

Korroosio happamissa sulfaattimaissa

Jan-Erik Eriksson, Thomas Kronberg, Miriam Nystrand, Eva Högfors-Rönholm, Lotta Purkamo, Jukka Kuva, Peter Österholm, Jukka Räisänen, Jaakko Auri, Mirkka Visuri



Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

Happaman sulfaattimaan korroosio, Eurajoki, 2024

Fingrid: Myrsky kaatoi ensimmäistä kertaa järeitä 400 kilovoltin voimalinjapylväitä

Vakavasta vaaratilanteesta selvitettiin ilman henkilövahinkoja. Korjaustyöt kestävät viikon.



Kaatonut voimalinja Eurajoella Auvintien ja Verkkokarintien risteyksen kohdilla 2.11.2024. Kuva: Fingrid

"Suurin tekijä ei ollut tuuli, vaan tolpan maanalainen tukirakenne oli korrodoitunut, eikä tuki kestänyt voimaa." - Mikko Jalonen, Fingrid

Korroosiota harusjohdoissa

Harusten rikon ja lopulta pylvään kaatumisen taustalla oli maa-ankkurointirakenteiden teräsosien harusjohtojen korroosio.

"Suurin vaikuttava tekijä ei ollut tuuli, vaan pylvään maanalaisessa harusrakenteessa oli korroosiota eikä harus kestänyt. Tuulella harustus petti", sanoo voimajohto- ja rakennustekniikka -yksikön teknologiapäällikkö Mikko Jalonen Fingridistä.

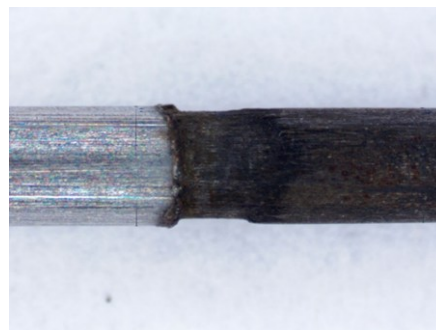


**Euroopan unionin
osarahoittama**

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

Tavoitteet

- Kehittää ja soveltaa menetelmiä happaman sulfaattimaaperän korroosiokäyttäytymisen tutkimiseksi rauta-/teräs- ja betonirakenteissa
- Arvioidaan nykyisten korroosioriskin arviointimenetelmien parantamisen tarpeet.
- Korroosion seurantatutkimukset tehdään laboratorio- ja kenttäolosuhteissa, huomioiden sekä kemiallinen-, että mikrobikorroosio.



Väyläviraston ohje 2023, NCCI 7: Olosuhteet tavanomaiset vai poikkeavat/aggressiiviset

Poikkeavat/aggressiiviset olosuhteet mm:

- Löyhät täytöt (rikastuvat suolat, esim merivesi)
- Pilaantuneet maapohjat
- Alueen toistuva suolaus
- Runsas orgaaninen materiaali (>6%)
- Korroosiotutkimusten perusteella todettu poikkeavaksi
- Happamat sulfaattimaat



Korroosiotutkimusohjelma: Olosuhteet tavanomaiset vai poikkeavat/aggressiiviset

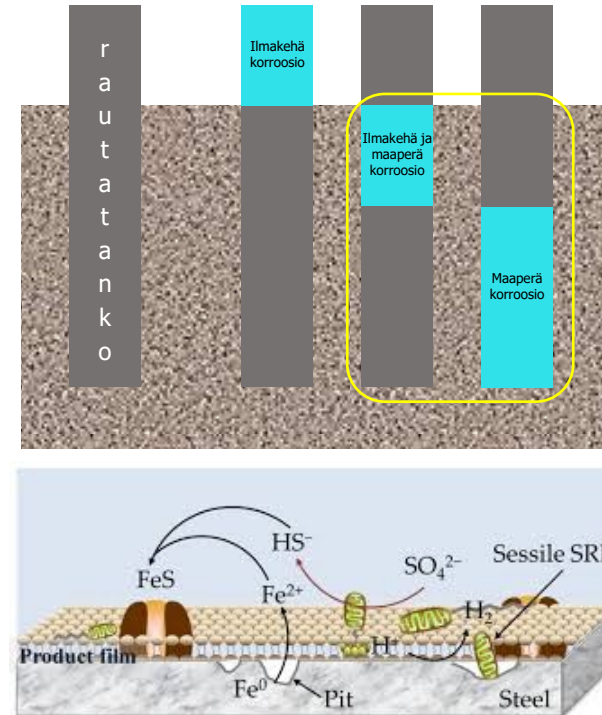
Mitattava ominaisuus	Raja-arvo poikkeavaan
maalaji	merkittävimpiä hienorakeiset ja eloperäiset
sähkönjohtavuus	> 50mS/m
humuspitoisuus	> 6%
pH	< 4.5 <u>tai</u> > 9
sulfaatti SO ₄ ²⁻	> 500 mg/kg
kloridit Cl ⁻	> 500 mg/kg
kokonaisrikki S _{tot}	kitkamaat > 0,06%; Sa/Si > 0,2%; lieju > 0,5%

Vaatii useamman kuin yhden parametrin ylittymisen



Korroosioon vaikuttavat tekijät happamissa sulfaattimaissa

- pH-gradientti (pH 8–3)
- Rikki (sulfaatti, sulfidi, H_2S)
- Kloori, Cl
- Maaperän suolapitoisuus
- Mikrobiologia
- Maaperän raekoko (maaperätyyppi)
- Kosteus
- Liennut happi
- jne.

