely, jota täydennettäisiin tarvittaessa massanvaihdolla.

6.5.2 Puhdistuksen toteutus ja lopputulos

Kohteessa suoritettiin in situ -huokosilmapuhdistus vuosien 2015–2018 aikana. Pilaantuneelle alueelle asennettiin 0,5–2,5 m syvyyteen vaakaputkisto salaojaputkista. Huokosilmaa pumpattiin ja käsiteltiin katalyyttisellä poltolla vuoden ajan. Pumpaus ja käsittely keskeytettiin talvella kovimpien pakkasten ajaksi, minkä lisäksi keväällä käsittely jouduttiin keskeyttämään sulamisvesien nostettua pohjaveden pinnan tason käsittelyputkiston yläpuolelle.

Käsittelyyn tulevan huokosilman hiilivetyypitoisuus oli suurimmillaan 1 580 mg/m³ ja poistettujen hiilivetyjen kokonaismääräksi arvioitiin 2 600 kg.

Seurantatutkimuksen tulosten perusteella todettiin, että puhdistustavoitetta ei vielä ollut saavutettu ja alue putkittiin uudelleen. Uuden vaiheen jälkeen alueen länsireunassa puhdistustavoite todettiin saavutetuksi ja hiilivetyjä oli kaikkiaan arvioitu poistetun 3 000 kg. Osalla aluetta todettiin kuitenkin edelleen puhdistustavoitteet ylittäviä hiilivetyypitoisuuksia, minkä vuoksi työtä päätettiin jatkaa massanvaihdolla ja on site -menetelmällä. Massanvaihto tehtiin noin 375 m² laajuiselle alueelle 2,5–3 m syvyyteen.

Käsittelyaumat rakennettiin massanvaihtoalueelle, kaivannon pohjalle levitetyn täyttöhiekan ja aumakalvon päälle. Myös auman päälle asennettiin aumakalvo estämään sadevesien kulkeutuminen käsiteltävän maa-aineksen läpi. Aumakäsittelyn massojen määräksi arvioitiin noin 1 500 m³ itd. Huokosilmahuuhtelua ja ilman käsittelyä aktiivihieillä tehtiin kolmen kuukauden ajan. Käsittelyaumoilla olevat massat tutkittiin ja todettiin, että huokosilmahuuhtelua joudutaan vielä jatkamaan. Kolmen kuukauden jatkohuuhtelun jälkeen puhdistustavoitteet todettiin saavutetuksi.

Puhdistuksen jälkeen aumakalvot ja käsittelyputkistot poistettiin alueelta ja toimitettiin jäteasemalle. Aumoissa puhdistettu ja pilaantumattomaksi todettu maa-aines toimitettiin Pyhäntän kunnan maankaatopaikalle 4 km etäisyydelle puhdistuskohteesta. Auma-alueen pohjamaa tutkittiin ja alueella todettiin yhdessä näytteessä alemman ohjearvon ylittävä öljyhiilivetyjen keskitisleyden (>C₁₀-C₂₁) pitoisuus, joka kuitenkin todettiin kohdekohtaisella riskin arviolla haitattomaksi. Kohteeseen ei puhdistuksen jälkeen jäänyt toimenpidetarvetta.

6.5.3 Hiilijalanjäljen laskenta

Pyhäntän esimerkkikohteessa aiheutui huokosilmapuhdistuksesta ja massanvaihdosta noin 90 % kohteen pilaantuneiden maiden puhdistuksen hiilijalanjäljestä ja ilmastopäästöistä. Loppuosa päästöistä johtui aumakäsittelystä. Taulukossa 11 on esitetty entisen jakeluaseman puhdistuksen hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain.

Taulukko 11. Pyhännällä sijaitsevan entisen jakeluaseman huokosilmakäsittelyn ja massanvaihdon sekä aumakäsittelyn hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain. Merkintä (-) tarkoittaa laskentatietojen puuttumisen vuoksi puuttuvaa laskentatulosta.

Elinkaarivaiheet	Ilmastopäästöt (kg CO₂e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Tuotevaihe	4 643	22 %
<i>Huokosilmakäsittelyn putket</i>	348	2 %
<i>Aktiivihiihisiuodatin</i>	-	-
<i>Aumakäsittelyn putket</i>	-	-
<i>Aumakäsittelyn kalvot</i>	168	1 %
<i>Täyttömaat</i>	4 127	19 %
Valmisteluvaihe	4 853	23 %
<i>Massanvaihto (työkoneet)</i>	1 195	6 %
<i>Aumojen rakentaminen (työkoneet)</i>	956	5 %
<i>Kuljetukset (työkoneet, materiaalit ja täyttömaa)</i>	2 703	13 %
Puhdistusvaihe	11 445	54 %
<i>Aumojen purku ja lastaaminen (työkoneet)</i>	717	3 %
<i>Pumppaus (huokosilma)</i>	395	2 %
<i>Katalyyttinen poltto (huokosilma)</i>	9 882	47 %
<i>Kuljetukset (maa-aines)</i>	452	2 %
Päätösvaihe	242	1 %
<i>Kuljetukset (työkoneet)</i>	74	0,3 %
<i>Jätteiden käsittely (putket ja kalvot)</i>	168	1 %
Hiilijalanjälki yhteensä	21 184	100 %

Taulukossa 12 on esitetty entisen jakeluaseman puhdistuksen hiilijalanjälki päästölähteittäin.

