

KYT2014

KANSALLINEN YDINJÄTEHUOLLON
TUTKIMUSOHJELMA
2011-2014

Vuosikatsaus
2012

Kari Rasilainen

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
1. Johdanto	4
2. Tutkimusohjelman tavoitteet	5
3. Tutkimushankkeet vuonna 2012	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	11
3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys	12
3.2.4 Muut turvallisuustutkimukset	15
3.3 Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus	18
Viitteet	19
Liite 1 KYT2014 hankekohtaiset vuosiyhteenvedot 2012	21
Liite 2 KYT2014 julkaisut ja opinnäytteet 2012	66
Liite 3 KYT2014 organisaatio 2012	73
Liite 4 KYT2014 hankeseuranta 2012	75

ESIPUHE

Tämä on Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT2014) sisällöllinen vuosikatsaus vuodelta 2012. Kokonaisuudessaan KYT2014 ohjelmakausi on nelivuotinen (2011-2014). Vuosikatsauksessa kuvataan lyhyesti tutkimusohjelman saavuttamia tutkimustuloksia hankepäälliköiden raporttoimien 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. Yhden tutkimushankkeen vuosiyhteenvettoa ei ole toimitettu koordinaattorille.

1 Johdanto

Suomen lainsäädäntö edellyttää, että ydinjätehuoltovelvolliset vastaavat tuottamiensa jätteiden huollon suunnittelusta, toteutuksesta ja kustannuksista mukaan lukien tutkimus- ja kehitystyö. Sen sijaan kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT) tarkoituksena on tuottaa asiantuntijaosaamista viranomaisten käyttöön. Ydinjätehuollon valvontaan ja valmistelu- ja toteutustöihin liittyvä tutkimustyö on rajattu KYT-ohjelman ulkopuolelle.

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 ja sen liitteenä olevan turvallisuusperustelun vuosina 2013-2014. Suomessa on uusi ydinenergia 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 rakentamistyöt jatkuvat ohjelmakauden yli. Ohjelmakauden aikana on tarkoitus käsitellä uusien ydinvoimalaitosten (Olkiluoto 4, Fennovoima 1) rakentamislupahakemukset. Otaniemen tutkimusreaktorin (FiR1) käyttö lupa uusittiin v. 2011 vuoden 2023 loppuun asti. VTT päätti 2012 sulkea tutkimusreaktorin ja sen seurauksena käynnistetään reaktorin käytöstäpoistoseelvitykset. VTT on käynnistämässä uusien ydintekniikan tilojen ja niihin liittyvien laitteistojen rakentamista Otaniemeen. Uudet tilat edistävät myös ydinjätehuollon ja radiokemian tutkimuksia.

Ruotsissa hakemus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilojen rakentamislupaa varten jätettiin viranomaisille vuoden 2011 maaliskuussa; kaikkiaan lupaprosessin arvioidaan vievän useita vuosia. USA:ssa nk. Blue Ribbon -komitea on raportoinut (BRC 2012) vaihtoehtoja Yucca Mountainiin kaavailulle geologiselle loppusijoitukselle, josta luovuttiin v. 2010 poliittisella päätöksellä. Blue Ribbon -komitean työn pohjalta on USA:ssa 2013 muotoiltu päivitetty ydinjätehuollon strategia (DOE 2013).

EU:n ydinenergia- ja ydinjätetutkimusta tehdään ns. Euratom-puiteohjelmien piirissä. Parhailaan on menossa 7. puiteohjelman (2007–2011) 2-vuotinen jatkoaika. