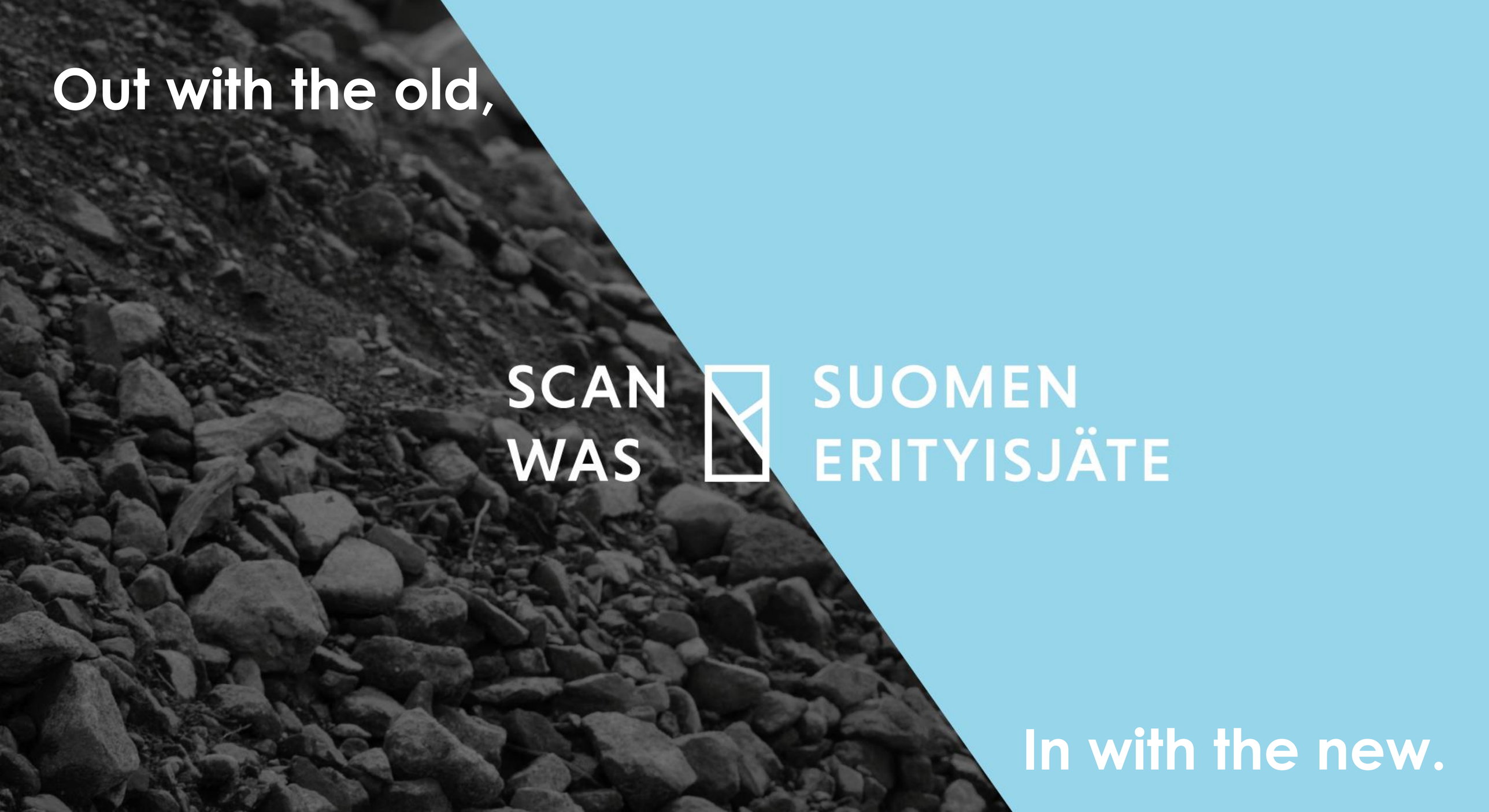

Out with the old,
SCAN WAS
SUOMEN ERITYISJÄTE
In with the new.

Maaperän in situ kunnostus, kohdetutkimukset ja kunnostussuunnittelu: Urakoitsijan näkökulma

Mutku-päivät 2025 / Mikko Myllymäki

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Suomen Erityisjäte Oy

Osti Doranova Oy:n PIMA-liiketoiminnan vuoden 2023 helmikuussa

- Ensimmäinen pohjaveden kunnostus vuonna 1996
- Suomen ensimmäinen biologinen maaperän in situ kunnostus vuonna 1998
- Suomen ensimmäinen maanpesu vuonna 2004
- Viron suurin maaperän in situ kunnostus vuonna 2013
- Suomen suurin suorainjektoinnilla toteutettu anaerobiseen dehalogenaatioon perustuva in situ kunnostus vuonna 2019
- Suomen ensimmäinen maaperän ISTD-kunnostus vuonna 2020
- In situ projekteja vuosina 2020-2023
- Uutena liiketoimintana vesienpuhdistus

Esityksen sisältö

1. In situ kunnostusmenetelmän valinnasta
2. In situ kunnostustekniikan valinnasta
3. Kohdetutkimukset
   a. Pilaantuneen maaperän ominaisuudet
   b. Maaperän geologiset ominaisuudet
   c. Maaperän hydrogeologiset olosuhteet
   d. Maaperän geokemialliset olosuhteet
   e. Mahdolliset esteet ja riskit
4. Menetelmänä terminen desorptio
5. Menetelmänä tehostettu aerobinen biologinen kunnostus