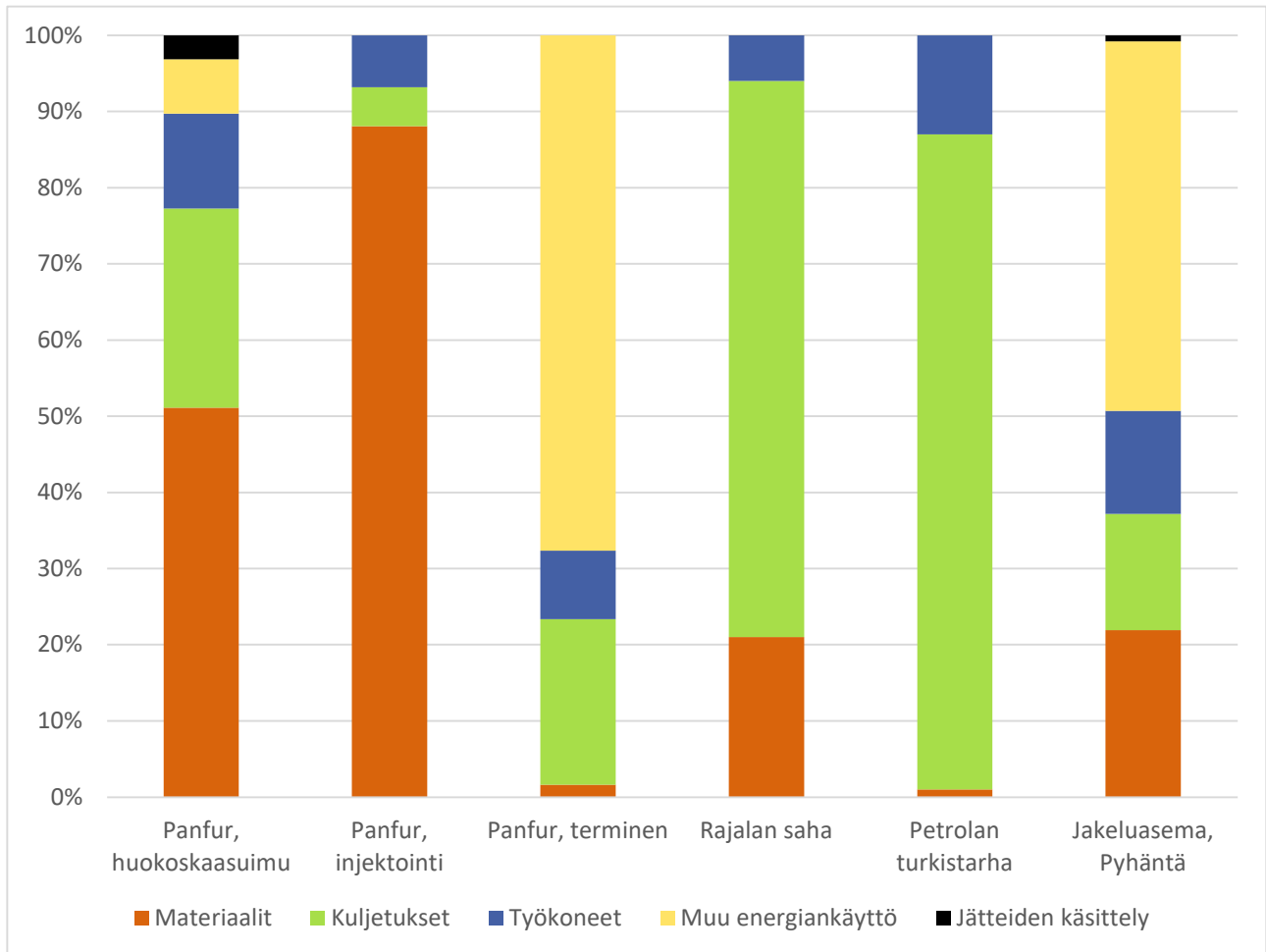
Taulukko 12. Pyhännällä sijaitsevan entisen jakeluaseman huokosilmakäsittelyn ja massanvaihdon sekä aumakäsittelyn hiilijalanjälki päästölähteittäin

Päästölähteet	Ilmastopäästöt (kg CO₂e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Materiaalit	4 643	22 %
Työkoneet	2 867	14 %
Kuljetukset	3 229	15 %
Muu energiankäyttö	10 277	49 %
Jätteiden käsittely	168	1 %
Hiilijalanjälki yhteensä	21 184	100 %

6.6 Kohteiden hiilijalanjäljen vertailu

Case-kohteiden keskenään hyvin erilaisen luonteen vuoksi niiden hiilijalanjäljen vertailu keskenään ei ole mielekäästä. Hiilijalanjäljen keskeisiä päästölähteitä puhdistuskohteiden sisällä voidaan sen sijaan vertailla (kuva 15.).

Massanvaiholla puhdistetuissa kohteissa selvästi suurimman osan päästöistä aiheuttavat kuljetukset. Termisessä puhdistuksessa puolestaan energiankäyttö. Myös osittain huokosilmapumppauksella puhdistetun jakeluaseman työssä energiankäyttö muodosti suuren osan päästöistä.



Kuva 15. Päästöjen jakautuminen case-kohteiden sisällä

7 Päästöjen arvioinnin haasteet

Hankkeen aikana päästöjen arviointiin liittyviä haasteita kohdattiin ennen kaikkea lähtötietojen kokoamisessa. Osalle puhdistushankkeissa käytettävistä materiaaleista ja kemikaaleista ei ollut löydettävissä valmiita päästöker-toimia. Myös arviointia varten tarvittavien kohdekohtaisten lähtötietojen selvittämisessä oli hankaluuksia erityisesti tarkasteltujen case-kohteiden osalta, sillä kaikkia päästöihin vaikuttavia seikkoja ei ole tapana raportoida puhdis-tushankkeiden yhteydessä. Tietojen rajallisuus voi vaikeuttaa arviointia myös ennen hankkeisiin ryhtymistä. Hank-keen aikana tiedon kerääminen on helpompaa, ja toiveena onkin, että arviointi tehdään hankkeissa ensin suunnit-teluvaiheessa ja sitä tarkennetaan hankkeen päätyttyä toteutuneilla tiedoilla. Lähtötietoihin liittyy myös paljon lop-putulokseen vaikuttavia epävarmuuksia, joiden huomiointi ja raportointi laskentamallista vielä puuttuu. Myös arvi-oinnin lopputuloksen validointi on vaikeaa. Siksi on tärkeää, että arviointia tehdessä lähtötiedot pyritään valitse-maan ja perustelemaan huolellisesti.

Puhdistushankkeisiin liittyy paljon niiden elinkaaren ulkopuolisia vaikutuksia. Tässä hankkeessa ilmastovaiku-tusten arviointi rajattiin koskemaan varsinaista puhdistushanketta ja esimerkiksi maankäyttöön liittyvät vaikutukset jätettiin arvioinnin ulkopuolelle. Osassa puhdistusmenetelmistä maaperän ja pohjaveden haitalliset aineet voidaan tuhota kokonaan, osassa puolestaan alueelle voi jäädä jäännösriski tai alueen käyttörajoite. Pitkällä aikavälillä esi-merkiksi eristerakenteet voivat vaatia huoltamista tai uusimista, jolloin ilmastovaikutukset eivät rajoitu elinkaaren ajalle. Toisaalta useiden in situ -menetelmien kestoa tai lopputulosta on vaikeaa arvioida etukäteen. Erilaisten me-netelmien vertailu keskenään ei siis välttämättä ole mielekästä, mutta lisääntyvän tiedon seurauksena ilmastovai-kutuksia voitaisiin arvioida esimerkiksi poistettavan haitta-aineen massayksikköä kohden.

8 Ilmastovaikutusten pienentäminen puhdistushankkeissa

8.1 Vaikutusten pienentäminen ennen puhdistushanketta

Kehityshanke on rajattu koskemaan ilmastopäästöjä puhdistusmenetelmän valinnasta alkaen. Puhdistushankkeen elinkaaren ulkopuolelle jää ilmastopäästöihin merkittävästi vaikuttavia tekijöitä kuten maankäytön suunnittelu, kohdekohtaiset tutkimukset ja puhdistustavoitteiden asettelu. Maankäytön suunnittelulla voidaan vaikuttaa esimerkiksi kuljetusmatkoihin mahdollistamalla maa-ainesten ja materiaalien välivarastointia ja kierrätystä sekä erilaisten toimintojen sijoittelulla puhdistushankkeiden laajuutta voidaan pienentää tai välttää niitä kokonaan. Huolellisilla tutkimuksilla, riskinarvioinnilla ja puhdistuksen suunnittelulla puolestaan varmistetaan, että hankkeen tavoitteet on asetettu tarkoituksenmukaisesti, eikä puhdistusta ylimitoiteta. Samoilla toimenpiteillä voidaan tavallisesti vaikuttaa merkittävästi myös muihin kestävyuden osatekijöihin.

