

KYT2014

KANSALLINEN YDINJÄTEHUOLLON
TUTKIMUSOHJELMA
2011-2014

Vuosikatsaus
2013

Kari Rasilainen

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
1. Johdanto	4
2. Tutkimusohjelman tavoitteet	5
3. Tutkimushankkeet vuonna 2013	6
3.1 Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat	8
3.2 Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus	9
3.2.1 Turvallisuusperustelu	10
3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky	10
3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys	12
3.2.4 Muut turvallisuustutkimukset	14
3.3 Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus	18
Viitteet	19
Liite 1 KYT2014 hankekohtaiset vuosiyhteenvedot 2013	20
Liite 2 KYT2014 julkaisut ja opinnäytteet 2013	69
Liite 3 KYT2014 organisaatio 2013	77
Liite 4 KYT2014 hankeseuranta 2013	79

ESIPUHE

Tämä on Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT2014) sisällöllinen vuosikatsaus vuodelta 2013. Vuosikatsauksessa kuvataan lyhyesti tutkimusohjelman saavuttamia tutkimustuloksia hankepäälliköiden raportoimien hankekohtaisten tulosten perusteella.

Vuosikatsauksessa käsitellään rahoituskysymyksiä vain yleisellä tasolla. KYT2014-ohjelman tärkein yksittäinen rahoittajataho on valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR). Tutkimusta tekevät organisaatiot ovat ohjanneet hankkeisiinsa usein myös omaa rahoitustaan.

Vuosikatsaus on tutkimusohjelman koordinaattorin kokoama, mutta siten, että Liitteen 1 hankekohtaiset vuosiyhteenvedot ovat yksittäisten tutkimushankkeiden vastuuhenkilöiden laatimia. Liitteessä 2 esitetty luettelo tutkimusohjelman piirissä tuotetuista julkaisuista ja opinnäytteistä on koordinaattorin kokoama hankekohtaisten vuosiyhteenvetojen pohjalta.

1 Johdanto

Suomen lainsäädäntö edellyttää, että ydinjätehuoltovelvolliset vastaavat tuottamiensa jätteiden huollon suunnittelusta, toteutuksesta ja kustannuksista mukaan lukien tutkimus- ja kehitystyö. Teollisuuden Voiman ja Fortumin yhdessä omistamalla Posiva Oy:llä on Suomen laajin ydinjätehuollon tutkimus- ja kehitystyön ohjelma.

Säteilyturvakeskuksessa ydinjätehuollon valvonnan tekninen tukiohjelma liittyy suoraan sen viranomaisvalvontaan. Työ- ja elinkeinoministeriöllä (TEM) on kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT), jonka tarkoituksena on tuottaa asiantuntijaosaamista viranomaisten käyttöön.

Ydinjätehuollon toimintaympäristössä tapahtuu tutkimusohjelmakaudella 2011–2014 merkittäviä muutoksia sekä Suomessa että ulkomailla. Posiva Oy jätti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen valtioneuvostolle 28.12.2012. Säteilyturvakeskus arvioi rakentamislupahakemuksen turvallisuusperustelun vuosina 2013-2014. Suomessa on uusi ydinenergian ja ydinjätehuollon toimija, Fennovoima Oy.

Tutkimusohjelmakauteen ajoittuu myös useita muita ydinjätehuoltoon suoraan ja välillisesti liittyviä päätöksentekomenettelyjä. Ohjelmakauden aikana on ollut tarkoitus ottaa nyt rakenteilla oleva ydinvoimalaitosyksikkö (Olkiluoto 3) käyttöön, mutta rakentamisaikataulu venyy ohjelmakauden yli. Otaniemen tutkimusreaktorin (FiR1) käyttöluva uusittiin v. 2011 vuoden 2023 loppuun asti. VTT päätti 2012 sulkea tutkimusreaktorin ja sen seurauksena on käynnistetty reaktorin käytöstäpoist selvitykset ja YVA-menettely on parhaillaan käynnissä. VTT on käynnistänyt uusien ydintekniikan tilojen ja niihin liittyvien laitteistojen rakentamisen Otaniemeen. Uudet tilat edistävät myös ydinjätehuollon ja radiokemian tutkimuksia.

Ruotsissa on menossa käytetyn ydinpolttoaineen kapselointilaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittely, jonka loppuun saattaminen menee KYT2014 ohjelmakauden yli. Hakemus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilojen rakentamislupaa varten jätettiin viranomaisille vuoden 2011 maaliskuussa. USA:ssa nk. Blue Ribbon -komitea raportoi (BRC 2012) vaihtoehtoja Yucca Mountainiin kaavaillulle geologiselle loppusijoitukselle, josta luovuttiin v. 2010 poliittisella päätöksellä. Blue Ribbon -komiteoiden työn pohjalta on USA:ssa 2013 muotoiltu päivitetty ydinjätehuollon strategia (DOE 2013).

EU:n ydinenergia- ja ydinjätetutkimusta tehdään ns. Euratom-puiteohjelmien piirissä. Parhaillaan on menossa EU:n HORIZON2020 ohjelma, jota täydentää Euratomin työohjelma vuosille 2014-2015. Vuonna 2009 perustettiin teknologiayhteisö IGD-TP (Implementing Geological Disposal - Technology Platform), jonka tarkoituksena on koordinoita merkittävältä osin Euratomin piirissä tehtävää ydinjätehuollon tutkimusta. Suomesta IGD-TP:hen osallistuvat toistaiseksi Posiva ja joitain muita ydinjätealalla toimivia organisaatioita.

KYT2014-ohjelmalle toteutettiin kansinvälinen arviointi vuonna 2012 (Apted et al. 2013). Yleisinä johtopäätöksinä todettiin, että KYT2010-ohjelman kv. arvioinnin (Apted et al. 2008) suositukset on otettu huomioon KYT2014-ohjelman suunnittelussa. Tutkimusohjelman organisointia on kehitetty, esimerkkinä mainittiin koordinoitua hankkeita. KYT-ohjelman piirissä käynnistettyä Kansallista ydinjätehuollon kurssia (YJH) pidettiin onnistuneena ja koulutuksen kehittämistä kiiteltiin. Tutkimusohjelman tuloksista todettiin, että ne ovat suhteessa käytettävissä olevaan rahoitukseen. Tutkimusohjelmaan on pystytty sisällyttämään uusia tutkimusaihepiirejä. Arvioitsijat esittivät runsaasti suosituksia tutkimusohjelman kehittämiseksi. Johtoryhmä on perehtynyt arvioitsijoiden suosituksiin ja ottanut niitä huomioon mahdollisuuksien mukaan jo vuonna 2014. Arviointiryhmän suosituksia hyödynnetään erityisesti KYT2014 ohjelman seuraavan KYT2018-ohjelman suunnittelussa, joka on parhaillaan käynnissä.

2. Tutkimusohjelman tavoitteet

KYT2014-tutkimusohjelman lähtökohdat perustuvat ydinenergialakiin (990/1987), jonka mukaan tutkimustoiminnan tavoitteena on ”*varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailuun*” (53 b § (19.12.2003/1131)).

Tutkimusohjelman sisältö muodostuu kansallisen osaamisen kannalta keskeisistä tutkimuskohteista. Keskeisimmiksi katsottuihin aihepiireihin kaavallaan koko tutkimuskauden kattavia koordinoituja hankkeita.

Ydinenergialain mukaan ydinjätehuoltovelvolliset vastaavat tuottamiensa jätteiden huollon suunnittelusta, toteutuksesta ja kustannuksista mukaan lukien tutkimus- ja kehitystyö. Siksi esim. ydinjätehuoltovelvollisten selvitysvelvollisuuden piiriin kuuluvat hankkeet eivät kuulu KYT2014-ohjelmaan. Myöskään STUKin valvontatyön suoraksi tueksi tehtävä tutkimus ei kuulu KYT2014-ohjelmaan.

KYT2014-tutkimusohjelma toimii viranomaisten, ydinjätehuoltoa toteuttavien organisaatioiden ja tutkimuslaitosten välisenä keskustelu- ja tiedonvälitysohjelmana. Näin luodaan edellytyksiä rajallisten tutkimusresurssien tehokkaalle hyödyntämiselle ja pyritään varmistamaan siitä, että yksittäisiin tutkimushankkeisiin saadaan riittävän monipuolinen ja poikkitieteellinen tutkimusryhmä. Tehokkaalla tiedonvaihdolla voidaan myös välttää mahdollista päällekkäistä tutkimusta sekä koordinoita esimerkiksi kansainvälisiin hankkeisiin osallistumista.

Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) rahoittaa vuosittain ydinjätehuollon tutkimushankkeita työ- ja elinkeinoministeriön esityksen perusteella. TEM:n esitys perustuu KYT-johtoryhmän rahoitussuositukseen. Vuosittain jaettava rahamäärä perustuu jätehuoltovelvollisten vastuumääriin ja on vuonna 2013 noin 1,7 miljoonaa euroa. Olkiluoto 3 -laitosyksikön käyttöönotto vaikuttaa aikanaan ydinjätehuoltovelvollisten vastuumääriin, jolloin tutkimusrahoitukseen on vastaavasti osoitettavissa enemmän varoja, mutta muutos toteutuu vasta KYT2014 ohjelmakauden jälkeen.

KYT2014-tutkimusohjelma tukee ja kannustaa osallistumaan ydinjätetutkimuksen EU-hankkeisiin ja muihin kansainvälisiin hankkeisiin. Hankkeita voidaan toteuttaa myös VYR:n ja muiden suomalaisten tai ulkomaisten rahoittajien yhteisrahoituksella. Yhteisrahoitteisiin hankkeisiin sovelletaan samoja rahoitusehtoja ja vaatimuksia kuin VYR:n rahoittamiin hankkeisiin. Yritysten osalta niihin sisältyy EU:n valtiontukisäännösten de minimis -sääntö (<http://www.tem.fi/?s=497>).

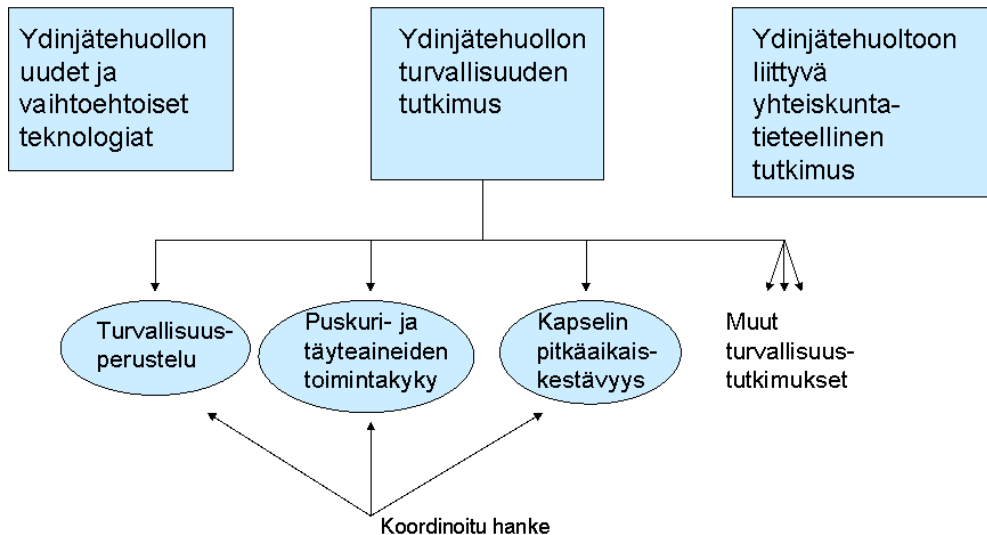
KYT2014-ohjelma pyrkii osaltaan varmistamaan olennaisen kansallisen asiantuntemuksen jatkuvan saatavuuden, edistämään tieteellistä ja korkeatasoista osaamista sekä lisäämään yleistä tietämystä ydinjätehuollon alalla. Tämä toteutuu mm. edistämällä uuden asiantuntijapolven kouluttamista alalle. KYT2014-ohjelma voi tarjota osarahoitusta väitöskirjatyölle, mikäli esitetty työ täyttää tutkimusohjelman sisältö- ja laatuvaatimukset.

KYT2014-ohjelman tutkimussisältöön, raportointiin ja tiedonvälitykseen liittyvät tavoitteet on esitetty tarkemmin KYT:n puiteohjelmassa (TEM 2010). Tutkimusohjelman sisäinen työnjako on kuvattu toimintaohjeessa (<http://kyt2014.vtt.fi/>).

Vuonna 2013 ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksissa on pyritty laajoihin useampivuotisiin koordinoituihin hankkeisiin turvallisuusperusteluissa, puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyssä sekä kapselin pitkäaikaiskestävyydessä. Lisäksi johtoryhmän evästyksissä kannustettiin arvioimaan

poikkitieteellisesti loppusijoitustilan vapautumisesteiden vuorovaikutuksen vaikutusta pitkäaikaisturvallisuuteen. Niissä tuotiin myös esille, että käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittelyn alkaminen tarjoaa mahdollisuuksia ajankohtaiselle yhteiskuntatieteelliselle tutkimukselle.

Kuvassa 1 on esitetty KYT2014-ohjelman tutkimusaihepiirit.



Kuva 1. KYT2014-ohjelman tutkimusaihepiirit (TEM 2011).

3. Tutkimushankkeet vuonna 2013

Vuoden 2013 hankehakuun lähetettiin yhteensä 38 hanke-esitystä ja yhteenlaskettuna VYR-rahoitusta haettiin 2,7 M€ Hanke-esitykset arvioitiin sisällöllisesti tukiryhmissä ja arvioinnissa kiinnitettiin huomiota seuraaviin kriteereihin, jotka myös ilmoitettiin jo hankehaun kutsukirjeessä:

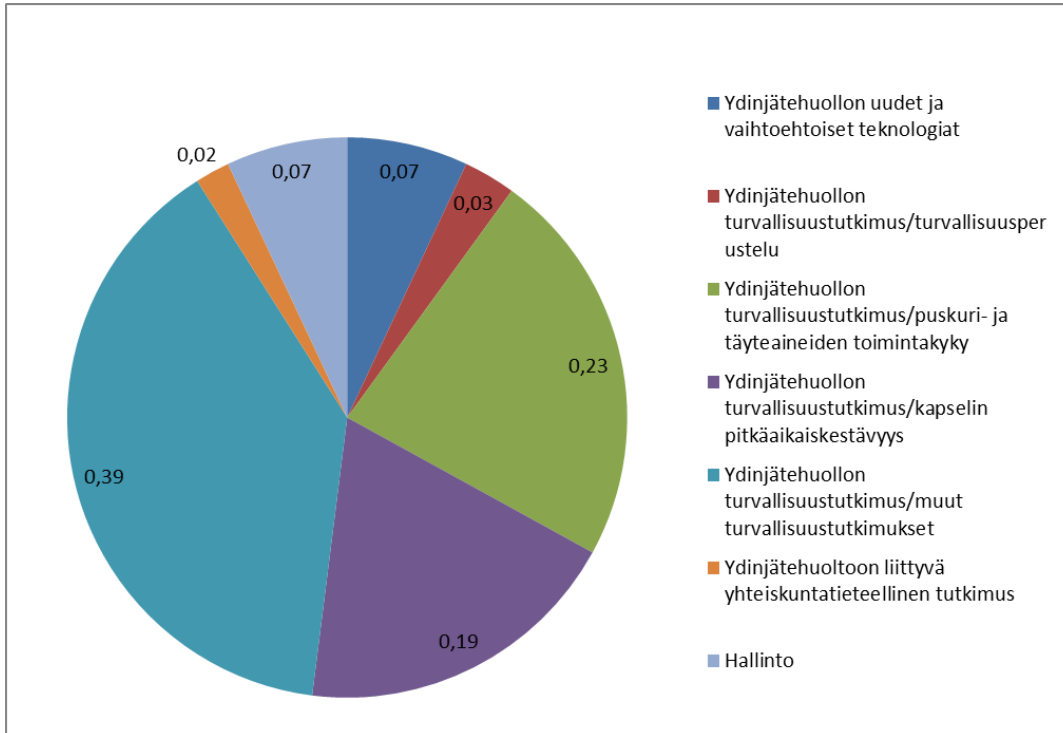
- merkittävyyttä ja hyödynnettävyyttä arvioidaan tutkimustarpeiden kannalta
- verkottuminen alan toimijoiden kesken tarkoittaa, että haetaan koottuja yhteisiä hankkeita ja ehyitä kokonaisuuksia
- koulutusvaikutus ja hanke-esityksen tieteelliset ansiot
 - uusien asiantuntijoiden kouluttaminen
 - uuden osaamisen luominen
- tuloksellisuus, jota on osoitettu KYT-hankkeissa tai muissa yhteyksissä
- realistisuus, erityisesti kustannukset ja työmäärä.

Tutkimusohjelman johtoryhmä laati tukiryhmien hankearvioiden pohjalta rahoitussuosituksen ja kokosi tukiryhmien työn pohjalta hanke-esityksille sisällöllisen palautteen. Hankekohtaiset palautteet saatettiin hanke-esitysten tekijöiden tietoon. Useimpia rahoitettuja hankkeita jouduttiin leikkaamaan, koska hanke-esitysten yhteenlaskettu haettu VYR-rahoitus ylitti vuoden 2013 rahoitusvaran noin miljoonalla eurolla.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) teki johtoryhmän suosituksen pohjalta rahoitusesityksen, johon se pyysi lausunnon STUKilta. Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) teki lopullisen rahoituspäätöksen 12.3.2013. Vuonna 2013 KYT2014-ohjelmassa hankekokonaisuudelle myönnetty rahoitus on n. 1,8 M€ Kaikkiaan tutkimusohjelmassa myönnettiin VYR-rahoitusta 32 tutkimushankkeelle ja hallintohankkeelle. Mainituista tutkimushankkeista kolme toimii VTT:n koordinoitun hankkeen LS-

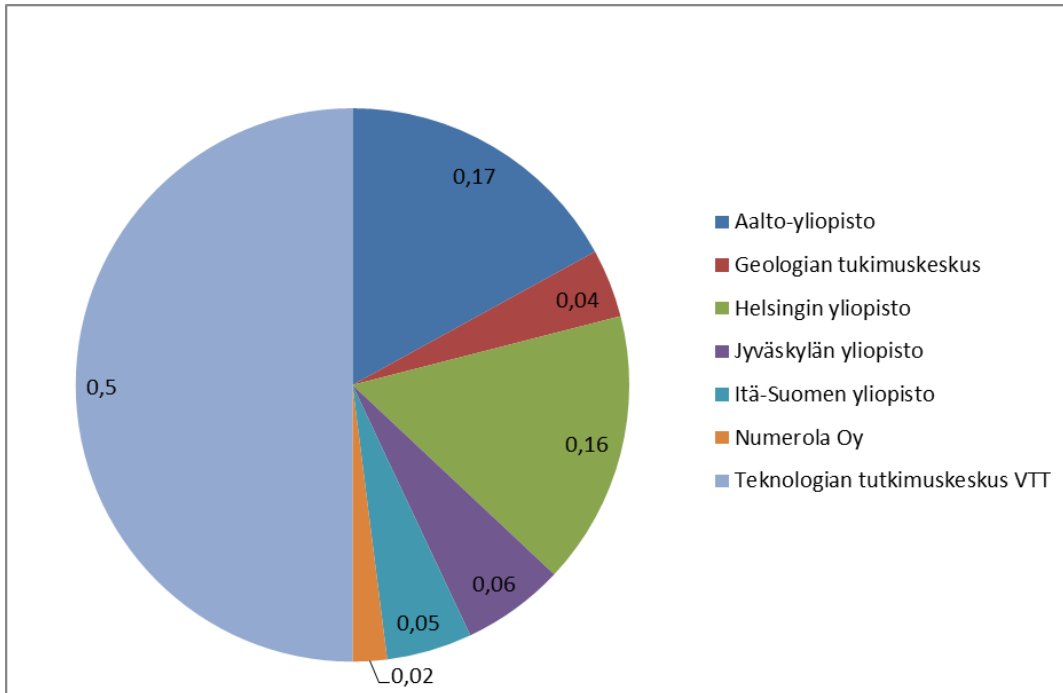
TUPER alihankkijoina (alkuperäisissä hanke-esityksissä ne olivat itsenäisinä osahankkeina). VYR-rahoituksen jakautuminen eri aihepiireihin on esitetty Kuvassa 2 ja eri tutkimuslaitoksille Kuvassa 3.

Tutkimusohjelman kokonaisrahoitus v. 2013 on n. 2,8 M€ josta VYR kattaa n. 1,8 M€ ja tutkimuslaitokset itse kattavat n. 1 M€ Tutkimus kokonaislaajuus on n. 25,2 henkilötyövuotta¹.



Kuva 2. KYT2014: VYR-rahoituksen 1795 k€jakautuminen aihepiireittäin vuonna 2013.

¹ Oletettu, että 1 henkilötyövuosi vastaa 10,5 henkilötyökuukautta.



Kuva 3. KYT2014: VYR-rahoituksen 1795 k€jakautuminen tutkimuslaitoksittain vuonna 2013.

Seuraavassa esitellään lyhyt yhteenveto tutkimusohjelman vuoden 2013 tutkimustuloksista; yhteenveto ei kuitenkaan pyri olemaan kattava, vaan lähinnä esitetään poimintoja hankkeiden tuloksista. Liitteessä 1 on esitetty yksityiskohtaisemmat hankekohtaiset vuosiyhteenvedot ja koordinoitujen hankkeiden sisällölliset vuosiyhteenvedot. Liitteessä 2 on lueteltu tutkimusohjelmassa vuonna 2013 tuotetut julkaisut ja opinnäytteet. Liitteessä 3 on kuvattu tutkimusohjelman organisaatio vuonna 2013 ja Liitteessä 4 tutkimushankkeiden seuranta vuonna 2013.

3.1 Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat

Uusia ja vaihtoehtoisia teknologioita tutkimalla parannetaan suomalaisen ydinjätehuollon toteutusvarmuutta, mikäli nyt päävaihtoehtona oleva geologinen loppusijoitus ei toteutuisi kaavailtuna tai jätevirrat muuttuisivat toisentyypiseksi, tai mikäli kehitetään uusia menetelmiä esimerkiksi syntyvän jätteen määrän vähentämiseksi. Tämä tutkimus toteutuu parhaiten osallistumalla kansainväliseen yhteistyöhön. Suomalaisten tutkimusryhmien osallistuminen kansainvälisiin tutkimusohjelmiin edellyttää kuitenkin omaa konkreettista osaamista.

Vuonna 2013 ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat –aihepiiri koostui kolmesta hankkeesta (Taulukko 1).

Taulukko 1. Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kehittyneet polttoainekierrot - Uudet erotustekniikat	Risto Harjula, HYRL
Kehittyneet polttoainekierrot - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi	Tuomas Viitanen, VTT
Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA)	Rainer Salomaa, Aalto

HYRL=Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio; VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Kehittyneet polttoainekierröt - Uudet erotustekniikat

Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle erikoisalana epäorgaaniset ioninvaihtomateriaalit. Teknisenä tavoitteena on uusien nanohuokoisien metallioksidi-ioninvaihtimien tutkimus ja kehittäminen aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta tai uusien nesteuuttomenetelmien synnyttämistä sekundäärijäteliuoksista. Tutkimustyö on organisoitu osaprojekteihin 1 Synteesi, 2 Alustava testaus, 3 Tuotteiden karakterisointi (3.1 XRD, 3.2 FESEM) ja 4 Eluutiokokeet.

Vuonna 2013 tutkimuksia tehtiin aiemmin hyväksi osoittautuneilla zirkoniumfosfaateilla (ZrP) ja titaanifosfaateilla (TiP, ZrTiP). Tutkimuksissa on keskitytty osatehtäviin 3 ja 4, sekä tieteellisen artikkelikäsitelmän laatimiseen. Osatehtävässä 3 otettiin käyttöön uusi karakterisointimenetelmä kenttäemissioelektronimikroskoopi (FESEM). Tuloksia on esitelty 2 konferenssipaperissa, lisäksi valmisteltiin referoitua aikakauslehtijulkaisua. Hanke toteutettiin rinnakkaishankkeena VTT:n hankkeen Kehittyneet polttoainekierröt - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi kanssa.

Kehittyneet polttoainekierröt - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi

Hankkeen tavoitteena on sellaisen osaamisen ja laskentaympäristön hankkiminen, jolla voidaan tehokkaasti mallintaa erilaisia polttoainekierron ratkaisuja tähtäimenä ydinjätteen määrän ja aktiivisuuden huomattava vähentäminen. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Ydinpolttoainekiertojen analysointivalmiuden kehittäminen ja 2 Tiedonvälitys ja alan kehityksen seuranta.

Vuonna 2013 osaprojektissa 1 tutkittiin COSI6-ohjelmistolla Olkiluodon loppusijoitusluolan kapasiteetin kasvua kehittyneitä polttoainekiertotekniikoita käyttäen. Sivuaktinidien polttoa EPR-tyyppisessä painevesireaktorissa tutkittiin ja raportoitiin. Serpent-ohjelmalla on tutkittu sivuaktinidien polttoa kiehutusvesireaktorin yläosan nopeassa neutronivuossa 0-palamalla. Osatehtävässä 2 on osallistuttu kahden OECD/NEA:n työryhmän työskentelyyn ja kehittyneitä polttoainekiertoja käsittelevään konferenssiin.

Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA)

Hankkeessa lasketaan tapauskohtaiset arviot ydinjätteen hävittämisestä lyijyjäähdytteisessä kiihdytinpohjaisessa reaktorissa. Hankkeen tavoitteena on transmutaatiotekniikoiden kriittinen arviointi sekä kehittää reaktorianalyysimenetelmiä ja niiden tarkkuutta suuren palaman polttoaineiden nuklidikonsentraatioiden laskemiseksi. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Täydentävät Serpent simuloinnit, 2 Sivuaktinidien heterogeeninen transmutaatio, 3 Korkeaenergistien neutronien ja protonien vaikutus transmutaatioissa, 4 Raportti transmutaatiotutkimuksesta ja 5 Jodin ja teknetiumin transmutaatio termisessä spektrissä.

Osaprojektissa 2 havaittiin, että mallinnetun sivuaktiniditransmutaation absoluuttiset arvot jäivät vaatimattomiksi. Osaprojektin 4 raportti viimeistellään vuonna 2014. Osaprojektissa havaittiin, että jodin ja teknetiumin transmutaatio termisessä spektrissä jäi liian hitaaksi ollakseen toteuttamiskelpoinen.

3.2 Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus

Viranomaisten käytössä on oltava luvanhakijasta riippumatonta korkeatasoista asiantuntemusta KBS-3 -konseptista ja siihen sisältyvistä vaihtoehtoisista menetelmistä ja ratkaisuista. Referenssikonseptina käytetyn polttoaineen loppusijoituksessa tutkitaan kapselin sijoittamista pystyreikään (KBS-3V) ja tälle vaihtoehtona useiden kapselien sijoittamista pitkään vaakareikään (KBS-3H). KBS-3 -konsepti on

todennäköisin vaihtoehto myös uusien suomalaisten ydinvoimalaitoshankkeiden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa.