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Maaperän in situ kunnostus, kohdetutkimukset ja kunnostussuunnittelu: Urakoitsijan näkökulma

Kestavän kunnostamisen parhaat käytännöt (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, opas 5/2022)

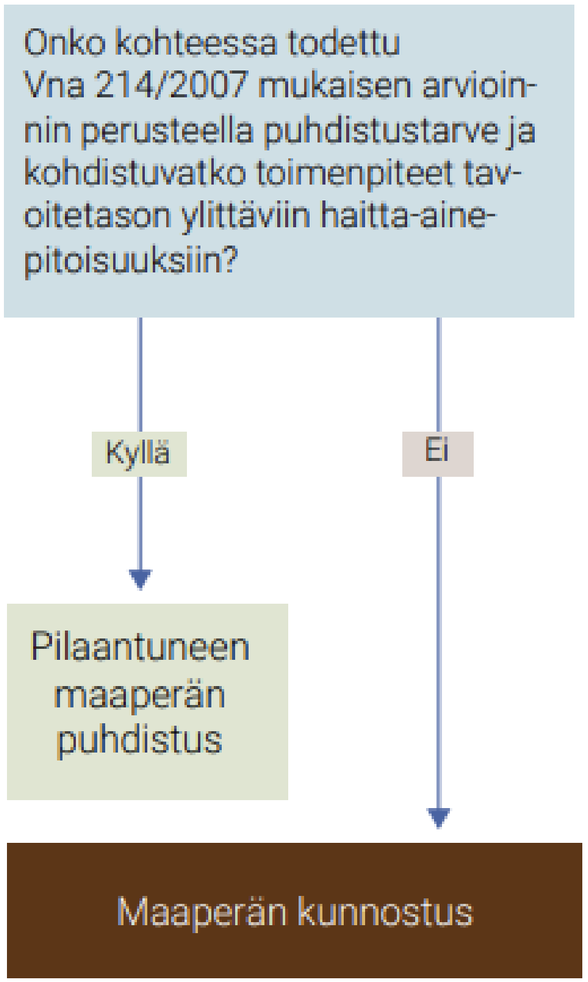
Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt.

Sisältää ohjeita riskien arviointiin ja hallintaan, ympäristötutkimuksiin ja kunnostukseen liittyen

Hyvä yleisopas, kannattaa lukea!

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Maaperän kunnostus vs. puhdistaminen



LÄHDE: KESTÄVÄN KUNNOSTAMISEN KÄYTÄNNÖT
Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Tässä esityksessä käytetään termiä "kunnostaminen" oli kyse sitten riskiperusteisesta maaperän puhdistamisesta tai ei

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Maaperän kestävä kunnostusprosessi

LÄHDE: KESTÄVÄN KUNNOSTAMISEN KÄYTÄNNÖT
Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Kuva 2. Maaperän kestävä kunnostusprosessi

In situ kunnostusmenetelmän valinnasta

In situ hankkeet käytännössä aina ST-urakoita (Suunnittele ja toteuta)

- **Kunnostusurakka/tarjous on sidottu puhdistustulokseen (yleensä 10 % kokonaiskustannuksista)**
- **Urakoitsijan näkökulmasta hankkeelle tulisi valita teknisesti toimivin (ei halvin eikä välttämättä kestävinkään?) menetelmä**

MENETELMÄVALINTA

Tunnista teknisesti soveltuvat menetelmät	Arvioi soveltuvuus hankkeen muihin tavoitteisiin	Koosta vaihtoehdot ja luo kunnostus-strategiat	Kestävyyden arviointi	Päätöksenteko
▶ Kunnostettavien haitta-aineiden ominaisuudet ▶ Kunnostettavan maa-aineksen sijainti, määrä ja pitoisuustaso ▶ Kunnostustavoite ▶ Maaperä-olosuhteet ▶ Pinta-ja pohjavesi-olosuhteet	▶ Aikataulu ▶ Budjetti ▶ Sovittaminen alueen muihin urakoihin ▶ Ilmastopäästöt, biodiversiteetti ▶ Resurssitehokkuus ▶ Häiriöttömyys lähiympäristölle ▶ Pitkäaikaisseuran-nan välttäminen	▶ Vaihtoehto 1 ▶ Vaihtoehto 2 ▶ Vaihtoehto 3 ▶ Vaihtoehto 4 ▶ Vaihtoehto 5	▶ Ympäristö ▶ Yhteiskunta ▶ Talous	▶ Sidosryhmien näkemykset ▶ Tilaajan tarpeet

LÄHDE: KESTÄVÄN KUNNOSTAMISEN KÄYTÄNNÖT
Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