8.2 Vaikutusten pienentäminen puhdistushankkeen elinkaaren aikana

Maaperän puhdistushankkeiden ilmastovaikutuksiin voidaan vaikuttaa eri vaiheissa koko puhdistushankkeen elinkaaren ajan. Suunnitteluvaiheessa hankkeeseen ryhtyvän tulisi asettaa tavoitteet hankkeelle ilmastovaikutuksien osalta. Esimerkkejä tavoitteista voivat olla muun muassa hankkeen ilmastopäästöjen minimointi, hiilinielujen maksimointi ja/tai käytettävien materiaalien määrän minimointi. Puhdistusmenetelmien valintavaiheessa osana hankkeen kestävyuden arviointia voidaan arvioida eri puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset ja käyttää tietoa hyväksi puhdistusmenetelmän valinnassa.

Puhdistusurakan hankinnan suunnitteluvaiheessa voidaan hyödyntää markkinakartoituksia ja -vuoropuheluita sekä hyödyntää erilaisia vaiheittaisia neuvottelumenettelyjä kartoittamaan vaihtoehtoratkaisut puhdistuksen toteutukselle ja arvioida niiden vaikutukset ilmastopäästöihin. Myös eri urakamallien soveltuvuus hankkeeseen ja mahdolliset vaikutukset ilmastopäästöihin arvioidaan suunnitteluvaiheessa.

Puhdistusurakan aikaisia ilmastovaikutuksia voidaan pienentää muun muassa vaikuttamalla kuljetuksiin ja työ-koneisiin (koneiden päästöluokat, käyttövoima, fossiilivapaat polttoaineet, kuljetusmatkojen minimointi ja paluukyytien hyödyntäminen), käyttämällä uusiutuvilla luonnonvaroilla tuotettua sähköä, materiaalivalinnoilla (vähäpäästöiset materiaalit, määrän minimointi), hyödyntämällä kierrätettyjä materiaaleja (teollisuuden sivuvirrat, regeneroitu aktiivihiili, täyttömateriaalit jne.) ja kohteesta poistettavien kaivumaiden ja jätteiden hyödyntämisellä. Kiertotaloutta ja hyötykäyttöä voidaan edistää muun muassa kaivumassojen välivarastoinnilla, mikäli puhdistus ja hyötykäyttömahdollisuudet eivät ajallisesti kohtaa, sekä hyödyntämällä esimerkiksi Materiaalitoria.

Rajoituksia ilmastovaikutuksien minimointiin maaperän puhdistushankkeissa aiheuttavat muun muassa kustannukset (ilmastoystävällisemmät, mutta kalliimmat materiaalit, polttoaineet jne.), rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa kuljetusmatkojen pituuteen ja ilmastovaikutuksiltaan parhaan kaluston saatavuus. Ilmastovaikutuksiltaan parhaiden puhdistusmenetelmien valintaa rajoittavat tai vaikeuttavat Suomen haastavat maaperä- ja pohjavesiolosuhteet. Lisäksi erityisesti in situ-urakoitsijoita on vähän.

8.3 Ilmastovaikutusten huomioiminen kilpailutuksessa

Hankintalain sääntely kohdistuu varsinaisesti kilpailutusvaiheeseen eli hankintamenettelyyn. Kestävyysnäkökohdat on kirjattu hankintalain tavoitteisiin (2 §), jossa painotetaan hankintojen tekemistä mahdollisimman taloudellisesti, laadukkaasti ja suunnitelmallisesti olemassa olevat kilpailuolosuhteet hyväksi käyttäen ja ympäristö- ja sosiaaliset näkökohdat huomioon ottaen. Tässä hankkeessa keskityttiin tarkemmin ilmastovaikutuksien huomioimiseen puhdistusurakan kilpailutuksessa, jolloin käytettävät puhdistusmenetelmät ja urakkamalli on jo valittu. Kilpailutusta

suunniteltaessa on huomioitava, että liian tiukat ilmastovaikutuksiin liittyvät hankintakriteerit voivat rajoittaa tarjoajien lukumäärää pilaantuneiden maiden puhdistushankkeiden tarjouskilpailuissa, joihin tulee tyypillisesti melko vähän urakkatarjouksia. Tämä voi olla haaste erityisesti in situ -hankkeissa, joissa potentiaalisia tarjoajia on vähän.

Urakan kilpailutuksessa ilmastovaikutukset voidaan ottaa huomioon muun muassa seuraavissa kohdissa:

- hankinnan kohteen kuvaus
- soveltuvuusvaatimukset
- tekniset eritelvät
- kokonaistaloudellisuus
- sopimuksen ehdot

Soveltuvuusvaatimuksilla voidaan poissulkea tarjoaja, joka on rikkonut Suomen tai kansainvälisten sopimusten ympäristö-, sosiaali- tai työoikeudellisia velvoitteita. Myös ympäristöjohtamisjärjestelmää tai kuvausta ympäristövaikutusten hallintaa koskevista toimenpiteistä voidaan käyttää tarjoajien kelpoisuusvaatimuksissa.