KYT2014-ohjelman turvallisuuden tutkimus kohdistetaan pääosin kolmelle tutkimusalueelle: (1) turvallisuusperustelu, (2) puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky ja (3) kapselin pitkäaikaiskestävyys, ks. Kuva 1. Näille tutkimusalueille toteutettiin v. 2013 koordinoitua hankkeita. Olemukseltaan koordinoitua hanketta voidaan pitää pienimuotoisena tutkimusohjelmalla, jonka koordinointiin on saatavissa KYT2014-ohjelmasta rahoitusta. Koordinoitujen hankkeiden lisäksi v. 2013 tehtiin muita turvallisuustutkimuksia perinteisinä itsenäisinä hankkeina, ks. Kuva 1.

3.2.1 Turvallisuusperustelu

Viranomaisten tehtäviin kuuluu arvioida luvanhakijan turvallisuusperustelu. Sitä varten viranomaisten käytettävissä on oltava riittävästi korkeatasoista luvanhakijasta riippumatonta tietoa turvallisuusperustelun laatimisen periaatteista, ajattelutavoista ja rajoituksista.

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen turvallisuusperustelu –aihepiiri koostuu yhdestä hankkeesta ja kolmesta alihankkijana toimivasta osahankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitun hankkeen (Taulukko 2). Tässä koordinoitussa hankkeessa tutkimusryhmä on laatinut yhteisen työsuunnitelman, kokonaisbudjetin ja tutkimusyhteenvedon. Tutkimusryhmä on jättänyt yhden hanke-esityksen, joka sisältää osahankkeet sisältö- ja budjettimielessä. Koordinoitu hanke käynnistyi v. 2011.

Taulukko 2. Ydinjätehuollon turvallisuustutkimusten turvallisuusperustelu (koordinoitu hanke LS-TUPER, hankekoordinaattori lihavoituna).

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)	Markus Olin, VTT
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)/HYRL*	Juhani Suksi, HYRL
Turvallisuusperustelun täydentävät tarkastelut LS-TUPER/GTK*	Lasse Ahonen, GTK
Radionuklidien kulkeutumis malli adaptiivisella puumoniverkkomenetelmällä*	Pawel Simbierowicz, Tmi Pawel Simbierowicz

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; HYRL=Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio; GTK=Geologian tutkimuskeskus

* VTT:n hankkeen alihankkija

Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)

Koordinoitussa hankkeessa VTT:n, HYRL:n, GTK:n ja Tmi Pawel Simbierowiczin kesken jatketaan vuonna 2011-12 aloitettua työtä, joka tähtää kokonaisvaltaisen turvallisuusperustelun laatimiseen KBS-3-tyyppiselle loppusijoitusratkaisulle omakohtaisen työn kautta. Hanke oli organisoitu osaprojekteihin 1 Koordinaatio, 2 Turvallisuusperustelu ja 3 Alihankinnat.

Hankkeen rahoitusta leikattiin merkittävästi hanke-esityksestä, jonka jälkeen hankkeen päätavoitteeksi vuonna 2013 otettiin saattaa aiemmin käynnistetty diplomityö päätökseen. Karita Kajannon diplomityö Aalto-yliopistoon valmistui ajallaan. Hankkeessa julkaistiin projektiryhmän laatima suomenkielinen peruskuvauksen turvallisuusperustelusta. CROCK-hankkeen loppuraportoinnissa kesäkuussa 2013 on raportoitu osittain myös LS-TUPERin tuloksia.

3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky

KBS-3-konseptin puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyn luotettava arviointi ratkaisee pitkälti koko turvallisuusperustelun luotettavuuden. Bentoniittipuskuri on KBS-3 -loppusijoituskonseptissa teknisen vapautumisestäjärjestelmän (EBS, engineered barrier system) keskeinen osa, sillä jos puskuri ei toimi

oletetusti, voi sen sisällä olevan loppusijoituskapselin pitkä elinikä vaarantua korroosiota aiheuttavien aineiden lisääntyneen massavirran vaikutuksesta. Bentoniittiin² liittyy useita loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeisiä selvitystarpeita. Bentoniittia tai muita savimateriaaleja käytetään todennäköisesti myös tunnelien täyteaineissa ja sulkurakenteissa.

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky –aihepiiri koostuu seitsemästä hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitua hankkeen (Taulukko 3). Tässä koordinoitussa hankkeessa tutkimusryhmä on laatinut yhteisen työsuunnitelman, kokonaisbudjetin ja tutkimusyhteenvedon. Työsuunnitelma laadittiin tarvelähtöisesti, jolloin työsuunnitelman osahankkeisiin osallistui osahankkeen vaatimasta osaamisesta riippuen yhden tai useamman tutkimusorganisaation edustajia. Osallistujat on mainittu alla suluissa osahankkeittain. Näin työsuunnitelma muodosti sisällöllisesti kiinteästi integroidun kokonaisuuden. Tutkimusohjelman johtoryhmä suositteli rahoitusta koordinoitulle hankkeelle yhtenä kokonaisuutena. Hallinnollisesti kukin osahanke teki oman hankeesityksensä. Koordinoitu hanke käynnistyi v. 2011.

Taulukko 3. Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky (koordinoitu hanke BOA, hankekoordinaattori lihavoituna).

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Markus Olin, VTT
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Kai Hiltunen, Numerola Oy
Bentoniitin ominaisuuksien arviointi: Bentoniitin mineralogiset tutkimukset GTK:ssa (BOA/GTK)	Mia Tiljander, GTK
Bentoniitin fenomenologinen THM-mallinnus (BOA-konsortion osahanke)	Markku Kataja, JYFL
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Ritva Serimaa, HYFL
Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA)	Pirkko Hölttä, HYRL
Bentoniitin ja täyteaineiden lohkopintojen mekaaninen käyttäytyminen leikkausrasituksessa	Leena Korkiala-Tanttu, Aalto

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; GTK=Geologian tutkimuskeskus; JYFL=Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos; HYFL=Helsingin yliopiston fysiikan laitos, HYRL=Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio, Aalto=Aalto-yliopisto

Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)

Koordinoitussa hankkeessa on tavoitteena ymmärtää bentoniitin käyttäytyminen entistä paremmin loppusijoitusolosuhteissa ja tutkia kvantitatiivisesti turvallisuuden kannalta keskeisiä selvityskohteita (esim. eroosioilmiöt tai montmorilloniitin muuntuminen). Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Koordinaatio, 2 THM ja rakenne, 3 THC, kolloidit ja biologia ja 4 THMCB. Seuraavassa osaprojektit puretaan osatehtäviksi siten että osallistujat mainitaan suluissa.

Osaprojekti 1 on edelleen jaettu osatehtäviin 1.1 Sisäinen koordinaatio (kaikki), 1.2 Kotimainen ja kv. verkottuminen (kaikki) ja 1.3. Mallintajien ja kokeellisen toiminnan koordinointi (kaikki).

Osaprojekti 2 on edelleen jaettu osatehtäviin 2.1 Tomografian soveltaminen (JYFL), 2.2 XRD:n ja SAX'n soveltaminen (HYFL), 2,3 Bentoniitin mineralogia (GTK), 2.4 Block shear kokeet (Aalto).

Osaprojekti 3 on edelleen jaettu osatehtäviin 3.1 Kationinvaihto ja diffuusiokokeet (VTT), 3.2 Joniselektiiviset anturit (VTT), 3.3 Montmorilloniitin liukoisuustutkimukset (VTT), 3.4 Kolloidin muodostuminen (HYRL), 3.5 Mikrobitoiminta (VTT) ja 3.6 THC mallinnus (VTT).

² Bentoniitilla tarkoitetaan tässä paisuvahilaisia savia yleisterminä.

Osaprojekti 4 on edelleen jaettu osatehtäviin 4.1 Bentoniitin mikrorakenne (VTT) ja 4.2 THMCB mallinnus (Numerola, JYFL, VTT).

Koordinoidussa hankkeessa oli merkittävää julkaisutoimintaa vuonna 2013, kun edellisenä vuonna pidetyn Montpellierin savikokouksessa pidetyt esitykset julkaistiin. Kokeellisella puolella VTT:llä aloitettiin analysoimaan Arto Muurisen 15 vuotta sitten käynnistämä bentoniittikoetta esim. mikrobiologisesti. Mikrorakenne-, tomografia- ja kolloiditutkimukset jatkuivat. Mallinnuspuolella Numerolassa otettiin käyttöön kosteuden kulkeutumismalli, jota käytettiin JYFLin tomografiakokeiden mallintamisessa. Yksi-dimensioisen hydromekaanisen mallin kehitystyö käynnistettiin Numerolassa.

BOA-hankkeen piirissä on merkittävää koulutustoimintaa ja parhaillaan on esim. VTT:llä tekeillä neljä väitöskirjaa. Mentorointi on keskeistä, koska hankkeessa on useita nuoria tutkijoita, jotka harjoittavat jatko-opintoja, esim. osana kansainvälistä VTT Graduate School -ohjelmaa. Hankkeen jatko-opiskelijoiden mentoroinnista vastaavat hankkeessa VTT:llä Arto Muurinen ja Markus Olin, Helsingin yliopistossa Jukka Lehto ja Jyväskylän yliopistossa Markku Kataja. Arto Muurinen jäi eläkkeelle 2013 kesällä.

3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys

KBS-3-konseptissa kuparikapselia pidetään yhtenä keskeisenä vapautumisesteenä. Kuparikapselin pitkäaikaiskestävyys vaikuttaa suoraan käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuuteen, sillä radionuklidien vapautuminen voi alkaa vasta kapselin rikkouduttua. Radionuklidien vapautumisen kannalta olennaisia kysymyksiä ovat vapautumisen alkamisen ajankohta ja se miten rikkoutunut kapseli rajoittaa radionuklidien vapautumisnopeutta (esim. pieni reikä vs. iso reikä). Tähän vaikuttavat kapselin kuparivaipan korroosiokestävyyden lisäksi sen valurautasisuksen mekaaninen kestävyys. Oletus siitä, miten rikkoutunut kapseli rajoittaa radionuklidien vapautumista säättää osaltaan radionuklidikohtaista vapautumisnopeuden (Bq/a) numeroarvoa.

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen kapselin pitkäaikaiskestävyys –aihepiiri koostuu viidestä hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoidun hankkeen Long-Term Integrity of Copper Overpack (L-TICO) (Taulukko 4). Tässä v. 2012 aloittaneessa koordinoidussa hankkeessa ei ole varsinaista yhteistä työohjelmaa samalla tavalla kuin edellä kuvatuissa koordinoiduissa hankkeissa. Jokainen osahanke on laatinut omaa osuuttaan koskevan työsuunnitelman ja tutkimusyhteenvedon omassa hanke-esityksessään.

Taulukko 4. Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen kapselin pitkäaikaiskestävyys (koordinoitu hanke L-TICO, hankekoordinaattori lihavoituna).

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)	Juhani Rantala, VTT
Kuparisen ydinjäte-kapselin mekaaniset ominaisuudet	Hannu Hänninen, Aalto
Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen (CUHA)	Timo Saario, VTT
Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kuparikapselin eri korroosionmuotoihin (MICCU)	Leena Carpén, VTT
Kuparin korroosio hapettomassa vedessä	Jari Aromaa, Aalto

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Seuraavassa esitetään koordinoitu hanke L-TICO osahankkeittain.

Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)

Hankkeen tavoitteena on kapselikuparin pitkäaikaiskestävyyden määrittäminen ja eliniän ennustaminen. Painopiste on kapselin virumisanalyysissa ja hitsatun OFP-kuparin pitkäaikaiskokeissa, joita täydennetään kokeilla eri lämpötiloissa. Erityisesti selvitetään moniaksiaalisuuden vaikutus elinikään; koska ilmiön vaikutuksesta ei ole yksimielisyyttä. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Yhdistetyt virumisen ja korroosion CT kokeet (compact tension, vetokokeet), 2 Hitsien ja materiaalivikojen FE mallintaminen (finite element), 3 Vaurion kehittymisen arvioiminen realistisissa jännitys/lämpötila - olosuhteissa, 4 Yksityiskohtainen mikrorakenteen analyysi, 5 Elinikämallinnuksen kehittäminen, 6 Koulutus ja 7 Raportointi ja tiedonvälitys. Hanke toteutettiin yhteistyönä VTT:n ja Aalto-yliopiston kesken KYT-ohjelman ja Ruotsin säteilyturvaviranomaisen (SSM Strålsäkerhetsmyndigheten) tuella.

Hankkeessa jatkettiin virumismallin ja elinikäennusteen laatimiseksi OFP kuparin koeohjelmaa matalan lämpötilan ja jännityksen kokeilla. Hitsien ja materiaalivikojen mallintaminen indikoi, että kuparin relaxoitumista on testattava ja että virumismallia on syytä parantaa. Osaprojektissa 6 valmistui Maija Raunion diplomityö.

Kuparisen ydinjättekapselin mekaaniset ominaisuudet

Hankkeen tavoitteena on selvittää kuparikapselin eri osien (perusmateriaalit ja hitsit) mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää makroskooppinen ja mikroskooppinen plastinen deformaatio sen epähomogeenisissä rakenteissa. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Kuparikapselin eri osien (perusmateriaalien ja hitsien) mekaaniset ominaisuudet, 2 Kuparikapselin eri osien (perusmateriaalien ja hitsien) mekaanisten ominaisuuksien selvittäminen lämpötilan ja muodonmuutosnopeuden funktiona käyttäen optista venymämittaustilaitteistoa ja 3 Vedyn absorptio kupariin ja kuparin vetyhauraus.

Osaprojektissa 1 valmistui Lauri Luumin diplomityö. Osaprojektin 2 kokeita on jatkettu ja osaprojektissa 3 on osallistuttu aiheesta järjestettyyn kv. seminaariin. Seminaarin tuloksena voitiin todeta, että vety vaikuttaa merkittävästi kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin ja virumiseen. Hannu Hänninen on osallistunut Swedish National Council for Nuclear Waste (Kärnavfallsrådet) työskentelyyn. Hankkeessa on ollut vilkasta julkaisu- ja konferenssitoimintaa vuonna 2013.

Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen (CUHA)

Edeltävässä projektissa 2009-2010 todettiin uusi kuparin mahdolliseen haurastumiseen/jännityskorroosioon johtava mekanismi, jonka aiheuttaa rikin diffuusio pohjavedestä kuparin sisään raerajoja pitkin. Hankkeen tavoitteena on määrittää kuparin sisään diffundoituvan rikin määrän riippuvuus pohjaveden sulfidipitoisuudesta, ajasta ja kuparin jännitystilasta, sekä mikä vaikutus raerajoille keskittyvällä rikillä on kuparin mekaaniseen kestävyYTEEN. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Pohjavedestä kupariin kulkeutuvan sulfidin konsentraation määrittäminen jännityksen, altistusajan ja pohjaveden sulfidipitoisuuden funktiona, 2 Raerajadiffuusiomalli ja rikin diffuusiokerroin kuparin raerajoilla, 3 Kuparin jännitys-venymätilan vaikutus sulfidin diffuusioon, 4 Haurastuminen; sulfidin/rikin vaikutus kuparin mekaaniseen kuormankantokykyyn ja virumiseen ja 5 Raportointi.

Vuoden 2013 aikana projektissa altistettiin sekä hidasetosauvoja, standardivetokesauvoja että kuponkeja kahdessa viiden viikon periodissa yhteensä 10 viikon ajan. Ensimmäisen viiden viikon altistuksen jälkeen poistettiin osa koesauvoista ja ne koestettiin. Pohjaveden sulfidipitoisuutena käytettiin 200 mg/l. Kyseessä oli hankkeen viimeinen vuosi ja hanke on julkaissut loppuraportin.

Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kuparikapselin eri korroosimuotoihin (MICCU)

MICCU on koordinoitun hankkeen LS-TICO uusi osahanke, johon on yhdistetty koordinoitun hankkeen vuonna 2012 käynnistetty osahanke Korroosion monitorointi loppusijoitusolosuhteissa (KAISA).

Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosioikäyttyymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa. Tutkimuksia tehdään laboratoriossa koeolosuhteissa, jotka vastaavat mahdollisimman tarkasti loppusijoitusolosuhteita sekä myös kenttäolosuhteissa. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen, 2 Kuparin mikrobiologinen korroosio, 3 Biofilmin ominaisuudet, 4 Mikrobiryhmien aineenvaihdunta ja 5 Raportointi.

Hankkeessa tehtiin kirjallisuuskatsaus korroosion kannalta olennaisista mikrobiologisista prosesseista loppusijoitusympäristössä. Vuoden 2013 aikana on suunniteltu ja rakennettu koejärjestelyt, joiden avulla voidaan tutkia kuparin mikrobiologista korroosiota laboratorio-olosuhteissa ja jotka mahdollistavat sähkökemiallisen online-seurannan. Hankkeessa on valmistunut gradu-työ.

Kuparin korroosio hapettomassa vedessä

V. 2011-2012 on kokeissa, joissa kupari on ollut ultrapuhtaassa vedessä, havaittu osassa kokeita pieniä määriä vetyä, mutta osassa ei. Tämän jatkohankkeen tavoite varmistaa, missä olosuhteissa kuparin korroosioreaktioissa hapettomassa vedessä kehittyä vetyä. Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Laitteiston kammion muutostyöt, 2 Testikokeet toimivuuden varmistamiseksi ja 3 Kokeet synteettisessä pohjavedessä. T=60 °C.

Laitteistoon on valmistettu kuparinen kammio ja toteutettu tarvittavat muutokset entiseen tiedonkeruulaitteistoon. Testikokeet toimivuuden varmistamiseksi tehtiin synteettisessä pohjavedessä T=25 °C. Kokeet aloitettiin, mutta ne keskeytyivät laitteiston lämmityslaitteen kuumennuttua liikaa ja sytytettyä eristeet tuleen. Puhdistus-, korjaus- ja tarkastustyöt ovat käynnissä.

3.2.4 Muut turvallisuustutkimukset

Muut turvallisuustutkimukset –aihepiiri koostuu 12 hankkeesta (Taulukko 5).

Taulukko 5. Muut turvallisuustutkimukset.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen	Mikko Voutilainen, JYFL
C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)	Kaija Ollila, VTT
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä	Jukka Lehto, HYRL
Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (GEOMIKRO)	Merja Itävaara, VTT
Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)	Lasse Ahonen, GTK
Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)	Juho Rousu, Aalto
Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa	Leena Carpén, VTT
Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa	Merja Itävaara, VTT
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 1	Jari Puttonen, Aalto
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 2	Eila Lehmus, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa	Jukka Juutilainen, UEF

HYRL=Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio; Aalto=Aalto-yliopisto; VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; JYFL=Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos; GTK=Geologian tutkimuskeskus; HY=Helsingin yliopisto; UEF=Itä-Suomen yliopisto

Kallion in situ tutkimukset

Hankkeen tavoitteena on kehittää menetelmiä alkuaineiden ja radionuklidien kulkeutumisen tutkimiseen kallion in situ olosuhteissa. Aineiden matriisidiffuusio vettä johtavasta raosta, kloorin anionieksklusio ja redoxherkkien radioaktiivisten aineiden kemiallinen olomuoto ovat pääkysymykset. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Ensimmäisen in situ kokeen tulosten raportointi, 2 Toinen in situ koe ja sitä tukevat laboratoriokokeet, 3 PET analyysit migraatioreittien tutkimiseksi. Hankkeella on tiivis kytkeä Jyväskylän yliopiston projektiin Kiven huokosrakenteen mallintaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen.

Vuonna 2013 osaprojekti 1 esitti Migration 2013 kokouksessa tuloksia ensimmäisen in situ kokeen mallinnuksesta. Kokeesta on määritetty diffuusio kertoimet radionuklideille Na-22, Cs-134 ja HTO:lle, ja verrattu saatuja diffuusio kertoimia laboratoriokokein saatuihin tuloksiin. Osaprojektissa 2 toinen in situ diffuusio koe on aloitettu Grimselin vuorilaboratoriossa. Merkkiaineina tässä kokeessa ovat HTO, Cl-36, Cs-134, Ba-133, Na-22 ja inaktiivinen Se. Hankkeella on ollut vilkasta kotimaista ja kansainvälistä yhteistyötä ja runsaasti kansainvälisiä konferenssiesityksiä.

Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen

Hanke on uusi KYT2014 ohjelmassa, mutta se jatkaa JYFLin aiemman samaa aihepiiriä tutkineen hankkeen työtä. Hankkeen tavoitteena on mallintaa tiukan kiven huokosrakennetta hyödyntäen nanotomografialla, elektronimikroskopiolla ja ¹⁴CPMMA -menetelmällä saatavaa informaatiota. Lisäksi tavoitteena on hyödyntää saatua informaatiota simuloitaessa diffuusiota hila-Boltzmann-menetelmällä, johon on implementoitu kemiallisia ja fysikaalisia vuorovaikutuksia. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Mineraalien erottelu valituista kivilajeista (Sievin muuntunut tonaliitti ja Olkiluodon juonigneissi) ja mineraalinäytteiden valinta nanotomografiakuvaukseen, 2 Valittujen mineraalinäytteiden kuvaaminen nanotomografialla ja 3 Tomografiakuvien käsittely ja analysointi.

Mineraalien valinta suoritettiin yhteistyössä GTK: n kanssa. Valitut kivilajit murskattiin ja murskeista eroteltiin ensin sopivan kokoiset rakeet ja sitten eri mineraalit raskasnestemenetelmällä. Molemmista kivilajeista valittiin kolme mineraalia tarkempaan tutkimukseen tomografialla. Rahoitusleikkausten takia hila-Boltzmann-simulointeja on lykätty. Hankkeessa valmistellaan Jukka Kuvan väitöskirjaa.

C-14 vapautuminen loppusijoituksessa

Hankkeen tavoitteena on selvittää voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen aktiivisissa metallikomponenteissa olevan C-14 isotoopin vapautumista pohjaveteen loppusijoitustilaolosuhteissa, veteen syntyviä liuenneita ja kaasumaisia hiilen kemiallisia olomuotoja, erityisesti niiden jakautumista orgaanisiin ja epäorgaanisiin muotoihin. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Hiilen eluutio teräksestä ja rautakarbidiasta ja 2 Kirjallisuusselvitys työnimenä 'C-14 kulkeutuminen ja spesiaatio loppusijoitusolosuhteissa' ja 3 osallistuminen EU-hankkeeseen CAST (Carbon-14 Source Term).

Vuonna 2012 aloitetut säteilyttämättömän teräksen eluutiokokeet simuloiduissa pohjavesissä (pH 8,5 ja 12,5) jatkuvat hapettomassa kaapissa (Ar). Epävarmuutta kokeissa aiheuttaa lähtömateriaalin puhtaus. Kirjallisuusselvitys julkaistiin v. 2014 puolella. Hankkeella on kytkös EU-hankkeeseen CAST (Carbon-14 Source Term), joka alkoi 1.10.2013. Osatehtävässä 1 olevat säteilyttämättömän teräksen eluutiokokeet ja rautakarbidin liukenemiskokeet sisältyvät EU-hankkeeseen.

Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä

Hanke on uusi KYT2014-ohjelmassa. Hankkeessa tutkitaan radiohiilen, joka liikkuvuutensa ja mahdollisen ihmisille aiheutuvan säteilyannoksen kannalta kuuluu tärkeimpään prioriteetti-alueeseen, kemiallisia muotoja ja pidättymistä kallioperän mineraalien pinnoille. Tutkimusaihe on Suomessa uusi ja myös muualla maailmassa aiheutta on tutkittu hyvin vähän. Hanke on neljävuotinen, kestää vuodet 2013-2016 ja päättyy tohtorin väitöskirjaan. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Tutkimus radiohiilen isotooppivaihdosta kalsiittiin ja 2 Loppusijoitussyvyyttä vastaavien koeolosuhteiden luominen ja analyttisen menetelmän kehittäminen radiohiilen metaani/karbonaatti-vaihdon tutkimiseksi.

Osaprojektissa 1 n havaittu että karbonaattimuotoisen radiohiilen käyttäytymistä kalsiittivesisysteemissä dominoi veden kalsium- ja karbonaattipitoisuus. Korkea kalsiumpitoisuus ja matala karbonaattipitoisuus nopeuttavat radiohiilen pidättymistä kalsiittiin isotooppivaihdon kautta. Osaprojektissa 2 HYRL:oon on hankittu Agilentin toimittama kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteisto hiilen spesiaation tutkimiseksi.

Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (GEOMIKRO)

Hankkeen tavoitteena on tuottaa tietoa syvien kalliopohjavesien mikrobilajistoista ja niiden toiminnasta. Toisaalta tavoitteena on tuottaa sellaista tietoa, jota voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyysien tukena. Tuloksena saadaan tietoa syvien kalliopohjavesien mikrobiyhteisöistä ja niiden toiminnasta sekä merkittävistä korroosioriskeistä. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Kuhmon Romuvaaran kalliopohjavesien kokonaismikrobimäärän määrittäminen eri syvyyksiltä (0-600 m), tutkimuskohteena kairareikä Ro-10, 2 Pyhäsalmen kaivoksen kalliopohjavesien näytteenotto kahdesta kairareistä, 3 Outokummun 180 m rakovyöhykkeen näytteen aktiiviset mikrobit, jatkoa vuodesta 2012 ja 4 Kansainvälinen Deep Carbon Observatory (DCO) yhteistyö.

Osaprojekti 1:ssä kokonaismikrobimäärät vaihtelivat Romuvaaran pohjaveden eri syvyyksissä 8.6×10^4 – 2.2×10^5 mikrobisolua ml⁻¹. Osaprojektissa 2 Pyhäsalmen kaivoksesta otettiin elokuussa pohjavesinäytteitä kahdesta kairareistä kr 2247 ja kr 2250 tutkimuksia varten. Alustavien tulosten perusteella Pyhäsalmen kaivoksen pohjavedessä on erittäin vähän mikrobeja. Osaprojektissa 3 jatkettiin

Outokummun pohjavesinäytteen aktiivisten mikrobien tutkimusta. Osaprojektissa 4 tutkitaan syväbiosfäärin mikrobiyhteisöjen hiilenkiertoa erityisesti hiilidioksidiin, metaaniin ja metanoliin liittyen. Hanke teki yhteistyötä GTK:n SALAMI ja Aalto-yliopiston GEOBIOINFO hankkeen kanssa.

Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)

GTK:n SALAMI hanke 2011-2014 tutkii suolaisten kalliopohjavesien, kaasujen ja mikrobien välisiä yhteyksiä, jotka vaikuttavat loppusijoitussysteemin lähialueen (erit. bentoniitti ja kapseli) toimintaan ja pysyvyyteen. Hanke on kiinteässä yhteistyössä mikrobiologista tutkimusta ja bioinformatiikkaa tekevien VTT:n GEOMIKRO-hankkeen ja Aalto-yliopiston GEOBIOINFO-hankkeen kanssa, vastaavasti. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Tutkimusmetodiikan kehitys, 2 Viipymääjan ja alkuperän tutkimus, 3 Diversiteetin kartoitus, 4 Loppusijoituksen analogia, 5 Energiatarkastelut ja 6 Opinnäytetyö.

Vuonna 2013 on testattu uutta näytteenotinta. Jalokaasuartikkeli on tarjottu julkaistavaksi Geochim. Cosmochim. Actaan. Pyhäsalmen kaivoksessa tehty kaksi näytteenottoa kesän aikana; Romuvaaran näytteissä (2012) huomattavasti resentiä sadevesityypistä komponenttia, niille ei tehdä jatkotutkimuksia. Hankkeessa valmistellaan Nina Heikkisen gradutyötä ja Riikka Kietäväisen väitöstyötä.

Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)

GEOBIOINFO-hanke kehittää ja soveltaa bioinformatiikan menetelmiä ja työkaluja kallioperän mikrobiyhteisöjen toiminnan ymmärtämiseksi. Bioinformatiikan menetelmät ovat välttämättömiä aineiston massiivisuuden ja aineenvaihduntaverkostojen monimutkaisuuden vuoksi. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Geokemian ja mikrobilajiston välisten tilastollisten yhteyksien etsintä, 2 Aineenvaihduntareittien rikastumisanalyysi ja 3 Menetelmien integrointi GEOVISION-ohjelmistoon. Hanke toimii yhteistyössä GTK:n SALAMI-hankkeen ja VTT:n GEOMIKRO-hankkeen kanssa.

Vuonna 2013 tutkittiin mikrobiyhteisöjen ja geokemian välisiä yhteyksiä tilastollisilla monimuuttujamenetelmillä. Aineenvaihduntareittien analysointia jatkettiin Outokummun ja Olkiluodon metagenominäytteistä. Hankkeessa on tekeillä gradutyö ja diplomityö.

Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa (REMIC)

Hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmien muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujätämateriaalit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa. Tutkimukset suoritetaan sekä projektin aikana luotavassa koeympäristössä laboratorioissa että loppusijoitusalueella tehtävillä kenttäkokeilla. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Mikrobiologinen korroosio, 2 Biofilmin ominaisuudet ja 3 Raportointi.

Sähkökemiallisten mittausten tulosten mukaan ravinteiden lisäyksellä on merkittävä vaikutus hiiliteräksen korroosio-nopeuden kasvuun laboratorio-olosuhteissa. Kenttäkokeiden tulosten mukaan (1 v, betonin läsnä ollessa) todettiin alkalisen ympäristön tehokkaasti inhiboivan korroosiota. Biofilmien ominaisuuksista on laadittu konferenssijulkaisuja. Hankkeessa valmistellaan Pauliina Rajalan väitöskirjaa.

Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa

Hanke on uusi KYT2014-ohjelmassa. Kaasunkehityskoe käynnistettiin Olkiluodon VLJ-luolassa 15 vuotta sitten tavoitteena tutkia huoltojätteen mikrobiologisessa hajoamisessa muodostuvan kaasun muodostumisnopeutta riskien arvioimiseksi. Tässä hankkeessa on tavoitteena evaluoida huoltojätteen hajoamisaste sekä karakterisoida kokeessa rikastuneita mikrobilajistoja käyttäen monipuolisesti eri

tutkimusmenetelmiä. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Huoltojätteen hajoamisasteen evaluointi, 2 Kaasunkehityskokeeseen rikastuneiden mikrobilajistojen tunnistaminen ja 3 Hajottajamikrobien eristäminen ja identifiointi anaerobisesti.

Hankkeessa on arvioitu kaasunkehityskokeen huoltojätteen hajoamisaste sekä tutkittu vanhoja ja uusia vesinäytteitä. Kaasunkehityskokeesta otettiin näytteitä helmikuussa 2013 ja näytteistä eristettiin (hemi)sellulolyttisiä mikrobikantoja sekä suoraan että anaerobisen rikastuksen kautta n.40 kpl.

Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojektit 1 ja 2

Tutkimuksen tavoitteena on parantaa olemassa olevaa tiedon tasoa betonisten vapautumisesteiden säilymisestä loppusijoitusolosuhteissa ja hankkia valmiudet arvioida vapautumisesteiden käyttöikä. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Holistinen betonimalli (Aalto) ja 2 Betoninäytteiden analyysit (VTT). Osaprojekti 1 on edelleen jaettu tehtäviin 1.1 Kloridipitoisuuden määrittäminen raudotteiden korroosion suhteen ja 1.2 Loppusijoitustilojen betonirakenteiden karbonatisoituminen. Osaprojekti 2 on edelleen jaettu tehtäviin 2.1 Betonin kemiallinen koostumus, 2.2 Betonien mineraalikoostumus ja hydrataatio, 2.3 Betonin mikrorakenne ja huokoisuus sekä 2.4 Tulosten tulkinta ja raportointi. Hanke on yhteishanke Aalto-yliopiston (osaprojekti 1) ja VTT:n (osaprojekti 2) kesken.

Vuonna 2013 suoritettussa tutkimuksessa osaprojektissa 1 esitettiin matemaattinen termodynamiikkaan perustuva tunkeumamalli loppusijoitustiloissa tapahtuvien ikääntymisilmiöiden määrittämiseksi tilojen täyttövaiheessa ja niiden sulkemisen jälkeen. Osaprojektissa on valmisteltu Olli-Pekka Karin väitöskirjaa. Osaprojektissa 2 toteutettiin suunnitelmien mukaisesti kokeelliset tutkimukset mm. betonin kemiallisesta koostumuksesta, hydrataatiosta, mineraalikoostumuksesta, mikrorakenteesta ja huokoisuudesta.

Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittämisen empiirisen aineiston valossa

Hankkeen tavoitteena on empiirisen tiedon valossa tarkentaa suomalaisen metsäekosysteemiin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Hankkeessa mallinnetaan valittujen alkuaineiden siirtymistä maaperästä kasveihin perustuen tähänastisessa työssä määritettyihin epälineaarisiin yhtälöihin, pyrkien selvittämään kuinka paljon radioekologisten mallien ennusteet muuttuvat ja tarkentuvat perinteisiin lineaarisuusoletukseen perustuviin malleihin verrattuna. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Siirtymisen epälineaarisuuden vaikutus biosfäärimallinnukseen ja 2 Kokeellinen ekosysteemi alkuaineiden siirtymisen simulointiin.

Hankkeessa on valmisteltu 3 tieteellistä käsikirjoitusta osana Tiina Tuovisen väitöskirjatyötä. Hankkeessa valmistellaan myös Toni Savolaisen gradutyötä.

3.3 Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus

Vuonna 2012 ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus –aihepiiri koostuu yhdestä hankkeesta (Taulukko 6).

Taulukko 6. Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus.

Tutkimushanke	Hankepääällikkö
Käytetyn ydinpolttoaineen geologisen sijoituksen kansainväliset sosio-tekniiset ja turvallisuus haasteet – Suomi ja EU – FiNSOTEC 2012-2014	Tapio Litmanen, JY

JY=Jyväskylän yliopisto

Käytetyn ydinpolttoaineen geologisen sijoituksen kansainväliset sosio-tekniiset ja turvallisuus haasteet – Suomi ja EU – FiNSOTEC 2012-2014

Tutkimuksessa paneudutaan siihen, kuinka käytetyn ydinpolttoaineen riskinhallintaa edistetään Posivan ja STUK:n turvallisuus- ja riskivuoropuheluna. Projektin tavoitteena on analysoida: 1) millaisista, lähinnä kuparikorroosioon liittyvistä, turvallisuushaasteista on keskusteltu Posivan loppusijoituslaitoksen esirakentamislupahakemuksessa ja kuinka STUK on arvioinut Posivan hakemusta; 2) kuinka kuparikorroosiota on käsitelty Posivan esirakentamislupahakemuksessa; 3) millaista riskivuoropuhelua on käyty ennen rakentamislupaprosessia (Posivan TKS-raporteissa ja STUK:n arviointiraporteissa).

Hankkeessa on julkaistu katsausartikkeli Futura-lehdessä ja ATS Ydintekniikka-lehdessä sekä valmisteltu käsikirjoitus Science & Technology –lehteen; käsikirjoitusta on muokattu saadun palautteen pohjalta. Hanke osallistuu EU-hankeeseen InSOTEC ja on valmistellut esitelmiä InSOTECin eri kokouksiin.

Viitteet

Apted, M., Karlsson, F. & Salomaa, R. 2013. 2013, KYT2014 Review Report, Publications of the Ministry of Employment and the Economy, Energy and Climate 10/2013, 29 s.

Apted, M., Papp, T. & Salomaa, R. 2008, KYT 2010 Review Report, Publications of the Ministry of Employment and the Economy, Energy and Climate 2/2008, 26 s.

BRC 2012, Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future. Report to the Secretary of Energy, (http://brc.gov/sites/default/files/documents/brc_finalreport_jan2012.pdf).

DOE 2013, Strategy for the management and disposal of used nuclear fuel and high-level radioactive waste, (<http://energy.gov/sites/prod/files/Strategy%20for%20the%20Management%20and%20Disposal%20of%20Used%20Nuclear%20Fuel%20and%20High%20Level%20Radioactive%20Waste.pdf>).

TEM 2010, Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma, KYT2014. Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2011–2014. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 68/2010, 32 s.

Liite 1 KYT2014 hankekohtaiset vuosiyhteenvedot 2013

Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kehittyneet polttoainekierröt - Uudet erotustekniikat	Risto Harjula, HYRL
Kehittyneet polttoainekierröt - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi	Tuomas Viitanen, VTT
Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA)	Rainer Salomaa, Aalto

HYRL=Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio; VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus

Turvallisuusperustelu (koordinoitu hanke LS-TUPER, hankekoordinaattori lihavoituna)

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)	Markus Olin, VTT
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)/HYRL*	Juhani Suksi, HYRL
Turvallisuusperustelun täydentävät tarkastelut LS-TUPER/GTK*	Lasse Ahonen, GTK
Radionuklidien kulkeutumis malli adaptiivisella puumoniverkkomenetelmällä*	Pawel Simbierowicz, Tmi Pawel Simbierowicz

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; HYRL=Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio; GTK=Geologian tutkimuskeskus

* VTT:n hankkeen alihankkija

Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky (koordinoitu hanke BOA, hankekoordinaattori lihavoituna)

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Markus Olin, VTT
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Kai Hiltunen, Numerola Oy
Bentoniitin ominaisuuksien arviointi: Bentoniitin mineralogiset tutkimukset GTK:ssa (BOA/GTK)	Mia Tiljander, GTK
Bentoniitin fenomenologinen THM-mallinnus (BOA-konsortion osahanke)	Markku Kataja, JYFL
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Ritva Serimaa, HYFL
Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA)	Pirkko Hölttä, HYRL
Bentoniitin ja täyteaineiden lohkopintojen mekaaninen käyttäytyminen leikkausrasituksessa	Leena Korkiala-Tanttu, Aalto

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; GTK=Geologian tutkimuskeskus; JYFL=Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos; HYFL=Helsingin yliopiston fysiikan laitos, HYRL=Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio, Aalto=Aalto-yliopisto

Kapselin pitkäaikaiskestävyys (koordinoitu hanke L-TICO, hankekoordinaattori lihavoituna)

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)	Juhani Rantala, VTT
Kuparisen ydinjättekapselin mekaaniset ominaisuudet	Hannu Hänninen, Aalto
Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen (CUHA)	Timo Saario, VTT
Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kuparikapselin eri korroosimuotoihin (MICCU)	Leena Carpén, VTT
Kuparin korroosio hapettomassa vedessä	Jari Aromaa, Aalto

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Muut turvallisuustutkimukset

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen	Mikko Voutilainen, JYFL
C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)	Kaija Ollila, VTT
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä	Jukka Lehto, HYRL
Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (GEOMIKRO)	Merja Itävaara, VTT
Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)	Lasse Ahonen, GTK
Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)	Juho Rousu, Aalto
Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa	Leena Carpén, VTT
Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa	Merja Itävaara, VTT
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 1	Jari Puttonen, Aalto
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 2	Eila Lehmus, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittämisen empiirisen aineiston valossa	Jukka Juutilainen, UEF

HYRL=Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio; Aalto=Aalto-yliopisto; VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; JYFL=Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos; GTK=Geologian tutkimuskeskus; HY=Helsingin yliopisto; UEF=Itä-Suomen yliopisto

Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Käytetyn ydinpolttoaineen geologisen sijoituksen kansainväliset sosio-tekniiset ja turvallisuus haasteet – Suomi ja EU – FiNSOTEC 2012-2014	Tapio Litmanen, JY

JY=Jyväskylän yliopisto

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Vuosiyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Kehittyneet polttoainekierrot – uudet erotustekniikat		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Advanced nuclear fuel cycles – new separation technologies		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopisto, kemian laitos, radiokemian laitos	Vastuhenkilö FT Risto Harjula, dosentti	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) 3.1. Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat/nuklidierotus ja transmutaatio		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa vuonna 2011 alkaneelle projektille		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT	Ulkomaiset organisaatiot COST EUFEN	Muut tutkimusohjelmat, tms. Kansallinen ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma (YTERA)
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Hankkeeseen sisältyy tutkimusprojekti, joka edistää alan asiantuntijuuden saatavuutta ja tieteellisen osaamisen kehittymistä Suomessa ja edesauttaa suomalaisten tutkimuslaitosten ja teollisuuden pääsyä mukaan kansainvälisiin P&T-tutkimushankkeisiin. HYRL:in osalta on pyrkimyksenä päästä mukaan EU:n 7. tai ainakin 8. puiteohjelman (Horizon 2020) kv. hankkeisiin esimerkiksi Fortumin ja VTT:n kanssa. Hankkeeseen sisältyvä kehittyneiden polttoainekiertotekniikoiden tutkimuksen seuranta antaa tutkimuslaitoksille, viranomaisille ja voimayhtiöille ajantasaista tietoa käytetyn ydinpolttoaineen suoran loppusijoituksen yhdestä vaihtoehdosta.		
Tuloskategoria Uusia Zr-fosfaattimateriaaleja (ZrP) aktinidi/lantanidierotuksiin Tietoa ZrP materiaalien sorptiomekamismeista	Julkaisujen lukumäärä 0	Opinnäytetöiden lukumäärä 0
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle. Tohtorikoulutukseen liittyvän tutkimustyön tavoitteena on uusien nanohuukoisten metallifosfaatti-ioninvaihtimien tutkimus ja kehittäminen aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta tai uusien nesteuttomenetelmien synnyttämistä sekundäärijäteliuoksista. Lisäksi tavoitteena on kehittyneiden polttoainekiertojen kansainvälisen tutkimuksen seuranta ja tiedonvälitys koskien uusia erikoistekniikoita		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain 1. Kehittyneiden polttoainekiertojen uusimman tutkimuksen seuranta - seurantaraportti yhdessä VTT:n projektin kanssa 2. TUTKIMUSTYÖ - Zr-fosfaattien karakterisointi (FeSEM, XRD, LIF, EXAFS) - sorptiomekanismien mallinnus. - Eluutiokokeet (Am:n ja Eu:n erottaminen toisistaan) -		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) • E.Wiikinkoski, R.Harjula Separation of Americium and Europium Utilizing Zirconium Phosphates, COST EUFEN2 seminaari, Dublin, Irlanti 15-18.4.2013		

- E.Wiikinkoski, R. Harjula Study on Separation of Am-241 and Eu-152 by Zirconium Phosphate in Nitric Acid, suullinen esitelmä konferenssissa Russian-Nordic Symposium on Radiochemistry RNSR2013, Moskova, Venäjä, 21-24.10.2013

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Kehittyneet polttoainekierrat – Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Advanced Fuel Cycles – Computational Fuel Cycle Analysis		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
VTT	Silja Häkkinen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke on nelivuotinen ja se on jatkoa vuosien 2011-2012 samannimiselle projektille. Hanke on jatkoa myös aiemmalle projektille KYT2010-ohjelmassa: "Suomalainen erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus"		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
HYRL, Aalto-yliopisto	CEA, NEA, Tarton yliopisto	SAFIR2014, SA/NUMPS
Tutkimuksen tavoite		
Sellaisen osaamisen ja laskentaohjelmiston hankkiminen, jolla voidaan tehokkaasti mallintaa erilaisia polttoainekierron ratkaisuja tähtäimenä ydinjätteen määrän ja aktiivisuuden huomattava vähentäminen. Pitkän tähtäimen tavoitteena on EU:n rahoittamaan tutkimusyhteistyöhön osallistuminen.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tietokoneohjelmistot, kansallisen osaamisen kehittäminen	1 konferenssijulkaisu 2 tutkimusraporttia 2 matkaraporttia	
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Pitkällä aikavälillä tuloksia voidaan hyödyntää kehitettäessä tekniikoita, joiden avulla ydinjätteen pitkäikäisten isotooppien määrää ja siten myös loppusijoituksen vaatimaa aikaa ja tilaa pienennetään merkittävästi. Lyhyelläkin aikavälillä projekti lisää suomalaista ydinenergiaosaamista, ja sen puitteissa koulutetaan nuoria tutkijoita alalle.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<p>2.1 Ydinpolttoainekiertojen analysointivalmiuden kehittäminen</p> <p>COSI6-ohjelmistolla on tutkittu Olkiluodon loppusijoitusluolan kapasiteetin kasvua kehittyneitä polttoainekiertotekniikoita käyttäen. Työssä laskettiin hajoamislämpöä käytetyille polttoaineelle erilaisissa kehittyneiden polttoainekiertojen vaihtoehdoissa ja nykyisten ja suunniteltujen kevytvesireaktorien tapauksessa. Työn tuloksista pidettiin esitelmä ja julkaistiin konferenssipaperi GLOBAL2013-konferenssissa.</p> <p>Sivuaktinidien polttoa EPR-tyyppisessä painevesireaktorissa on aiempina vuosina tutkittu projektin puitteissa, mutta sivuaktinideja ei viimeisimmässä laskussa saatu poltettua, vaikka sen pitäisi kansainvälisen tutkimuksen ja VTT:n ensimmäisten laskujen mukaan onnistua. Nyt huomattiin, että sivuaktinidien lähtöpitoisuudet joissain näissä aiemmissä VTT:n tutkimuksissa ovat olleet liian matalia. Tämän vuoksi näihin laskuihin palattiin vielä kerran, vaikka sitä ei alun perin vuodelle 2013 ollutkaan suunniteltu. Laskussa kokeiltiin erisuuruksia Am-241 ja Cu-244 –isotooppien lähtöpitoisuuksia ja nyt sivuaktinideja saatiin palamaan. Aiheesta on kirjoitettu tutkimusraportti.</p> <p>Serpent-ohjelmalla on tutkittu sivuaktinidien polttoa kiehumisvesireaktorin yläosan nopeassa neutronivuossa O-palamalla. Kiehumisvesireaktorin yläosaan, jossa aukko-osuus on 80 %, saatiin nopea neutronispektri käyttämällä hafnium-suojakuoria plutonium-pohjaisia MOX- ja PuN-</p>		

polttoaineita. Erityisesti parillisen neutroniluvun plutonium-isotoopeille ja sivuaktinideille fissio-absorptio-suhteet olivat huomattavasti parempia kuin tavalliselle UOX-polttoaineelle zirkonium-suojakuorella. Turvallisuusparametrien valossa molemmat polttoaineet vaikuttavat kuitenkin huonoilta. MOX-polttoaineen käyttöä erilaisella Pu/U-suhteella kannattaa kuitenkin vielä tutkia. Aiheesta on kirjoitettu tutkimusraportti.

2.2 Tiedonvälitys ja alan kehityksen seuranta

Vuonna 2013 on osallistuttu OECD/NEA:n työryhmän WPFC (Working Party on scientific issues of the Fuel Cycle) vuosittaiseen kokoukseen sekä asiantuntijaryhmän AFCS (Expert group on advanced Fuel Cycle Scenarios) kokoukseen. Kokouksessa käsitellyistä asioista on kirjoitettu matkaraportti.

Vuonna 2013 osallistuttiin kehittyneitä polttoainekiertoja käsittelevään joka toinen vuosi järjestettävään kansainväliseen konferenssiin GLOBAL2013. Konferenssimatkasta on kirjoitettu matkaraportti.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Konferenssijulkaisut

P. Juutilainen and T. Viitanen, "An assesment of the effect on Olkiluoto Repository capacity achievable with advanced fuel cycles", Proceedings of Global 2013, Salt Lake City, Utah, September 29 – October 3, 2013, p. 1267-1275.

Tutkimusraportit

A. Rätty, "Lähtöpitoisuuksien vaikutus sivuaktinidien polttamiseen", tutkimusraportti, VTT-R-06423-13, 2013.

S. Häkkinen, "Alustavia laskuja sivuaktinidien polttamisesta kiehutusvesireaktorin yläosan nopeassa neutronivuossa", tutkimusraportti, VTT-R-00599-14, 2014.

Matkaraportit

T. Viitanen, Matkaraportti WPFC:n kokouksesta, 18.-20.2.2013.

P. Juutilainen, Matkaraportti GLOBAL2013-konferenssista, 29.9.-3.10.2013.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Projektista on pidetty esitelmä KYT2014-tutkimusohjelman puoliväliseminaarissa.

Työpanos ja kustannukset

Projektin rahoista on käytetty 100 %. Henkilötyökuukausia kirjattiin projektille 6,5 (5,5 budjetoitu). Projekti on edennyt suurin piirtein suunnitelmien mukaan. Matkarahaa ja sekalaisia muita rahoja käytettiin vähän vähemmän kuin oli budjetoitu. Nämä rahat tuli käytettyä henkilötyökuukausissa. Suurin yksittäinen suunnitelmista poikkeava henkilötyölisä oli sivuaktinidien polttoa EPR-reaktorissa käsittelevien laskujen päivitys.

Matkat

Tuomas Viitanen, WPFC:n (Working Party on Scientific Issues of the Fuel Cycle) ja EG AFCS:n (Expert Group on Advanced Fuel Cycle Scenarios) kokoukset, Pariisi, Ranska, 18.-20.2.2013.

Pauli Viitanen, GLOBAL2013 konferenssi, Salt Lake City, Yhdysvallat, 29.9.-3.10.2013.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Transmutation of nuclear waste with ADS (FLUTRA)		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Aalto-yliopiston Teknillisen fysiikan laitos		Prof. Rainer Salomaa
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Jatkoa samannimiselle hankkeelle vuosilta 2011 ja 2012, jatkohankkeet 2013 ja eteenpäin		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat
VTT	SCK•GEN	YTERA, GEN4FIN
Tutkimuksen tavoite		
Yksityiskohtainen ADS tutkimus luo kriittisen kuvan erottelun ja transmutaation mahdollisuuksista. Ydinjätenuklidien tarkka arviointi mahdollistaa merkkiainenuklidien löytämisen sekä mahdolliset säteilytekniikan menetelmät safeguards-tehtäviin. Työssä osallistutaan YTERA tohtorikoulutus-ohjelmaan.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
FLUKA, CASMO, MCNP, Serpent sovellukset sekä koodinkehitys		4
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Uusien ydintekniikan asiantuntijoiden koulutus, suuripalamainen polttoaine voi asettaa muuttuvia loppusijoitusvaatimuksia.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<p>Task 1. Aikaisemmin tehtyjä sauva- ja kokosydänlaskujen lisäksi tehtiin nippukoon transmutaatiolaskuja. Tämä siksi, että sauvakoppilaskut eivät huomioi ympäristöä ja kokosydänlaskut osoittautuivat liian aikaa vieviksi.</p> <p>Task 2. Aikaisempien homogeenisten sivuaktinidipolttaineiden lisäksi laskettiin heterogeenisiä vaihtoehtoja. Transmutaatio tehostui mutta reaktorikinetiikka voi olla epäsuosiollinen, mikä ei kuitenkaan mahdu FLUTRA-projektin piiriin.</p> <p>Task 3. Laskettiin suurenergisten neutronien (yli 20MeV) ja primääriprotonien osuus transmutaatioista. Työ vaatii vielä lisäsimulaatioita uusien vaikutuslakirjastojen takia.</p> <p>Task 4. Selvitettiin mahdollisuudet pitkäikäisen jodin (^{129}I) ja teknetiumin (^{99}Tc) transmutoimiseksi termisissä reaktoreissa. Transmutaatio tehostui verrattuna nopeaan spektriin, mutta ei ole teknisesti järkevää.</p>		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
OPINNÄYTETYÖT		
Iiro Paajanen , <i>Ydinpolttainekapselien terminen analyysi</i> (Thermal Analysis of Final Disposal of Nuclear Waste), kandidaatintyö, 2013, 23s.		
Timo Kalinainen , <i>Evaluation of Cyclus Code for Nuclear Fuel Cycle Analysis</i> (Cyclus ohjelmiston käyttökelpoisuus ydinpolttainekierron mallinnuksessa), kandidaatintyö, 2013, 29 s.		
Joona Leskinen , <i>Transmutation of ^{129}I and ^{99}Tc in thermal reactors</i> (^{129}I :n ja ^{99}Tc :n transmutointi termisissä reaktoreissa), erikoistyö, 2013, 38 s.		
Ville Peri , <i>Kiehusvesireaktorin polttoaineen aksiaalinen analyysi nuklidisuhteiden avulla</i> (Axial analysis of BWR fuel using local nuclide abundances), erikoistyö, 2013, 24 s.		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		
Lauri Rintala , <i>Transmutation of long lived nuclides in fast and thermal reactors</i> , (Pitkäikäisten nuklidien transmutaatio nopeissa ja termisissä reaktoreissa), GEN4FIN seminaari Espoo 8.11.2013, 17 s.		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Safety case		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Teknologian tutkimuskeskus VTT (koko hankkeen koordinaattori)	Markus Olin	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus; Turvallisuusperustelu		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Nelivuotiseksi kaavaillun koordinoitun hankkeen kolmas vuosi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT, Helsingin yliopisto, Geologian tutkimuskeskus, Tmi Pawel Simbierowicz	EU CROCK hankkeen osapuolet	KYT2014: BOA (koordinoitu hanke)
Tutkimuksen tavoite		
<p>Hanke vastaa tarpeeseen tuottaa Suomeen uusia asiantuntijoita turvallisuusperustelun laatimis- ja arviointityön tarpeisiin sekä kehittää uusia tarkastelutapoja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin.</p> <p>Hankkeen tulokset ovat hyödynnettävissä viranomaisarviointin tukena. Ne myös selkiyttävät turvallisuusperustelun käsitettä aiempaa laajemmille piireille. Lisäksi helppokäyttöisen ja edullisen laskennallisen turvallisuusanalyysimallin kehittämisen kautta analyysivalmiudet tulevat entistä helpommin kaikkien ulottuville.</p>		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Asiantuntemuksen kehittäminen; tietokoneohjelma	6	1
<p>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)</p> <p>Koordinoitussa hankkeessa VTT:n, HYRL:n, GTK:n ja Tmi Pawel Simbierowiczin kesken tehdään työ, joka tähtää kokonaisvaltaisen turvallisuusperustelun laatimiseen KBS-3-tyyppiselle loppusijoitusratkaisulle omakohtaisen työn kautta. KYT-ohjelmassa asetettujen tavoitteiden mukaisesti hankkeessa opitaan tuntemaan turvallisuusperustelun skenaarioihin perustuva ajattelutapa ja skenaarioiden koostaminen, tiedon hankinnan ja yleistämisen menetelmät, vaihtoehtojen käsitteellisten mallien ja tulkintojen muodostaminen, analyysien käytännön suorittaminen erilaisilla laskentamalleilla sekä tulosten luotettavuuden ja epävarmuuksien arviointimenetelmät.</p>		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<p>Hanke koostuu koordinoitiosasta sekä kahdesta osaprojektista, joiden sisällölliset kuvaukset esitetään seuraavassa:</p> <p><u>1. Mallin kehittäminen</u></p> <p>Veli-Matti Pulkkanen on ohjasi Karita Kajannon diplomityön. Markus Olin on puolestaan toiminut Pulkkasen mentorina.</p> <p><u>2. Alihankinnat</u></p> <p>Helsingin yliopisto, Geologian tutkimuskeskus, Tmi Pawel Simbierowicz:</p> <p>Alihankinnoissa ei niiden pienuuden takia saatu paljon tuloksia, mutta uudet ajatukset on esitetty muutamassa kalvosarjass.</p> <p><u>3. Koordinaatio</u></p> <p>Osaprojektissa suunnitellaan ja toteutetaan projektin sisällöllinen ja kotimainen yhteistyö. Siinä kehitetään luontevat työskentelytavat, joilla tiedonvaihto ja hankkeen tulosten integrointi toteutuu tavoitteen kannalta toivotulla tavalla. Tukiryhmän kokous 26.11.2013: LS-TUPER ei tehnyt uutta hakemusta vuodelle 2014, mutta konsortioon kuuluva Tmi Pawel Simbierowiczilla oma hakemus numeerisesta mallinnuksesta.</p> <p>CROCK-hankkeen loppuraportoinnissa kesäkuussa 2013 on raportoitu osittain myös LS-TUPERin tuloksia</p>		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
<u>3.1 Tieteelliset julkaisut ja konferenssiesitelmät</u>		