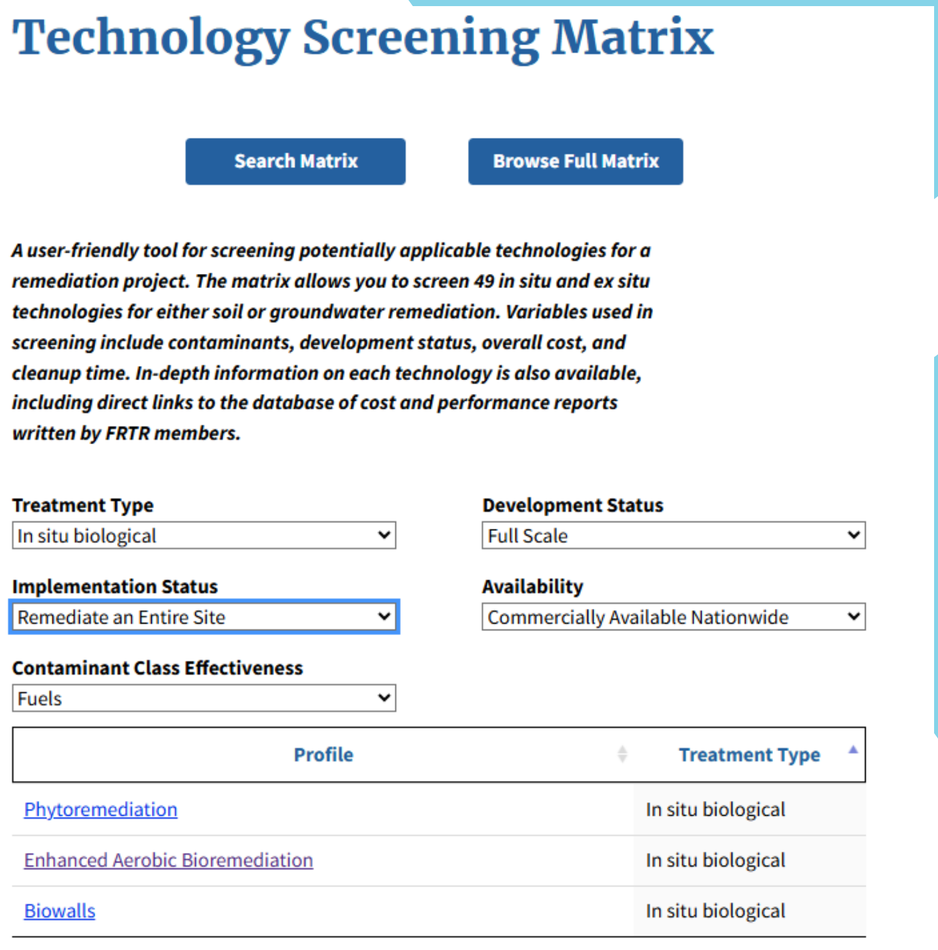
In situ kunnostusmenetelmän valinnasta

Työkaluja/web-sivuja

- FRTR:n (Federal Remediation Technologies Roundtable) web-sivut
- EPA: screening matrix and reference guide

In situ kunnostusmenetelmiä

- Tehostettu biohajoaminen (aerobinen ja anaerobinen)
- Kemiallinen hapetus ja pelkistys
- Huokoskaasukäsittely ja terminen desorptio
- Maan huuhtelu ja ilmastus
- Adsorptiopidättäminen
- In situ stabilointi
- Elektrokinetiikka
- Fytoremediaatio



Technology Screening Matrix

Search Matrix | Browse Full Matrix

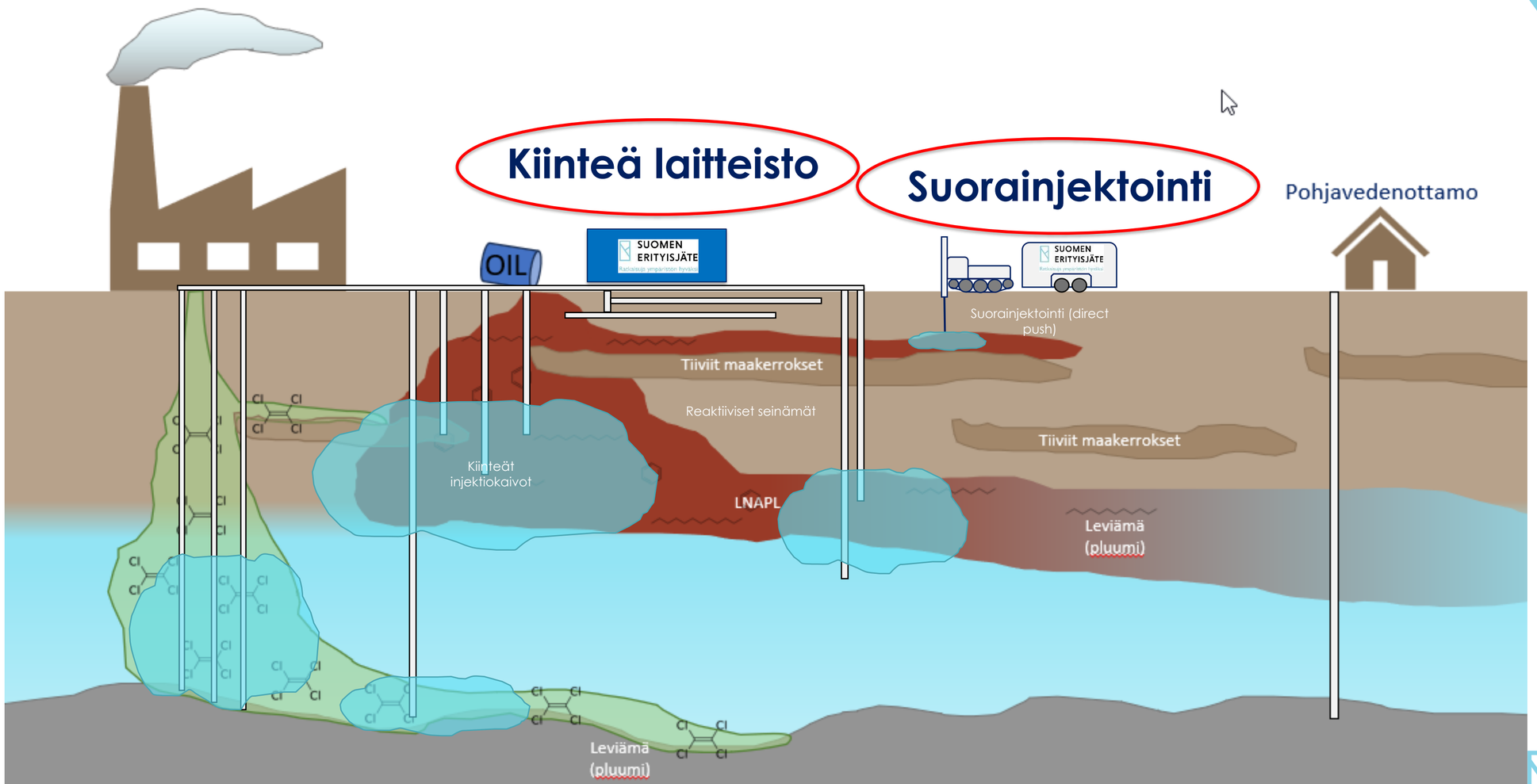
A user-friendly tool for screening potentially applicable technologies for a remediation project. The matrix allows you to screen 49 in situ and ex situ technologies for either soil or groundwater remediation. Variables used in screening include contaminants, development status, overall cost, and cleanup time. In-depth information on each technology is also available, including direct links to the database of cost and performance reports written by FRTR members.

