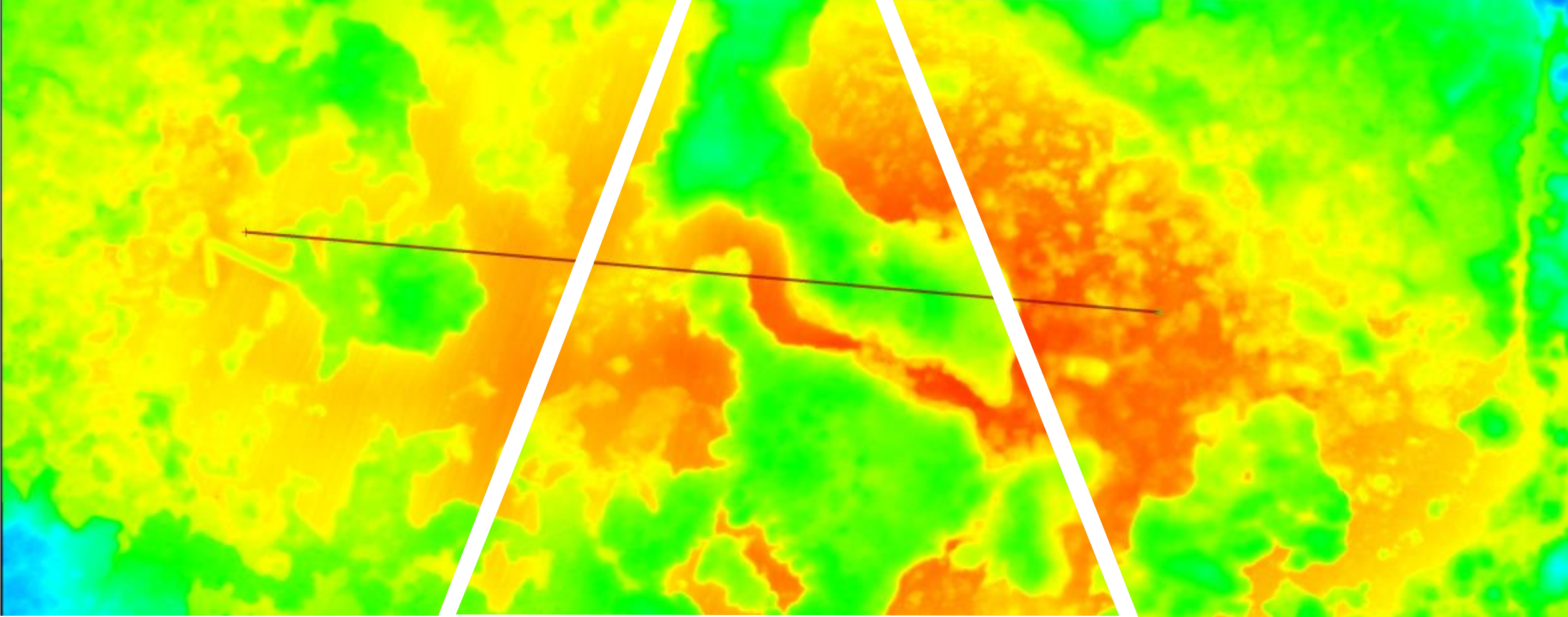




Siltapaalujen suolakorroosio –tutkimus

SSAB:n Teräspaalupäivä 2020

Veli-Matti Uotinen

23.1.2020

Sisältö

- Taustaa tutkimukselle ja tutkimuksen tavoite
- Tutkimustapa ja -vaiheet
- Tutkimuskohteet ja –tulokset
- Tulosten arviointia ja yhteenveto



Taustaa tutkimukselle – ohjeistus ja tavoite

NYKYINEN OHJEISTUS NCC17 (LO13/2017)

Talvihoitoluokkiin 1S (Ise ja Is) ja 1 kuuluvien teiden ja näitä teitä ylittävien siltojen paalujen oletetaan syöpyvän kokonaan tiesuolauksen vaikutusalueella. Suolan vaikutusalueen katsotaan ulottuvan vaakasuunnassa 12 m:n etäisyydelle suolattavan tien reunasta ja pystysuunnassa 2 m pysyvän pohjavesipinnan alapuolelle (mitoitusohje ollut voimassa vuodesta 2007).

Epärealistinen oletus...

TUTKIMUSTAVOITE

...mutta mikä on suolauksen todellinen vaikutus (lisäys?) teräspaalujen korroosioon?

Taustaa tutkimukselle – tiesuolaus

Talviajan liukkautta torjutaan teitä suolaamalla tai hiekoittamalla. Suolausmääriä (n. 80 000 – 100 000 t / vuosi) on pystytty pienentämään 1990-luvun huippuvuosista, mutta talvien erilaisuus näkyy käytetyn suolan määrissä, ilmastonmuutos (todennäköisesti) lisää liukkaudentorjuntatarvetta.



Tienpitäjät ihmeissään liukkaiden teiden kanssa: "Suolaa mennyt nelinkertainen määrä"

Tänä talvena maanteillä on käytetty suolausta ja hiekoitusta selkeästi normaalia enemmän. Nopeat lämpötilavaihtelut aiheuttavat päänvaivaa tienhoitajille.

Talvisää 14.1.2020 klo 18.30



Suolausmäärät:
n. 2 - n. 20 t/km vuosittain

Hoitoluokka Ise

(1523 km: 2 % tiepituudesta, 31 % liikenteestä, 28 % raskaasta liikenteestä)

Tie on pääosin paljas. Liukkaus pyritään aina torjumaan ennakkoon, mutta sään muutostilanteissa voi lievää liukkautta esiintyä. Myös pitkinä pakkaskausina, jolloin suolaus ei ole mahdollista, voi tien pinta olla osittain jäinen. Toimenpiteet ajoitetaan siten, että ne haittaavat mahdollisimman vähän liikennettä.