Teknisissä eritelmissä voidaan asettaa tarjoajalle vähimmäisvaatimuksia. Esimerkkejä vähimmäisvaatimuksista ovat käytettävien autojen päästöluokan määrittely vähintään luokkaan Euro VI, vaatimukset käyttää fossiilivapaita polttoaineita, uusiutuvilla menetelmillä tuotettua sähköenergiaa tai täyssähkökäyttöisiä tai muuten vähäpäästöisiä työkoneita. Vaatimuksia voidaan esittää käytettävistä materiaaleista esimerkiksi siten, että tiettyjen materiaalien on oltava laadultaan sellaisia, että ne on mahdollista hyötykäyttää puhdistuksen jälkeen. Lisäksi voidaan edellyttää esimerkiksi teknisesti ja laadullisesti soveltuvien puhdistustyössä muodostuvien kaivumaiden hyödyntämistä kohteessa.

Kokonaistaloudellisesti edullisimman tarjouksen valinnassa hankintayksikkö voi asettaa hinta-laatusuhteen vertailuperusteita, jotka liittyvät laadullisiin, yhteiskunnallisiin, ympäristö- tai sosiaalisiin näkökohtiin tai innovatiivisiin ominaisuuksiin missä tahansa elinkaaren vaiheessa, tai käyttää hankinnan kustannusten arvioimisen perusteena elinkaarikustannuksia. Elinkaarikustannuksia ovat myös ulkoisista ympäristövaikutuksista aiheutuvat ja hankinnan kohteeseen sen elinkaaren aikana liittyvät kustannukset, jos niiden rahallinen arvo voidaan määrittää. Hankintayksikkö voi asettaa hankintasopimuksen toteuttamiselle erityisehtoja. Ehdot voivat liittyä hankinnan taloudellisiin tai sosiaalisiin taikka innovaatio-, ympäristö- ja työllisyysnäkökohtiin.

Ilmastokriteerien käyttö vertailuperusteena mahdollistaa tarjoajien palkitsemisen sen perusteella, miten suuriin minimitasoon ylittäviin päästövähennyksiin ne pystyvät. Tarjoajaa voidaan pyytää nimeämään hankkeen suurimmat päästölähteet ja toimet niiden vähentämiseksi. Tarjouksia voidaan vertailla ja antaa eniten pisteitä esimerkiksi tarjoajalle, joka pystyy tuottamaan alhaisimman päästötason hankinnan kohteessa. Tulosten arviointi ja keskinäinen vertailu voi kuitenkin olla vaikeaa laskentamallien, -aineistojen ja -kertoimien erojen vuoksi. Vertailtavuutta helpottaa, mikäli laskennoissa edellytetään käytettävän yhtenäistä mallia, esimerkiksi tässä hankkeessa kehitettyä laskentatyökalua. Pisteytys voidaan määrittellä myös yksityiskohtaisemmin, jolloin laatupisteitä saa esimerkiksi autojen päästöluokan perusteella, fossiilivapaiden polttoaineiden tai täyssähköisten työkoneiden käytöstä, kuljetusmatkojen pituuden mukaan (kuljetusmatkojen minimointi) tai käytettävien materiaalien ilmastovaikutusten ja päästöjen perusteella (esim. regeneroidun aktiivihillen käyttö, ylijäämämaiden hyödyntäminen täytöissä, käytettävien kemikaalien ilmastovaikutukset ja määrät).

Hiilijalanjälkeä voidaan hyödyntää kilpailutuksessa myös kannusteena. Tarjouspyynnössä voidaan esimerkiksi ilmoittaa urakassa tavoiteltu hiilijalanjälki. Urakan jälkeen selvitetään toteutunut hiilijalanjälki ja urakoitsijalle tarjotaan kannustinta, jos urakan toteutunut hiilijalanjälki on ennakoitua pienempi. Lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi Green Deal -kannustimia.

Urakan päättämisen vaiheessa voidaan edellyttää jälkikäteen tehtävää hiilijalanjälkitarkastelua, mikä lisää tietoa käytettyjen menetelmien ja tehtyjen valintojen vaikuttavuudesta kaikille osapuolille. Lisäksi on hyvä huomioida, että urakan aikana valvonta ja raportointi tehdään siten, että hankinnassa sovittujen kriteereiden täytyminen voidaan varmistaa ja urakasopimuksessa on määritelty myös mahdolliset sanktiot sen varalta, että kriteerit eivät kaikilta osin täyty.

9 Jatkokehitysehdotukset

Olenainen laskentatyökalun jatkokehitys liittyy todellisten käyttökokemusten pohjalta tehtäviin täsmennyksiin ja toiminnallisuuden parantamiseen sekä käytännön myötä nousevien kehitysehdotusten toteutukseen. Työkaluun voidaan lisätä käytettävyyttä ja laadunvarmistusta lisääviä lisäominaisuuksia, kuten tulosten epävarmuuden määrittämistä auttavan herkkyystarkastelun toteutus tai päivitysprosessin ja kerrointietojen keräämisen automatisoinnin kuvaaminen.