Treatment Type: In situ biological
Development Status: Full Scale
Implementation Status: Remediate an Entire Site
Availability: Commercially Available Nationwide
Contaminant Class Effectiveness: Fuels

Profile	Treatment Type
Phytoremediation	In situ biological
Enhanced Aerobic Bioremediation	In situ biological
Biowalls	In situ biological

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

In situ kunnostustekniikan valinnasta



SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

In situ kunnostustekniikan valinnasta

Olipa kyseessä mikä tahansa teoriassa toimiva in situ menetelmä, tulee kunnostustoimenpiteet saada kohdistettua haitta-aineeseen joko suoraan tai välillisesti

Toimenpide *haitta-aineelle* voi olla esim.

- **Suora kemiallinen reaktio (kemiallinen hapetus tai pelkistys)**
- **Olomuodon muutos nesteestä kaasuksi (terminen kunnostus, huokoskaasukäsittely)**
- **Epäsuora biologinen/biokemiallinen reaktio mikrobien avulla**
- **Adsorptio**

➢ **Kaikissa toimenpiteissä olennaista on saada toimenpide kohdistettua sinne missä haitta-aine sijaitsee**

➢ **Oikea tekniikka toimenpiteen toteuttamiseksi ratkaisevan tärkeää kunnostuksen onnistumisen kannalta!**

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Kohdetutkimukset

1. Pilaantuneen maaperän ominaisuudet
   – Maaperän ja pohjaveden sisältämät haitta-aineet, niiden määrä ja sijainti kohteessa
2. Geologiset ominaisuudet
   – Maalajit ja rakeisuus, maaperän kerrostuneisuus
   – Kalliopinta
2. Maaperän hydrogeologiset olosuhteet
   – Tiedot pohja- ja orsivedestä ja niiden virtaussuunnasta ja nopeudesta
3. Geokemialliset olosuhteet
   – Hapetus-pelkistystila