Hoitoluokka Is

(7484 km: 10 % tiepituudesta, 37 % liikenteestä, 42 % raskaasta liikenteestä)

Tie on pääosin paljas. Pyrkimyksenä on hyvä pito, mutta sään muutostilanteissa voi lievää liukkautta esiintyä. Keski- ja Pohjois-Suomessa sekä maan eteläosassa kylminä ajanjaksoina tiellä voi olla jonkin verran pitkittäisiä ohuita polannekaistoja, jotka eivät erityisesti vaikuta ajamiseen. Polanne tarkoittaa pakkautunutta lumi- tai jääharjannetta tiessä. Pitkinä pakkaskausina, jolloin suolaus ei ole mahdollista, voi tien pinta olla osittain jäinen. Liukkaus torjutaan pääsääntöisesti ennakoivilla toimenpiteillä.

Hoitoluokka I

(519 km: 1 % tiepituudesta, 2 % liikenteestä, 2 % raskaasta liikenteestä)

Tie on suurimman osan ajasta paljas. Pyrkimyksenä on hyvä pito, mutta sään muutostilanteissa voi lievää liukkautta esiintyä. Matalia kapeita polannekaistoja ajokaistojen ja ajourien välissä voi ajoittain esiintyä. Pitkinä pakkaskausina, jolloin suolaus ei ole mahdollista, voi tien pinta olla osittain jäinen. Liukkauden ongelmatilanteet pyritään estämään ennakoivasti liukkauden torjunnalla.

Taustaa tutkimukselle – tiesuolauksen vaikutus pohjaveteen

Suomessa pohjaveden keskimääräinen kloridipitoisuus 17 mg/l

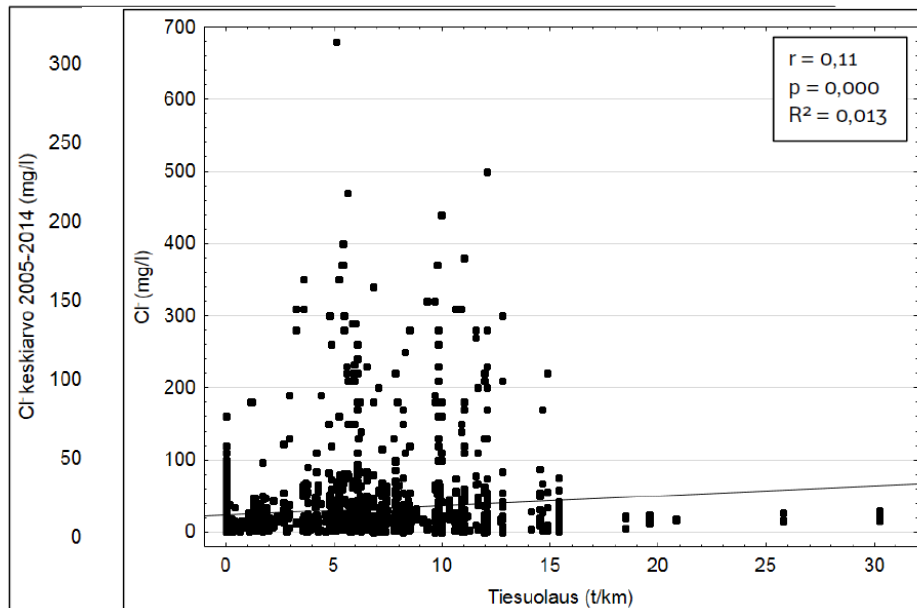
Vertailun vuoksi:

Itämeressä kloridipitoisuus <4000 mg/l
Valtamerissä keskimäärin 19000 mg/l

Tienpidossa seurataan valtakunnallisesti pohjaveden kloridipitoisuutta yhteistyössä ympäristöhallinnon kanssa. Seurantapisteitä on noin 230, ja näytteitä otetaan 2-4 kertaa vuodessa.

LTS11/2015: I Salpausselän pohjaveden kloridipitoisuuden muutokset ja niihin vaikuttavia tekijöitä (1955-2014)

Tutkimuksen yksittäisten pohjavesinäytteiden kloridipitoisuus vaihtelee 0,4–700 mg/l. Koko aineistossa pohjaveden kloridipitoisuuksien keskiarvo on 27,7 mg/l ja mediaani 14,0 mg/l. Kloridin ympäristölaatunormi (25 mg/l) ja terveysviranomaisten asettama suositusarvo talousvedelle (25 mg/l) on ylittynyt yli 26 %:ssa alueen kloridipitoisuushavainnoissa. Terveysviranomaisten asettama suositusarvo (100 mg/l) pienille talousvesiyksiköille ylittyy 5 %:ssa havainnoista. **Tutkimusaineiston havaintopisteistä 49 %:ssa kloridipitoisuustrendi on nouseva tai voimakkaasti nouseva ja 40 %:ssa laskeva tai voimakkaasti laskeva tarkasteltaessa koko seurantahistoriaa.**



Kuva 15

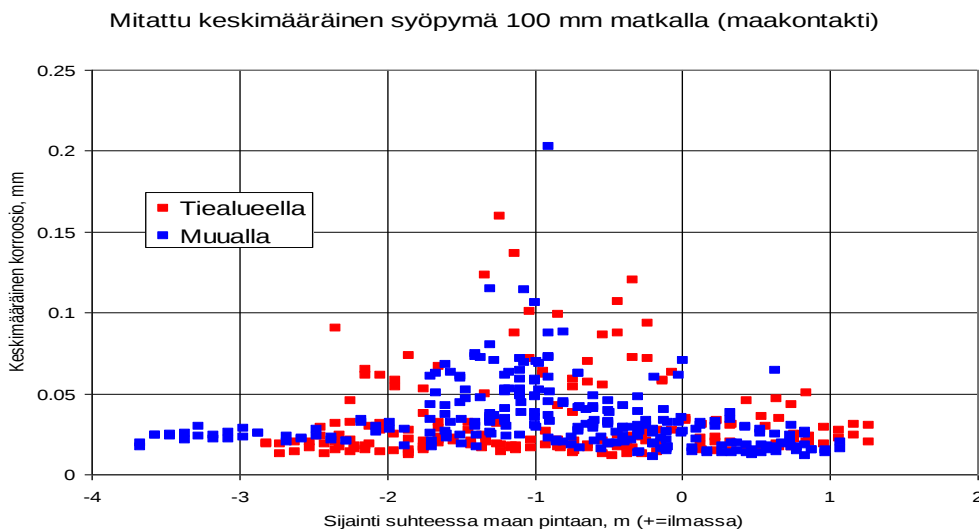
Kuva 16.