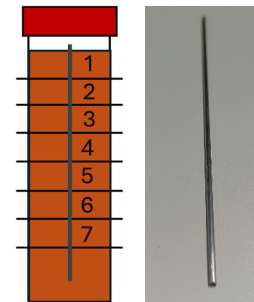


Sulfaattia pelkistävän bakteerin (SRB) vaikutus putkiteräksen korroosioon happamassa maaperässä



Korroosiotestit (laboratorio)

- Rautatanko – nopeampi korroosio
- 4 maalajia (Oulu)
 - HaSu, hienorakeinen (Soil A)
 - HaSu, karkea (Soil B)
 - Ei-HaSu, hienorakeinen (Soil C)
 - Ei-HaSu, karkea (Soil D)
- Altistusaika 2, 6, 12 ja 18 kuukautta (huoneenlämpö)
- Analyysit:
 - Rautatanko (ÅA epäorgaaninen kemia) – optinen mikroskooppi, SEM/EDS
 - Maaperä (ÅA:n geologia) – Geokemialliset ominaisuudet
 - 1 kokonainen testiputki (Novia/GTK) – mikrobiologia, DNA
 - 3D-tomografia (GTK) – kaikkien neljän näytteen kuvantaminen 2, 6, 12 ja 18 kuukauden jälkeen
- (Lisäksi 10 muuta maaperänäytettä on testattu korroosiokäyttäytymisen osalta)



80 mm x 1,6 mm
Rautatanko



Maanäytteiden ominaisuudet

		pH kenttä	pH inkuboitu	LOI	rikki %	sulfaatti	kloridi	maalaji
				%	AVS+HCrS	mg/kg	mg/kg	
Soil A	HaSu	8.3	3.0	3.2	0.678	186	614	siltti
Soil B	HaSu	6.9	3.4	0.87	0.172	9.2	109	hieno hiekka
Soil C	Ei HaSu	5.5	5.5	2.4	0.002	1.05	2.5	savi
Soil D	Ei HaSu	6.9	6.2	0.25	0.011	0.37	1.7	hiekka



Valikoituja tuloksia



Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

Rautatanko 6kk jälkeen



Soil A

Soil B

Soil C

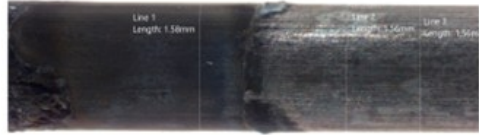
Soil D



Hienojakoinen HaSu-maa (Soil A)

2kk

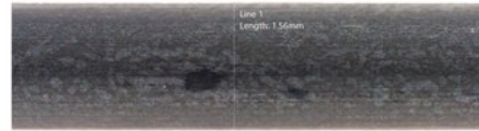
FH23B_2kk_0



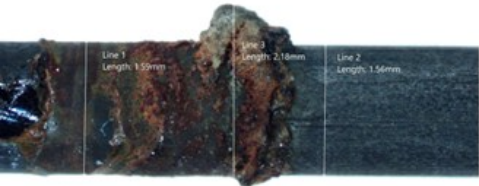
FH23B_2kk_2



FH23B_2kk_4



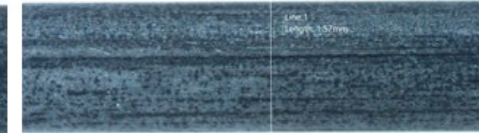
FH23B_6kk_0



FH23B_6kk_2



FH23B_6kk_4



6kk

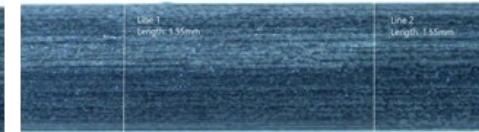
FH23B_12kk_0



FH23B_12kk_2



FH23B_12kk_4



12kk

0 cm

2 cm

4 cm

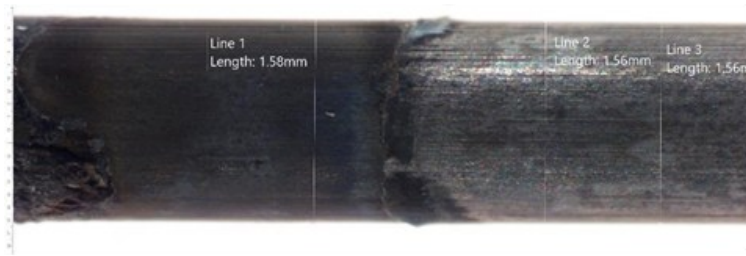


Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

Hienojakoinen HaSu-maa (Soil A)

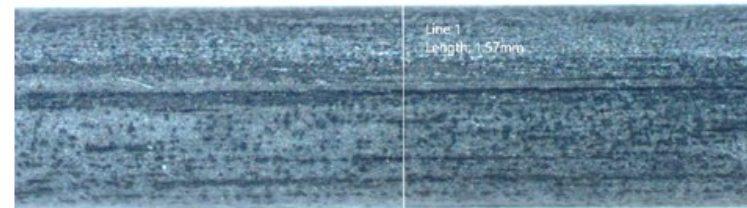
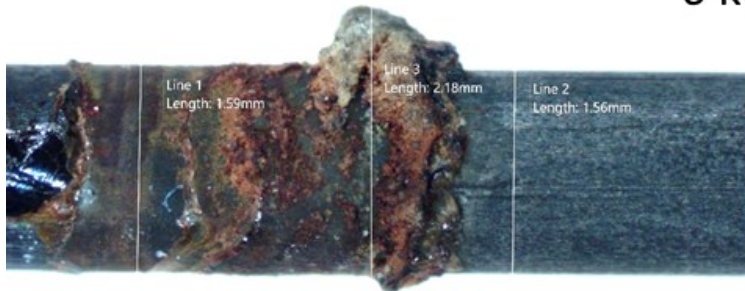
2 kuukautta



Ilman ja maan rajapinta

6 kuukautta

2 cm syvyys



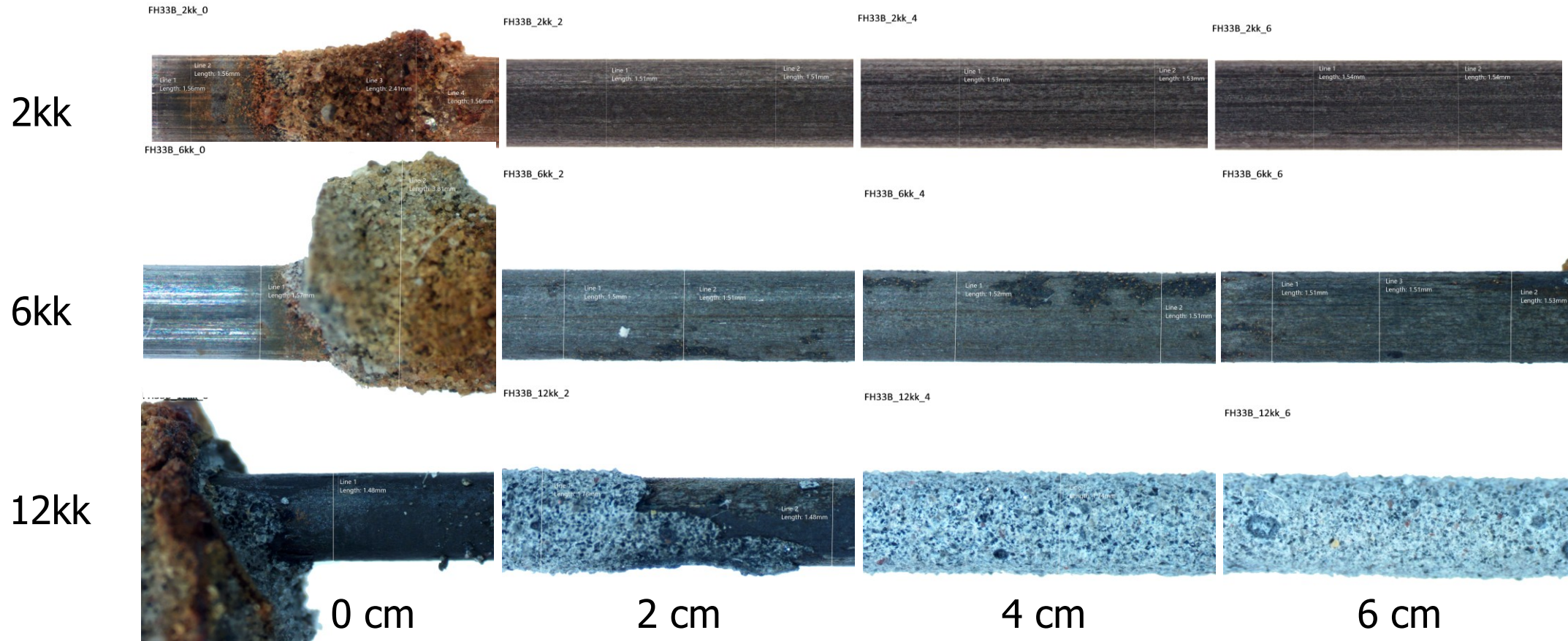
Jonkin verran kuoppakorroosiota



Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

Karkeajakoinen HaSu-maa (Soil B)



Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

Karkea HaSu-maa (Soil B)

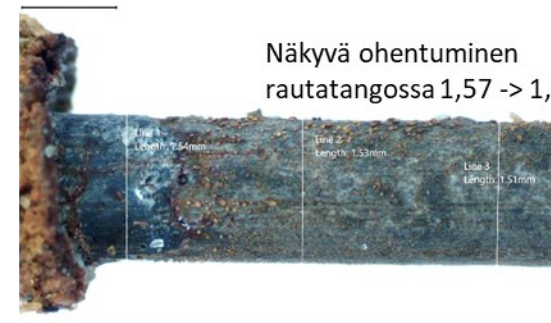
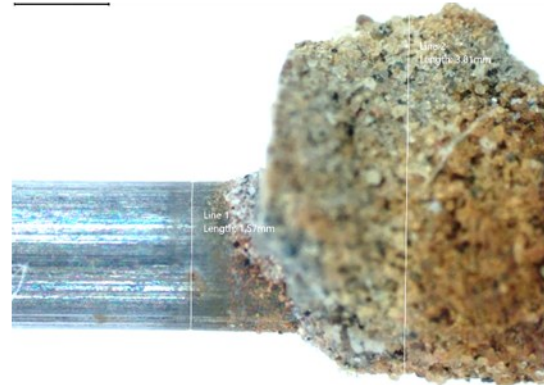
2 kuukautta



Ilman ja maan rajapinta

0–1 cm syvyys

6 kuukautta



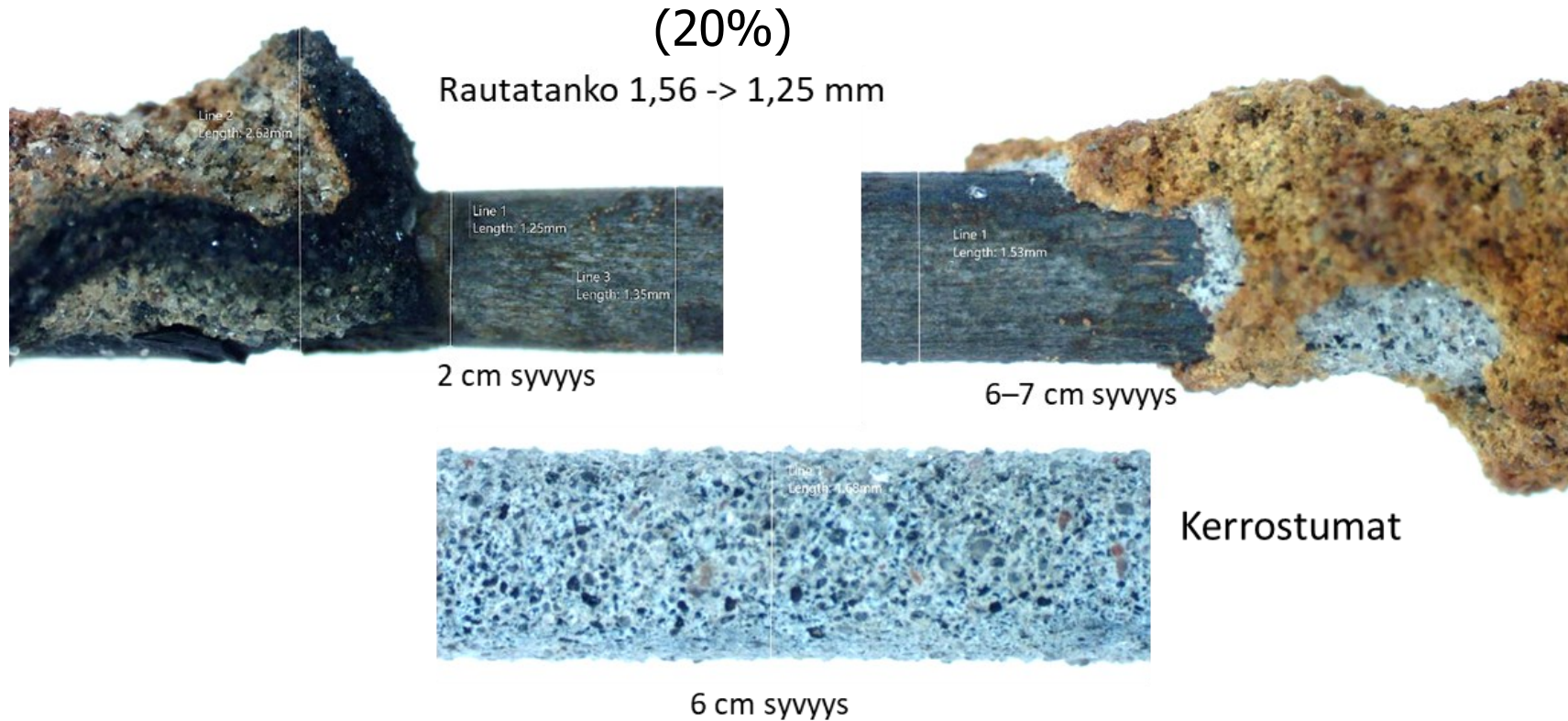
Näkyvä ohentuminen
rautatangossa 1,57 -> 1,50 mm (5 %)