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Kohdetutkimukset

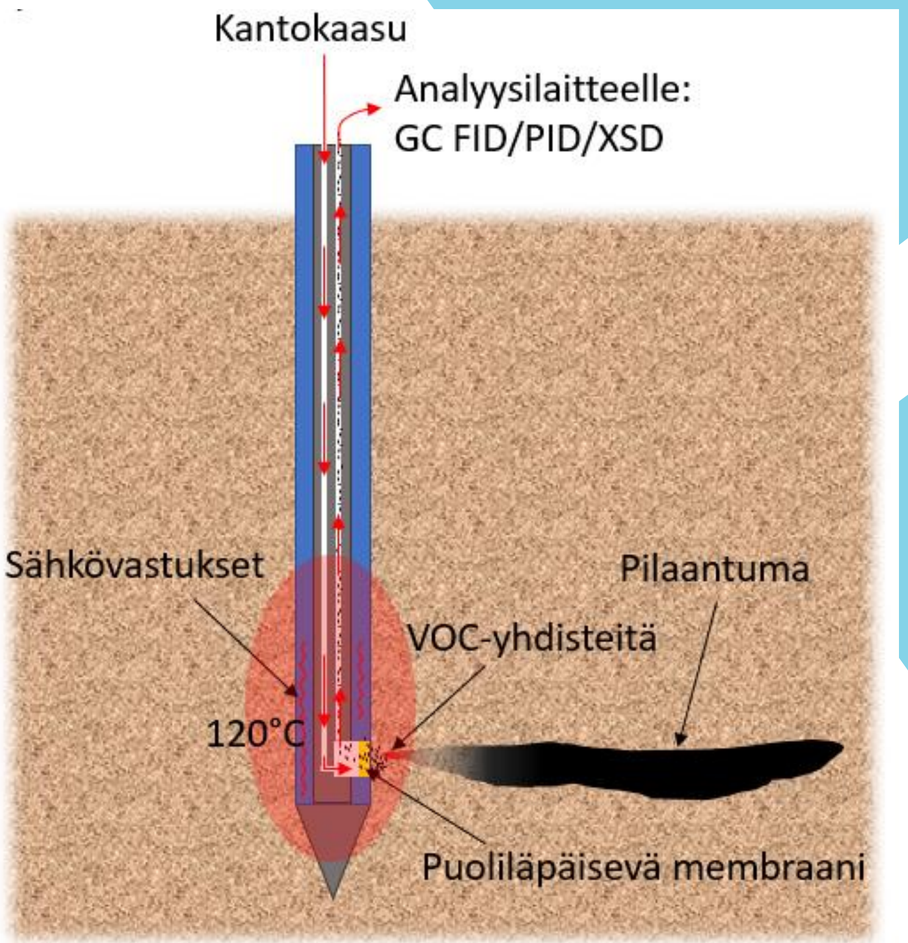
1. Pilaantuneen maaperän ominaisuudet

- Haitta-aineiden identifiointi ja niiden pitoisuudet maaperässä ja pohjavedessä
- Haitta-aineiden sijainti maaperässä: Kuinka laajalle alueelle ja kuinka syvälle saastuminen ulottuu?

➢ Maaperäkairaukset/näytteenotto

➢ MIP (Membrane Interface Probe) tutkimukset

➢ Pohjavesitutkimukset (kem. Analyysit)

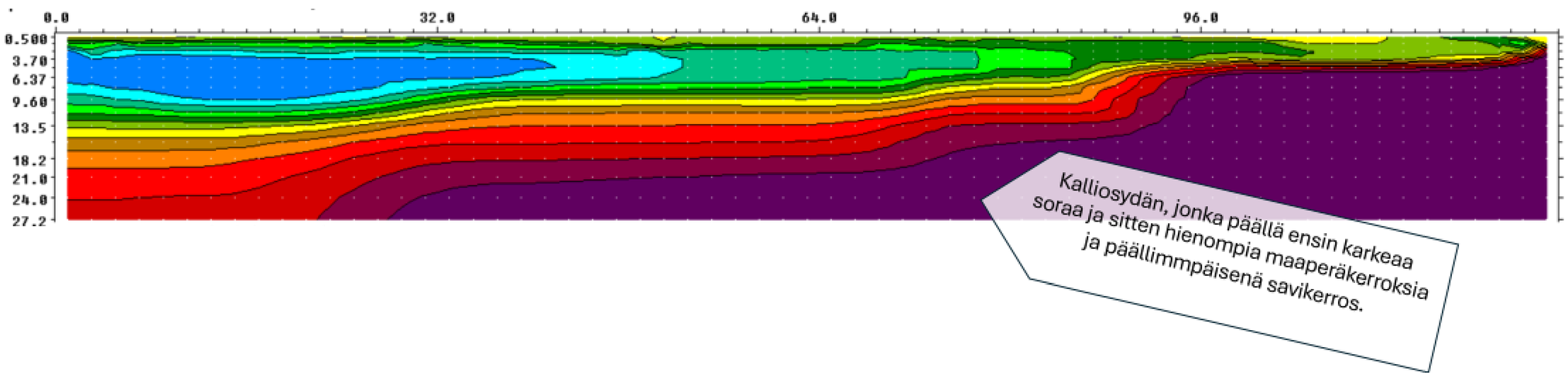


SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Kohdetutkimukset

2. Geologiset ominaisuudet

- Maaperän rakenne ja koostumus: Onko kyseessä hiekka, savi, sora vai sekamaaperä.
- Maaperän huokoisuus ja vedenpidätyskyky
- Maaperän kerrostuneisuuden ja kalliopinnan tutkiminen
  - Maaperäkairaukset
  - Maatutkaluotaus
  - Sähköinen resistanssitomografia (ERT)
  - ➢Toimii erityisen hyvin luonnonmaassa/maaperässä, jossa ei ole täyttömaata