Hiilijalanjäljen laskentaa on mahdollista vaatia kilpailuissa. Kehityshankkeen laskentatyökalu helpottaa hiilijalanjäljen laskennan yhtenäistämistä tarjouksissa. Kehitetty elinkaarilaskentaan perustuva työkalu on pohja, jonka avulla voidaan jatkokehittää ilmastovaikutusten arvioinnin prosessia ja käytäntöjä kilpailuissa. Käytäntö tulee näyttämään, miten hyvin työkalu sopii esimerkiksi tilaajien käyttöön tarjousten vertailuun ja arviointiin.

Ilmastovaikutusten huomioimista sekä hyviä ja tehokkaita käytäntöjä niiden pienentämiseksi maaperän puhdistushankkeissa on mahdollista kehittää esimerkiksi osallistamalla urakoitsijat mukaan kehitystyöhön. Urakoitsijoilta on mahdollista saada tietoa esimerkiksi käyttökelpoisista menetelmistä, olemassa olevasta kalustosta ja materiaaleista ja niiden ilmastovaikutuksista sekä näihin liittyvistä taloudellisista näkökohdista. Mahdollisia osallistamistapoja ovat esimerkiksi kyselyt ja työpajan tai seminaarin järjestäminen aiheeseen liittyen.

10 Yhteenveto

Kehityshankkeessa tunnistettiin pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistuksessa käytetyistä menetelmistä aiheutuvia ilmastopäästöjä ja kehitettiin työkalu niiden arviointiin. Puhdistushanke jaettiin viiteen vaiheeseen – tuotevaihe, valmisteluvaihe, puhdistusvaihe, päätösvaihe ja seurantavaihe – joista kaikista pyrittiin tunnistamaan oleelliset päästölähteet. Elinkaaren ulkopuoliset, kuten esimerkiksi maankäyttöön tai puhdistusmenetelmän valintaa edeltäviin tutkimuksiin ja tavoitteiden määrittelyyn, liittyvät päästölähteet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, vaikka niillä voi olla suuri merkitys puhdistuksen kestävyydelle.

Hankkeen yhteydessä tehtiin Microsoft Excel -ympäristössä toimiva PIIP-laskentatyökalu, jonka avulla arvioitiin neljän eri kohteen puhdistamisen ilmastopäästöjä. Kohteiden tarkasteluissa merkittäviksi päästölähteiksi havaittiin erityisesti materiaalit, kuljetukset ja ”muu energiankäyttö”, joka tarkasteluissa kohteissa tarkoitti maaperän lämmitystä ja huuhtelua sähkökäyttöisillä laitteistoilla. Arvioinnin haasteiksi todettiin erityisesti puutteet lähtötiedoissa. Useiden materiaalien ja kemikaalien osalta valmiita päästökertoimia ei ole saatavilla. Laskentatyökalun käytön yleistyessä puhdistushankkeiden tekijöistä saadaan toivottavasti kerättyä lisää tietoa ja laskuria voidaan kehittää. Puhdistusmenetelmien ja -kohteiden erojen vuoksi ilmastovaikutusten vertailua kohteiden välillä ei ole mielekäästä tehdä, mutta lisääntyvän tiedon seurauksena puhdistusmenetelmien ilmastovaikutuksia voidaan ehkä jatkossa arvioida esimerkiksi poistettavan haitta-aineen massayksikköä kohden.

Ilmastovaikutusten pienentämiseksi löydettiin hankkeen yhteydessä useita keinoja. Hankintavaiheen keinovalikoimassa voidaan hyödyntää erilaisia markkinakartoituksia ja -vuoropuheluita sekä neuvottelumenettelyjä. Puhdistushankkeen aikaisia vaikutuksia voitaisiin pienentää erityisesti kaluston ja materiaalien valinnoilla ja määrien minimoinnilla sekä kiertotalouden ja hyötykäytön lisäämisellä. Hyötykäytön mahdollistamisella esimerkiksi erilaisilla väli-varastointi- ja käsittelyalueilla olisi joissain tilanteissa vaikutusta myös kuljetusetäisyyksiin. Suomessa puhdistusmenetelmien vaihtoehtoja vähentävät usein haastavat maaperä- ja pohjavesiolosuhteet sekä in situ -toimijoiden vähyys. Ilmastovaikutusten tarkempi arviointi kuitenkin toivottavasti herättää pohtimaan valintoja tarkemmin ja tulevaisuudessa ilmastoviisaiden valintojen tekeminen helpottuu.

Lähteet:

EN 15804 2019: SFS-EN 15804:2012 + A2:2019:en Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.