CROCK yhteistyö

1. Puhakka E. & Olin M. 2014. ab initio studies on cation exchange and surface complexation reactions on biotite surface. In: Final Workshop Proceedings of the Collaborative Project "Crystalline ROCK Retention Processes(7th EC FP CP CROCK), eds. Rabung, T., Garcia D., Montoya V. & Molinero, J. KIT Scientific Reports 7656
2. Itälä A., Tanhua-Tyrkkö M., Olin M. 2014. Surface complexation modelling of biotite: nickel and europium. In: Final Workshop Proceedings of the Collaborative Project "Crystalline ROCK Retention Processes(7th EC FP CP CROCK), eds. Rabung, T., Garcia D., Montoya V. & Molinero, J. KIT Scientific Reports 7656
3. Olin M., Poteri A., Pulkkanen V.-M. & Koskinen L. 2014. Possible causes of uncertainty in the sorption data for PA studies. In: Final Workshop Proceedings of the Collaborative Project "Crystalline ROCK Retention Processes(7th EC FP CP CROCK), eds. Rabung, T., Garcia D., Montoya V. & Molinero, J. KIT Scientific Reports 7656
4. Pulkkanen V.-M., Seppälä A. & Olin M. 2014. Reactive transport modelling of nickel in fractured bedrock. In: Final Workshop Proceedings of the Collaborative Project "Crystalline ROCK Retention Processes(7th EC FP CP CROCK), eds. Rabung, T., Garcia D., Montoya V. & Molinero, J. KIT Scientific Reports 7656

3.2 Työraportit

Rasilainen, Kari; Vuori, Seppo; Olin, Markus. 2013. Käytetyn polttoaineen huolto.Turvallisuusperustelu tutkimuksen ja päätöksenteon välineenä . Espoo, VTT. 52 s. + liitt. 2 s. VTT Technology; 92
ISBN 978-951-38-7980-8 (nid.); 978-951-38-7981-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

3.3 Opinnäytteet

Karita Kajanto, diplomityö: *The effect of stress state on groundwater flow in bedrock — simulations of in situ experiments*

3.4 Lehtikirjoitukset ja muut mahdolliset julkaisut

x

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyllyteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Bentoniitin ominaisuuksien arviointi (BOA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Assessment of bentonite characteristics		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Teknologian tutkimuskeskus VTT (koordinaattori)	Markus Olin	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Tutkimus on jatkoa vuosien 2009 ja 2010 PUSKURI-hankkeille, vuoden 2010 MOPO ja KULKU-hankkeille. Hankkeeseen on saatu rahoitusta vuodeksi 2011, joten kyse on jatkorahoituksesta.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuskeskukset: VTT, GTK Yliopistot: Jyväskylä, Helsinki (Fysiikka ja Radiokemia), Aalto Yritykset: Numerola Oy Tiedonvaihtoyhteistyö: B+Tech	BELBaR EU-hankkeen kanssa tehtävä yhteistyö: ClayTech, KTH	KYT2014: LS-TUPER, kuparin korroosiohankkeet
Tutkimuksen tavoite		
<p>Hankkeessa kehitettävä bentoniitin prosessi- ja mikrorakenneosaaminen luo tieteellisesti perustellun pohjan tutkia kvantitatiivisesti loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeisinä pidettyjä selvityskohteita (esim. eroosioilmiöt tai montmorillonitiin muuntuminen).</p> <p>BOA-hankkeen konsortio-osapuolet (VTT, Jyväskylän, Helsingin ja Aalto yliopistot, GTK, Numerola Oy) muodostavat bentoniittitutkimuksen osaamiskeskuksen, jolla on pitkäaikaista kokemusta bentoniitista, käytössään monipuoliset menetelmät vaatimaan kokeelliseen tutkimukseen, ja kyky mallintaa vaadittavia kytkettyjä ja monimutkaisia ongelmia. Osaamiskeskus on sinällään verkosto, mutta samalla kriittisen massan ylittävä toimija, jolla on erinomaiset mahdollisuudet kansainväliseen verkottumiseen.</p> <p>Lisäksi hanke toimii uusien tutkijoiden kasvattajana ja on päärahoituslähde 4-6 väitöskirjatyölle.</p>		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellisia menetelmät, karakterisointitekniikat ja tietokonemallit	13	yksi maisteri
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
<p>. Suomessa on selkeä kansallinen tarve bentoniitin käyttäytymisen entistä parempaan ymmärtämiseen loppusijoitusolosuhteissa. Prosessi- ja mikrorakenneosaamista tarvitaan, kun halutaan tutkia tieteellisesti ja kvantitatiivisesti loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeisinä pidettyjä selvityskohteita (esim. eroosioilmiöt, sementoituminen tai montmorillonitiin muuntuminen). KBS-3-konseptin puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyn luotettava arviointi ratkaisee pitkälti koko turvallisuusperustelun luotettavuuden, ja tämä arviointi voidaan lopulta perustua vain mallinnukseen, jota osaamista BOA-hankkeessa osaltaan kehitetään. Mallinnusta ei kuitenkaan voi kehittää ilman kokeellista toimintaa, joka itsessään kasvattaa aihepiiriin ymmärrystä. Tutkimuksen tuloksena syntyvää ketjua tai toimintamallia, bentoniitin karakterisoinnista teoreettisiin malleihin kokeellisen toiminnan kautta, soveltamalla voidaan parantaa ja tehostaa bentoniittimateriaaleihin liittyvää tutkimusta Suomessa.</p>		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
The experimental work has continued on the basis of work started already in 2011.		
Some results from experimental part		
<u>Microbes:</u>		
DNA and RNA extraction kits have been compared for future analysis. Research plan with A. Muurinen et al. has been done for the analysis of the long-term bentonite experiment started 1997. The Long-term experiment will be opened 19.9.2012 and several analysis will be performed such as electron microscopy (SEM), SRB cultivation at several temperatures, DNA, RNA extractions and microbial diversity studies, especially sulphate reducers will be studied.		
<u>Microstructure, VTT:</u>		
Investigation of the structure of Ca-montmorillonite as a function of density and salinity by using a set of complementary		

methods: SAXS, NMR, ion exclusion measurement and TEM.

GTK

Studying the bentonite mineralogy and texture with an electron microscope (SEM) and microanalysis (EPMA). Several samples (already tested in 2011) were studied more detailed with Feature-method. The aim was to get more accurate information about the impurities (accessory minerals) of the bentonite material.

Formation of colloids from the repository materials, HYRL

The release and stability of colloids have been followed from earlier made MX-80 bentonite, low pH cement, crushed rock and gelled silica samples. Colloidal particle size distribution and zeta potential has been determined applying the dynamic light scattering method. The release and stability of bentonite colloids have been followed in diluted OLSO reference groundwater, sodium chloride and calcium chloride solutions (0.001-0.1 M).

Radionuclide sorption on colloids and colloid-mediated transport, HYRL

Solid/liquid separation has been tested using membrane filtering and ultracentrifugation. Preparation of dynamic experiments has started. Sorption experiments are going on. Kd values for ⁸⁵Sr and ¹⁵²Eu sorption on bentonite powder and colloids have been determined using diluted OLSO reference groundwater, sodium chloride and calcium chloride solutions.

Modelling too, has advanced according to plans,

Numerola

A moisture transport model for bentonite was developed and the corresponding numerical software was implemented.

Numerical software for chemical reactions in bentonite were compared in collaboration with VTT.

The moisture transport software was used to simulate tomography experiments made in the Department of Physics in the University of Jyväskylä (JYU).

A development of a numerical method and software for one dimensional hydromechanical model were initiated. The aim is in bentonite experiments made at JYU. A talk about modelling of bentonite buffer was given at Finnish Mathematics Days 2012

<http://kyt2014.vtt.fi/seminaarit.htm>

Coordination

Meeting with the support group were arranged 13.6.2013 ja 19.11.2013.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

1. E. Myllykylä, M. Tanhua-Tyrkkö, A. Bouchet, and M. Tiljander. Dissolution experiments of Na- and Ca-montmorillonite in groundwater simulants under anaerobic conditions, *Clay Minerals*, May 2013, v. 48, p. 295-308,.
2. Itälä. TOUGH Symposium 2012, September 17–19, 2012, in Berkeley, USA: Modelling Transport of Water and Ions, and Chemical Reactions in Compacted Bentonite – Comparison Between TOUGHREACT, Numerrin and COMSOL Multiphysics. Accepted to be published *Nuclear Technology*.
3. J.-P. Suuronen, M. Matuszewicz, K. Pirkkalainen and R. Serimaa, X-ray studies on nano- and microscale orientation in compacted bentonite and calcium montmorillonite. *XV International Clay Conference*, 7.-11.7.2013, Rio de Janeiro, Brazil
4. J.-P. Suuronen, M. Matuszewicz, K. Pirkkalainen and R. Serimaa. Nano- to microscale characterization of bentonite clay with microbeam small-angle x-ray scattering and microtomography. *10th Nordic Scattering Workshop on Soft Matter*. 17.-18.1.2013, Copenhagen, Denmark.
5. M. Lahtinen, P. Hölttä, S. Niemiäho, O. Elo and J. Lehto, Formation and stability of bentonite colloids by, poster in the conference: *Clays in natural and Engineered Barrier for Radioactive Waste Confinement*, Montpellier, October 22-25, 2012. Publication under construction.
6. V. Liljeström, M. Matuszewicz, J.-P. Suuronen, M. Olin, A. Muurinen and R. Serimaa. Probing clay planned for radioactive waste disposal. *Physics Days* 13.–15. 3. 2012, Joensuu. Oral presentation.
7. M. Matuszewicz, K. Pirkkalainen, V. Liljeström, J.-P. Suuronen, A. Root, A. Muurinen, R. Serimaa and M. Olin, Microstructural investigation of calcium montmorillonite. *Clay Minerals* **48**, 267-276, (2013)

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

A talk about modelling of bentonite buffer was given at Finnish Mathematics Days 2013

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
KYT/BOA osahanke: Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
The effect of colloids on radionuclide migration		
Tutkimuslaitos		Vastuhenkilö
Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Radiokemian laboratorio		Pirkko Hölttä
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon turvallisuus: Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, Turvallisuusperustelu		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Jatkoa 2011 alkaneelle hankkeelle, suunnitelma on tehty koko KYT2014 kaudeksi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT, JYFL, GTK, Posiva, B+Tech	EU, NAGRA, KIT, KTH	KYT2014/LS-TUPER, Grimsel GTS/CFM, EU/BELBaR
Tutkimuksen tavoite		
Tavoitteena on selvittää kolloidien muodostumista loppusijoitustilan materiaaleista sekä mikä on niiden merkitys radionuklidien kuljettajina erilaisissa pohjavesiolosuhteissa. Tavoitteena on myös saada tietoa bentoniittipuskurin rapautumismekanismeista ja – kinetiikasta. Koko hankkeen tavoitteena on yhdistää kokeellinen työ ja mallinnus sekä kehittää kotimaista osaamista ja kouluttaa uusia asiantuntijoita (pro gradut ja väitöskirja).		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Menetelmät ja kokeelliset parametrit mallitukseen		2 (pro gradu, LuK)
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tuloksia hyödynnetään käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa lähialueella arvioitaessa bentoniitin ja tunnelin täyteaineiden toimintakykyä sekä arvioitaessa radionuklidien pääsyä kolloidien mukana loppusijoitustilasta lähialueelle ja kaukoalueen kautta biosfääriin. Tuloksena saadaan tietoa mm. bentoniittipuskurin hajoamisesta, pohjaveden suolaisuuden vaikutuksesta kolloidien liikkuvuuteen ja aktinidien sorption pysyvyydestä. Lisäksi saadaan menetelmät määrittää kolloidien ominaisuuksia ja lähtödataa/testitapauksia, joita voidaan käyttää parametreina mallien kehittämisessä ja testaamisessa. Tuloksia hyödynnetään myös EU/BELBaR ja Grimselin CFM projekteissa.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<u>Kolloidien muodostuminen loppusijoitustilan materiaaleista</u>		
Kolloidien muodostumista ja stabiilisuutta eri pohjavesiolosuhteissa on seurattu bentoniitista, kivi- murskeista, sementistä ja silikasta aiemmin tehdyillä näytteillä. Kolloidien partikkelikokojakauma ja zetapotentialit on määritetty dynaamisella laservalonsirontamenetelmällä (DLS). Erottamalla bentoniitti jauheesta sentrifugoimalla kolloidinen fraktio on tehty standardisarjoja, joiden avulla on arvioitu kolloidien määrät näytteissä käyttäen hyväksi DLS mittauksen laskentataajuutta. Kolloidipitoisuuden varmistamiseksi on aloitettu alumiinin määritykset ICP-MS ja ICP-OES menetelmällä. Bentoniitti kolloidien irtautumista ja stabiilisuutta laimennetussa OLSO referenssi pohjavedessä sekä natriumkloridi ja kalsiumkloridiliuoksissa on seurattu veden ionivahvuuden funktiona (0.001–0.1 M). Bentoniittikolloidien stabiilius riippuu merkittävästi liuosten ionivahvuudesta ja kationeista eikä siinä ole tapahtunut seurannan aikana oleellista muutosta.		
<u>Radionuklidien sorptio kolloideihin ja niiden kulkeutuminen</u>		
Sorptiokokeita varten on testattu membraanisuodatasta ja ultrasentrifugointia kolloidisen fraktion ja nestefaasin täydelliseksi erottamiseksi. Batch sorptiokokeilla on määritetty Sr-85:n ja Eu-152:n		

jakaantumiskertoimet (K_d) ionivahvuuden funktiona MX-80 bentoniitti jauheelle ja siitä kokeen aikana erottuneelle kolloidiselle fraktiolle NaCl ja CaCl_2 liuoksissa ($I=0.001-0.1$ M). Eu-152:n jakaantumiskertoimet (K_d) on määritetty MX-80 suoraan bentoniitista erotetulla kolloidisella liuoksella ionivahvuuden funktiona laimennetussa OLSO referenssi pohjavedessä sekä natriumkloridi ja kalsiumkloridiliuoksissa ($I=0.001-0.1$ M). Sr-85:n jakaantumiskertoimet (K_d) bentoniittikolloideihin vastaavissa olosuhteissa on meneillään.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Hölttä, P., Elo, O, Jortikka, S., Niemiaho, S. Lahtinen, M. and Lehto, J., Sr-85 and Eu-152 sorption on MX-80 bentonite colloids. Poster Migration 2013 kokouksessa. Julkaisu tekeillä.

Niemiaho, S., Hölttä, P., Voutilainen, M. and Lehto, J., The effect of colloids on radionuclide transport in column experiments, Poster Migration 2013 kokouksessa. Julkaisu tekeillä.

Hölttä, P., Lehto, J. and Harjula, R., Stability of Silica Colloids Released from Injection Grout Silica Sol. WM2014 Conference, March 2 – 6, 2014, Phoenix, Arizona, USA. Artikkelin on kirjoitettu ja hyväksytty 12/2013.

Hölttä, P., Niemiaho, S., Elo, O, Lehto, J. and Harjula, R., Interaction of Radionuclides and Colloids Released from Materials Related to the Disposal of SNF. WM2014 Conference, March 2 – 6, 2014, Phoenix, Arizona, USA. Artikkelin on kirjoitettu ja hyväksytty 12/2013.

Suvi Niemiaho, Bentonittikolloidien kulkeutuminen ja vaikutus ^{85}Sr :n ja ^{152}Eu :n liikkuvuuteen graniittisessa kivessä. Pro gradu 2013, Helsingin yliopisto

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Esitykset KYT2014 seurantaryhmän kokouksissa, CFM ja EU/BELBaR projektien workshopeissa.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Material Integrity of Welded Copper Overpack		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Teknologian tutkimuskeskus VTT		J. Rantala
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Samanniminen projekti 2011-13; osa koordinoitua hanketta vuodesta 2012, haetaan jatkoa 2015-2018		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Aalto Yliopisto	SSM (Ruotsi)	
Tutkimuksen tavoite		
<ul style="list-style-type: none"> - täydentää virumismallia relaksaation osalta ja verifioida ennusteet kokeellisesti - selvittää moniakσιαalisuuden vaikutus kuparin elinikään, myös oletettujen vikojen osalta - ennustaa minimielinikä myös vikoja sisältävälle kapselikuparille 		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellinen tulosaineisto, materiaaliominaisuudet, ennuste pitkäaikaiskestävyydestä	3	Yksi diplomityö valmistunut, yksi väitöskirja työn alla
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
<p>Projekti tuottaa pitkiin koeaikoihin perustuvan kokeellisen näytön ja mallipohjaiset ennusteet viranomaisille tukemaan päätöksentekoa ydinjätteen loppusijoituksen kulkeutumisesteen osalta. Projektin tuloksina saadaan laaja koetulosaineisto, kokeellisen toiminnan valmiudet ja asiantuntijaosaaminen vauriomekanismeista, mallinnuksesta, pitkän ajan elinikäennusteista sekä kokeelliseen näyttöön perustuva syvälinen ymmärrys kuparin käyttäytymisestä.</p>		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<p>Elinikäennusteiden laatimiseksi ja virumismallin kehittämisen vuoksi käynnistetty OFP kuparin koeohjelma on jatkunut matalan lämpötilan ja jännityksen kokeilla. Eriyisen tärkeitä ovat olleet pisin moniakσιαalinen CT-koe, jossa on havaittu raerajakoloutumista sekä pisin yksiakσιαalinen koe, joka on ollut käynnissä 11.5 vuotta ja osoittaa suurta muodonmuutoskykyä pintasäröjen muodostumisesta huolimatta. Referenssimateriaalina on testattu puhdasta OF kuparia, joka säröytyy CT-kokeessa nopeasti.</p> <p>Vuoden aikana valmistui diplomityö (Maija Raunio), jossa tutkittiin mahdollisuutta valmistaa lovellinen koesauva kipinätyöstöllä. Työssä tehtiin myös kipinätyöstetylle neliömäiselle geometrialle särön FE jännitysanalyysi referenssijännityksen määrittämiseksi. Työn valmistuttua lovellisten sauvojen kokeellista testausta on jatkettu moniakσιαalisuuden vaikutuksen selvittämiseksi. Kuparilieriölle tehtiin FE analyysi LCSP virumismallilla. Laskenta osoitti, että kitkatappiliitoksen kärkeen syntyvä venymä 56000 vuoden jälkeen on vain noin 3%. Muutoin laskennan tulokset osoittavat huomattavan nopeaa jännitysten relaxoitumista, joka on ristiriidassa SKB:n aikaisemmin julkistamien tulosten kanssa. Tämän vuoksi käynnistettiin myös relaksaatiotestaus laboratorikiokesauvoilla ja käynnistettiin relaksaation mallinnus kolmella eri mallilla. Mallien kehityksen jälkeen suoritetaan uusi laskenta vuonna 2014.</p>		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
1) Rantala, J.; Auerkari, P.; Holmström, S.; Salonen, J.; Laukkanen, A.; Andersson, T.; Saukkonen, T.,		

Performance of welded OFP copper for the overpack of final repository canister, the 7th Asia Pacific IIW International Congress 2013, 8-10 July, 2013, Singapore

2) Rantala J., Auerkari P., Holmström S., Laukkanen A., Andersson T., Performance of copper overpack for repository canisters, BALTICA IX, Intl Conf on Life Management and Maintenance for Power Plants, 11-13 June 2013, Helsinki

3) Maija Raunio, M.Sc. thesis, Application and validation of a new approach for notched bar creep testing of nuclear waste disposal canister copper, Tampere Univ. of Technology, 2013

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Kuparisen ydinjätekapselfin mekaaniset ominaisuudet		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Mechanical properties of copper canisters for nuclear waste		
Tutkimuslaitos Aalto Yliopisto Insinööritieteiden korkeakoulu	Vastuuhenkilö Hannu Hänninen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa vuonna 2007 alkaneelle tutkimukselle		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, STUK, Posiva	Ulkomaiset organisaatiot SKB, Ruotsi; Swerea KIMAB, Ruotsi; Tohoku yliopisto, Japani	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Selvittää kuparikapselin eri osien mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää mikroskooppinen ja makroskooppinen plastinen deformaatio kuparikapselin rakenteissa. Selvittää vedyn vaikutusta kuparikapselin mekaanisiin ominaisuuksiin.		
Tuloskategoria Kokeelliset menetelmät kehitetty kuparin optiseen venymämittaukseen ja vetyvaraukseen.	Julkaisujen lukumäärä 3	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 DI-työ
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Kuparikapselin eri osien mekaaniset ominaisuudet, sallittavan plastisen deformaation määrä ja vikojen koon ja laadun sekä ympäristön mukaan lukien vedyn vaikutukset kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin pitää tuntea turvallisuusanalyysissä. Tuloksia hyödyntävät erityisesti viranomaiset ja muu kapselitutkimus.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparikapselin eri osien (perusmateriaalit ja hitsit) mekaaniset ominaisuudet sekä plastisen deformaation mekanismit kvantitatiivisesti mikroskooppisella ja makroskooppisella tasolla. Tutkimuksessa on kolme osatehtävää: <i>Kuparikapselin eri osien (perusmateriaalien ja hitsien) mekaaniset ominaisuudet.</i> Lauri Luumin diplomityössä tehtiin kuparin FSW hitsausta perinteisellä Ni- ja uudella Co-pohjaisella työkalulla Tohoku yliopistossa Japanissa. Hitsausliitoksille tehtiin laaja mekaanisen testauksen koesarja sekä ehjillä että aitoja hitsausvikoja sisältävillä FSW-hitseillä. Lisäksi testattiin rinnakkaisessa koesarjassa aitoja hitsausvikoja sisältäviä EB-hitsejä. Kokeet on tehty optista venymämittausta ja digitaalista kuvakorrelaatiota (DIC) käyttäen. EB-hitsien elastisen anisotropian tutkimusta nanoindentaatiolla ja EBSD:llä jatkettiin ja artikkelin käsikirjoitus on valmis. Optisia venymämittauksia varten kehitettyä pintamalla, joka mahdollistaa erittäin tarkan paikallisten venymien mittauksen, parannettiin merkittävästi. <i>Kuparikapselin eri osien (perusmateriaalien ja hitsien) mekaanisten ominaisuuksien selvittäminen lämpötilan ja muodonmuutosnopeuden funktiona käyttäen optista venymämittauslaitteistoa.</i>		

Kokeita on jatkettu hitaalla kuormitusnopeudella (10^{-7} 1/s) ja murtovenymät ovat merkittävästi alentuneet. Kokeita on tehty pääasiassa hitsausvirheitä sisältävillä EB- ja FSW-hitsinäytteillä käyttäen optista venymämittausta. Korotetussa lämpötilassa tehtäviä kokeita varten on rakennettu tutkimusvalmius ja sitä on testattu optisia venymämittauksia varten.

Vedyn absorptio kupariin ja kuparin vetyhauraus

Vedyn vaikutusta kuparikapselin mekaanisiin ominaisuuksiin on tutkittu tekemällä veto- ja virumiskokeita vetyvaratuilla näytteillä ja vedyn liukoisuutta ja diffuusiota kuparissa on tutkittu termisen desorption menetelmällä.

Aiheesta on pidetty kansainvälinen seminaari ("Hydrogen-related effects in copper") Ruotsissa, KTH, Stockholm, 18–19.07.2013. Seminaarin tuloksena voitiin todeta, että vety vaikuttaa merkittävästi kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin ja virumiseen. Haurastumisen kvantitatiivisen merkityksen ymmärtämiseksi on tehty *in situ* –aineenkoetusta vedyn vaikutuksesta kuparin deformaatiomekanismeihin erilliskiteiden avulla ja tuloksista on valmistella lehtiartikkeli. Fysikaalinen *ab initio* mallinnus vedyn vaikutuksesta kupariin on edennyt merkittävästi ja aiheesta valmistui lehtiartikkeli.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Diplomityö:

- Luumi L. (2013) Effect of weld defects on mechanical properties of spent nuclear fuel copper canister. Aalto University, Department of Engineering Design and Production. M.Sc. dissertation.

Julkaisut:

- Saukkonen, T., Savolainen, K., Hänninen, Nanoindentation Study of Elastic Anisotropy in Electron Beam Welds of OFP Copper. To be submitted to Materials Characterization.
- Ganchenkova, M.G., Yagodzhinsky, Y.N., Borodin, V.A. and Hänninen, H.E., Effects of hydrogen and impurities on void nucleation in copper: simulation point of view. Submitted to Philosophical Magazine.
- Aaltonen, P., Yagodzhinsky, Y., Saukkonen, T., Kilpeläinen, S., Tuomisto, F., Hänninen, H., Role of excessive vacancies in TGSCC of pure copper. To be submitted to Metallurgical and Materials Transactions A.
- Hänninen, H., Malitckii, E., Saukkonen, T., Yagodzhinsky, Y., Hydrogen-induced cracking of oxygen-free phosphorus-doped copper. 2012 International Hydrogen Conference, Hydrogen-Materials Interactions, September 9-12, 2012, Jackson Lake Lodge, Moran, Wyoming, USA, Ed. B.P. Somerday and P. Sofronis, ASME Press, 2014, pp. 451-459.