Tiesuolauksen vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin saman talvikauden aikana vuosina 2005–2014. $n = 1866$.

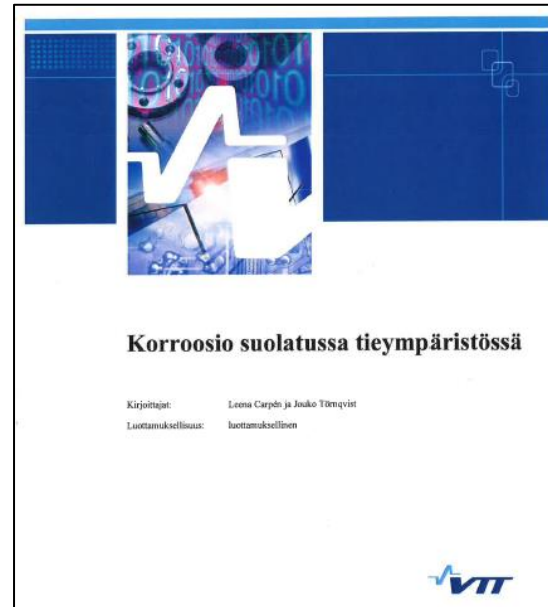
Taustaa tutkimukselle – aiempia selvityksiä

VTT 2002 korroosiotutkimus

- 8 kohdetta, joista kolme tien vieressä (ei suolausrajoitusta)
- Teräsputkien/-tankojen ikä tutkimushetkellä 8-18 vuotta



VTT 2012 kirjallisuusselvitys (Tilaaajat Liikennevirasto ja Ruukki)



- Ei löytynyt suoraa tietoa tai kirjallisuusviitteitä kloridien ja erityisesti tiesuolauksen vaikutuksesta teräsraudoituksen korroosioon
- Yleisesti tunnustetaan liukoisten suolojen (kloridit ja sulfaatit) olevan haitallisia: pienentävät ominaisvastusta ja vaikuttavat metallin pinnalla tapahtuviin sähkökemiallisiin reaktioihin, lisäksi kloridit edistävät suojavan korroosiotuotekerroksen rikkoutumista
- Kloridipitoisuus ei yksin määrää korroosionopeutta
- Johtopäätöksenä: tarvitaan maasto- ja laboriotutkimuksia



Tutkimustapa –ja vaiheet

-
- A Hitachi excavator is shown in the process of clearing a road construction site. The machine is orange and black, with 'HITACHI' clearly visible on its side. It is positioned on a pile of dark, jagged rocks and debris. To the right of the excavator, there is a white plastic safety fence. Further right, a large orange pillar stands next to a metal guardrail. The guardrail is lined with red and yellow striped safety bollards. In the background, a paved road stretches into the distance, flanked by green grass and trees under a cloudy sky. A red generator is visible on the ground near the excavator.

Tutkimustapa ja -vaiheet

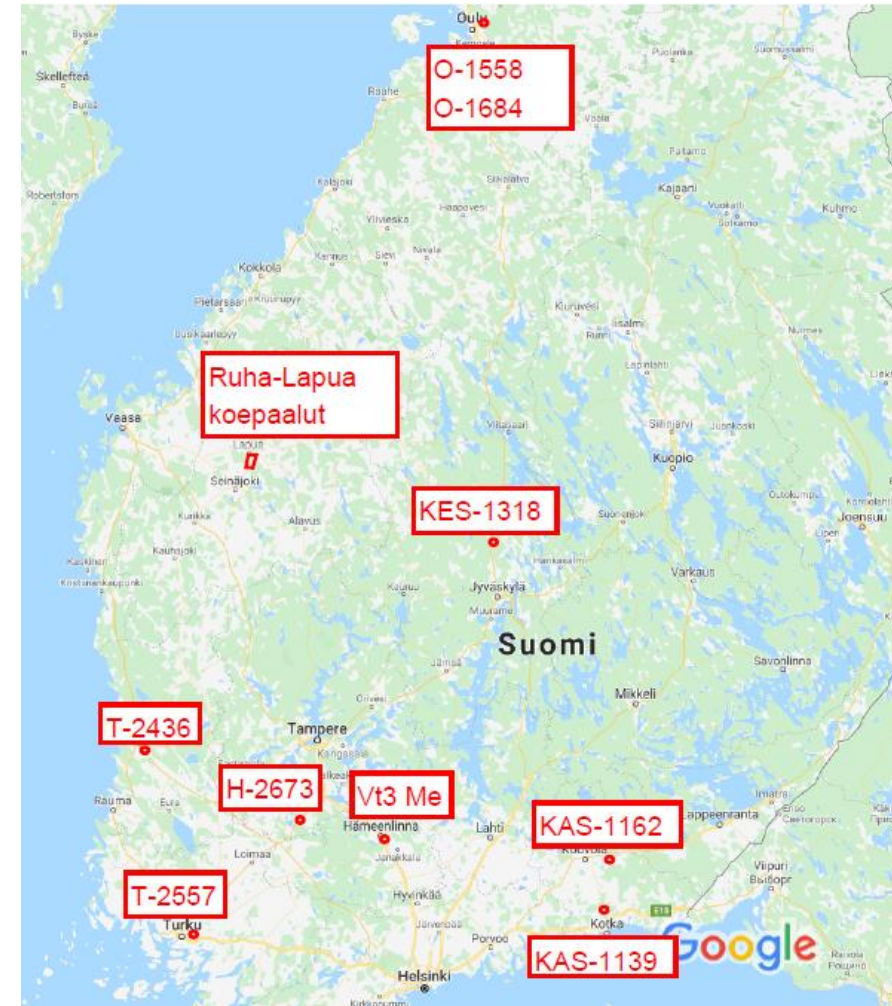
4. Ultraäänimittaukset (ensin kalibrointi) ja 3. ensimmäistä kohteesta irrotettiin paalusta suikale, minkä ainevahvuus mitattiin mikrometrillä ja optisella profilometrillä -> todettiin ultraäänimittaus riittävän tarkaksi
5. Paalujen pinnasta raaputettiin korroosiotuotetta, joista määritettiin EDS-analyysillä klooripitoisuus.
6. Koekuopista otettiin maanäytteitä ja pohjavesinäytteitä
7. Selvitettiin kohteiden suolaustietoja
8. Lisätöinä Ruha-Lapua ratakohteiden, noin 5 vuotta maassa olleiden koepaalujen tutkimukset
9. Raportointi