EN
SJÄTE
:ön hyväksi

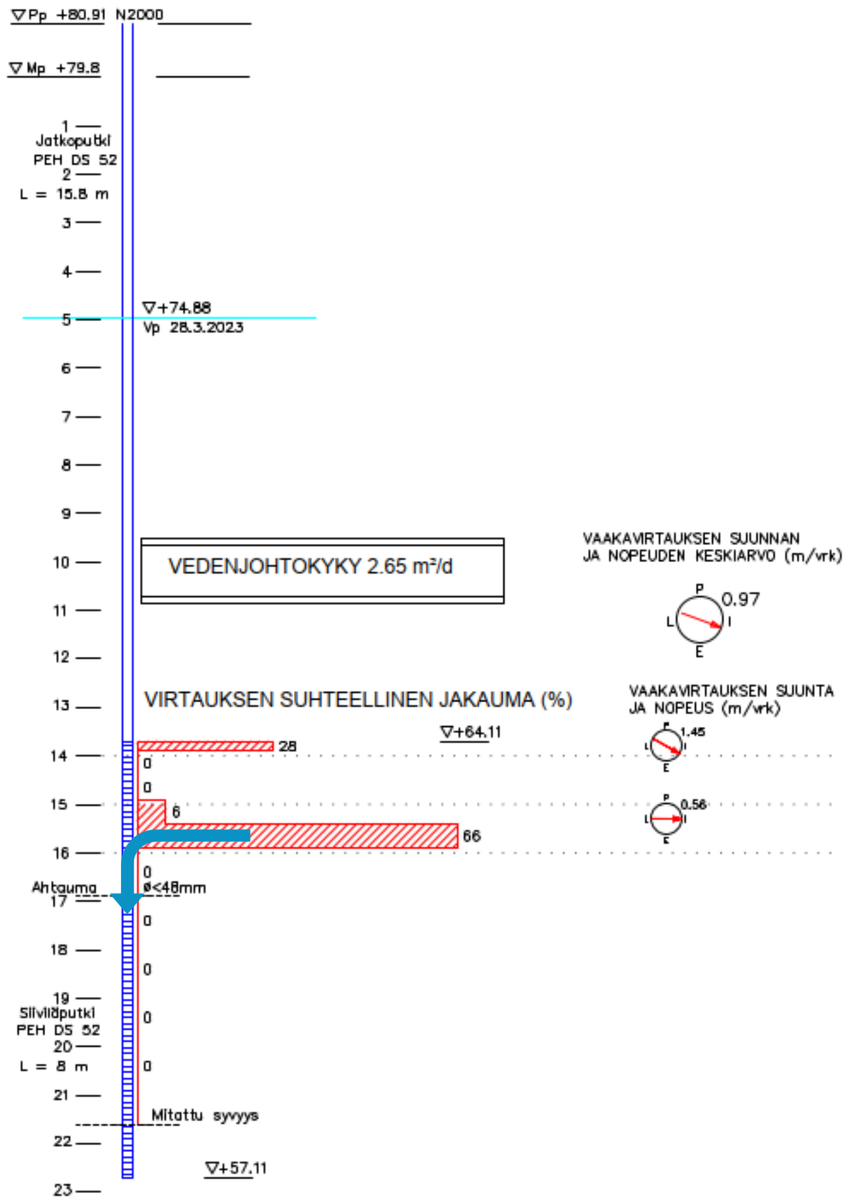
Kohdetutkimukset

3. Maaperän hydrogeologiset olosuhteet

- Pohjaveden pinnan taso, onko orsivettä?
- Pohjaveden virtausnopeus ja suunta
  - Erityisen kriittinen parametri termisessä kunnostuksessa

Huom!

- Havaintoputkesta otettu näyte kuvastaa vettä johtavan kerroksen geokemiallista tilaa, ei koko maakerroksen geokemiallista tilaa
- Esim. happipitoisuus voi olla vesinäytteessä korkeakin, vaikka oikeasti maaperä on anaerobinen