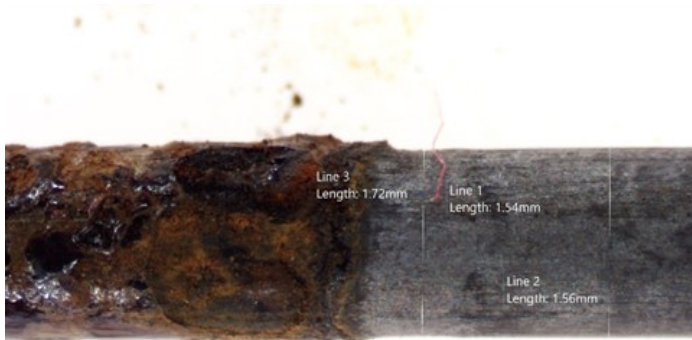
Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

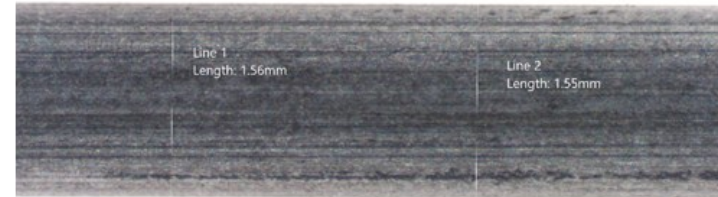
Karkea HaSu-maa (Soil B) – 6 kuukauden esimerkkejä



Hienojakoinen ei-HaSu maa (Soil C)



2 kuukautta



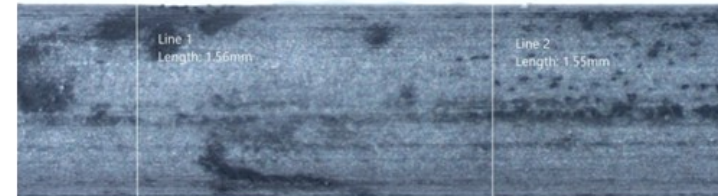
Ilman ja maan rajapinta

6 kuukautta



2 cm syvyys

Ei näkyvää korroosiota



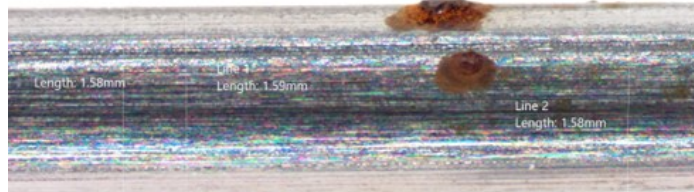
Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

Karkea ei-HaSu maa (Soil D)

FH8A_2kk_0

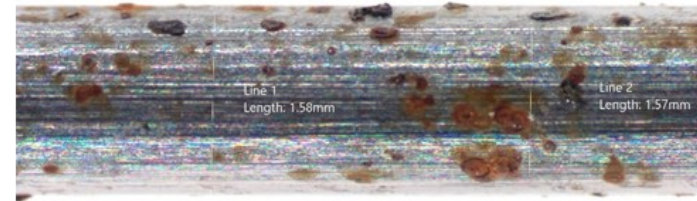
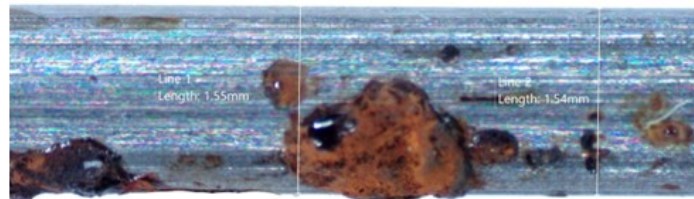
2 kuukautta