Hannu Hänninen on Swedish National Council for Nuclear Waste (Kärnavfallsrådet) jäsen ja hän on osallistunut tällä tutkimusalueella seuraavien raporttien kirjoittamiseen merkittävästi:

- Swedish National Council for Nuclear Waste, Granskning av FUD-program 2013 Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall.
- Swedish National Council for Nuclear Waste, Kärnavfallsrådets yttrande över Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) svar på Rådets yttranden på kompletteringar av ansökan om tillstånd enligt miljöbalken i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall, 2013.
- Hänninen, H., Hydrogen absorption on copper and implication for long-term safety. Scientific symposium "New insights into the repository's engineered barriers", Kärnavfallsrådet, Stockholm, 20-21.11.2013.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Tuloksista on tiedotettu seuraavissa konferensseissa ja seminareissa:

- Hannu Hänninen, Yuriy Yagodzhinsky, Evgeni Malitckii, ja Olga Todoshchenko, International

workshop "Hydrogen-related effects in copper", KTH, Stockholm, 18-19.07.2013.
Presentations:

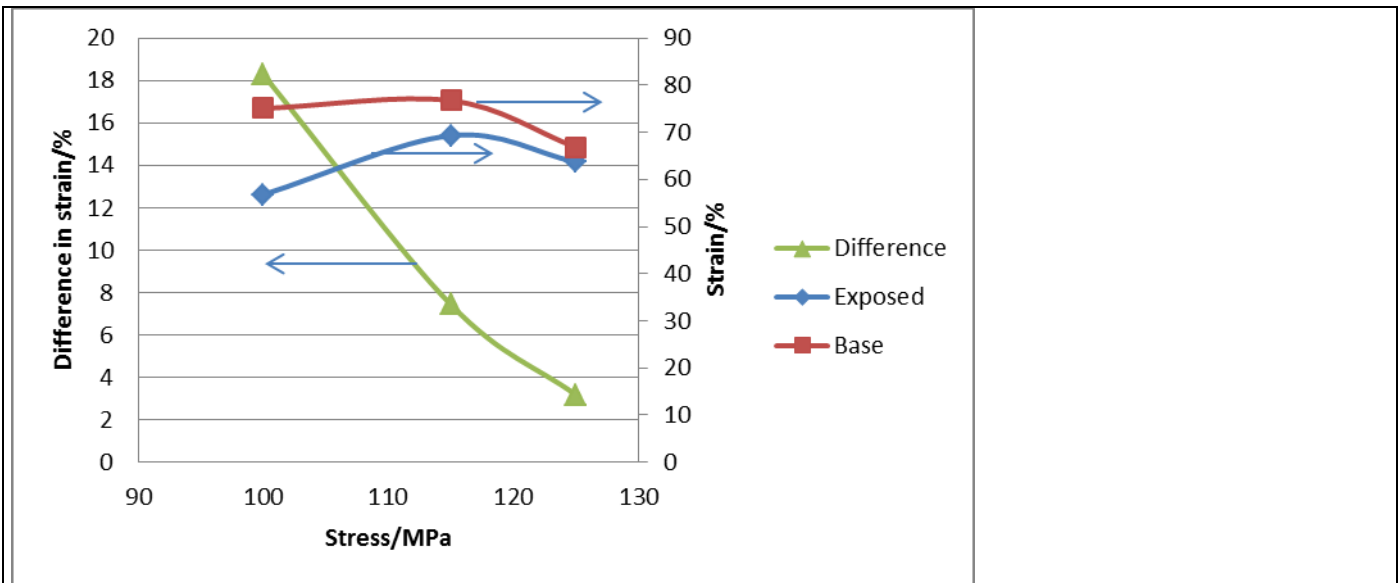
- **Studies of hydrogen in copper at Aalto University**
H. Hänninen
- **Hydrogen enhanced creep and inelastic response of OFP copper**
Y. Yagodzinsky, E. Malitckii, T. Saukkonen, and H. Hänninen
- **Hydrogen and point defect clustering in copper**
M. Ganchenkova, Y. Yagodzinsky, and H. Hänninen
- **Hydrogen-induced strain localization and grain boundary mechanical response in copper**
E. Malitckii, Y. Yagodzinsky, T. Saukkonen, and H. Hänninen
- **Thermal desorption spectroscopy of copper after its corrosion in water**
O. Todoshchenko, Y. Yagodzinsky, and H. Hänninen

Tutkimusvierailu:

- Lauri Luumi, Tohoku University, Sendai, Japani, 11.1. – 13.2.2013.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen (CUHA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Sulphide-induced embrittlement of CuOFP		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuuhenkilö Timo Saario	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) 3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Ei		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Selvittää aiheuttavatko sulfidit kuparin haurastumista.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä 1	Opinnäytetöiden lukumäärä 0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Kuparikapselin pitkäaikaiskestävyydestä vastuussa olevat tahot voivat hyödyntää tuloksia arvioidessa kapselin korroosion kestoa.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Osatehtävä1: Näytteiden murtopinnoilta ei löydetty EDS-analyysin perusteella rikkiä. Sulfidin diffuusiota kuparin sisään ei huoneen lämpötilassa havaittu. Jos ilmiö on todellinen, diffuntoituvan sulfidin määrä huoneen lämpötilassa on hyvin pieni, laitteiston erotuskyvyn alapuolella. Osatehtävä 2: Tähän osaprojektiin ei ollut suunniteltu työtä vuodelle 2013. Osatehtävä 3: Sulfidia ei pääse diffuntoitumaan perusmateriaaliin huoneen lämpötilassa dynaamisen kuormituksen aikana siinä määrin, että sitä voitaisiin käytössä olevan laitteiston avulla havaita. Osatehtävä 4: Hidasvetokokeiden perusteella näytteistä ei löytynyt jännityskorroosiosäröjä. Vetokokeiden perusteella kasvava altistus aika sulfidipitoiselle tekopohjavedelle alentaa jonkin verran kuparin murto- ja myötölujuutta. Kokeissa käytetyt altistusajat ovat kuitenkin suhteellisen lyhyitä (7 ja 14 viikkoa), jotta mekaanisissa ominaisuuksissa nähtäisiin selkeää laskevaa trendiä. Virukokeiden perusteella altistus sulfidipitoiselle tekopohjavedelle alentaa kuparin sitkeyttä. Kolmella eri jännitystasolla tehtyjen kokeiden perusteella kuparin sitkeysominaisuudet heikentyvät lisääntyvissä määrin virumisajan kasvaessa eli jännitystason laskiessa (ks. kuva).		



Kuva 1: Virumiskokeiden vertailua. Altistetuilla näytteillä on jokaisella jännitystasolla alempi murtovenymän arvo. Kun kunkin jännitystason koetta verrataan toisiinsa, huomataan, että ero murtovenymässä kasvaa jännitystason laskiessa.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Konsta Sipilä, Esko Arilahti, Taru Lehtikuusi, Timo Saario. The Effect of Sulphide Exposure on the Mechanical Properties of CuOFP hyväksytty julkaistavaksi Corrosion Engineering Science and Technology-lehdessä.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kupari-kapselin eri korroosimuotoihin		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Effect of microbial action on different corrosion processes of the copper canister		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuuhenkilö Leena Carpén	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus (Kapselin pitkäaikaiskestävyys)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke ja tutkimustyö on alkanut vuonna 2013. Projektin jatko on mahdollinen, mikäli se on tulosten mukaan hyödyllistä.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot HY	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosioikäyttyymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa. Tutkimuksia tehdään laboratoriossa koeolosuhteissa, jotka vastaavat mahdollisimman tarkasti loppusijoitusolosuhteita sekä myös kenttäolosuhteissa. Tuloksia hyödynnetään kuparin pitkäaikaiskestävyys-painoalueella arvioitaessa korroosionopeuksia ja korroosiovaikutusten arvioimiseksi tehtyjen mallien oikeellisuutta. Hankkeessa otetaan käyttöön online-mittausmenetelmä kuparin korroosion tutkimiseksi ja uusia, entistä tarkempia molekyylibiologisia mikrobimääritysmenetelmiä. Näitä menetelmiä voidaan soveltaa ja hyödyntää laajasti erilaisissa sovellutusympäristöissä. Hankkeessa koulutetaan osajaa/osajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle.		
Tuloskategoria Kokeellinen menetelmä, uutta tietoa	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa loppusijoituskapselin mahdollisesta mikrobiologisesta korroosioista johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) 1. Tehtävä. Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen Vuoden 2013 aikana on suunniteltu ja rakennettu koejärjestelyt, joiden avulla voidaan tutkia kuparin mikrobiologista korroosiota laboratorio-olosuhteissa ja jotka mahdollistavat sähkökemiallisen online-seurannan. Koejärjestely rakennettiin niin, että olosuhteet vastaavat mahdollisimman tarkasti loppusijoitusolosuhteita. Koejärjestelyn suunnittelussa oletettiin, että pohjavesi on kosketuksissa metallinäytteisiin. Kokeissa käytettiin kaasutiiviitä koeastioita, joihin sijoitettiin kuparinäytteet. Koeastiat täytettiin synteettisellä hapettomalla vedellä, joka vastaa loppusijoitusalueen pohjavettä, joka on ollut kosketuksissa bentoniitin kanssa. Koeastioihin lisättiin ONKALOn pohjavedestä loppusijoitusvyöhykeltä rikastettuja sulfaattia pelkistäviä mikrobeja. Mikrobiympin lisäämisellä on tarkoitus kiihdyttää SRB bakteerien aiheuttamaa kuparin korroosiota. Mikrobiologisesta toiminnasta johtuva korroosio vastaa vain osaa kokonaiskorroosioista, minkä vuoksi koesarjaan sisällytettiin abioottiset kontrolliastiat. Koesarja on käynnissä ja alustavia sähkökemiallisia tuloksia on esitetty vuosi-raportissa. Koesarja lopetetaan vuoden 2014 aikana ja tulokset raportoidaan vuoden 2014 raportoinnin yhteydessä. Koejärjestelyjä suunniteltaessa hyödynnettiin projektin yhteydessä tehtyä kirjallisuusselvitystä.		
2. Tehtävä. Määrittää potentiaalisten jännityskorroosiota kiihdyttäviä aineita tuottavien mikrobi-		

ryhmien aineenvaihduntaa ja selviytymistä Suomen loppusijoitusolosuhteissa siten, että tulosten perusteella on mahdollista arvioida mikrobimallin (CCM-MIC) luotettavuutta.

Mikrobien typpimetabolialla loppusijoitusolosuhteissa kartoitettiin opinnäytetyön puitteissa. Tässä tutkimuksessa osoitettiin, että typpiyhdisteet ammonium ja nitraatti selkeästi lisäsivät mikrobien kasvua, ja että nämä yhdisteet voivat olla pohjavedessä mikrobi- yhteisöjen kasvua rajoittava tekijä. Bakteriyhteisössä lisääntyivät nitraattia pelkistävät bakteerit kaikissa käsittelyissä huomattavasti verrattuna lähtötilanteeseen, kun ammoniumia hapettavat bakteerit lisääntyivät vain vähän. Tämä voi johtua siitä, että metaanin hapetus kiihtyi kohonneen ammoniumin pitoisuuden vuoksi, jolloin myös ammoniumin hapetus kiihtyi muodostaen uutta nitraattia. Kun metaania ei lisätty näytteisiin, nitraattia pelkistävien bakteerien määrä oli selvästi alhaisempi.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

1 Gradu-työ, 1 julkinen vuosiraportti, 1 Kirjallisuuskatsaus. Julkaisuvuosi 2014.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Kuparin korroosio hapettomassa vedessä		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Corrosion of copper by water under oxygen free conditions		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Aalto-yliopisto/Materiaalitekniikan laitos		Prof. Olof Forsén
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Projekti on alkanut vuonna 2010 ja jatkuu 31.1.2014 asti. Tällä hetkellä jatkoa on suunniteltu painohäviökokeisiin QCM-anturilla.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT	Studsvik Nuclear AB	
Tutkimuksen tavoite		
<ul style="list-style-type: none"> - saada lopullinen tieto siitä, onko kuparin korroosio vetyä kehittäen mahdollista hapettomassa puhtaassa vedessä - saada tieto siitä, onko em. reaktio mahdollista simuloitussa pohjavedessä - arvioida tämän mahdollisen korroosion todennäköisyys ja mahdolliset seuraukset todellisessa loppusijoituksessa 		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
	0	0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
<ul style="list-style-type: none"> - loppusijoituksesta päättävät voivat arvioida kuparin korroosionkeston paremmin. Jos vetyä ei muodostu, parantaa se kuparin korroosionkestoa. Mikäli vetyä syntyy, voidaan arvioida vedyn kuparin korroosionopeutta nostava vaikutus. - mikäli vetyä muodostuu Cu:n korroosion katodireaktiossa, on tutkimuslaitosten ilmeisesti tutkittava uusien tähän asti tuntemattomien kupariyhdisteiden muodostumista ja niiden termodynaamikkaa - kehitetyllä laitteistolla saatavaa potentiaali- ja pH -dataa voidaan hyödyntää vedyn muodostumisen tarkempaa termodynaamiseen laskentaan 		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
Osatehtävä 1 Laitteiston kammion muutostyöt		
<p>Laitteistoon valmistettiin kuparinen kammio ja tarvittavat muutokset entiseen tiedonkeruulaitteistoon tehtiin. Kuparista valmistetussa kammiossa voidaan ajaa kokeita selvästi suuremmalla pinta-alalla kuin aikaisemmalla laitteistolla, minkä pitäisi tuottaa enemmän vetyä. Korroosipotentiaali- ja redox-mittauksiin tarvittavat instrumentit asennettiin ja testattiin. Vakuumpumppu vaihdettiin keskeytysten minimoimiseksi. Kammion puhdistus ennen kokeita (toistettavuuden varmistamiseksi) toteutettiin sitruunahappopeittauksella. Alakammion tiiveydessä havaittiin haasteita, mittaaselektrodien yhteiden tiivistyksessä kapillaarivuotoja, jotka ratkaistiin korvaamalla grafiitti osittain teflonilla ja kiristämällä grafiittitiivistystä.</p>		
Osatehtävä 2 Testikokeet toimivuuden varmistamiseksi		
<p>Testikokeet toimivuuden varmistamiseksi tehtiin synteettisessä pohjavedessä, T=25 °C. Elektrodien toiminta varmistettiin. Kokeiden aikana havaittiin vuotoa alakammiossa mikä ratkaistiin. Myös yläkammio koottiin ja tiivistettiin uudelleen alakammion testauksen aikana ilmenneen referenssivuototason nousun takia. Testien aikana havaittiin, että laitteiston ollessa yhteydessä ilma-</p>		

atmosfääriin, kuparikammion ja kuparielektrodin korroosiopotentiaalit ovat stabiileja, mutta platinaelektrodilla mitattu korroosiopotentiaali vaihtelee syklisesti noin -60...+20 mV vs. Ag/AgCl Kammion ollessa suljettu ja hapettomassa tilassa kuparin korroosiopotentiaali on 12 tunnissa tasolla -80 mV ja Pt-elektrodin mittaama redox-potentiaali laskee tasolta 20 mV tasolle -80 mV kahdessa vuorokaudessa. 5 viikon kokeen jälkeen ei havaittu hapettumia kammion pinnoilla. Vetyä ei voitu mitata luotettavasti yläkammion vuodon takia, mutta kokeen Pd-kalvosta mitattiin 1.29 ppm vetyä.

Osatehtävä 3 Kokeet synteettisessä pohjavedessä. T=60 °C

Kokeet aloitettiin kun yläkammion vuodot oli saatu poistettua. Kokeen alussa havaittiin sama redox potentiaalin laskeminen kuin huoneenlämpötilassa. Kokeet keskeytyivät laitteiston lämmityslaitteen kuumennuttua liikaa ja sytytettyä eristeet tuleen. Laitteiston elektrodit, venttiilit ja paineanturit on saatu uusittua. Kennon puhdistus, kokoaminen ja tiiveystarkastukset ovat käynnissä. Lämmityslaitteen kuumentuminen johtui referenssiantureista. Laitteisto oli mahdollisesti vaurioitunut syyskuun alussa samalla kuin mittaustietokone ja ilmastointilaitteet tuhoutuivat tuntemattomasta syystä. Kaikki nämä ovat olleet sähkölaitevikoja.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Ei julkaisuja

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Tutkimusta esitelty Aallon Materiaalitekniikan laitoksen vierailijoille ja käytetty kurssimateriaalina

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Kallion in situ tutkimukset		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi In situ long term diffusion experiments		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopiston kemian laitos, radiokemian laboratorio (HYRL)	Vastuuhenkilö Marja Siitari-Kauppi	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus: Kallioperä ja pohjavesi ja Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on tutkimuskokonaisuus kansainvälisessä yhteistyöprojektissa (Grimsel Test Site - Phase VI): Long Term Diffusion (LTD)		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot JYFL, GTK	Ulkomaiset organisaatiot Nagra, JAEA, NRI, RAWRA, HYDRASA (University of Poitiers), IDAEA-CSIC	Muut tutkimusohjelmat, tms. EU projekti Posinam
Tutkimuksen tavoite Hankkeesta saatava tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia. Ydinjätehuollon toimijat ovat ottaneet käyttöönsä kehitettyjä in situ kulkeutumistutkimusmenetelmiä paikka tutkimuksissaan. Asiantuntijoita on koulutettu alan kasvavaan tarpeeseen.		
Tuloskategoria menetelmien kehitys, luo laajaa osaamis pohjaa, kansainvälisen yhteistyön ylläpito, uuden tutkijapolven perehdyttäminen	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Työssä käytettyjä kallion in situ tutkimusmenetelmiä kiven rakenteen selville saamiseksi kuin myös kehitettyjä analyysitekniikoita pidättymättömien radioaktiivisten alkuaineiden määrittämiseksi kivinäytteistä voidaan hyödyntää in situ kulkeutumiskokeissa Suomessa. Hyödyttää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Seleenin sorptio ja diffuusio Kurun harmaassa graniitissa ja Grimselin granodioriitissa on tutkittu hapellisissa oloissa. Seleenin esiintyy mallilaskuihin perustuen kahdella hapetusasteella (+IV ja +VI) seleniittinä ja selenaatina pH 7-9 pohjavesiolosuhteissa.. Sorptiokokeita on tehty myös hapettomissa olosuhteissa ja eri seleenin spesiaatioilla kivimurskeille. Jakaantumis- ja diffuusiokertoimet on määritetty TDD mallien avulla. Kesiumille on määritetty jakaantumis- ja diffuusiokertoimet Grimselin granodioriitissa in situ kokeen tuloksista.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt L. Jokelainen, T. Meski, A. Lindberg, J. M. Soler, M. Siitari-Kauppi, A. Martin and J. Eikenberg (2013) The determination of ¹³⁴ Cs and ²² Na diffusion profiles in granodiorite using gamma spectroscopy, J Radioanal Nucl Chem, DOI 10.1007/s10967-012-2268-y J. M. Soler, J. Landa, V. Havlova, Y. Tachi, T. Ebina, P. Sardini, M. Siitari-Kauppi and A. J. Martin, Modeling of an in-situ diffusion experiment in granite at the Grimsel Test Site; MRS – 2013 proceedings		

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

V. Havlova, J. Landa, F. Sus, A. Martin, M. Siitari-Kauppi, J. Eikenberg, P. Soler, J. Miksova, Long term diffusion experiment LTD Phase I.: evaluation of results and modeling, Migration 2013

J. M. Soler, J. Landa, V. Havlova, Y. Tachi, T. Ebina, P. Sardini, M. Siitari-Kauppi and A. J. Martin, Modeling of an in-situ diffusion experiment in granite at the Grimsel Test Site MRS 2013

M. Voutilainen, P. Sardini, M. Siitari-Kauppi, A. Martin, J. Timonen, Diffusion of cesium in Grimsel granodiorite: simulations in the domain with heterogeneous sorption properties, Migration 2013, Posinam Final Workshop 2013, 1st Russian Nordic Radiochemistry Symposium 2013

M. Siitari-Kauppi, M. Kelokaski and A. Martin, In-situ PMMA impregnations in Grimsel test Site, Posinam Final Workshop 2013

A. Martin, M. Siitari-Kauppi, V. Havlova, Y. Tachi, J. Miksova, An overview of the long-term diffusion test, Grimsel test site, Switzerland, Migration 2013

J. Ikonen, P. Sardini, M. Voutilainen, K. Hänninen, L. Jokelainen, R. Pehrman, A. Martin, M. Siitari-Kauppi, Behaviour of selenium crystalline rock, Migration 2013, 1st Russian Nordic Radiochemistry Symposium 2013

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Pore structure characterization of rock with nanotomography combined with matrix diffusion modeling		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos	Mikko Voutilainen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Kaksivuotisen hankkeen ensimmäinen vuosi, joka on jatkoa 2009-2010 toteutetulle hankkeelle "Kiven heterogeenisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen "		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio	Nagra, Sveitsi	Grimsel, LTD Phase II CRESTA
Tutkimuksen tavoite		
Tuloksia voidaan soveltaa arvioitaessa ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisvaikutuksia, radionuklidien kulkeutumista biosfääriin ja loppusijoitustilaa ympäröivän kivimatriisin pidentymisominaisuuksia. Niitä voivat hyödyntää sekä viranomainen että ydinjätetoimijat.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Sekä kokeellisia menetelmiä että numeerisia simuloitteja	1	0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tutkimuksen tavoitteena on karakterisoida kiven rakennetta nanotomografialla ja mallintaa matriisidiffuusiota realistisessa rakenteellis-kemiallisesti heterogeenisessä kivessä ja tuottaa analysointityökalu in situ – kokeiden tulkintatarpeisiin. Hankkeesta saatava tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia ja ydinjätetoimijoiden tekemää turvallisuusanalyysiä.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
Sievin ja Olkiluodon näytteistä eroteltiin eri mineraalit käyttäen raskasnestemenetelmää, jonka jälkeen eroteltujen rakeiden joukosta valittiin sopivat rakeet stereomikroskoopilla. Molemmista näytteistä valittiin 3 mineraalia tomografia kuvauksiin. Valitut mineraalit kuvattiin ensin mikrotomografialaitteella ja sen jälkeen tarkemmalla nanotomografialaitteella. Tomografiasta saaduille kolmiulotteisille kuville suoritettiin kohinansuodatus sekä kvalitatiivista ja kvantitatiivista rakenneanalyysiä. Kuvausten jälkeen varmistettiin mikroanalyysointimääritysten avulla, että valitut mineraalirakeet todella edustivat tutkimukseen valittuja mineraaleja. Alkuperäisessä tutkimussuunnitelmassa olleet hila-Boltzmann -simuloinnit on päätetty jättää mahdollisen seuraavan KYT-hankkeen aiheeksi. Yhteistyötä CRESTA-projektin tutkijoiden kanssa on kuitenkin tarkoitus jatkaa myös vuonna 2014.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Voutilainen, M., Sardini, P., Siitari-Kauppi, M., Kekäläinen, P., Aho, V., Mylly, M., Timonen, J., Diffusion of tracer in altered tonalite: Experiments and simulations with heterogeneous distribution of porosity. <i>Transp. Porous Med.</i> 96(2), 319-336, 2013. Voutilainen, M., Sardini, P., Siitari-Kauppi, M., Martin, A., Timonen, J., Diffusion of Cesium in Grimsel Granodiorite: Simulations in Time Domain with Heterogeneous Sorption Properties, (in progress)		

Kuva, J., Voutilainen, M., Parkkonen, J., Lindberg, A., Timonen, J., Microstructure of pure minerals from Olkiluoto and Sievi using nanotomography, (in progress).

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

1. Esitys KYT2014-puoliväliseminaarissa Helsingissä "Kiven heterogeenisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen", 2. Esitys Migration 2013 –konferenssissa Brightonissa "Diffusion of Cesium in Grimsel Granodiorite: Simulations in Time Domain with Heterogeneous Sorption Properties", 3. Esitys RNSR-konferenssissa Moskovassa "Diffusion of Cesium in Grimsel Granodiorite: Simulations in Time Domain with Heterogeneous Sorption Properties", 4. Esitys Posinam EU-projektin päätöskokouksessa Poitiersissa "¹⁴C-PMMA autoradiograph linked to X-Ray microtomography and diffusion simulations in heterogeneous rock matrix"

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyllyteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Release of C-14 under disposal conditions (CARBON-14)		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
VTT	Kaija Ollila	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke on suunniteltu kolmevuotiseksi. Hanke on osana EU-projektihakemusta CAST (Carbon-14 Source Term), joka on neuvotteluvaiheessa.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Helsingin Yliopiston Radiokemian Laboratorio		
Tutkimuksen tavoite		
<p>Hankkeen tavoitteena on selvittää voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen aktiivisissa metallikomponenteissa olevan ¹⁴C-isotoopin vapautumista pohjaveteen loppusijoitustilaolosuhteissa, veteen syntyviä liuenneita ja kaasumaisia hiilen kemiallisia olomuotoja, erityisesti niiden jakautumista orgaanisiin ja epäorgaanisiin muotoihin. Orgaanisen hiilen osuus on erittäin tärkeä, koska orgaaniset hiilispesiektet ovat helposti kulkeutuvia ja siten merkittäviä turvallisuustarkastelujen kannalta.</p>		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellinen menetelmä	1	
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tulokset antavat tärkeää tietoa ydinjätteiden loppusijoituksen realistisempia turvallisuustarkasteluja varten. ¹⁴ C on osoittautunut säteilyvaikutukseltaan merkittäväksi isotoopiksi voimalaitos- ja purkujätteessä (sekä käytetyissä polttoainepiissa).		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
1.1	<p>Hiilen eluutio teräksestä ja rautakarbidiasta Eluutiokokeet kahdella teräsmateriaalilla, Loviisan ruostumattomalla teräksellä (0.08% C) ja japanilaisella ylihiiliteräksellä (1.1-1.2 % C) jatkuivat vuoden läpi. Kokeet aloitettiin osittain vuonna 2012. Batch-kokeita on käynnissä kaksi koesarjaa hapettomassa kaapissa (Ar). Vesifaasi on synteettinen pohjavesi, jonka koostumus jäljittelee Loviisan pohjavesinäytteen koostumusta. Vesiä on kaksi, CA85 (pH 8.5) ja CA125 (pH 12.5), joista jälkimmäinen simuloi sementin vaikutusta. Orgaanista hiiltä havaitaan kokeissa. Pitoisuudet ovat pysyneet samalla tasolla ja kasvavat jonkin verran korkeassa pH:ssa. Epävarmuutta tuloksissa aiheuttaa lähtömateriaalin puhtaus. Teräksen murskaus- ja puhdistusmenetelmät vaativat lisäselvitystä. Tarkennettuja kokeita uudella lähtömateriaalilla, sekä rautakarbidiin eluutiokokeet siirrettiin aloitettavaksi EU-CAST projektissa, jonka aloituspvm siirtyi kesäkuulta 2013 lokakuulle. Sen sijaan aikaisempia kokeita jatkettiin suunniteltua pidempään. Kokeiden tuloksia on raportoitu vuosiraporteissa 2012 ja 2013. Tulokset raportoidaan yksityiskohtaisemmin erillisessä raportissa (2014).</p>	
1.2	<p>Kirjallisuus Tiina Heikola on tutustunut aihealueeseen lukemalla kirjallisuutta ja jatkamalla Ulla Vuorisen tekemää kirjallisuustutkimusta. Kirjallisuustutkimus on valmistunut ja julkaistu VTT:n raporttisarjassa. Tutkimuksessa käytiin läpi kokeellista tutkimusta laajemmin kuin</p>	

ensimmäisessä, jossa oli keskitytty hiilen vapautumiseen teräksestä. Suurempi osa tutkimuksista onkin tehty koskien hiilen vapautumista muista materiaaleista (grafiitti, Zircaloy ja käytetty polttoaine). Analyysimenetelmistä pyrittiin löytämään lisätietoa koskien mm. suodatusta ja kontaminaatiota aiheuttavia tekijöitä.