Tutkimuskohteet ja tutkimustulokset

Tutkimuskohteet

- 7 siltapaikkaa (8 siltaa) ja yksi meluestekohde
- Teräspaalut maassa 9 - 24 vuotta
- 2 kohdetta, missä ei suolausta (ratasillat)
- 6 kohteessa tutkimukset ovat pohjavedenpinnan vaihtelualueella, 3 kohdetta kokonaan pohjavesipinnan yläpuolella
- Paalujen yläpäätkä kaikissa tapauksissa täyttömaakerroksessa, pohjamaat vaihtelivat hiekasta lihavaan saveen
- Suolaus (ja suolaamattomuus) näkyi selkeästi vesinäytteiden kloridipitoisuuden ja sähkönjohtavuuden arvoissa

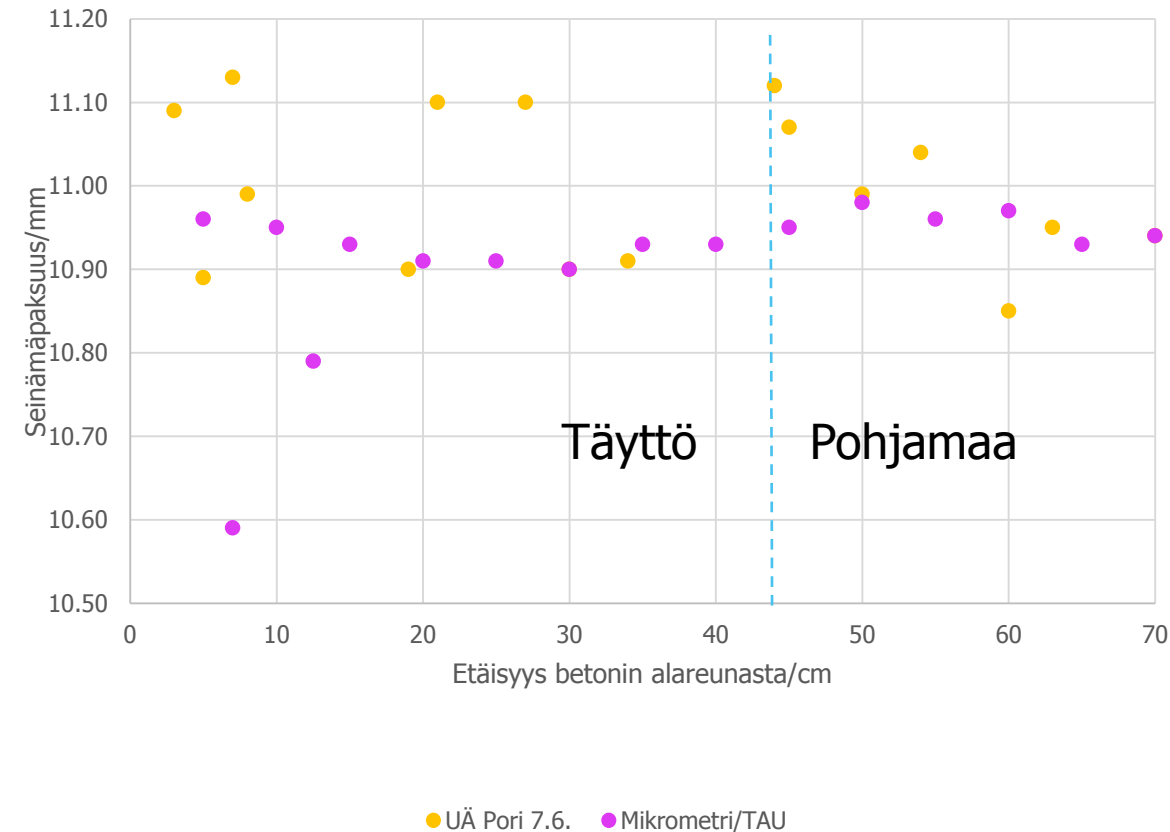


Tutkimuskohteet

Kohde	T-2436	H-2673	T-2557	Kes-1318	KAS-1139	KAS-1162	O-1558	O-1684	Vt3 Melueste
Rakennusvuosi	2001	2006	2007	2010	1997	2003	1995	2008	1995
Ikä (a)	18	13	12	9	22	16	24	11	24
Sillan kuvaus	Vt11 risteysilta Porin kaupungin kadun yli	risteysilta, Vt9 alittaa Mt230:n	risteysilta, Kt40 alittaa Pt12275:n	risteysilta, Vt4 ylittää Kt69:n	Radan ylikulkusilta,	Radan ylikulkusilta	Vesistösilta	Vesistösilta	Melueste, noin 5 metrin etäisyydellä Vt3
Pohjasuhteet (paalun yläpäästä)	0,45 m täyttö srHk, perusmaa saSi, GW 0.9 m	0,45 m täyttö hkSr, perusmaa laSa, GW 1.2m	0.15m täyttö KaM, perusmaa liSa,	Täyttö saSi, KaM, hHk, pohjavesisuojaus (puutteellinen), pohjamaa (0.45 m -->) hHk. Ei vettä	Sr, Hk, pohjavesi lähellä paalun yläpäästä	0.65 m täyttö KaM ja Hk, pohjamaa hHk. Ei vettä. Yp:n mukaan vesipinta lähellä kuopan pohjaa.	