FH8A_6kk_0

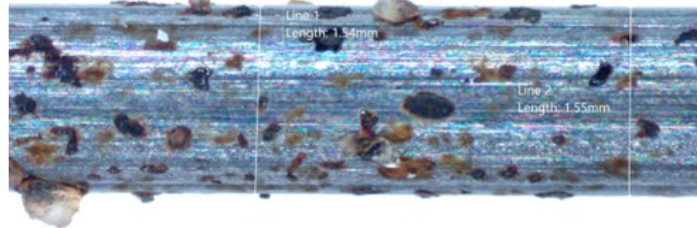
Ilman ja maan rajapinta

6 kuukautta



I

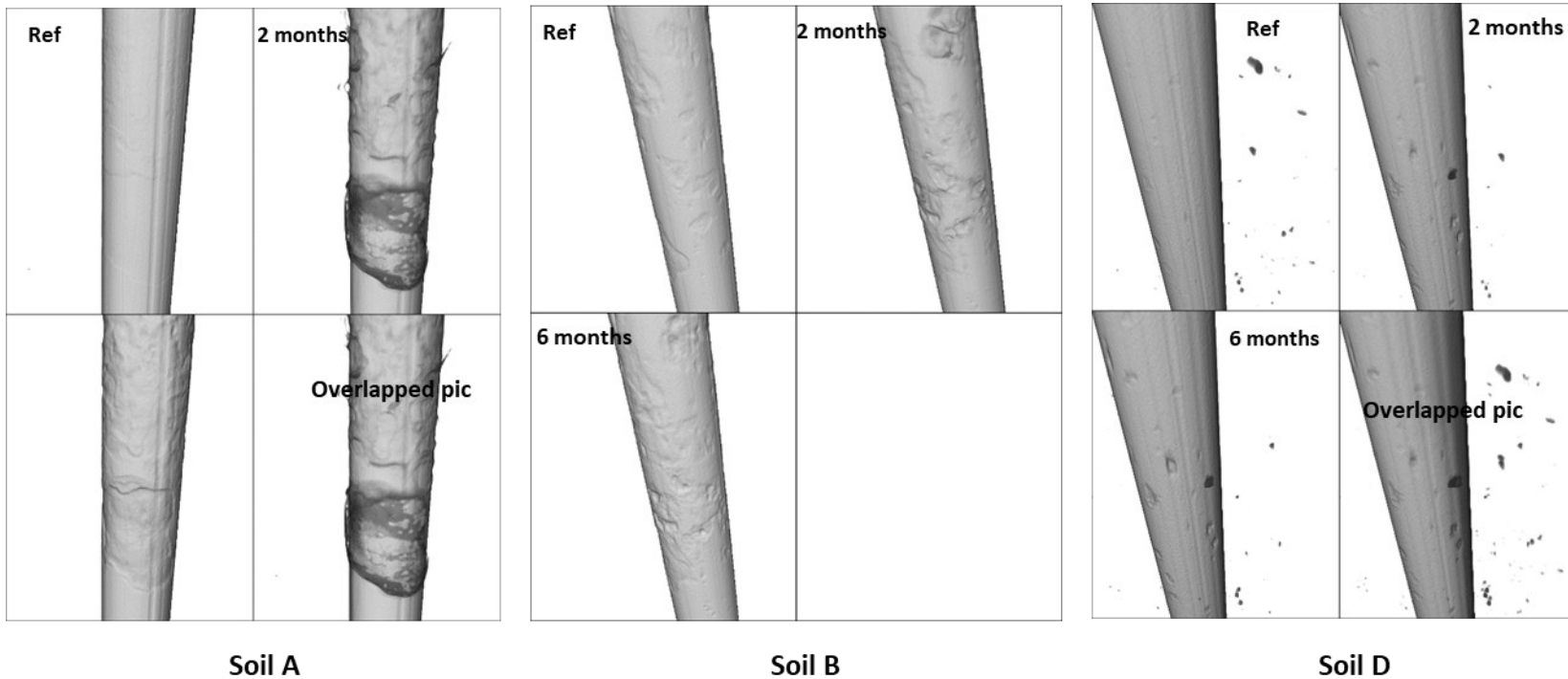
2 cm syvyys



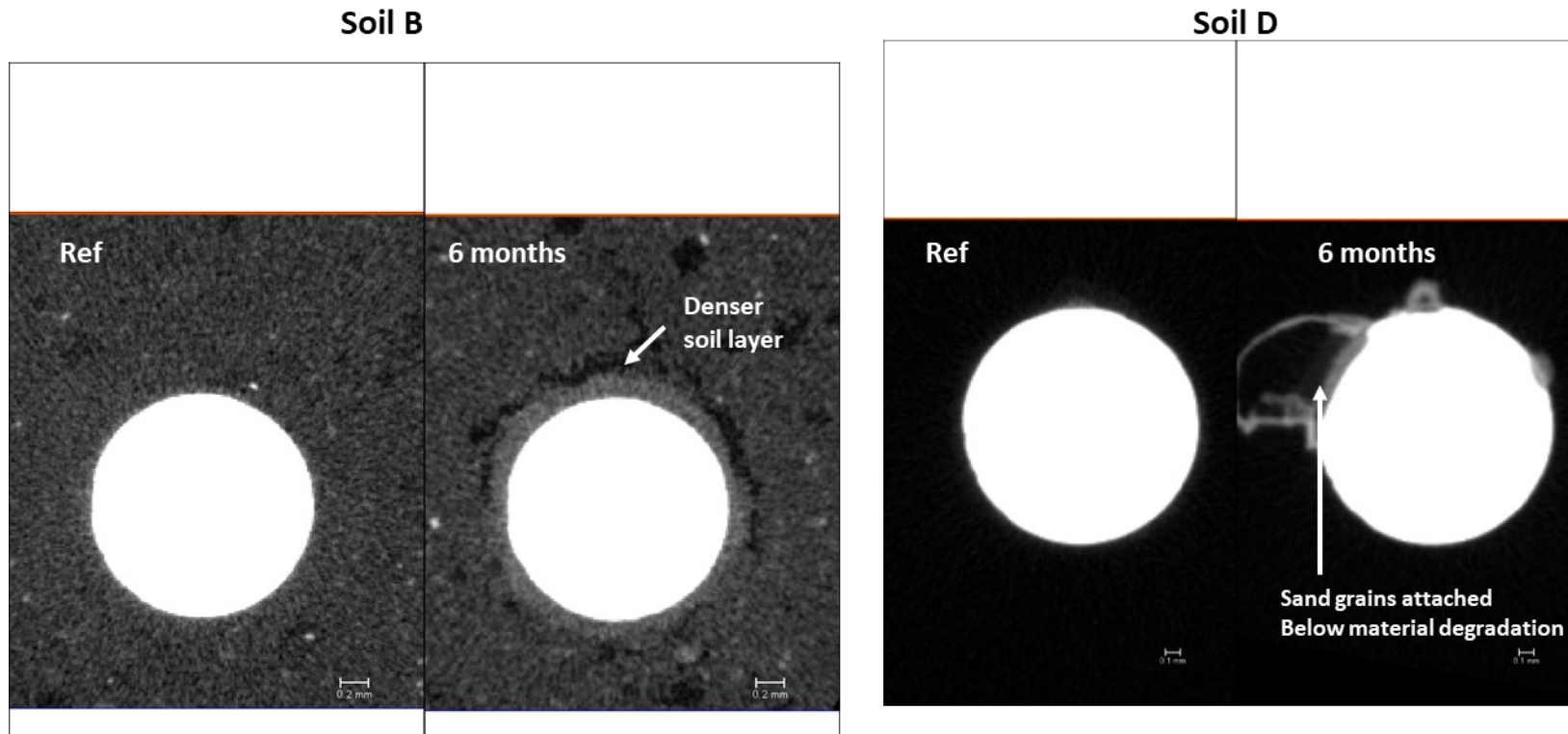
Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

3D-tomografia (GTK) – valikoituja tuloksia



3D-tomografia – poikkileikkaus (GTK)