1.3 CAST (Carbon-14 Source Term)

EU-projekti käynnistyi 1.10.2013. Projektiin sisältyvät osaprojektin 1.1 tarkennetut säteilyttämättömän teräksen eluutiokokeet ja rautakarbidin liukenemiskokeet (WP2: Steel). Analyysimenetelmien testaus joudutaan sisällyttämään erilliseen kansalliseen projektiin, koska CAST:ssa se allokoitiin kahdelle muulle partnerille. Lontoossa marraskuussa pidettyyn aloituskokoukseen osallistui Tiina Heikola. Kokeellinen osa aloitetaan vuonna 2014.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Vuorinen U. 2012. ^{14}C aktivoituneessa metallijätteessä-kirjallisuusselvitys. Tutkimusraportti VTT-R-05446-12.

Heikola T. 2013. Leaching of ^{14}C in Repository Conditions – Transport and Speciation. Espoo 2013. VTT Technology [No.]. 38 p.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Chemical forms and sorption of radiocarbon in the geosphere		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Helsingin yliopiston kemian laitos, Radiokemian laboratorio (HYRL)		Prof. Jukka Lehto
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke aloitettiin pro gradu -työnä vuonna 2013 ja varsinainen projekti alkoi vuoden 2013 maaliskuussa. Hanke jatkuu ja sille on haettu rahoitusta KYT:sta myös vuodelle 2014.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT, HY:n Kemian laitoksen Analyttisen kemian laboratorio, GTK		YTERA
Tutkimuksen tavoite		
Tutkimuksen tavoitteena on selvittää radiohiilen kemiallisia muotoja ja niiden muutoksia kallioperässä sekä karbonaattimuotoisen radiohiilen sorptiota rakomineraaleihin.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
	2	1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<p>Vuonna 2014 tutkittiin radiohiilen pidättymistä kallioperässä pohjaveden ja kalsiitin välisen hiili-isotooppivaihdon kautta. Radiohiilen havaittiin pidättyvän kalsiittiin liuoksesta sitä nopeammin, mitä suurempi kalsiumpitoisuus ja pienempi bikarbonaattipitoisuus liuoksessa oli. Erityisen nopeaa pidättyminen oli suolaisissa ja erittäin suolaisissa pohjavesissä.</p> <p>Toisena osaprojektina on kehitetty menetelmää radiohiilen spesiaation ja sen muutosten tutkimiseen loppusijoitusolosuhteita simuloivissa koeolosuhteissa. Radiokemian laboratorioon on hankittu kaasukromatografi-massaspektrometri spesiaatiotutkimusta varten. Menetelmä radiohiilispesiesten määrittämiseksi pohjavesiä simuloivista liuoksista on suunniteltu, ja sitä kehitetään edelleen saatavien tulosten perusteella.</p>		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
<p>Konferenssiesitykset: Migration 2013, Brighton, Iso-Britannia (poster) 1st Russian-Nordic Symposium on Radiochemistry, Moskova, Venäjä (suullinen esitys) Pro gradu -tutkielma: Sami Kallio: ¹⁴C:n isotooppivaihto kalsiitin kanssa (Radiokemian laboratorio, Kemian laitos, Helsingin yliopisto)</p>		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		
Tutkimusta esiteltiin KYT puoliväliseminaarissa posterin muodossa.		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Characterization of deep groundwater microbial communities		
Tutkimuslaitos	Vastuhenkilö	
VTT	Merja Itävaara	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Jatkoa KYT2010, GEOMOL; jatkohanketta suunnitellaan		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
GTK, Aalto yliopisto, Posiva	DCO (Deep carbon observatory)	GTK: Salami Aalto yliopisto: GEOBIOINFO
Tutkimuksen tavoite		
Tutkia syvien kalliopohjavesien mikrobilajistojen esiintymistä, ominaisuuksia ja toimintaa. Syvänäytteenottomenetelmien ja molekyylibiologisten menetelmien soveltaminen ja kehittäminen tukemaan biogeokemiallisten prosessien tuntemusta ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuustutkimuksessa.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
	4 artikkelia, 6 konferenssiesitystä	2 jatko-opiskelijaa, + 1 post doc työskennellyt projektissa
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tutkimuksessa kehitettyä osaamista ja tietämystä on hyödynnetty luottamuksellisissa teollisuuden toimeksiannoissa, joissa on karakterisoitu loppusijoitusalueen mikrobilajistoja suhteessa geokemiaan. Projektissa on kehitetty ja kehitetään uusia menetelmiä ja tuotetaan uutta tietoa maankuoren mikrobien toiminnasta. Tietoa tarvitaan arvioitaessa ydinjätteen loppusijoitusalueen hydrogeologista ja geokemiallista aktiivisuutta.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain		
<p>Osatehtävä 1: Kuhmon Romuvaaran kalliopohjaveden mikrobiologinen karakterisointi. Kuhmon Romuvaaran kairareiän Ro-10 kalliopohjavesien kokonaismikrobimäärän ($6 \times 10^4 - 2.2 \times 10^5$ mikrobisolua ml⁻¹) määrittäminen eri syvyyksiltä (0-600 m). Kairareiän kalliopohjaveden monimuotoisuus sekvensoimalla 16S rRNA- geeni (bakteerit ja arkeonit) ja ITS-geenialue (sienet). Pyrosekvensointi osoitti β-proteobakteerien edustavan yli puolta löydetyistä bakteerisekvensseistä. Arkeonien valtapopulaation muodostivat <i>Methanobacteriaceae</i> -suvun edustajat. Syvin näyte oli arkeonien osalta monimuotoisin. Sienistä suurimman ryhmän muodostivat Basidiomycota pääjaksoon kuuluvat sekvenssit, paitsi 250-300 metrin syvyydessä, jossa <i>Penicillium</i>-suvun edustajat olivat valtapopulaationa. Mikrobiyhteisön toimintaa kartoitettiin kvantitatiivisellä PCR:llä. Korkeimmat pitoisuudet löydettiin metaanin hapettajista (<i>pmoA</i>-geeni, yksihillisten yhdisteiden käyttö) sekä typen kiertoon liittyvästä <i>narG</i>-geenistä ja sulfaatin pelkistykseen liittyvästä <i>dsrB</i>-geenistä. Yleisesti määrät lisääntyivät syvemmällä, jossa myös solumäärät olivat suurimmat.</p> <p>Osatehtävä 2: Pyhäsalmen kaivoksen kalliopohjavesien näytteenotto ja alustava mikrobiologinen karakterisointi. Pyhäsalmen kaivoksella otettiin näytteitä elokuussa 2013 kahdesta kairareista kr 2247 ja kr 2250. Pohjavesistä todettiin erittäin vähän mikrobeja. Mikrobimäärä oli niin pieni ettei pystytty määrittämään myöskään toiminnallisten geenien määriä. Molemmista kairareikävesistä saatiin monistettua sekvensointia varten näytteet. Valtalajiston muodostavat sienet. Bakteeri- ja arkeonisekvenssejä löydettiin vain vähän ja ne muistuttavat muista syvärei'istä aiemmin löydettyjä populaatioita kuten proteobakteerit, firmikuutit ja metanogeeniset arkeoneja.</p>		

Osatehtävä 3: Outokummun 180 m rakovyöhykkeen pohjavesinäytteen aktiiviset mikrobit, jatkoa vuodesta 2012. Rakovyöhykevettä aktivoitiin eri hiilenlähteillä (metaani, metanoli tai hiilidioksidi) ja tutkittiin sulfaatin vaikutusta aktivoituvaa populaatioon värjäämällä näytteet ja tutkimalla VTT:n virtaussytometrillä. Näytteen mikrobisoluista 1% oli aktiivisia ilman, että näytteeseen lisättiin substraatteja ja/tai sulfaattia. Sulfaatti aktivoi noin 3.3% mikrobisoluista, kun hiilidioksidi ja metaani yhdessä sulfaatin kanssa, tai ilman, aktivoi 6-7% mikrobisoluista. Metanoli sulfaatin kanssa tai ilman sulfaattia, ei juurikaan lisännyt aktiivisten mikrobien osuutta. Aktiivinen pääpopulaatio hiili- ja sulfaattilisätyssä näytteessä koostui sädebakteereista (*Actinomycetes*) ja -proteobakteereihin kuuluvasta *Stenotrophomonas* suvusta. *Pseudomonas* bakteerit olivat suurin ryhmä joka aktivoitui hiililähteiden lisäyksestä.

Osatehtävä 4: Kansainvälinen Deep Carbon Observatory (DCO) yhteistyö.
Kansainvälinen yhteistyö syväbiosfäärin mikrobiyhteisöjen hiilenkiertoon erityisesti hiilidioksidiin, metaaniin ja metanoliin liittyen. Aktivoituja ja aktivoimattomia näytteitä Olkiluodon kairareistä KR46/493 m on lähetetty DCO yhteistyössä Yhdysvaltoihin Bigelow Laboratory for Ocean Sciences laboratorioon yksittäisten mikrobisolujen talteenottoa varten. Näytteistä saatiin tunnistettua 136 ja 73 solua. Suurin osa soluista kuului *Pseudomonas* sukuun (82% ja 88%). Lisäksi tunnistettiin β -proteobakteerisukuja sekä δ -proteobakteerisukuun kuuluvia sulfaatinpelkistäjiä ja muutamia muita ryhmiä yksittäisistä soluista. Tunnistetuista soluista 15 valittiin kokogenomisekvensointiin, ja ne ovat sekvensoitavana Joint Genome instituutissa (Ca, Yhdysvallat) osana DCO yhteistyötä.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Peer reviewed papers:

1. Nyssönen, M., Hultman, J., Ahonen, L., Kukkonen, I., Paulin, L., Laine, P., Itävaara, M. and Auvinen, P. 2013. Taxonomically and functionally diverse microbial communities in deep crystalline rocks of the Fennoscandian shield" - The ISME Journal (2013), 1–13
2. Purkamo, L., Bomberg, M., Nyssönen, M., Kukkonen, I., Ahonen, L., Kietäväinen, R., Itävaara, M. 2013. Dissecting the deep biosphere: Retrieving authentic microbial communities from packer-isolated deep crystalline bedrock fracture zones. - FEMS Microbiology Ecology. Vol. 85 (2013) No: 2, 324 – 337, doi: 10.1111/1574-6941.12126
3. Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I.T., Hendriksson, N., Nyssönen, M. Itävaara, M. 2013. Characterisation and isotopic evolution of saline waters of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland – implications for water origin and deep terrestrial biosphere. – Applied Geochemistry 32, 37-51. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.10.013
4. Bomberg, M., Nyssönen, M., Nousiainen, A., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P., Itävaara, M. Evaluation of molecular techniques in characterization of deep terrestrial biosphere. Open Journal of ecology, microbial ecology research in press.

Konferenssijulkaisut ja työraportit:

1. Bomberg, M. and Itävaara, M. 2013. FEMS Microbiology, Leipzig, Saksa, 21-25.7.2013. Poster: Depth related changes in microbial diversity and active microbial communities of Fennoscandian deep terrestrial subsurface aquifers.
2. Purkamo L., Bomberg M., Nyssönen, M., Kukkonen I., Ahonen L., Kietäväinen R., Itävaara M. 2013. FEMS Microbiology, Leipzig, Saksa 21-25.7.2013. Poster: Microbial community composition in deep bedrock fracture zones.
3. Itävaara, M. 2013. DCO Steering committee meeting, Washington, USA
4. Itävaara, M. 2013. DCO Deep Life planning meeting Oregon, LBNL, USA
5. Itävaara, M. 2013. DCO Sandpit workshop on bioreactors. Lake Annecy, France 26-29.8.2013. Oral presentation: Sampling of deep boreholes and mines in Finland.
6. Itävaara, M. 2013. The IGD-TP 4th annual Exchange Forum (EF), Prague, Tšekki. 29-30.10.2013. Oral presentation: Carbon cycling in deep groundwaters and in manmade geological sites.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Saline fluids, gases and microbes in crystalline bedrock (SALAMI)		
Tutkimuslaitos		Vastuhenkilö
Geologian tutkimuskeskus		Erikoistutkija Lasse Ahonen
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
3.2.4 Muut turvallisuustutkimukset; biosfääritutkimukset loppusijoituksen turvallisuuden kannalta		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
KYT2010 (KABIO 2008-2010); KYT2014 (SALAMI 2011,2012)		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT /Biotekniikka, Aalto-yliopisto /Bioinformatiikka	GFZ Potsdam, U. Waterloo, DCO (Deep carbon observatory), ICDP (International Continental Scientific Drilling Program)	KYT /BOA, KYT /LS-TUPER
Tutkimuksen tavoite		
Selvittää suolaisissa vesissä esiintyvien kaasujen ja mikrobien mahdollisia keskinäisiä riippuvuus- ja vuorovaikutussuhteita.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
kokeellinen		1 käynnissä oleva pro gradu 1 käynnissä oleva väitöskirja
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Kaasujen ja mikrobiologisten näytteiden näytteenotto- ja käsittelytekniikan kehittyminen ja lisääntyvä kokemus ovat hyödynnettävissä ja sovellettavissa muilla vastaavilla tutkimuspaikoilla. Pitkällä tähtäimellä tulokset tarkentavat loppusijoituksen turvallisuusperustelua sekä geosfäärin että teknisten päästöesteiden toimintakyvyn osalta.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
Tutkimusmetodiikka: Uusi kallioreikiin soveltuva kaasunäytteenotin ja siihen liittyvä kaasunkeräyslaitteisto on koekäytössä.		
Veden viipymä- ja alkuperätutkimus: Julkaistu artikkeli stabiilien isotooppien käytöstä alkuperän ja epäsuorasti suolaisen veden iän arvioinnissa. Vertaisarviointiin lähetetty tutkimus jalokaasujen käytöstä veden viipymäin ja liuenneiden komponenttien alkuperän määrittämisessä.		
Diversiteettikartoitus: Pyhäsalmen kaivoksella tehtyjen kaasunäytteenottojen perusteella kivilajiympäristö näyttää vaikuttavan sekä veden kaasukoostumukseen että mikrobistoon.		
Energiatarkastelut: Kaasufaasin käyttökelpoinen energiasisältö on vähäinen, paitsi korkeat vetypitoisuudet syvimmissä kaasunäytteissä. Toisaalta Pyhäsalmen tulosten perusteella on edelleen tärkeää selvittää grafiittipitoisten ja grafiittikyöhyien ympäristöjen ero metabolisten prosessien kannalta.		
Opinnäytetyö kaasujen liukoisuudesta on valmistumassa.		

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Kietäväinen R., Ahonen L., Kukkonen I.T., Hendriksson N., Nyysönen M. and Itävaara M. (2013) Characterisation and isotopic evolution of saline waters of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland – Implications for water origin and deep terrestrial biosphere. *Applied Geochemistry* 32, 37-51.

Purkamo, L., Bomberg, M., Nyysönen, M., Kukkonen, I., Ahonen, L., Kietäväinen, R., Itävaara, M. 2013. Dissecting the deep biosphere: retrieving authentic microbial communities from packer-isolated deep crystalline bedrock fracture zones. *FEMS microbiology ecology* 85 (2), pp. 324 – 337.

Nyysönen, M., Hultman, J., Ahonen, L., Kukkonen, I., Paulin, L., Laine, P., Itävaara, M., Auvinen, P. 2014. Taxonomically and functionally diverse microbial communities in deep crystalline rocks of the Fennoscandian shield. *The ISME Journal* 8 (1), 126 – 138. (published online 15 August 2013).

Konferenssiesitykset

Ahonen, L., Heikkinen, N., Kietäväinen, R., Kukkonen, I., Wiersberg, T. 2013. Dissolved gases in crystalline rock, observation from Outokumpu deep drill hole. *Gas Generation and Migration, International Symposium and Workshop Feb 2013 Luxembourg. FORGE, Fate of repository gases project.*

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I.T., Niedermann, S., Wiersberg, T. 2013. Groundwater residence times of millions of years revealed by noble gases in the Outokumpu Deep Drill Hole, eastern Finland. *9th National Geological Colloquium Oulu, 6th-8th March 2013, p. 18.*

Kietäväinen, R., Purkamo, L., Ahonen, L., Bomberg, M., Nyysönen, M., Itävaara, M., Kukkonen, I.T. 2014. Methane in a deep crystalline rock biosphere: the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland. *1st Finnish National Colloquium of Geosciences, Espoo 19-20 March 2014, 35 – 36.*

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I. T., Niedermann, S., Wiersberg, T. 2013. Residence times of ancient water in Outokumpu (Finland) revealed by noble gases. *Mineralogical Magazine* 77 (5), s. 1457. (Goldschmidt Conference 2013, 25-30 August 2013, Florence, Italy, 2013)

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Deep bedrock bioinformatics		
Tutkimuslaitos	Vastuhenkilö	
Aalto-yliopisto	Juho Rousu	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
3.2.4 Muut turvallisuustutkimukset; biosfääritutkimukset loppusijoituksen turvallisuuden kannalta		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Projektin ensimmäinen laatuun, mutta liittyy VTT:n ja GTK:n aiempaan syvän biosfäärin tutkimukseen. Hanke on suunniteltu nelivuotiseksi 2011-2014.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT, GTK		
Tutkimuksen tavoite		
Projektin tuloksena saadaan bioinformatiikan menetelmiä ja työkaluja, joilla voidaan selvittää syvän kallioperän mikrobiyhteisöjen toiminnan vaikutuksia ydinjätteen loppusijoittamisen turvallisuuteen.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tietokoneohjelma, laskennallinen menetelmä	2 + 1 valmisteilla	1 + 1 valmisteilla
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
GEOBIOINFO-projektin tuloksia käytetään GEOMIKRO ja SALAMI-projektien tuottaman datan analysoinnissa. Ohjelmistoja ja menetelmiä voidaan hyödyntää myös laajemmin mikrobiyhteisöjen toimintaan liittyvissä tutkimuksissa.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mikrobiyhteisöjen ja geokemian välisiä assosiaatioita tutkittiin tilastollisilla monimuuttujamenetelmillä Anna Cichonskan Erasmus-harjoittelujakson sekä Viivi Uurtion diplomityön puitteissa. Työ käsitti kanonisen korrelaatioanalyysimenetelmien vertailua ja optimointia syväreikäaineistoille sekä löydettyjen assosiaatioiden biologista tulkintaa yhdessä GEOMIKRO-projektin asiantuntijoiden kanssa. Tuloksista ollaan kirjoittamassa tieteilistä artikkelia. 2. Aineenvaihduntareittien analysointia Outokummun ja Olkiluodon metagenominäytteistä jatkettiin. Aineiston kattavuusanalyysi indikoi, että Outokummun näytteet kattavat mikrobiyhteisön aineenvaihduntafunktiot suhteellisen hyvin, mutta funktioiden jakautuminen yksittäisille lajeille tai ryhmille on epäselvää. Aineiston kattavuus lajiston rikkauden suhteen näyttää myös rajoittuneelta, mikä indikoi sitä että vähemmistolajeja ei todennäköisesti voida yksilöidä kovinkaan tarkasti. 3. Ohjelmistokehityksessä valittiin kevyt web-pohjainen käyttöliittymä, joka on vapaasti käytettävissä osoitteessa http://www.cs.helsinki.fi/group/urenzyme/deepfun/colorpathway_screened/OUTO3_Truseq_DynTr_MetalDBA_Kmer_25_80_screened.consensus.html 		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Pitkänen E, Jouhten P, Hou J, Syed MF, Blomberg P, et al. (2014) Comparative Genome-Scale Reconstruction of Gapless Metabolic Networks for Present and Ancestral Species. PLoS Comput Biol 10(2): e1003465. doi:10.1371/journal.pcbi.1003465		

A. Cichonska & J. Rousu. Metagenome-Geochemistry Association Analysis. Technical report, Aalto-yliopisto, Heinäkuu 2013, 44 sivua

V. Uurtio: "Computational Analysis of Deep Bedrock Bacterial Communities." , DI-työ, Sähkötekniikan korkeakoulu, Aalto-yliopisto, 2014, jätetty arvosteltavaksi.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Posteresitys, Aalto Research Day, Syyskuu 2013

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiylhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Risks of microbiologically influenced corrosion in the Finnish nuclear waste repository		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
VTT	Leena Carpén	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke on suunniteltu 4-vuotiseksi ja tutkimustyö on alkanut vuonna 2011.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite		
Hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmien muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujätemetallit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa kokeellisten laboratorio- ja kenttäkokeiden avulla		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellinen menetelmä	2	(1)
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa purkujätemetallien mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<p>Osatehtävä 1: Mikrobiologinen korroosio</p> <p>Ensimmäiset online-laboratoriomittaukset saatettiin loppuun huhtikuussa 2013. Sähkökemiallisten mittausten tulosten mukaan ravinteiden lisäyksellä on merkittävä vaikutus hiiliteräksen korroosionopeuden kasvuun laboratorio-olosuhteissa. Samoin todettiin, että mittausten mukaan hiiliteräksen paikallisen korroosion nopeus bioottisessa (bakteereja sisältävä) ympäristössä on huomattavasti suurempi kuin abioottisessa (biosidejä lisätty). Gravimetrisissa mittauksissa erot eivät olleet niin suuria kuin sähkökemiallisissa mittauksissa ja osin tulokset olivat hiiliteräksen osalta myös vastakkaisia. Bioottisessa ympäristössä ilman ravinnelisiä painohäviöistä laskettu korroosionopeus oli 4 µm/a, joka oli lähes sama kuin abioottisessa ympäristössä mitattu korroosionopeus 6 µm/a samoin kuin ympäristössä, johon oli lisätty metaania (3,5 µm/a). Suurin korroosionopeus (9,5 µm/a) saavutettiin ympäristössä, jossa ravinteeksi oli lisätty glukoosia.</p> <p>Kenttäkokeiden tulosten mukaan (1 v, betonin läsnä ollessa) todettiin alkalisen ympäristön tehokkaasti inhiboivan korroosiota, hiiliteräksen korroosionopeudet olivat hyvin pieniä (< 0,5 µm/a) ja ruostumattomassa teräksessä korroosiota ei todettu lainkaan. Hiiliterästen pinnalla todettiin kellellertävää kalsium- ja magnesiumumpitoista sakkaa sekä joitakin tummia ja punertavia rautapitoisia alueita, joista jälkimmäisten alla todettiin lievää korroosiota. Koska anaerobisissa olosuhteissa muodostuneet kerrostumat voivat olla erittäin hygroskooppisia, on mahdollista, että osa näistä punertavista läikistä on muodostunut varsinaisen altistuksen jälkeen.</p> <p>Ensimmäisen laboratorikokeen tulosten perusteella suunniteltiin toinen laboratorikoesarja kiihdytetyissä olosuhteissa. Mittaukset ovat käynnissä ja tulokset analysoidaan ja raportoidaan vuoden 2014 aikana. Vuoden 2013 syksyllä toteutettiin kenttäkokeiden toisen vuoden näytteenotto. Tulosten analysointi ja raportointi esitetään vuoden 2014 raportoinnin yhteydessä.</p>		
Osatehtävä 2: Biofilmin ominaisuudet		

Kvantitatiivisen PCR analyysin perusteella biofilmin muodostus hiiliteräksen pinnalle oli voimakasta tehdyssä laboratorioaltistuksessa. Ruostumattoman teräksen ja haponkestävän teräksen pinnalle muodostuva biofilmi oli vähäisempää kvantitatiivisen PCR analyysin perusteella kuin hiiliteräksen pinnalle muodostuva biofilmi. FE-SEM analyysi osoitti biofilmin olevan runsasta visuaalisesti tarkasteltuna hiiliteräksen pinnalla, kun taas ruostumattomien terästen pinnalla biofilmi oli vähäistä. Tämä tukee myös kvantitatiivisen PCR analyysin perusteella saatuja tuloksia. Hiiliteräksen pinnalla havaitut mikrobit ovat morfologisesti huomattavan monimuotoisia. Hiiliteräksen pinnalla on myös nähtävissä mahdollista pistesyöpymää, jossa syöpymät ovat mikrobien kansoittamat.

Ravinteiden, metaanin ja glukoosin, lisääminen hiiliteräskokeisiin muutti mikrobilajistoa pyrosekvensointiin perustuvan diversiteettianalyysin perusteella. Erityisesti sulfaattia pelkistävien mikrobien osuus biofilmiä muodostavista mikrobeista kasvoi. β -proteobakteerit olivat dominoiva luokka kaikissa hiiliteräsnäytteissä.

