



# Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kuparikapselin eri korroosiomuotoihin

Pauliina Rajala • Leena Carpén • Malin Bomberg  
VTT Technical Research Centre of Finland

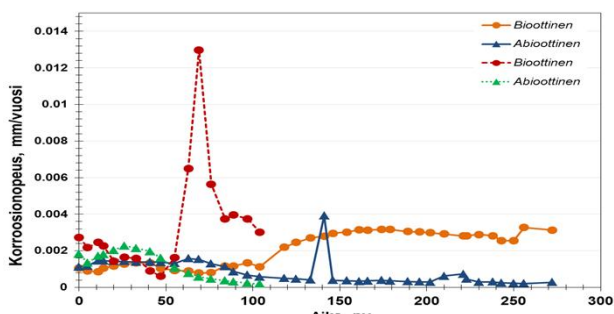
## Tausta

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus perustuu moninkertaisten vapautumisesteiden käyttämiseen. **Vapautumisesteitä** ovat polttoaineen olomuoto, loppusijoituskapseli, bentoniittipuskuri, tunneleiden täyte sekä ympäröivä kallio. Näistä vapautumisesteistä loppusijoituskapseli muodostaa merkittävän osan. **Loppusijoituskapselit** sijoitetaan loppusijoitustunneleihin porattuihin reikiin n. 420 m:n syvyyteen ja ympäröidään bentoniittisavella.

Kuparikapselin vaurioitumismekanismeja simuloivia korroosiokeiteita ei ainakaan Suomessa ole tehty mikrobien läsnä ollessa. Suuri osa tehdyistä korroosiokeiteistä on keskittynyt **jännityskorroosion** tutkimiseen, koska sitä on pidetty tehtyjen mallien mukaan suurimpana korroosioriskinä kuparin loppusijoitusolosuhteissa ja ns. **yleisen korroosion** ja **pistekorroosion** tutkimukset ovat jääneet vähemmälle. Kuitenkin **mikrobiologinen toiminta** voi kiihdyttää näitä molempia korroosiomuotoja merkittävästi sen lisäksi, että mikrobien aineen-vaihdutustuotteet voivat aiheuttaa kuparin jännityskorroosiot. Mikrobiologisen korroosion kannalta oleellista on nimenomaan pinnoille tarttuneiden mikrobien aktiivisuus ja niiden pinnoille muodostamien biofilmin ominaisuudet. **Biofilmin** alle voi muodostua olosuhteet, jotka nopeuttavat kuparin korroosiot paikallisesti. Paitsi suoraan kuparin pinnoille tarttuneet mikrobit myös bentoniitti-kerroksessa tai sen läheisyydessä tapahtuvat mikrobiologiset toiminnot, jotka tuottavat kuparille **korroosiot aiheuttavia ainesosasia**, kuten asetaattia, typpiyhdisteitä tai sulfidia, voivat kiihdyttää kuparin korroosiot.

Kuparin korroosion kannalta aggressiivisten osaslaajien esiintymistä loppusijoitustilassa on pyritty ennustamaan ns. mikrobimallilla (**CCM-MIC**). Mallia ei kuitenkaan ole aiemmin testattu eikä varmennettu kokeellisesti. Kun otetaan huomioon mikrobien toiminnan ymmärtämiseen yleisesti liittyvät epävarmuudet, on ko. mallin verifiointi varsin tarpeellista.

Tässä projektissa saavutettuja tuloksia hyödynnetään kuparin pitkäaikaiskestävyyspinoalueella arvioitaessa korroosionopeuksia ja korroosiovaikutusten arvioimiseksi tehtyjen mallien oikeellisuutta.