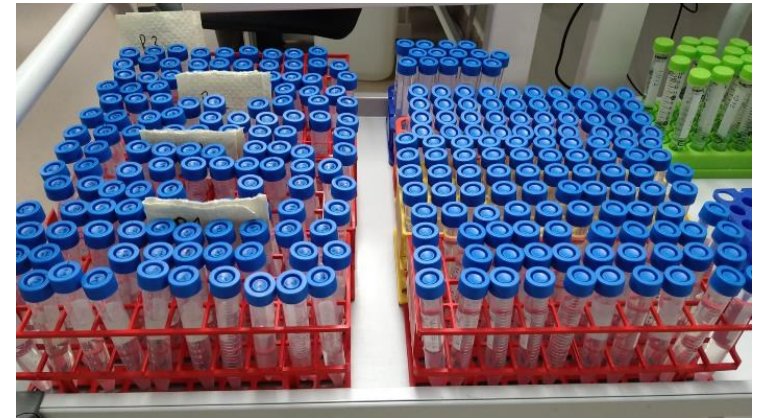
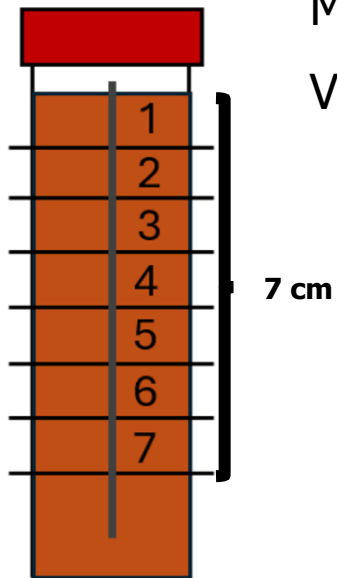
Korroosiotestit – Maaperän ominaisuudet (ÅA GEO)

Maaperän ominaisuudet mitataan korroosiotestien jälkeen (2, 6, 12 ja 18 kk)

Maaperänäytteet leikataan 1 cm viipaleiksi

Viipaleista mitataan:

- pH
- Sähkönjohtavuus (EC)
- Sulfaatti (SO_4)
- Kloridi (Cl)
- Metallit (ICP-OES)