Grifoni, M., Franchi, M., Fusini, D., Vocciante, M., Barbaferi, M., Pedron, F., Rosellini, I. & Petruzzelli, G. 2022: Soil Remediation: Towards a Resilient and Adaptive Approach to Deal with the Ever-Changing Environmental Challenges. *Environments* 2022, 9, 18. <https://doi.org/10.3390/environments9020018>

Kuittinen, M. (toim.) 2019: Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Ympäristöministeriö. ISBN 978-952-361-029-3 (PDF). Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

Laitinen, J. (Toim.); Kilponen, V.; Kettunen, A.; Virta, O.; Pöyry, E.; Tengvall, J.; Nousiainen, A.; Itkonen, A. 2022. Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt. Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Opas 5|2022, ISBN 978-952-398-048-8 (PDF). Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-398-048-8>

Mroueh U-M., Vahanne, P., Eskola, P., Pasanen, A., Wahlström, M., Mäkelä, E. & Laaksonen, R. 2004. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. VTT tiedotteita. Dark, Oy, Vantaa, 2004. 317 + 44 s. ISBN 951-38-6468-5. Saatavilla: <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2004/T2245.pdf>

Penttinen, R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus - yleisimpien menetelmien esittely. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen moniste 227. Helsinki. ISBN 952-11-0943-2. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/40841>

Pyy, O., Tikkanen, S., Reinikainen, J., Nihtilä, M. & Sorvari, J. 2017. Pilaantuneiden maiden kestävä riskinhallintakeinot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25/2017. Valtioneuvoston kanslia. ISBN 978-952-287-359-0 (PDF). Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-359-0>

Räsänen, M. 2012. Pilaantuneen maaperän puhdistukseen käytettävän sienikäsittelymenetelmän ekotehokkuustarkastelu. Diplomityö, Aalto-yliopisto, Kemian tekniikan korkeakoulu. Saatavilla: https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/11802/master_R%C3%A4s%C3%A4nen_Markus_2012.pdf

Ympäristöministeriö 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Ympäristöhallinnon ohjeita 6 | 2014. Ympäristöministeriö. ISBN 978-952-11-4327-4 (PDF). Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4327-4>

Ympäristöministeriö. 2015. Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia (2015). Ympäristöhallinnon ohjeita 10/2015. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4470-7>

Case-kohteiden suunnitelmat, pima-päätökset ja loppuraportit:

- Panfur, Huokosilmäimä ja biologinen puhdistus: FCG Finnish Consulting Group Oy
- Panfur, Terminen puhdistus: Doranova Oy
- Petrolan turkistarha: Ramboll Finland Oy
- Pyhäntä, entinen jakeluasema: AFRY Finland Oy
- Rajalan saha, Kurikka: Ramboll Finland Oy

Kuvailulehti

Vastuualue: Ympäristö ja luonnonvarat

Tekijät: Marko Nurminen, Emilia Pöyry, Tuuli Aaltonen, Christian Tallsten, Pasi Vahanne

Julkaisun nimi: Maaperän puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset, Kehityshanke

Tiivistelmä: FCG Finnish Consulting Group Oy toteutti Pirkanmaan ELY-keskuksen tilauksesta vuoden 2023 aikana Selvitys puhdistusmenetelmien ilmastovaikutuksista ja niiden vertailusta hankinnoissa -kehityshankkeen. Sen tavoitteena oli helpottaa ilmastovaikutusten arviointia pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistushankkeissa.

Kehityshankkeessa tunnistettiin pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistuksessa käytetyistä menetelmistä aiheutuvia ilmastopäästöjä ja kehitettiin työkalu niiden arviointiin. Puhdistushanke jaettiin viiteen vaiheeseen – tuotenvaihe, valmisteluvaihe, puhdistusvaihe, päätösvaihe ja seurantavaihe – joista kaikista pyrittiin tunnistamaan oleelliset päästölähteet. Elinkaaren ulkopuoliset tekijät rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, vaikka niillä voi olla suuri merkitys puhdistuksen kestävyydelle.

Hankkeen yhteydessä tehtiin Microsoft Excel -ympäristössä toimiva PIIP-laskentatyökalu, jonka avulla arvioitiin neljän eri kohteen puhdistamisen ilmastopäästöjä. Kohteiden tarkasteluissa merkittäviksi päästölähteiksi havaittiin erityisesti materiaalit, kuljetukset ja "muu energiankäyttö", joka tarkastelluissa kohteissa tarkoitti maaperän lämmitystä ja huuhtelua sähkökäyttöisillä laitteistoilla. Arvioinnin haasteiksi todettiin erityisesti puutteet lähtötiedoissa.

Ilmastovaikutusten pienentämiseksi löydettiin hankkeen yhteydessä useita keinoja. Ilmastovaikutuksia voidaan huomioida jo hankintavaiheessa, puhdistusmenetelmän valinnassa sekä varsinaisen puhdistuksen aikana. Keinoja löydettiin myös puhdistushankkeen elinkaaren ulkopuolelta. Suomessa puhdistusmenetelmien vaihtoehtoja vähentävät usein haastavat maaperä- ja pohjavesiolosuhteet sekä in situ -toimijoiden vähyyt. Ilmastovaikutusten tarkempi arviointi kuitenkin toivottavasti herättelee pohtimaan valintoja tarkemmin ja tulevaisuudessa ilmastoviisaiden valintojen tekeminen helpottuu.