täyttö keHk, perustamaa siHk (mahd. rikkiä, ei tutkittu). Vesi n. 0.5 m	täyttö keHk, perustamaa siHk Vesi n. 0.5 m	täyttömaa (penger) huHk ja hHk
Suolaus	Ylimenevä tie (Is) 6.8t/km. H Alimenevä katu: satunnaista	Vt9 (Is) välittömässä läheisyydessä olevat rampit 7 t/km Mt230 (Ib)	Kt40 (Is) 6t/km. Pt12275 (Ib)	Vt4 (Ise) 5.5 t/km, Kt69 (Is)	EI	Ei	Vt 20 (Ise) 20 t/km	Vt 20 (Ise) 20 t/km	Vt3 (Ise) 12.8 t/km
Vesinäytteen kloridipitoisuus (mg/l)	330	110	220	-	7,5	-	720	450	-
Paalu	762/11.1	813/12.2	813/12.5	914/14.2	610/12.5	914/12.5	762/16	711/12.5	193/6,3
Tarkka ainevahvuus [mm]	?	?	?	?	?	?	?	11.88 - 11.96	?

Tutkimustuloksia Pori T-2436

Pori 7.6.2019



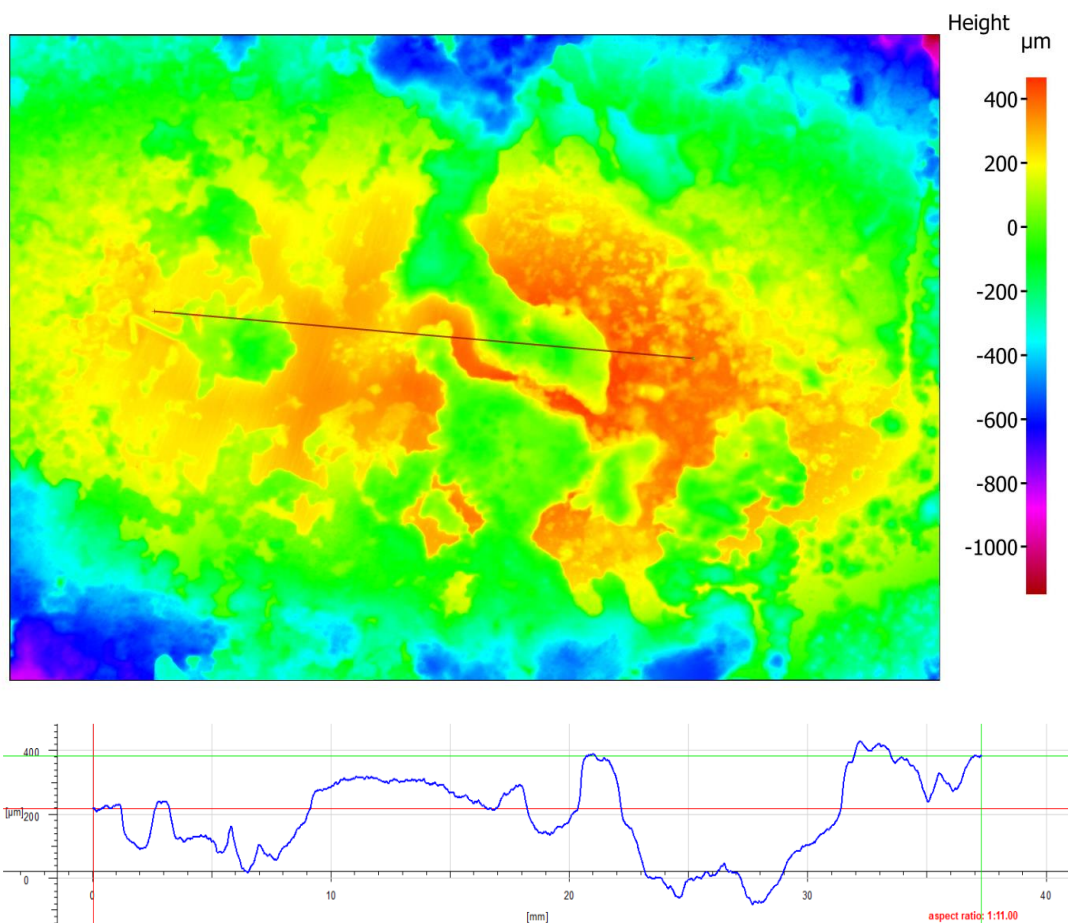
- Tutkimuksen perusteella mahdollisesti eniten korroosiota
- Täytössä mikrometrimittausten perusteella keskim. n. 80µm suurempi syöpymä (~ 0.45mm 100 vuodessa)
- Syvin yksittäinen kuoppa ~ 0.5 mm (18 vuodessa)
- Olettaen (varmalla puolella oleva oletus), että alunperin ainevahvuus 11.1mm, keskimääräinen korroosio 100 vuodessa:
 - 1.3mm täytössä ja 0.85 mm pohjamaassa ja yksittäisessä kuopassa 100 vuodessa
 - 2,8 mm