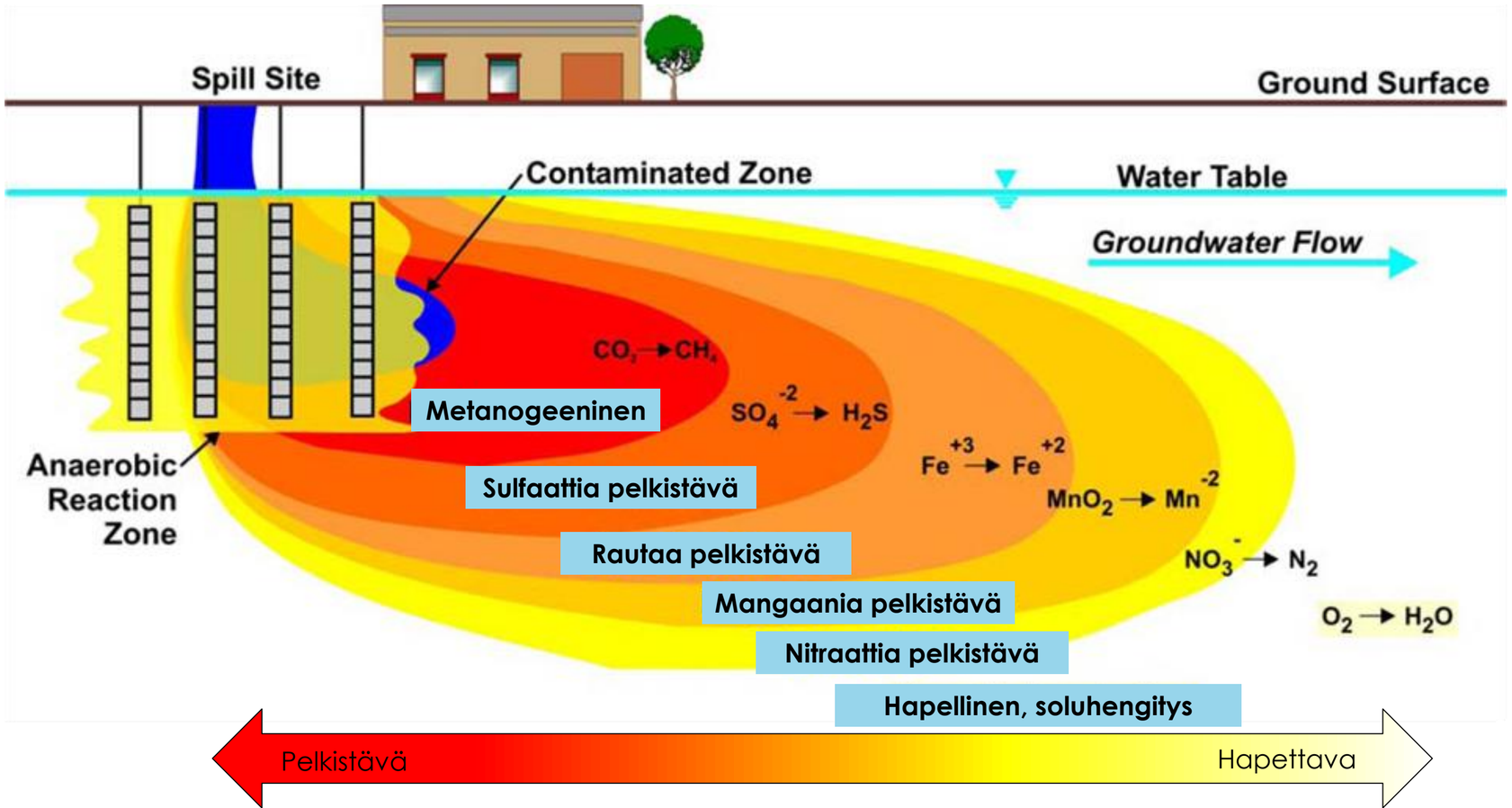


SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Kohdetutkimukset

3. Maaperän geokemialliset olosuhteet

Pohjaveden hapetus-pelkistystila



SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Kohdetutkimukset

3. Maaperän geokemialliset olosuhteet

Maaperän hapetus-pelkistystila

➢Tutkitaan pohjavedestä

1. Liukoinen happi
2. Nitraatti
3. Liukoinen rauta (Fe^{2+})
4. Sulfaatti
5. Sulfidi
6. Metaani

Esimerkki	
Määritys	[illegible]ios
1. Liukoinen happi	0,3 mg/l
2. Nitraatti	0,15 mg/l
3. Liukoinen [illegible]a (Fe^{2+})	58 mg/l
4. Sulfa[illegible]	0,6 mg/l
5. Su[illegible]	0,05 mg/l
6. Metaani	0,2 mg/l

SULFAATTIA PELKISTÄVÄ OLOSUHDE

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Kohdetutkimukset

4. Mahdolliset esteet ja riskit

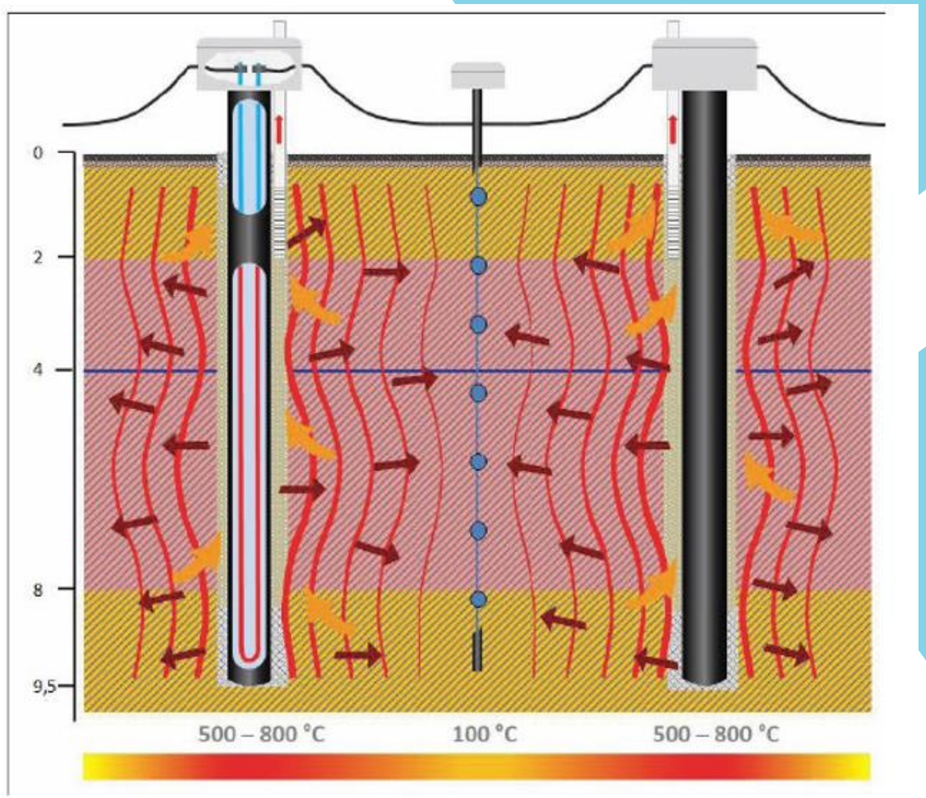
- **Rakenteet ja infrastruktuuri: Onko maaperässä sellaista mikä voi vaikeuttaa in situ kunnostuksen toteuttamista?**
  - **Kaivulupa.fi**
  - **Johtotietopankki**
  - **Verkkoselvitys.fi**
  - **Kaupunkien johtotietopalvelut**
  - **Perimätieto**
  - **???**

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Terminen desorptio (kloorieteenit)

Maaperägeologia/hydrogeologia

- Pohjaveden pinnankorkeus (vaihteluineen)
- Onko orsivettä?
- Tiedot maaperälitologiasta (maalaji, rakeisuus, huokoisuus jne) koko käsittelyalueella ja syvyydellä
- **Pohjaveden virtausnopeus (alueelle virtaaman veden määrä/vuosi)**
  - **Kriittinen parametri kunnostuksen onnistumisen kannalta!**