Kenttäkokeiden 1. vuoden hiiliteräs- ja ruostumaton teräsnäytteistä on vuoden 2013 aikana analysoitu biofilmin koostumusta kvantitatiivisen PCR analyysin avulla sekä mikrobilajiston diversiteettiä määritetty pyrosekvensointimenetelmällä. Terästen pintaa tarkasteltiin FE-SEM kuvantamismenetelmällä. Kokonaisbakteerimäärää osoittavan 16S rRNA geenin kopioiden määrää analysoitiin kvantitatiivisen PCR:n avulla. Bakteerien määrä 16S rRNA geenin kopiomäärän perusteella vapaana vedessä oli matala kaikkina näytteenottoaikoina. Biofilmin muodostuminen hiiliteräksen pinnalle oli intensiivisempää kuin ruostumattoman teräksen pinnalla. Hiiliteräksen pinnalle muodostuneen biofilmin lajistoa analysoitiin pyrosekvensoimalla. Fylogeneettisen analyysin perusteella valtalajina olivat α -proteobakteereihin kuuluvat bakteerilajit. Ruostumattoman teräksen pinnalla biofilmin muodostuminen 12 kuukauden aikana oli niin vähäistä, ettei lajistoanalyysia voitu suorittaa. Näiden tulosten perusteella betonin aiheuttama alkalisuus inhiboi voimakkaasti biofilmin muodostumista.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

1 kansainvälinen konferenssijulkaisu (Carpén et al. 2013. Corrosion behaviour and biofilm formation on carbon steel and stainless steel in simulated repository environment. Eurocorr 2013, European Federation of Corrosion Event n° 343, September 1 - 5, 2013 Estoril Congress Center Estoril, Portugal) ja yksi opinnäytetyö, arvioitu valmistumisaika 2016, julkaisuja käytetään osana väitöskirjaa), julkinen vuosiraportti (Carpén et al. 2013. Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa - Vuosiraportti 2012. Espoo: VTT. 50 s. (VTT Tutkimusraportti; VTT-R-01485-13). Vuoden 2013 vuosiraportti julkaistaan v. 2014.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Osallistuminen kansainvälisiin konferensseihin (Eurocorr-konferenssi), KYT vuosiseminaarit. Hyväksytyt julkaisut Nace Corrosion 2014 konferenssiin ja WM 2014 symposiumiin (julkaistaan v. 2014). Lisäksi VLJ-luolassa tehtävistä kenttäkokeista raportoidaan vuosittain TVO:lle.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Microbial diversity in Olkiluoto gas generation experiment		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
VTT	Merja Itävaara	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Kaasunkehityskoe on ollut käynnissä vuodesta 1997 lähtien. Mikrobiologisia tutkimuksia on tehty pienimuotoisesti tilaustyönä TVO:lle. Hankkeelle suunnitellaan jatkoa.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
-	IGD TP verkosto	-
Tutkimuksen tavoite		
Selvittää huoltojätteen hajoamisaste ja hajoamisen vaihe kaasunkehityskokeessa. Karakterisoida kaasunkehityskokeen mikrobilajistoja.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
kokeellinen laboratoriotyö	1	-
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Mikrobiyhteisöillä ja niiden toiminnalla voi olla ratkaiseva vaikutus jätteen turvalliseen pitkäaikaiselle loppusijoitukselle. Mikrobiologiset riskit liittyvät jätemateriaalien hajoamiseen, kaasun muodostumiseen ja radionuklidien kulkeutumiseen. Hankkeen tuloksena saadaan uutta tietoa, jota voidaan hyödyntää turvallisuustutkimuksessa, huoltojätteen varastointia suunniteltaessa sekä mallinnuksessa.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<u>Osatehtävä 1: Huoltojätteen hajoamisasteen arvioiminen</u>		
Hajoamisasteen arvioinnissa hyödynnettiin kokeesta saatavia analyysituloksia (kaasun muodostuminen, epäorgaaninen hiili liuoksessa). Vapautuneen biokaasun määrän perusteella voitiin arvioida, että huoltojätteestä on hajonnut alle 7%.		
<u>Osatehtävä 2: Kaasunkehityskokeeseen rikastuneiden mikrobilajistojen tunnistaminen</u>		
Mikrobiyhteisön muutoksia ajan funktiona ja eri näytepisteissä tarkasteltiin vuosina 1998-2013 otetuista kaasunkehityskokeesta vesinäytteistä. Biohajoavaa jätettä sisältävän tynnyrin mikrobiyhteisö poikkesi huomattavasti muista tynnyreistä ja niiden vältilasta. Sekvensoinnilla tunnistettuja mikrobiryhmiä verrattiin Small et al. (2008) esitettyyn biogeokemialliseen malliin. Saatujen tulosten perusteella tehdään tarkempi mikrobiyhteisö-profilointi vuonna 2014. Tunnistettujen mikrobiryhmien joukossa oli useita metaania tuottavia ja sulfaattia pelkistäviä mikrobeja. Metaania tuottavien ja sulfaatinpelkistäjien määrät analysointiin kvantitatiivisesti qPCR:llä.		
<u>Osatehtävä 3: Hajottajamikrobien eristäminen ja identifiointi anaerobisesti</u>		
Kaasunkehityskokeesta otettiin näytteitä helmikuussa 2013 ja näytteistä eristettiin (hemi)sellulolyyttisiä mikrobikantoja sekä suoraan että anaerobisen rikastuksen kautta n. 40 kpl. Hajottajamikrobeja pystyttiin seulonnassa eristämään ainoastaan näytteistä, jotka oli otettu biohajoavaan jätettä sisältävästä tynnyristä. Identifiointiin valittiin 11 kantaa. Eristetyt mikrobi-kannat olivat selluloosan ja hemiselluloosan hajottajia, jotka kuuluivat bakteerien pääjaksoon Firmicutes, joka oli myös suurin PCR-DDGE tekniikalla havaittu bakteeriryhmä kaasunkehityskokeen tankkivedessä.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Vikman, M., Marjamaa, K., Miettinen, H. Itävaara, M. 2013. KYT-Tutkimusraportti VTT-R-07011-13		
Käsikirjoitus projektin tuloksista on kirjoitusvaiheessa.		

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Doc. Merja Itävaara osallistui kansainvälisen ydinjätetutkijoiden verkostokokoukseen pitämällä esityksen otsikolla: Carbon cycling in deep groundwaters and in manmade geological sites, The IGD-TP 4th annual Exchange Forum (EF) October 29-30, 2013, Prague, Czech Republic

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Durability of engineered concrete barriers under final disposal conditions		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto ja VTT	Vastuuhenkilö Jari Puttonen, Aalto-yliopisto Eila Lehmus, VTT	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus - Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa tutkimukselle: "Kokonaismalli teräsbetonirakenteen ikääntymiselle voimalaitosjätteen loppusijoituksessa".		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Teollisuuden Voima Oy ja Fortum Power and Heat Oy	Ulkomaiset organisaatiot AECL, Kanada	Muut tutkimusohjelmat, tms. Safir 2014
Tutkimuksen tavoite Tutkimuksessa kehitetään kokeellisesti varmennettu termodynaaminen tunkeumamalli ja sen numeerinen sovellus teräsbetonirakenteen ikääntymiselle voimalaitosjätteen loppusijoitusolosuhteissa. Tutkimuksessa myös määritetään liuosrasituksessa olleiden betoneiden kunto ja selvitetään tulosten perusteella betonin turmeltumismekanismia loppusijoitusolosuhteissa.		
Tuloskategoria Malli, kokeellinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 1 (lisäksi 2 artikkelia arvioitavana 2013)	Opinnäytetöiden lukumäärä -
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Ensisijaisia tulosten hyödyntäjiä ovat loppusijoituksesta vastaavat yhtiöt. Malli kehitetään erikoisesti Suomen ydinvoimaloissa tuotetun matala- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoitustilojen käyttöänsä hallintaan. Tulokset ovat sovellettavissa myös yleisesti ydinvoimaan liittyvien teräsbetonirakenteiden käyttöänsä hallintaan ja lisäksi hyödyntämismahdollisuudet kattavat koko rakennusteknologian alueen.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
Osaprojekti 1 Vuonna 2013 suoritettussa tutkimuksessa esitettiin matemaattinen termodynamiikkaan perustuva tunkeumamalli loppusijoitustiloissa tapahtuvien ikääntymisilmiöiden määrittämiseksi tilojen täyttövaiheessa ja niiden sulkemisen jälkeen. Lisäksi suoritettiin tapauskohtainen simulointi rakenteen koko käyttöänsä aikana. Malliin tarvittavia lähtötietoja ja muita parametreja sekä mallin verifiointiksi tarvittavia koetuloksia määritettiin resurssien mukaan hyödyntäen sekä osaprojektin 2 että omien laboratoriokokeiden tuloksia. Samassa yhteydessä tunnistettiin perinteisten diffuusiomallien rajallisuus yleisesti ja kiihdytettyjen kokeiden epäluotettavuus karbonatisoitumisilmiön tapauksessa. Mallin epävarmuuksia arvioitiin myös tilastollisin menetelmin. Suoritettu tutkimus voidaan jakaa kolmeen osaan, joista jokaisesta lähetettiin tieteellinen artikkeli vertaisarvioitavaksi alan julkaisuihin (arviointi kohdissa 1 ja 3 käynnissä 2013): 1. Betonin ikääntyminen täyttövaiheessa <ul style="list-style-type: none">• Karbonatisoitumisilmiöiden tarkastelu ja mallinnus sekä mallin verifiointi koetuloksilla		

2. Betonin ikääntyminen loppusijoitusvaiheessa
 - Pohjavedessä olevien teräsbetonirakenteelle haitallisten ionien tunkeutuminen betoniin
 - Tarkastelu ja mallinnus sekä mallin verifiointi koetuloksilla
3. Tapauskohtainen simulointi rakenteesta koko käyttöiän aikana
 - Sovelluskohtainen simulointi

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Arvojulkaisut

Kari O P, Elakneswaran Y, Nawa T, Puttonen J, "A model for a long-term diffusion of multispecies in concrete based on ion-cement-hydrate interaction". J Mater Sci 2013; 48: 4243-4259.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

-

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Durability of engineered concrete barriers under final disposal conditions		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto ja VTT	Vastuuhenkilö Jari Puttonen, Aalto-yliopisto Eila Lehmus, VTT	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus - Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa tutkimukselle: "Kokonaismalli teräsbetonirakenteen ikääntymiselle voimalaitosjätteen loppusijoituksessa".		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Teollisuuden Voima Oy ja Fortum Power and Heat Oy	Ulkomaiset organisaatiot AECL, Kanada	Muut tutkimusohjelmat, tms. Safir 2014
Tutkimuksen tavoite Tutkimuksessa kehitetään kokeellisesti varmennettu osin termodynaaminen tunkeumamalli ja sen numeerinen sovellus teräsbetonirakenteen ikääntymiselle voimalaitosjätteen loppusijoitusolosuhteissa.		
Tuloskategoria Malli, kokeellinen menetelmä 2013	Julkaisujen lukumäärä 1-2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Ensisijaisia tulosten hyödyntäjiä ovat loppusijoituksesta vastaavat yhtiöt. Malli kehitetään erikoisesti Suomen ydinvoimaloissa tuotetun matala- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoitustilojen käyttöön hallintaan. Tulokset ovat sovellettavissa myös yleisesti ydinvoimaan liittyvien teräsbetonirakenteiden käyttöön hallintaan ja lisäksi hyödyntämismahdollisuudet kattavat koko rakennusteknologian alueen.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
Osaprojekti 1 Kloridipitoisuuden määrittäminen raudotteiden korroosion suhteen <ul style="list-style-type: none">määritetään kriittinen kloridipitoisuus raudotteiden korroosion käynnistymiseen loppusijoitustiloissa Loppusijoitustilojen betonirakenteiden karbonatisoituminen <ul style="list-style-type: none">tarkennetaan loppusijoitustilojen betonirakenteiden karbonatisoitumisen arviointia.		
Osaprojekti 2 Tutkimussuunnitelman mukaiset betoninäytteiden analyysit koebetoneille S1, S2 ja S3, w/c 0.35		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Tavoitteina Olli-Pekka Karin väitöskirja (joko artikkelityyppinen tai monografia riippuen lehtiartikkelien julkaisunopeudesta).		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyllyteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi		
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Use of empirical data to improve radioecological modelling applied to risk assessment of radioactive waste		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Ympäristötieteen laitos, Itä-Suomen yliopisto/ Kuopion kampus	Jukka Juutilainen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Helmikuussa 2011 alkanut hanke on jatkoa työryhmän aiemmalle KYT2010-ohjelman hankkeelle. Tämän hankkeen suunnitellaan jatkuvan tammikuuhun 2015 saakka.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
		ERAC
Tutkimuksen tavoite		
Hankkeen yleisenä tavoitteena on empiirisen tiedon valossa tarkentaa suomalaisen metsäekosysteemiin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Erityinen huomio keskittyy alkuaineiden siirtymiseen maaperästä kasveihin ja eläimiin.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Hankkeen tuottamaa empiiristä tietoa voidaan hyödyntää käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen ekologiseen riskinarviointiin liittyvän mallinnuksen validointiin sekä tarvittaessa mallinnuksessa käytettävien oletusten korjaamiseen. Näin voidaan parantaa mallien osuvuutta ja soveltuvuutta Suomen oloihin. Lisäksi saatuja tuloksia voidaan hyödyntää uraanimalmin etsinnän ja Suomeen mahdollisesti perustettavien uraanikaivosten ympäristövaikutusten arvioinnissa.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
Osaprojekti 1: Siirtymisen epälineaarisuuden vaikutus biosfäärimallinnukseen		
<ul style="list-style-type: none"> • on tutkittu kuinka paljon radionuklidien siirtymisen epälineaarisuuden huomioon ottaminen vaikuttaa radioekologisten mallien tuloksiin ja niiden tarkkuuteen, tarkastellaan valittujen alkuaineiden (U, Co, Mo, Ni, Pb, Zn) siirtymistä sekä kasveihin että eläimiin • on tarkasteltu siirtymismallia, joka voisi yksinkertaistaa radionuklidien siirtymisen mallintamista, ja tutkitaan voidaanko tällä lähestymistavalla parantaa mallien ennustuksen tarkkuutta • käsikirjoitus on aloitettu ja se valmistuu kevään/kesän 2014 aikana 		
Osaprojekti 2: Kokeellinen ekosysteemi alkuaineiden siirtymisen simulointiin		
<ul style="list-style-type: none"> • käsikirjoitus vuosien 2011 ja 2012 kokeiden tuloksista on viimeistelyvaiheessa • kesällä 2013 tutkimuspuutarhaan pystytettiin kaksi koetta: typpimanipulaatiokoe, jossa selvitetään miten maaperän ravinnetilanteen (typpipitoisuuden) muutos vaikuttaa alkuaineiden siirtymiseen ravintoketjussa pohjoisessa ekosysteemissä, ja aikapistekoe, jossa selvitetään missä ajassa kertyneet alkuainepitoisuudet saavuttavat tasapainotilan koivussa ja kotilossa. • kummankin kokeen maaperä- ja koivunlehtinäytteistä on tehty alkuaineanalyysit tammikuussa 2014, kotilonäytteet analysoidaan maaliskuussa 2014. Tuloksia on alustavasti käsitelty U, Co, Mo, Ni, Pb ja Zn pitoisuuksien osalta. • Laimennossarjakokeessa typpilisäys näytti lisäävän koivun lehtien U ja Mo pitoisuuksia ja 		

vähentävän Co, Ni ja Zn pitoisuuksia.

- Aikapistekokeessa havaittiin U, Co ja Mo pitoisuuksien saavuttavan tasapainotilan koivunlehdessä 4 viikossa.

Tutkijankoulutus:

Tiina Tuovisen väitöskirjatyön eteneminen

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tuovinen ym. 2014. Transfer of elements from soil to plants and animals in experimental meso- and microcosms. Käsikirjoitus.

Tuovinen ym. 2014. Non-linear transfer of elements from soil to plants: impacts on radioecological modelling. Käsikirjoitus.

Tuovinen T.S. 2015. Examination of linearity assumption related to transfer of elements from soil to plants and animals in boreal species. Väitöskirja. Ympäristötieteen laitos. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio. Käsikirjoitus.

Hankkeessa tekee pro gradu -työtään Toni Savolainen

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Käytetyn ydinpolttoaineen geologisen sijoituksen kansainväliset sosio-tekniset ja turvallisuus haasteet – Suomi ja EU – FiNSOTEC 2012-2014		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi International Socio-Technical and Safety Challenges for Implementing Geological Disposal of Spent Nuclear Fuel – Finland and EU – FiNSOTEC -2012-2014		
Tutkimuslaitos Jyväskylän yliopisto, Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos	Vastuuhenkilö Tapio Litmanen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) 3.2. Y.j. turvallisuustutkimukset, 3.3. Ydinjäteh. liittyvä yhteiskuntat. tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa edellisellä KYT-ohjelmakaudella aloitetulle ydinjätetutkimukselle, joka mahdollisti EU-hankkeen nimeltä InSOTEC (13 partneria). Vuosien 2012-2013 täydentävä rahoitus EU-hankkeelle mahdollisti kokonaisvaltaisen osallistumisen EU-hankkeeseen. Mika Kari valmistelee väitöskirjaa KYT2010 tutkimusprojektin tutkimusaineistosta.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Tampereen yliopisto	Ulkomaiset organisaatiot 13 EU-tutkimuspartneria: etupäässä yliopistoja ja yksi kansalaisjärjestö	Muut tutkimusohjelmat, tms. EU's 7th Framework Programme (Theme: Fission-2010-1.1.2; Research activities in support of implementation of geological disposal)
Tutkimuksen tavoite Yleinen tavoite oli analysoida kuinka riskien hallintaa edistetään asiantuntijoiden ja asiantuntija-organisaatioiden käytetyn ydinpolttoaineen geologisen loppusijoituksen turvallisuus- ja riskidialogissa Suomessa. Riskidialogin erityiseksi tutkimusaiheeksi valittiin Posivan ja STUK:n riskidialogi kupari korroosiosta.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Posivan rakentamislupahakemus on parhaillaan arvioitavana ja hallinnollis-poliittisessa käsittelyssä. Kolmekymmentä vuotta jatkunut megaluokan tiedeprojekti on saapunut väliarviointiin. Hakemuksen turvallisuusperustelut arvioi Säteilyturvakeskus. Tutkimusprojektin tulokset auttavat viranomaisia, teollisuutta ja muita osallisia hahmottamaan, millaista on pitkäaikainen turvallisuus- ja riskidialogi, kuinka siinä rakennetaan käsitystä turvallisuudesta, kuinka tieteellisen ja teknologisen kehitystyön valvonta toimii ja miten rakentamisluvan turvallisuusperustelut ovat rakentuneet myös Posivan ja STUK:n välisessä vuorovaikutuksessa. Osana kansallista KYT2014 –tutkimusohjelmaa projekti on vahvistanut viranomaisten ydinteknistä asiantuntemusta ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailussa.		

Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)

Jyväskylän ja Tampereen yliopistojen tutkimushankkeen aiemmassa vaiheessa kartoitettiin loppusijoituksen sosioteknisiä haasteita. Keväällä 2012 julkaistiin niin kutsuttu maaraportti aiheesta. Useilla eri tutkimusaineistoilla eriteltiin sosioteknisiä haasteita. Näiden joukosta tutkimuksen seuraavaan vaiheeseen tuli valituksi kiinnostava sosiotekninen haaste: keskustelu kuparikorroosion aiheuttamasta riskistä loppusijoitukselle. Tältä pohjalta tutkimusryhmä on analysoinut Posivan vuosien 2003, 2006 ja 2009 tutkimus-, kehitys- ja teknisen suunnittelun (TKS) ohjelmia sekä uusinta vuoden 2012 ydinjätehuolto-ohjelmaa (YJH-2012) siitä näkökulmasta, mitä niissä on sanottu aiheesta kuparikorroosio. Näiden rinnalla on analysoitu sitä, miten STUK on arvioinut näitä neljää ohjelmaa ja etenkin Posivan ohjelmissa esitettyjä näkemyksiä kuparikorroosiosta. Lisäksi tutkimusryhmä on analysoinut vastaavaa teemaa Posivan esirakentamislupahakemuksesta ja STUK:n lausunnosta ko. hakemuksesta. Viimeisin Posivan dokumentti, joka dokumentoi tieteellistä tietämystä kuparikorroosiosta, on vuoden 2012 lopussa jätetty rakentamislupahakemus ja sen turvallisuusperustelut. Tutkimusaineistona on myös tämä dokumenttien kokonaisuus. Tulokset on kirjoitettu yhteen kertaan artikkelikäsitelmän muotoon ja käsikirjoitus on arvioitu Science and Technology Studies –lehden toimitusneuvostossa ja ulkopuolisten arvioitsijoiden toimesta. Käsikirjoitus sai myönteisen vastaanoton, mutta siltä edellytettiin muokkausta. Muokkaustyö on jatkunut vuoden 2013 jälkimmäisellä puoliskolla siten, että keväällä 2014 käsikirjoitus lähtee samaan lehteen uudelleen arviointiin julkaisua varten. Tulokset osoittavat, kuinka riskidialogin alkuvaiheessa vuonna 2003 Posivan näkemys kuparikorroosiosta oli optimistinen olemassa olevista epävarmuuksista huolimatta. STUK arvioinneissa nostettiin esiin, mitä pitää vielä tutkia ja mistä asioista pitää vielä kasvattaa tietämystä. Vuoden 2006 TKS:ssa Posiva esittää edistymistään asiasta, mutta myöntää epävarmuuksia vielä asiasta olevan. Posiva toteaa, että aihetta on tutkittu laajasti,, mutta mikrobiologisesti aiheutunut korroosiosta puuttuu tietoa. Painotus 2006 ohjelmassa on muuttunut järjestelmän pitkäaikaisturvallisuuteen ja toiminnalliseen turvallisuuteen. STUK puolestaan kirjaa Posivan tietämyksen edistymisen, mutta vaatii silti lisää selvityksiä tietyistä asioista korroosioprosesseissa. STUK kritisoi raporttia siitä, kuinka tutkimuksesta ei kehkeydy selkeää kuvaa ja että tietyt korroosion muodot saavat liian vähän huomiota. STUK vaatii lisätutkimuksia, laajempia tutkimuksia ja matemaattista mallintamista. Vuoden 2009 TKS ohjelmassa toistuu samat korroosioaiheet kuin aikaisemmissakin, mutta Posivan keskustelu aiheesta on laajempaa ja STUK:n kommentteihin paneudutaan huolellisemmin. Kuparikorroosio puhtaassa vedessä ja hapettomissa olosuhteissa nostetaan esiin. STUK puolestaan huomioi Posivan edistymisen, mutta vaatii vastauksia jäljellä oleviin kysymyksiin ja toteaa, että materiaali on riittämätöntä vastaamaan moniin turvallisuuskysymyksiin liittyen korroosio-ominaisuuksiin. Lähes samaan aikaan Posivan jättämään esirakentamislupahakemuksesta STUK toteaa, että SKB:n kanssa tehty yhteistyö tuonut esiin esteiden suunnittelusta ja käyttäytymisestä tietoa, mutta tieto on esitetty epä johdonmukaisesti ja tutkimustuloksia on vaikea jäljittää. Moitteita tulee myös siitä, että tietty kuparikorroosio raportti on myöhässä ja että avoimia kysymyksiä on vielä. STUK toteaa myös, että toimivuustavoitteita ei oikeutettu kokonaan ja että malleja turvallisuuden vaikuttavista tekijöistä tarvitaan. Vuoden 2012 YJH:ssa Posiva on päivittänyt turvallisuusperusteluosion ja listaa tutkimuksia korroosiosta ja myöntää, mitkä asiat vielä tarvitsevat lisää tutkimusta. STUK toteaa YJH-2012 ohjelmasta, että kanisterin oletusta eliniästä on useita huolenaiheita. STUK toteaa, että lisäselvityksiä ja –tutkimuksia tarvitaan. Kaikkienensa tutkimuksella kuvataan Posivan ja STUK kirjallista vuorovaikutusta, jossa STUK asettaa lisävaatimuksia kerta toisensa jälkeen ja Posiva pyrkii vastaamaan näihin. Posivan alun toiveet siitä, että tutkimukset selvittävät huolenaiheet ovat muuttuneet realistisiksi tutkimusten kuvauksiksi ja lisätietotarpeiden toteamiseksi. Turvallisuuden rakentuminen on edennyt kolmen vuoden välein tehtävien uusien tutkimusohjelmien ja STUK:n arviointiläusuntojen muodostaman turvallisuus- ja riskidialogin muodossa. Vaiheittainen tutkimusohjelmien julkaiseminen ja vaiheittainen päätöksentekoprosessi on edellyttänyt vaiheittaista valvonta- ja arviointiprosessia, mikä edellyttää luottamusta siihen, että tulevat tutkimukset vievät tietämystä pitkäaikaisturvallisuudesta eteenpäin, myös kuparikorroosiosta.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Katsausartikkeli julkaistu Futurassa (Suomen tulevaisuudentutkimusseuran julkaisussa): Litmanen, T., Kojo, M. & Nurmi, A. 2013. Megaluokan sosiotekninen projekti välietappiin – Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen haasteiden ja epävarmuuksien tulevaisuushallinta. Futura, 32(2),

64-73.

Artikkelikäsikirjoitus "Risk governance through risk dialogue. Copper corrosion as a socio-technical safety challenge in the geological disposal of spent nuclear fuel" on arvioitu Science & Technology Studies -lehdessä. Arvioitsijoiden, toimitusneuvoston ja Posivan edustajan antaman palautteen pohjalta tutkimustyötä jatkettu ja käsikirjoitusta muokattu. Muokattu käsikirjoitus toimitetaan lehteen vuoden 2014 keväällä.

Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)

Sama yleistajuinen katsausartikkeli julkaistu hivenen kevennettynä versiona ATS Ydintekniikka -lehdessä: Litmanen, T., Kojo, M. & Nurmi, A. 2013. Megaluokan sosiotekninen projekti väliarvioinnissa. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen haasteiden ja epävarmuuksien tulevaisuushallinta. ATS Ydintekniikka, 42(2), 10-14.

Esitelmä "Risk governance through risk dialogue. Copper corrosion as a socio-technical safety challenge in the geological disposal of spent nuclear fuel". InSOTEC project meeting in Prague 16.-18.4.2013.

Esitelmä "Risk governance through risk dialogue. Copper corrosion as a socio-technical safety challenge in the geological disposal of spent nuclear fuel" InSOTEC Stakeholder seminar 2 "Rethinking what is Social and what is Technical in (Long Term) Radioactive Waste Management" in Berlin 12.-13.11.2013.

Konferenssipaperin "Risk regulation regimes in action. Analyzing Finnish and Swedish spent nuclear fuel repository licensing processes" esitleminen

- 1) the 22nd SRA-Europe conference, 17-19 June 2013 at the Norwegian University of Science and Technology in Trondheim, Norway and
- 2) ESA conference "Crisis, Critique and Change", in the University of Turin, Italy, August 28th-31st, 2013.

Liite 2 KYT2014 julkaisut ja opinnäytteet 2013

Arvojulkaisut³

Bomberg, M., Nyyssönen, M., Nousiainen, A., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P. & Itävaara, M. 2014. Evaluation of molecular techniques in characterization of deep terrestrial biosphere. *Microbial ecology research. Open Journal of Ecology*, Vol. 4, No. 8, pp. 468-487.

Ganchenkova, M. G., Yagodzinsky, Y. N., Borodin, V. A. & Hänninen, H. E. 2014. Effects of hydrogen and impurities on void nucleation in copper: simulation point of view. Submitted to *Philosophical Magazine*.

Huittinen, N., Sarv, P., Lehto, J. 2013. A ¹H and ²⁷Al NMR investigation of yttrium(III) and europium(III) interaction with kaolinite, *Applied Clay Science* 80-81, 2013, 182-188.

Itälä, A., Järvinen, J. & Muurinen, M. 2013. CO₂ effect on the pH of compacted bentonite buffer on the laboratory scale. *The Mineralogical Society. Clay Minerals*, Vol. 46, No. 2, pp. 277-287.

Itälä, A., Laitinen, M., Pulkkanen, V.-P., Tanhua-Tyrkkö, M. & Olin, M. 2014. Modelling transport of water, ions and chemical reaction in compacted bentonite – comparison between TOUGHREACT, NUMERRIN and COMSOL Multiphysics. Accepted to be published in *Nuclear Technology*.

Jokelainen, L., Meski, T., Lindberg, A., Soler, J. M., Siitari-Kauppi, M., Martin, A., & Eikenberg, J. 2013. The determination of ¹³⁴Cs and ²²Na diffusion profiles in granodiorite using gamma spectroscopy. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, DOI 10.1007/s10967-012-2268-y.

Kari, O. P., Elakneswaran, Y., Nawa, T. & Puttonen, J. 2013. A model for a long-term diffusion of multispecies in concrete based on ion–cement-hydrate interaction. *Journal of Materials Science*, Vol. 48, pp. 4243-4259.

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I. T., Hendriksson, N., Nyyssönen, M. & Itävaara, M. 2013. Characterisation and isotopic evolution of saline waters of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland – implications for water origin and deep terrestrial biosphere – *Applied Geochemistry*, Vol. 32, pp. 37-51. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.10.013

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I.T., Niedermann, S. & Wiersberg, T. 2013. Residence times of ancient water in Outokumpu (Finland) revealed by noble gases. *Mineralogical Magazine*, Vol. 77, No. 5, 1457. Abstrakti.

Matuszewicz, M., Pirkkalainen, K., Liljeström, V., Suuronen, J.-P., Root, A., Muurinen, A., Serimaa, R. & Olin, M. 2013. Microstructural investigation of calcium montmorillonite. *Clay Minerals*, Vol. 48, pp. 267-276.

Myllykylä, E., Tanhua-Tyrkkö, M., Bouchet, A. & Tiljander, M. 2013. Dissolution of Na- and Ca-montmorillonite in groundwater stimulants under anaerobic conditions. *Clay Minerals*, Vol. 48, pp. 295-308.