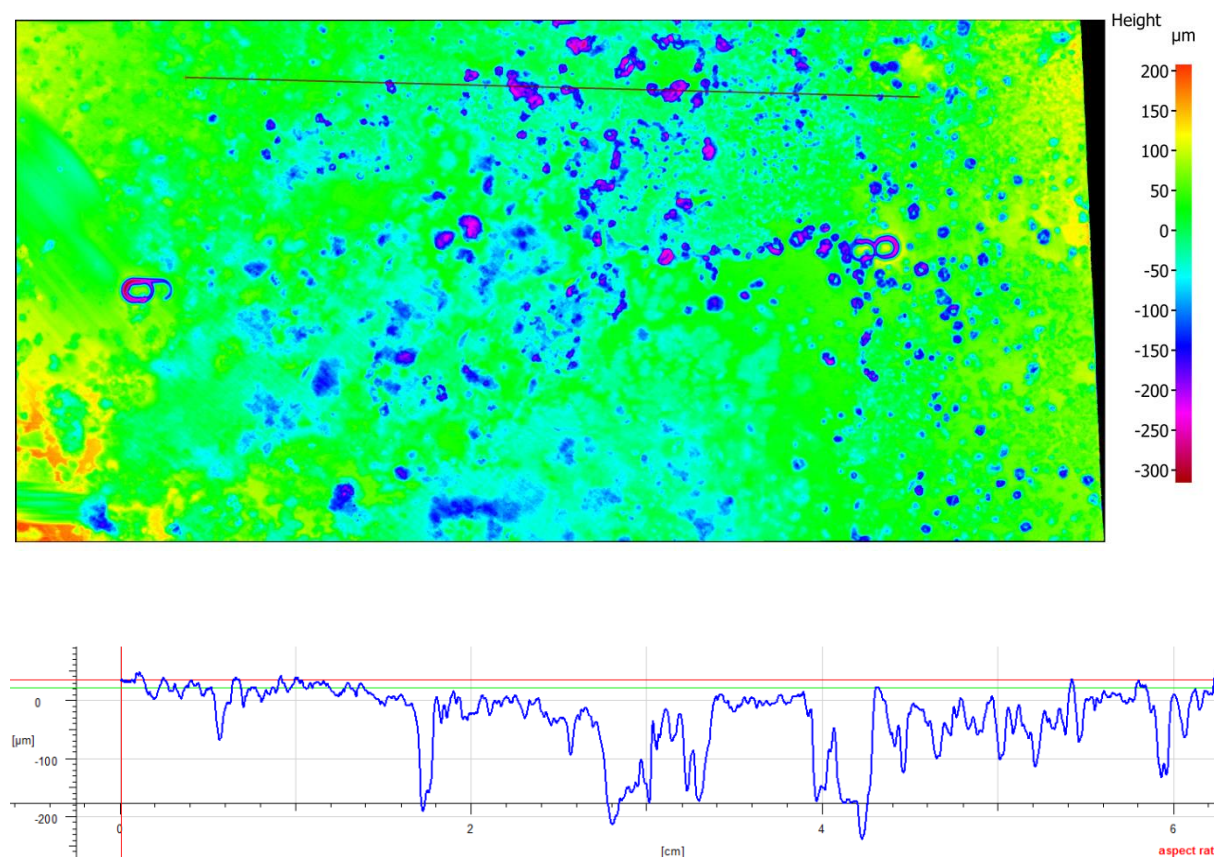
pH (<6.5)	7.13
Sähkönjohtavuus (>50)	150 mS/m
Kloridi (>25)	330 mg/l
Sulfaatti (>250)	53 mg/l

Tutkimustuloksia - profilometrimittaus

PORI T-2436



URJALA H-2673



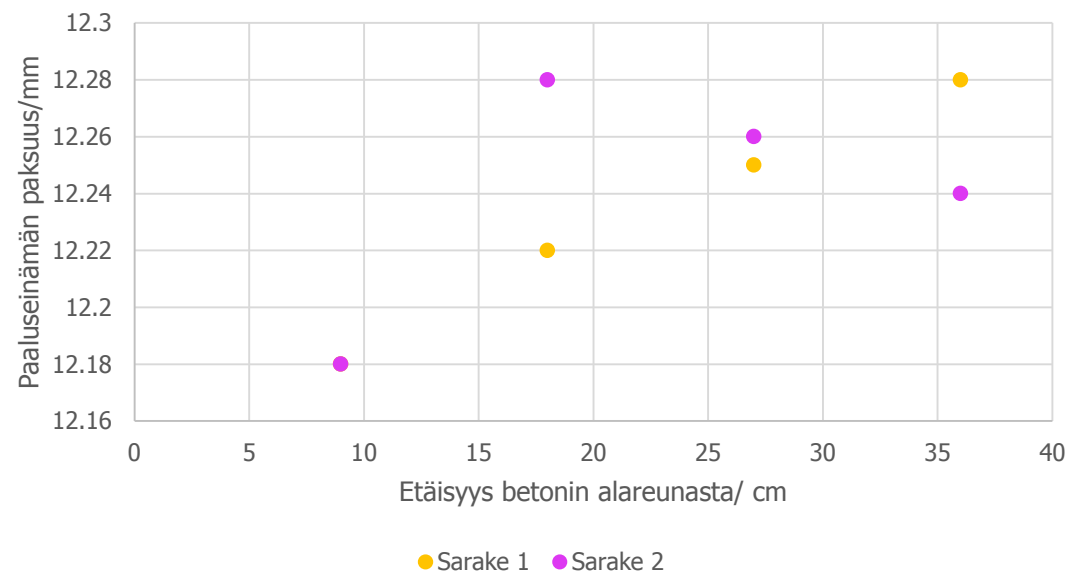
Tutkimustuloksia

Suolaamattomat referenssikohteet

KOTKA KAS-1139 (22 v)