Kuva 1. Kuparin korroosionopeus sähkökemiallisilla menetelmillä määritettynä

## Tavoitteet

- 1 Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen
- 2 Arvioida mikrobimallin (CCM-MIC) luotettavuutta
- 3 Kuparin mikrobiologinen korroosio
- 4 Kuparin pinnalle tarttuvat mikrobit ja biofilmin ominaisuudet

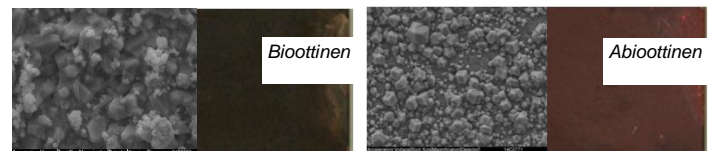
## Contacts

Leena Carpén      Pauliina Rajala      Malin Bomberg  
Tel. +358 20 722 5421      Tel. +358 20 722 5541      Tel. +358 20 722 6147  
leena.carpén@vtt.fi      pauliina.rajala@vtt.fi      malin.bomberg@vtt.fi

## Tulokset

Vaikkeen tavoitteena oli arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimeriaalin korroosioikäyttäytymiseen **Suomen loppusijoitusolosuhteissa**. Projektissa suunniteltiin ja rakennettiin koejärjestelyt, joiden avulla voidaan tutkia kuparin mikrobiologista korroosiot laboratorio-olosuhteissa ja jotka mahdollistavat sähkökemiallisen online-seurannan. Koejärjestely rakennettiin niin, että olosuhteet vastaavat mahdollisimman tarkasti loppusijoitusolosuhteita. Bioottisissa olosuhteissa bakteerit olivat tarttuneet kuparin pinnalle muodostaen biofilmin. Näissä bioottisissa olosuhteissa kuparin korroosionopeudet sähkökemiallisilla menetelmillä arvioituina olivat säännönmukaisesti korkeammat kuin abioottisissa olosuhteissa (Kuva 1). Redox-mittausten perusteella bioottisissa olosuhteissa vallitsivat pelkistävät olosuhteet, kun taas abioottisissa olosuhteissa redox-lukemat viittasivat lievästi hapettaviin olosuhteisiin. Kokeen jälkeen bioottisissa olosuhteissa altistettujen näytteiden pinnalla oli havaittavissa **sauvamaisia bakteereja** ja **rautasulfidia**, FeS (Kuva 2). Abioottisissa olosuhteissa kuparipinnat olivat hapettuneet kupari(I)oksidiksi, Cu<sub>2</sub>O (Kuva 2).

CMM-MIC mallin kokeelliseksi arvioimiseksi mikrobien typpimetabolialla loppusijoitusolosuhteissa kartoitettiin opinnäytetyössä. Typpiyhdisteet, **ammonium** ja **nitraatti**, selkeästi lisäsivät **mikrobien kasvua**, ja että nämä yhdisteet voivat olla pohjavedessä mikrobi-yhteisöjen kasvua rajoittava tekijä.



Kuva 2. Kuparin pinta mikrobien läsnäollessa ja ilma mikrobeja.

## Yhteenveto

Laboratorijärjestelyt ja mikrobien rikastaminen ja siirrostaminen onnistuivat. Bioottisissa olosuhteissa bakteerit olivat tarttuneet kuparin pinnalle muodostaen biofilmin. Näissä bioottisissa olosuhteissa kuparin korroosionopeudet sähkökemiallisilla menetelmillä arvioituina olivat korkeammat kuin abioottisissa olosuhteissa. Pohjaveden mikrobit pystyvät tuottamaan useita jännityskorroosiot kuparille aiheuttavia ainesosasia.

## Julkaisut

- L. Carpén, P. Rajala, M. Raunio, E. Huttunen-Saarivirta, M. Bomberg. 2015. Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kuparikapselin eri korroosiomuotoihin – Loppuraportti 2013-2014 VTT-R-00856-15.
- L. Carpén, P. Rajala, M. Bomberg. 2014. Corrosion of copper in anaerobic groundwater in the presence of sulphate reducing bacteria. 19th International Corrosion Congress, Jeju, Korea.
- P. Rajala 2014. Review: Microbial influence on stress corrosion cracking in geological repository.
- H. Kutvonen. 2014. Typenkiertoon osallistuvat bakteerit Olkiluodon pohjavedessä matala-ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoitusympäristössä, Pro Gradu, Helsingin Yliopisto, MMTDK.
- L. Carpén, P. Rajala, H. Kutvonen, M. Bomberg. 2014. Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kuparikapselin eri korroosiomuotoihin – Vuosiraportti 2013 VTT-R-00999-14.

**Kiitokset:** KYT2014 ja VTT