Sivumäärä: 44

Kieli: Suomi

Julkaisuaika: 03/2024

Presentationsblad

Ansvarsområde: Miljö och naturresurser

Författare: Marko Nurminen, Emilia Pöyry, Tuuli Aaltonen, Christian Tallsten, Pasi Vahanne

Publikationens titel: Klimat effekter från olika marksaneringsalternativ

Sammandrag:

FCG Finnish Consulting Group Oy genomförde utvecklingsprojektet Kartläggning av klimatkoeffekter av markrengöringsmetoder och deras jämförelse vid upphandlingar under 2023 på uppdrag av Birkalands NTM-central. Dess mål var att underlätta bedömningen av klimatkoeffekten i projekt för rengörning av förorenad mark och grundvatten.

I utvecklingsprojektet har klimatkoeffekten som uppstår i samband med de olika metoderna som används vid rengöring av förorenad mark och grundvatten identifierats och ett verktyg utvecklats för att utvärdera dem. Rengöringsprojektet var uppdelat i fem faser – produktionsfas, förberedelsefas, rengöringsfas, avslutningsfas och uppföljningsfas – som alla syftade till att identifiera väsentliga utsläppskällor. Faktorer som befann sig utanför livscykeln utslöts från granskningen, även om de kan ha stor betydelse för städningens hållbarhet.

I samband med projektet gjordes ett PIIP-beräkningsverktyg i Microsoft Excel, som användes för att uppskatta klimatkoeffekten vid rengöring av fyra olika objekt. I granskningarna av objekten visade sig material, transporter och "övrig energianvändning" vara betydande utsläppskällor, vilket på de granskade objekten innebar uppvärmning och spolning av marken med eldriven utrustning. Utmaningarna i utvärderingen var i synnerhet bristfällig information från objekten.

Flera metoder hittades i samband med projektet för att minska klimatkoeffekten. Klimatkoeffekter kan beaktas redan i upphandlingskedjet, i valet av rengöringsmetod och under själva rengöringen. Man hittade även tillvägagångssätt utanför rengöringsprojektets livscykel. I Finland är alternativen för rengöringsmetoder ofta begränsade på grund av de utmanande mark- och grundvattenförhållandena och bristen av in-situ entreprenörer. En mer korrekt bedömning av klimatkoeffekten kommer förhoppningsvis att sporra människor att tänka på de val de gör och i framtiden blir det lättare att göra klimatkloka val.

Nyckelord (enligt Allärs): skydd av markgrunden, hållbar utveckling, luftvård

Språk: Finska

Sidantal: 44

Utgivare: Närings-, trafik- och miljöcentralen i Birkaland

Datum: 03/2024

Documentation page

Publication serie and number: Environment and Natural Resources

Author(s): Marko Nurminen, Emilia Pöyry, Tuuli Aaltonen, Christian Tallsten, Pasi Vahanne

Title of publication: Climate Impact of Soil and Groundwater Remediation Methods, development project

Abstract: FCG Finnish Consulting Group Oy carried out a development project for the Pirkanmaa ELY Centre in 2023, titled 'Survey on the Climate Impact of Remediation Methods and their Comparison in Procurements'. The purpose of the project was to facilitate the assessment of climate impacts in contaminated soil and groundwater remediation projects.

In the development project, climate emissions caused by the methods used in the treatment of contaminated soil and groundwater were identified. Also, a tool was developed for their assessment. The life cycle of a remediation project was divided into five stages - product phase, preparation phase, remediation phase, decision phase, and monitoring phase - from all of which the essential emission sources were sought to be identified. Emission sources outside of the life cycle were excluded from the review, although they can have a significant impact on sustainability.

A calculation tool operating in the Microsoft Excel environment was developed for computational assessment of climate emissions. PIIP tool was used for assessment of four different case sites. In the assessments, materials, transports, and 'other energy use', which in the reviewed sites meant heating of the soil and rinsing with electrically operated equipment, were found to be significant emission sources. The challenges of the assessment were especially the deficiencies in the source data.

As a result of the project, several ways to reduce climate impact were found. Climate impact can be considered already in the procurement phase, in the selection of the treatment method, and during the actual remediation. Ways were also found outside the life cycle of the remediation project. In Finland, challenging soil and groundwater conditions and the scarcity of in situ contractors often reduce the alternatives of treatment methods. However, a more precise assessment of climate impacts hopefully encourages more careful consideration of choices, and in the future, making climate-wise choices will become easier.

Keywords: soil protection, sustainable development, air pollution control

Language: Finnish

Number of pages: 44

Publisher: Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Pirkanmaa

Publication date: 03/2024