Kotka Juurikorpi 14.8.2019 Eteläinen



pH (<6.5)	6.4
Sähkönjohtavuus (>50)	131 mS/m
Kloridi (>25)	7.5 mg/l
Sulfaatti (>250)	12.1 mg/l

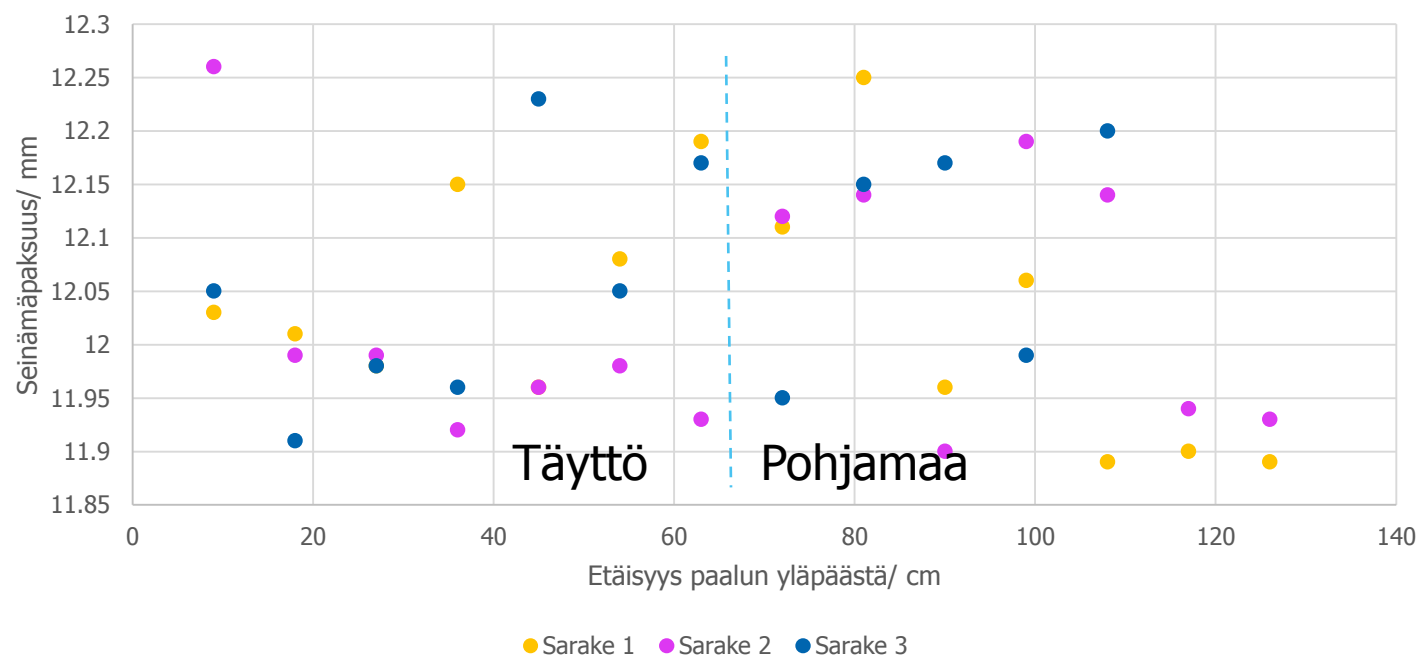
Tutkimustuloksia

Suolaamattomat referenssikohteet

UTTI KAS-1162 (16 v)

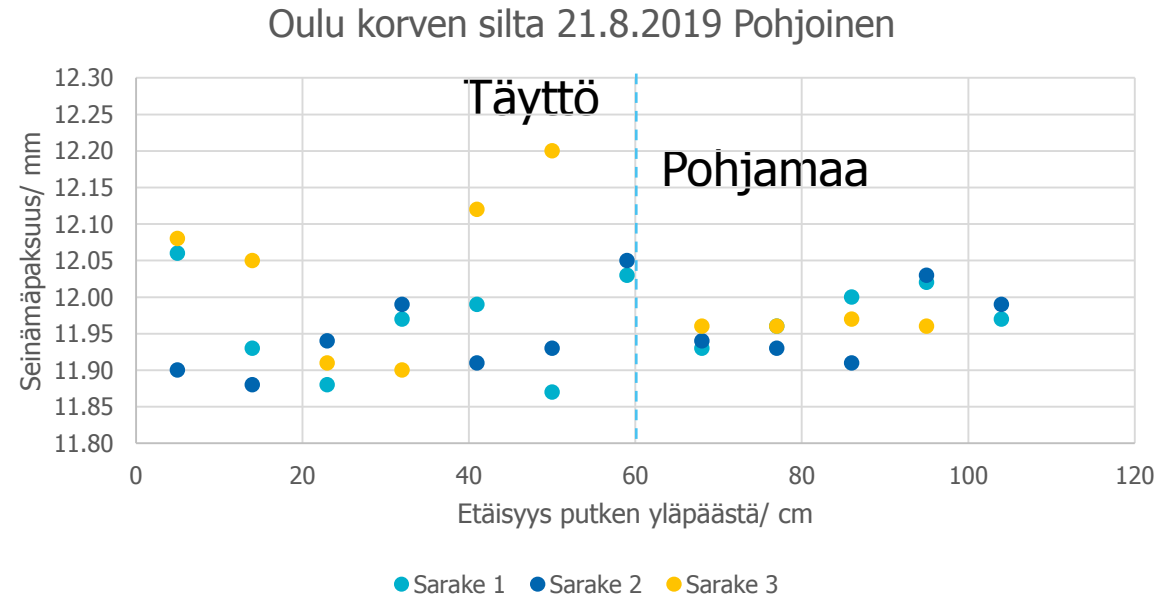


Utti Ylikulkusilta 16.8.2019



Tutkimustuloksia Oulu O-1674

OULU KORVEN SILTA POHJ. O-1674 (11 v)