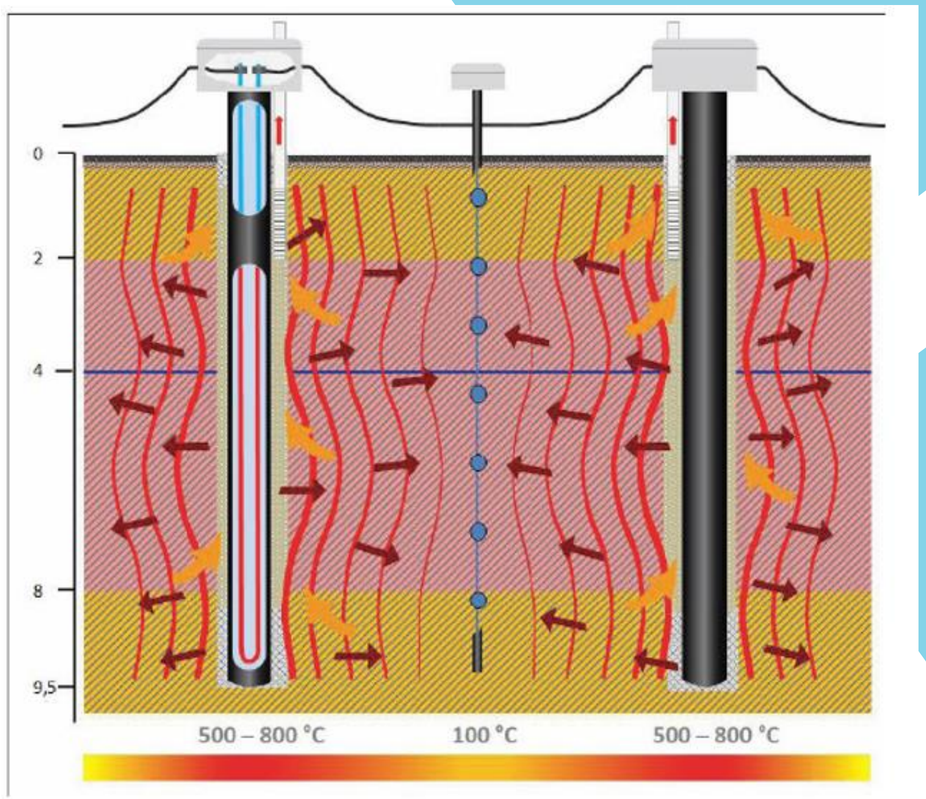


SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Terminen desorptio (kloorieteenit)

Haitta-aineet

- Pitoisuudet (pohjavesi ja maaperä)
- Kunnostustavoitteet
- Haitta-aineiden sijainti maaperässä, kunnostettavan maaperän tilavuus
- Haitta-aine massamäärä kg/t yhteensä
- **Onko maaperässä öljyhiilivetyjä tai LNAPL faasia?**
  - **Faasi tulee mahdollisuuksien mukaan poistaa ennen termistä käsittelyä!**
- Maaperän TOC-pitoisuus
  - Orgaaninen materiaali hidastaa kloorieteenien termistä käsittelyä



SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Tehostettu aerobinen biologinen kunnostus

Onko happi-pitoisuus ≥2 mg/l → Kyllä → Onko maaperän läpäisevyys >10^{-7} cm^2 → Kyllä → Maaperä EI SISÄLLÄ tiiviitä maakerroksia, jotka voisivat häiritä hapen leviämistä? → Kyllä → Onko PV-gradientti ja/tai virtaus riittävän suuri hapen leviämiseksi käsiteltävään maaperään → Kyllä

EI → Onko maaperän läpäisevyys >10^{-7} cm^2

EI → Maaperä EI SISÄLLÄ tiiviitä maakerroksia, jotka voisivat häiritä hapen leviämistä?

EI → Onko PV-gradientti ja/tai virtaus riittävän suuri hapen leviämiseksi käsiteltävään maaperään

EI → Onko Fe2+ rautapitoisuus <10 mg/l → Kyllä → Onko raskasmetallit <2500 ppm → Kyllä → Onko haitta-aineen Koc <1000 ml/g → Kyllä

EI → Ovatko haitta-aineet biohajoavia → Kyllä

EI → Onko Fe2+ rautapitoisuus <10 mg/l

EI → Onko raskasmetallit <2500 ppm

EI → Onko haitta-aineen Koc <1000 ml/g

Tehostettu biologinen kunnostus ei välttämättä ole kustannustehokkain ratkaisu

Tehostettu biologinen kunnostus on todennäköisesti kustannustehokas ratkaisu

Mitä pienempi KoC on sitä biosaatavammassa muodossa haitta-aine on

Tehostettu aerobinen biologinen kunnostus

Hapen määrä useimmiten rajoittava tekijä

- Tarvittava teoreettinen stoikiometrinen hapen määrä hiilivedyillä (BTEX, C10-C21, PAH)

  3,0-3,5 g O_2/g haitta-ainetta

- Happea kuluu seuraavissa EI-toivotuissa reaktioissa
- Epäorgaanisten ionien hapettuminen (esim. Rauta Fe^{2+})
- Orgaanisten yhdisteiden hapettuminen
- Hapen haihtuminen
- Hapen kulkeutuminen kunnostusalueelta pois

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

Kiitos!

Mikko Myllymäki
Tutkimus- ja kehityspäällikkö
Soil&Water

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi

GSM 044 753 0124
mikko.myllymaki@erityisjate.fi
www.erityisjate.fi

SUOMEN ERITYISJÄTE
Ratkaisuja ympäristön hyväksi