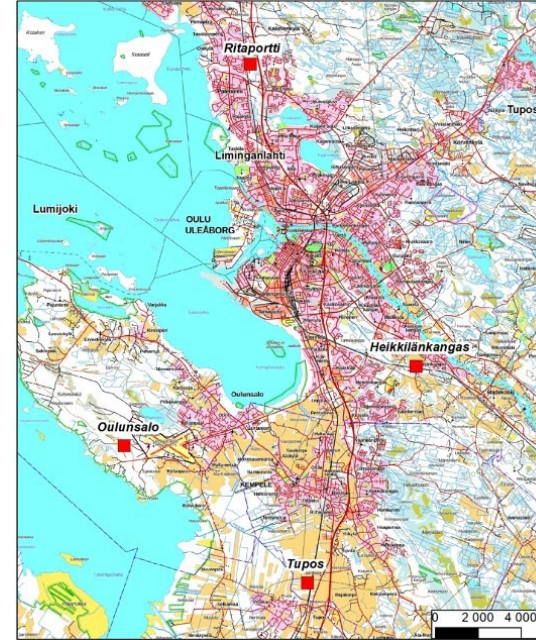
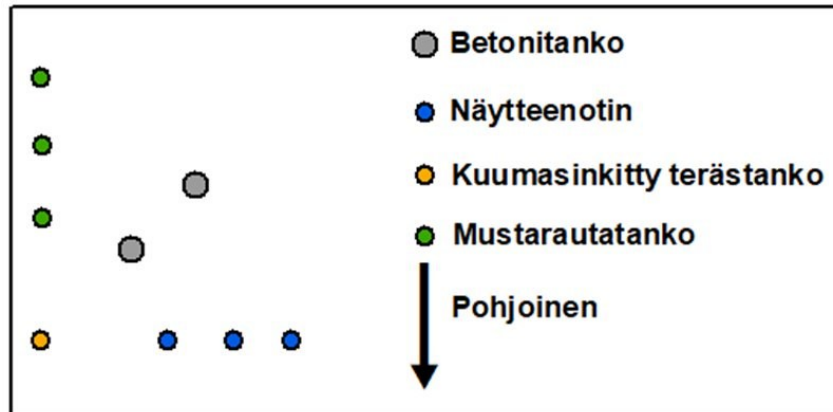
Mikrobikorroosio (NOVIA, GTK)

- Mikrobikorroosio (MC), eli mikrobiologisesti vaikuttava korroosio (MIC), on metallipinnan degradoitumista, jonka aiheuttaa mikro-organismien aktiivisuus
- Mikrobit voivat tuottaa suoraan syövyttäviä aineita, kuten orgaanisia happoja tai sulfideja, vaikuttaa epäsuorasti korroosioon muuttamalla maaperän kemialla (esim. pH ja happitasoja) tai muodostamalla biofilmejä, jotka luovat paikallisia syövyttäviä ympäristöjä
- Korroosiolaboratoriokokeissa näytteet otetaan rautatangosta ja savesta, näytteistä, joita on inkuboitu putkissa 2, 6, 12 ja 18 kuukautta. DNA eristetään näytteistä jatkokäsittelyä varten
- Tulokset eivät vielä valmiit



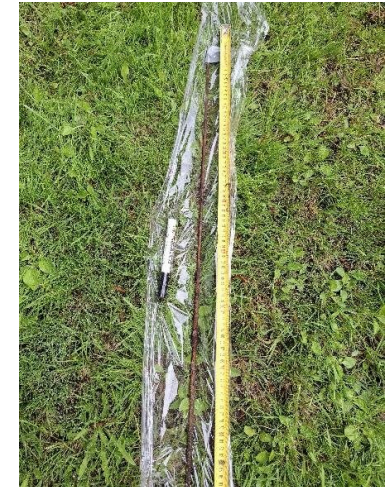
Korroosiokoealueet

- 4 koekenttää Oulun seudulla
- 9 kpl näytteitä per koekenttä
 - Betoni (2kpl)
 - Rauta (3+3 kpl) ja kuumasinkitty (1 kpl)



Korroosioalueet

- Jokaiselta koekentältä nostettu tankoja ylös (10/24 ja 6/25)
- Maassaolo aika noin 6kk ja 1 vuosi
- Osassa koekenttien tangoissa selvää syöpymää
- Laboratoriossa tarkempaa tarkastelua



Yhteenveto

- Laboratoriomenetelmä maaperän korroosion tutkimiseksi kehitetty
- Testitangon degradoituminen voidaan mitata (2-12kk mitattu)
- Maaperän kemiallisia ominaisuuksia mitattu
- Mikrobiologisia määrittäksiä tehty
- Korroosiomekanismien määrittäminen ja johtopäätökset maaperän vaikutuksesta korroosioon myöhemmin
- Maaperän rakeisuudella huomattava merkitys korroosioon (nopeus ja aggressiivisuus)

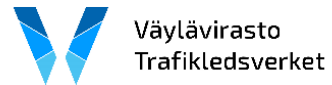


Seuraavaksi

- Tulokset lopuista aikapisteistä
- Maaperän ominaisuuksien, mikrobiologian ja tankomittausten tulosten käsittely ja yhteenveto
- Yksityiskohtaisemmat SEM/EDS-analyysit rautatangoista ja kerrostumista
- XRD-analyysit kerrostumista
- Verrataan laboratoriotuloksia kenttätestin tuloksiin



Kiitos



Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027