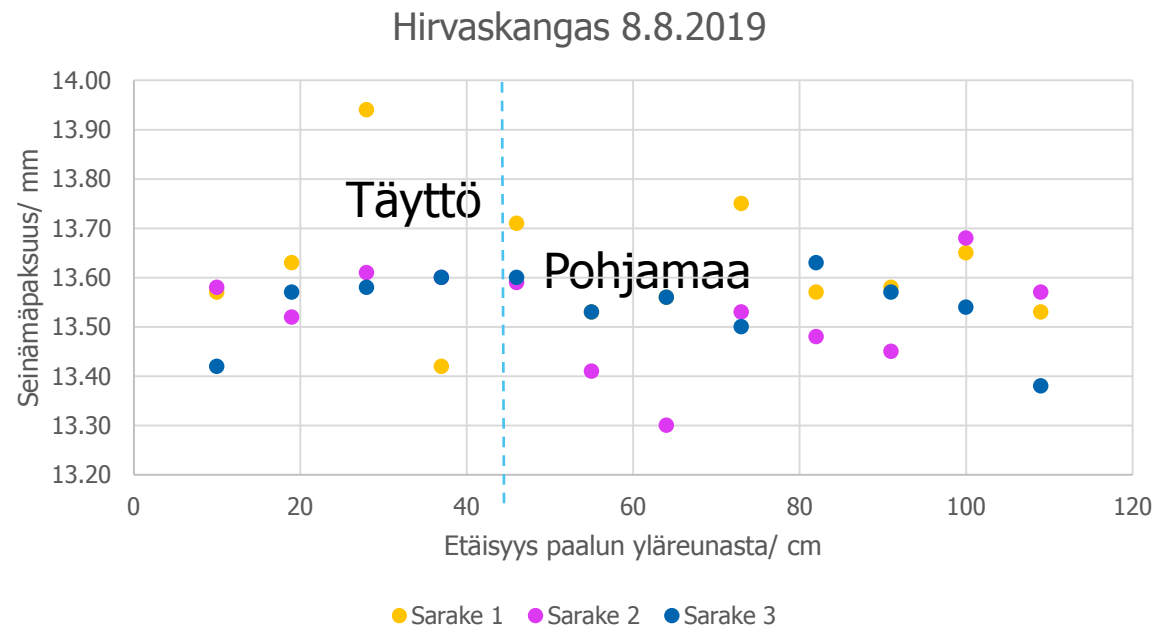


Valssaustietojen perusteella
 paaluputken alkuperäinen
 seinämävahvuus 11.91...11.92 mm !
 → Korroosio hyvin vähäistä (max.
 0.1mm)

pH (<6.5)	6.4
Sähkönjohtavuus (>50)	210 mS/m
Kloridi (>25)	450 mg/l
Sulfaatti (>250)	150 mg/l

Tutkimustuloksia Hirvaskangas KES-1318

HIRVASKANGAS KES-1318



Huomionarvoista:

- Sillan yleispiirustuksessa ei mainintaa pohjaveden suojauksesta
- Pohjaveden suojaus oli tehty puutteellisesti
- Maalin alta mitattu ainevahvuus noin 13.56 mm, nimellisivahvuus 14.2mm (hyvin lähellä putken massatolenssin alarajaa)
- Hirvaskankaan kohteessa suurin korroosiotuotteen kloridipitoisuus EDS-analyysin perusteella 0.7 p-%

Tulosten arviointia ja yhteenveto

Arviointia

- Todellista korroosion suuruutta ei pystytty varmuudella määrittämään
 - Suurin epävarmuus alkuperäinen ainevahvuus ja sen mahdolliset vaihtelut
 - Ultraäänimittauksen tarkkuus varsin hyvä ($\sim 0.05\ldots 0.15$ mm), UÄ-mittaustuloksissa kuitenkin enemmän vaihtelua mm. pinnan lian ja/tai hiomisen määrän vaikutusten takia kuin mikrometrimittauksissa
 - Osassa kohteita ei ulotuttu pv-pinnan vaihteluvyöhykkeelle
- Suurimmat arvioidut yksittäiset syöpymät havaittiin Porissa ja Vt3 meluesteessä Hämeenlinnassa. Suurimpien (kuoppa)korroosion suuruusluokka näissä noin 0.2 – 0.5 mm, mitkä vastaavat max 2.5 - 3 mm/100 vuoden syöpymää (hyvin varmalla puolella oleva arvo tulosten perusteella)
- Tasainen korroosio yleisesti ottaen tutkituissa paaluissa hyvin vähäistä, todennäköisesti suuruusluokkaa 0.5 – 1.5 mm / 100 vuotta

Arviointia ja johtopäätöksiä

- Tulosten perusteella ei havaittu eroa suolaamattomien ja suolattujen kohteen korroosiossa, mutta
- Tulosten yleistettävyys on haasteellista, koska tutkittuja kohteita oli varsin rajallinen joukko (eikä yhtään varsinaista vertailuparia) ja muuttujia / epävarmuuksia mm.:
 - Tutkittiinko kohteita missä suolarasitus paalujen kannalta pahin mahdollinen?
 - Kloridien kulkeutuminen maakerrokseen ja pohjaveteen
 - Pohjavedenpinnan todellinen vaihtelualue?
 - Pohjamaan ja täyttökerrosten muiden kemiallisten ominaisuuksien vaikutus ?
- **Ainakin voidaan päätellä, että teräs ei syövy Ise, Is ja I talvihoitoluokan suolausmäärillä kokonaan ja ohjeistusta voidaan tämän suhteen järkevöittää – voidaan myös todeta, että teräspaaluissa on enemmän rakenteellista kestävyyttä kuin suunniteltu, mikä on hyvä asia siltojen elinkaaren kannalta**



VÄYLÄ