³ Julkaisujen luokittelu eri kategorioihin (arvojulkaisut, konferenssijulkaisut ja työraportit, opinnäytteet hankepäälliköiden ilmoitusten perusteella.

Nyysönen, M., Hultman, J., Ahonen, L., Kukkonen, I., Paulin, L., Laine, P., Itävaara, M. & Auvinen, P. 2014. Taxonomically and functionally diverse microbial communities in deep crystalline rocks of the Fennoscandian shield" - *The ISME Journal*, Vol. 8, No. 1, pp. 126-138. doi:10.1038/ismej.2013.125.

Pitkänen, E., Jouhten, P., Hou, J., Syed, M. F., Blomberg, P. et al. 2014. Comparative genome-scale reconstruction of gapless metabolic networks for present and ancestral species. *PLoS Computational Biology*, Vol. 10, No. 2: e1003465. doi:10.1371/journal.pcbi.1003465

Purkamo, L., Bomberg, M., Nyysönen, M., Kukkonen, I., Ahonen, L., Kietäväinen, R. & Itävaara, M. 2013. Dissecting the deep biosphere: Retrieving authentic microbial communities from packer-isolated deep crystalline bedrock fracture zones. - *FEMS Microbiology Ecology*, Vol. 85, No. 2, pp. 324 – 337, doi: 10.1111/1574-6941.12126

Sinnathamby, G., Korkiala-Tanttu, L. & Gallardo, J. 2013. Interface shear behaviour of tunnel backfill materials in a deep-rock nuclear waste repository in Finland. Article submitted to the *Journal of Soils and Foundations* (Accepted).

Sipilä, K., Arilahti, E., Lehtikuusi, T. & Saario, T. 2014. The effect of sulphide exposure on the mechanical properties of CuOFP. Hyväksytty julkaistavaksi *Corrosion Engineering Science and Technology* -lehdessä.

Voutilainen, M., Sardini, P., Siitari-Kauppi, M., Kekäläinen, P., Aho, V., Mylly, M. & Timonen, J. 2013. Diffusion of tracer in altered tonalite: Experiments and simulations with heterogeneous distribution of porosity. *Transp. Porous Med.*, Vol. 96, No. 2, pp. 319-336.

Konferenssijulkaisut ja työraportit⁴

Ahonen, L., Heikkinen, N., Kietäväinen, R., Kukkonen, I. & Wiersberg, T. 2013. Dissolved gases in crystalline rock, observation from Outokumpu deep drill hole. Gas Generation and Migration, International Symposium and Workshop, Luxembourg, February 2013. FORGE, Fate of repository gases project.

Arilahti, E., Lehtikuusi, T., Saario, T. & Sipilä, K. 2014. Sulphide-induced embrittlement of CuOFP - Final Report 2013. Espoo, VTT. Research Report VTT-R-01020-14, February.

Bomberg, M. & Itävaara, M. 2013. Depth related changes in microbial diversity and active microbial communities of Fennoscandian deep terrestrial subsurface aquifers (Poster). *FEMS Microbiology*, Leipzig, Saksa, 21. - 25.7.2013.

Carpén, L., Rajala, P., Kutvonen, H. & Bomberg, M. 2014. Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kupari-kapselin eri korroosimuotoihin – Vuosiraportti 2013. Espoo, VTT. Tutkimusraportti VTT-R-00999-14.

Carpén, L., Rajala, P. & Bomberg, M. 2014. Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa (REMIC) – Vuosiraportti 2013. Espoo, VTT. Tutkimusraportti VTT-R-01000-14.

⁴ Kaikki KYT2014-hankkeet ovat laatineet vuosiraportin. Niistä tähän on otettu koordinaattorille ilmoitetuista ne, jotka on julkaistu esim. kyseisen tutkimuslaitoksen virallisessa julkaisusarjassa, ts. ne joille on ilmoitettu yksikäsitteinen raportin numero.

Carpén, L., Rajala, P., Vepsäläinen, M., Bomberg, M. & Raulio, M. 2014. Microbial diversity and corrosion behaviour of carbon steel and stainless steel after one-year exposure in alkaline ground water. NACE 2014, March 9-13, San Antonio, Texas. Conference proceedings (no. 2014-4035) and oral presentation.

Carpén, L., Rajala, P., Vepsäläinen, M. & Bomberg, M. 2013. Corrosion behaviour and biofilm formation on carbon steel and stainless steel in simulated repository environment. Eurocorr2013, September 1-5, Estoril, Portugal. Paper (no. 1589) and oral presentation.

Cichonska A. & Rousu, J. 2013. Metagenome-Geochemistry Association Analysis. Technical Report. Aalto-yliopisto, heinäkuu. 44 s.

Ferreira, M., Koskinen, P. 2014. Durability of Concrete Barriers in Final Repositories of Nuclear Waste 2013. Espoo, VTT. Tutkimusraportti VTT-R-01104-14.

Havlova, V., Landa, J., Sus, F., Martin, A., Siitari-Kauppi, M., Eikenberg, J., Soler, P., Miksova, J., 2013. Long term diffusion experiment LTD Phase I: Evaluation of results and modeling. Migration 2013.

Heikola, T. 2013. Leaching of ^{14}C in repository conditions – transport and speciation. Espoo, VTT. VTT Technology 157. 38 p.

Häkkinen, S. 2014. Alustavia laskuja sivuaktinidien polttamisesta kiehutusvesireaktorin yläosan nopeassa neutronivuossa. Espoo, VTT. Tutkimusraportti VTT-R-00599-14.

Hänninen, H., Yagodzinsky, Y., Malitckii, E. & Todoshchenko, O. 2013. International workshop "Hydrogen-related effects in copper". KTH, Stockholm, 18-19 July 2013.

Hänninen, H., Malitckii, E., Saukkonen, T. & Yagodzinsky, Y. 2014. Hydrogen-induced cracking of oxygen-free phosphorus-doped copper. International Hydrogen Conference, Hydrogen-Materials Interactions. Jackson Lake Lodge, Moran, Wyoming, USA, 9-12 September 2012. Ed. B.P. Somerday and P. Sofronis. ASME Press, 2014, pp. 451-459.

Hölttä, P., Elo, O., Jortikka, S., Niemiaho, S., Lahtinen, M. & Lehto, J. 2013. Sr-85 and Eu-152 sorption on MX-80 bentonite colloids. Poster in Migration 2013 conference. Publication is under construction.

Hölttä, P., Lehto, J. & Harjula, R. 2014. Stability of Silica Colloids Released from Injection Grout Silica Sol. WM2014 Conference, March 2 – 6, 2014, Phoenix, Arizona, USA. Artikkelin hyväksytyt 12/2013.

Hölttä, P., Niemiaho, S., Elo, O., Lehto, J. & Harjula, R. 2014. Interaction of Radionuclides and Colloids Released from Materials Related to the Disposal of SNF. WM2014 Conference, March 2 – 6, 2014, Phoenix, Arizona, USA. Artikkelin hyväksytyt 12/2013.

Ikonen, J., Sardini, P., Voutilainen, M., Hänninen, K., Jokelainen, L., Pehrman, R., Martin, A. & Siitari-Kauppi, M. 2013. Behaviour of selenium crystalline rock. Migration 2013; 1st Russian Nordic Radiochemistry Symposium 2013.

- Itävaara, M., Marjamaa, K., Salavirta, H., Nyysölä, A., Bomberg, M., Nyysönen, M., Purkamo, L., Miettinen, H., Sohlberg, E., Vikman, M., Ahonen, L., Kietäväinen, K., Kukkonen, I. 2014. Extremophiles 2014, 10th International Congress of Extremophiles, Saint Petersburg, Russia 7-11.9.2014. Metagenomics studies of deep terrestrial biosphere of Fennoscandian Shield, Abstract, oral presentation.
- Itävaara, M. 2013. Carbon cycling in deep groundwaters and in manmade geological sites. The IGD-TP 4th Annual Exchange Forum (EF). Prague, Czech Republic, 29 - 30 October 2013.
- Itävaara, M. 2013. Sampling of deep boreholes and mines in Finland. DCO Sandpit Workshop on Bioreactors. Lake Annecy, France 26-29 August.2013. Oral presentation.
- Itävaara, M. 2013. Carbon cycling in deep groundwaters and in manmade geological sites. The IGD-TP 4th Annual Exchange Forum (EF). Prague, Czech Republic, 29-30 October 2013. Oral presentation.
- Juutilainen, P. & Viitanen, T. 2013. An assesment of the effect on Olkiluoto Repository capacity achievable with advanced fuel cycles. Proceedings of Global 2013, Salt Lake City, Utah, 29 September – 3 October 2013, pp. 1267-1275.
- Järvinen, J., Tiljander, M., Matuszewicz, M., Rajala, P., Olin, M., Itävaara, M. & Muurinen, A. 2014. 15-year experiments of the interaction of the compacted bentonite, copper canister and fresh water. Goldschmidt (submitted).
- Kataja, M., Alaraudanjoki, J., Eloranta, A. & Harjupatana, T. 2013. Experiments and a phenomenological model of bentonite swelling in a narrow channel. BELBaR Workshop. Helsinki, 5-7 March 2013.
- Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I. T., Niedermann, S. & Wiersberg, T. 2013. Groundwater residence times of millions of years revealed by noble gases in the Outokumpu Deep Drill Hole, eastern Finland. Res Terrae, Ser. A, No. 34 (toim. T. Weisenberger & H. Junttila). Program and Abstracts of the 9th National Geological Colloquium, Oulu, 6 - 8 March 2013, s. 18. Abstrakti.
- Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I. T., Niedermann, S., Wiersberg, T. 2013. Residence times of ancient water in Outokumpu (Finland) revealed by noble gases. Mineralogical Magazine Vol. 77, No. 5, p. 1457 (Goldschmidt Conference 2013, 25-30 August 2013, Florence, Italy, 2013).
- Koskinen, P., Ferreira, M. 2013. Analyses of Concrete Samples in Final Repository Conditions – Samples of 2012. Espoo, VTT. Tutkimusraportti VTT-R-06198-13.
- Laitinen, M. 2013. Hydromechanical modelling of bentonite buffer. BELBaR Workshop. Helsinki, 5-7 March 2013.
- Lempinen, J., Kallio, S., Hakanen, M. & Lehto, J. 2013. Isotopic exchange of ⁴⁵Ca and ¹⁴C on calcite. Migration 2013 Conference. Brighton, UK, 10 September 2013; 1st Russian-Nordic Symposium on Radiochemistry. Moscow, 21 October 2013.
- Litmanen, T., Kojo, M. & Nurmi, A. 2013. Megaluokan sosiotekninen projekti välietappiin – Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen haasteiden ja epävarmuuksien tulevaisuushallinta. Futura, Vol. 32, No. 2, pp. 64-73.

- Litmanen, T., Kojo, M. & Nurmi, A. 2013. Megaluokan sosiotekninen projekti väliarvioinnissa. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen haasteiden ja epävarmuuksien tulevaisuushallinta. ATS Ydintekniikka, Vol. 42, No. 2, pp. 10-14.
- Litmanen, T. 2013. Risk governance through risk dialogue. Copper corrosion as a socio-technical safety challenge in the geological disposal of spent nuclear fuel. InSOTEC project meeting, Prague, 16-18 April 2013.
- Litmanen, T. 2013. Risk governance through risk dialogue. Copper corrosion as a socio-technical safety challenge in the geological disposal of spent nuclear fuel. InSOTEC Stakeholder seminar 2 "Rethinking what is Social and what is Technical in (Long Term) Radioactive Waste Management". Berlin, 12-13 November 2013.
- Martin, A., Siitari-Kauppi, M., Havlova, V., Tachi, Y. & Miksova, J. 2013. An overview of the long-term diffusion test, Grimsel test site, Switzerland. Migration 2013.
- Niemiaho, S., Hölttä, P., Voutilainen, M. & Lehto, J. 2013. The effect of colloids on radionuclide transport in column experiments (Poster). Migration 2013 Conference. Publication is under construction.
- Olin, M., Järvinen, J., Itävaara, M., Tiljander, M., Matuszewicz, M. & Rajala, P. 2014. Bentonite in KBS3 Method – Mineralogy, chemistry and microbes after 15 years of contact with copper and water. IGDTP 2014 Meeting (submitted).
- Olin, M., Korkiala-Tanttu, L., Tiljander, M., Hölttä, P., Serimaa, R., Kataja, M., Laitinen, M. & Rasilainen, K. 2014. Assessment of bentonite characteristics in KBS3 method. The annual Waste Management Conference 2014. March 2- 6, Phoenix, Arizona, USA. Conference proceedings (no. 14344) and oral presentation.
- Purkamo, L., Bomberg, M., Nyssönen, M., Kukkonen, I., Ahonen, L., Kietäväinen, R. & Itävaara, M. 2013. Microbial community composition in deep bedrock fracture zones (Poster). FEMS Microbiology, Leipzig, Germany 21. - 25 July 2013.
- Rajala, P., Carpén, L., Vepsäläinen, M., Raulio, M. & Bomberg, M. 2014. Microbially induced corrosion of carbon steel and stainless steel in alkaline ground water -composition and metabolic functionality of biofilm. The annual Waste Management Conference 2014. March 2- 6, Phoenix, Arizona, USA. Conference proceedings (no. 14391) and oral presentation.
- Rantala, J.; Auerkari, P.; Holmström, S.; Salonen, J.; Laukkanen, A.; Andersson, T.; Saukkonen, T. 2013. Performance of welded OFP copper for the overpack of final repository canister, the 7th Asia Pacific IIR International Congress 2013, 8-10 July, 2013, Singapore
- Rantala J., Auerkari P., Holmström S., Laukkanen A, Andersson T. 2013. Performance of copper overpack for repository canisters, BALTICA IX, Intl Conf on Life Management and Maintenance for Power Plants, 11-13 June 2013, Helsinki
- Rasilainen, K., Vuori, S. & Olin, M. 2013. Käytetyn polttoaineen huolto. Turvallisuusperustelu tutkimuksen ja päätöksenteon välineenä. Espoo, VTT. VTT Technology 92. 52 s. + liitt. 2 s. ISBN 978-951-38-7980-8 (nid.) 978-951-38-7981-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T92.pdf>

- Rasilainen, K., Hutri, K.-L. & Avolahti, J. 2014. KYT2014 – Research programme to support Finnish nuclear waste authorities. The annual Waste Management Conference 2014. March 2- 6, Phoenix, Arizona, USA. Conference proceedings (no. 14245) and oral presentation.
- Rintala, L. 2013. Transmutation of long lived nuclides in fast and thermal reactors (Pitkäikäisten nuklidien transmutaatio nopeissa ja termisissä reaktoreissa). GEN4FIN-seminaari, Espoo, 8.11.2013. 17 s.
- Räty, A. 2013. Lähtöpitoisuuksien vaikutus sivuaktinidien polttamiseen. Espoo: VTT. Tutkimusraportti VTT-R-06423-13.
- Siitari-Kauppi, M., Kelokaski, M. & Martin, A. 2013. In-situ PMMA impregnations in Grimsel test Site. Posinam Final Workshop 2013.
- Sinnathamby, G., Korkiala-Tanttu, L. & Salvador, L.T. 2013. Shear resistance of various tunnel backfill interfaces of Finnish KBS-3V type nuclear waste repository under varying repository conditions (Applied Clay Science, under revision).
- Sinnathamby, G., Korkiala-Tanttu, L., Gustavsson, H. & Salvador, L. 2014. Effect of temperature on the interface shear behaviour of backfill materials of a nuclear waste repository. Abstract accepted ahead of GeoRegina 2014 Conference, no paper submission (The Canadian Geotechnical Society).
- Sinnathamby, G., Korkiala-Tanttu, L., Gustavsson, H. & Lojander, M. 2014. Rheological Investigations of a typical tunnel backfill material in Finnish Nuclear Waste Repository. Abstract accepted for poster presentation, no paper submission (Annual European Rheological Conference 2014 in Karlsruhe).
- Sipilä, K., Arilahti, E., Lehtikuusi, T. & Saario, T. 2013. The effect of sulphide exposure on the mechanical properties of CuOFP (poster). 5th. International Workshop on Long-Term Prediction of Corrosion Damage in Nuclear Waste Systems, 6-11.10.2013, Asahikawa, Japan.
- Sipilä, K., Arilahti, E., Lehtikuusi, T. Saario, T., Varis, P. 2013. The effect of sulphide exposure on the mechanical properties of CuOFP. BALTICA IX, Intl Conf on Life Management and Maintenance for Power Plants, 11-13 June 2013, Helsinki.
- Soler, J. M., Landa, J., Havlova, V., Tachi, Y., Ebina, T., Sardini, P., Siitari-Kauppi, M. & Martin, A. J. 2013. Modeling of an in-situ diffusion experiment in granite at the Grimsel Test Site. MRS 2013.
- Suuronen, J.-P., Matuszewicz, M., Pirkkalainen, K. & Serimaa, R. 2013. Nano- to microscale characterization of bentonite clay with microbeam small-angle x-ray scattering and microtomography. 10th Nordic Scattering Workshop on Soft Matter. Copenhagen, Denmark, 17-18 January 2013.
- Suuronen, J.-P., Matuszewicz, M., Pirkkalainen, K. & Serimaa, R. 2013. X-ray studies on nano- and microscale orientation in compacted bentonite and calcium montmorillonite. XV International Clay Conference. Rio de Janeiro, Brazil, 7-11 July 2013.
- Vikman, M., Marjamaa, K., Miettinen, H. & Itävaara, M. 2013. KYT. Espoo, VTT. Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa, Tutkimusraportti VTT-R-07011-13.
- Vikman, M., Marjamaa, K., Miettinen, H., Itävaara, M. Microbial diversity during biodegradation of low level radioactive waste. IGDTP - Geodisposal 2014 Manchester, UK, 24-26 June, 2014.

Voutilainen, M., Sardini, P., Siitari-Kauppi, M., Martin, A. & Timonen, J. 2013. Diffusion of cesium in Grimsel granodiorite: simulations in the domain with heterogeneous sorption properties, Migration 2013; Posinam Final Workshop 2013; 1st Russian Nordic Radiochemistry Symposium 2013.

Wiikinkoski, E. & Harjula, R. 2013. Separation of Americium and Europium utilizing zirconium phosphates. COST EUFEN2 Seminar, Dublin, Ireland, 15-18 April 2013.

Wiikinkoski, E. & Harjula, R. 2013. Study on separation of Am-241 and Eu-152 by zirconium phosphate in nitric acid. Suullinen esitelmä konferenssissa Russian-Nordic Symposium on Radiochemistry RNSR2013. Moscow, Russia 21 -24 October 2013.

Opinnäytteet

Althermeler, N. 2014. Taxonomy based pathway enrichment analysis. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos (valmisteilla).

Kajanto, K. 2013. The effect of stress state on groundwater flow in bedrock - simulations of in situ experiments. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Kalinainen, T. 2013. Evaluation of cyclus code for nuclear fuel cycle analysis (Cyclus ohjelmiston käyttökelpoisuus ydinpolttoainekierron mallinnuksessa). Kandidaatintyö. Aalto-yliopisto. 29 s.

Kallio, S. 2013. ^{14}C :n isotooppivaihto kalsiitin kanssa. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Radiokemian laboratorio.

Kutvonen, H. 2014. Typenkiertoon osallistuvat bakteerit Olkiluodon pohjavedessä matala- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoitusympäristössä. Pro Gradu -työ. Helsingin Yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos.

Leskinen, J. 2013. Transmutation of ^{129}I and ^{99}Tc in thermal reactors (^{129}I :n ja ^{99}Tc :n transmutointi termisissä reaktoreissa). Erikoistyö. Aalto-yliopisto. 38 s.

Luumi, L. 2013. Effect of weld defects on mechanical properties of spent nuclear fuel copper canister. M.Sc. Dissertation. Aalto University, Department of Engineering Design and Production.

Niemiaho, S. 2013. Bentonitiittikolloidien kulkeutuminen ja vaikutus ^{85}Sr :n ja ^{152}Eu :n liikkuvuuteen graniittisessa kivessä. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto.

Paaajanen, I. 2013. Ydinpolttoainekapselien terminen analyysi (Thermal Analysis of Final Disposal of Nuclear Waste). Kandidaatintyö. Aalto-yliopisto. 23 s.

Peri, V. 2013. Kiehumusvesireaktorin polttoaineen aksiaalinen analyysi nuklidisuhteiden avulla (Axial analysis of BWR fuel using local nuclide abundances). Erikoistyö. Aalto-yliopisto. 24 s.

Raunio, M. 2013. Application and validation of a new approach for notched bar creep testing of nuclear waste disposal canister copper, M.Sc. thesis, Tampere Univ. of Technology

Salvador, L. T. 2013. Shear resistance of the interfaces of backfill components in nuclear waste deposition tunnels affected by changes in temperature, water content and salinity. Master's Thesis, Aalto University, School of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering.

Uurtio, V. 2014. Computational analysis of deep bedrock bacterial communities. DI-työ. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu (jätetty arviotavaksi).

Liite 3 KYT2014 organisaatio 2013

KYT2014 Johtoryhmä

Jäsen (varajäsen)	Organisaatio	Tehtävä
Kaisa-Leena Hutri (Risto Paltemaa)	STUK	pj.
Mikko Paunio	STM	
Miliza Malmelin (Magnus Nyström)	YM	
Sami Hautakangas (Maiju Paunonen)	Fortum	
Marjut Vähänen (Juhani Vira)	Posiva	
Veijo Ryhänen (Liisa Heikinheimo)	TVO	
Jaana Avolahti (Jorma Aurela)	TEM	varapj.
Mia Ylä-Mella (Juhani Hyvärinen)	Fennovoima	asiantuntija

KYT2014 Tukiryhmä I: Puskuri, täyteaineet ja kapseli

Jäsen	Organisaatio	Tehtävä
Marko Alenius	STUK	pj.
Rainer Laaksonen	STUK	varapj.
Jaakko Leino	STUK	
Ari Luukkonen	STUK	
Tuulikki Sillanpää	STUK	
Pasi Kelokaski	Fortum	
Seppo Kasa	Posiva	
Kari Koskinen	Posiva	
Nina Paaso	TVO	

KYT2014 Tukiryhmä II: Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot

Jäsen	Organisaatio	Tehtävä
Kai Hämäläinen	STUK	
Arto Isolankila	STUK	
Petri Jussila	STUK	pj.
Jarmo Lehikoinen	STUK	
Paula Ruotsalainen	STUK	
Tapani Eurajoki	Fortum	
Anne Lehtinen	Posiva	
Marja Vuorio	Posiva	
Pekka Viitanen	TVO	

KYT2014 Tukiryhmä III: Yhteiskunta ja ihminen

Jäsen	Organisaatio	Tehtävä
Jaana Avolahti	TEM	pj.
Juhani Tirkkonen	TEM	
Risto Isaksson	STUK	
Timo Seppälä	Posiva	
Tiina Tigerstedt	Fennovoima	asiantuntija
Juha Poikola	TVO	
Miliza Malmelin	YM	
Peter Tuominen	Fortum	

Koordinaattori Kari Rasilainen (VTT) toimii johtoryhmän sihteerinä. Tarkempi kuvaus organisaation osien työnjaosta on toimintaohjeessa (<http://kyt2014.vtt.fi/>).

Liite 4 KYT2014 hankeseuranta 2013

KYT2014-ohjelmassa tutkimushankkeiden edistymisen seuranta ja tieteellinen ohjaus on tukiryhmien vastuulla. Kullekin tukiryhmälle on asetettu seurattavat hankkeet sen tieteellisen kokemuksen ja asiantuntemuksen perusteella. Seurattavat hankkeet kuuluvat niihin, joiden hanke-esitykset kyseinen tukiryhmä arvioi vuoden 2013 hankehaun yhteydessä. Käytännön seurantatyö tapahtuu muun muassa erityisissä seurantakokouksissa ja näitä kokouksia varten tukiryhmät I ja II ovat v. 2013 jakaneet rahoitusta saaneet tutkimushankkeet aihepiireittäin seuraaviin seurantaryhmiin.

Tukiryhmä I Puskuri, täyteaine ja kapseli (Marko Alenius)

1. Koordinoitu hankekokonaisuus Bentoniittipuskuri (BOA)
 - Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA); **Markus Olin, VTT**
 - Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA); Kai Hiltunen, Numerola Oy
 - Bentoniitin ominaisuuksien arviointi: Bentoniitin mineralogiset tutkimukset GTK:ssa (BOA/GTK); Mia Tiljander, GTK
 - Bentoniitin fenomenologinen THM-mallinnus (BOA-konsortion osahanke); Markku Kataja, JYFL
 - Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA); Ritva Serimaa, HYFL
 - Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA); Pirkko Hölttä, HYRL
 - Bentoniitin ja täyteaineiden lohkopintojen mekaaninen käyttäytyminen leikkausrasituksessa; Leena Korkiala-Tanttu, Aalto
2. Koordinoitu hankekokonaisuus Kapseli (L-TICO)
 - Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO); **Juhani Rantala, VTT**
 - Kuparisen ydinjätekapselin mekaaniset ominaisuudet; Hannu Hänninen, Aalto
 - Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen; Timo Saario, VTT
 - Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kuparikapselin eri korroosimuotoihin (MICCU); Leena Carpén, VTT
 - Kuparin korroosio hapettomassa vedessä; Jari Aromaa, Aalto
3. Betoni
 - Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 1; Jari Puttonen, Aalto
 - Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 2; Eila Lehmus, VTT

Tukiryhmä II Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot (Petri Jussila)

4. Koordinoitu hankekokonaisuus Turvallisuusperustelu (LS-TUPER)
 - Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER); **Markus Olin, VTT**
 - VTT:n hankkeen alihankkijoita:
 - a. Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)/HYRL; Juhani Suksi, HYRL
 - b. Turvallisuusperustelun täydentävät tarkastelut TUPER/GTK; Lasse Ahonen, GTK
 - c. Radionuklidien kulkeutumismalli adaptiivisella puumoniverkkomenetelmällä; Pawel Simbierowicz, Tmi Pawel Simbierowicz
5. Nuklidikulkeutuminen
 - Kallion in situ tutkimukset; Marja Siitari-Kauppi, HYRL
 - Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen; Mikko Voutilainen, JYFL
 - C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14); Kaija Ollila, VTT
 - Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä; Jukka Lehto, HYRL
6. Mikrobiologia
 - Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (GEOMIKRO); Merja Itävaara, VTT
 - Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI); Lasse Ahonen, GTK
 - Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO); Juho Rousu, Aalto
 - Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa; Leena Carpén, VTT
 - Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa; Merja Itävaara, VTT
7. Biosfääri
 - Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa; Jukka Juutilainen, UEF
8. Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat
 - Kehittyneet polttoainekierröt - Uudet erotustekniikat; Risto Harjula, HYRL
 - Kehittyneet polttoainekierröt - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi; Tuomas Viitanen, VTT
 - Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA); Rainer Salomaa, Aalto

Tukiryhmä III Yhteiskunta ja ihminen (Jaana Avolahti)

9. Yhteiskuntatiede
 - Käytetyn ydinpolttoaineen geologisen sijoituksen kansainväliset sosio-tekniiset ja turvallisuus haasteet – Suomi ja EU – FiNSOTEC 2012-2014; Tapio Litmanen, JY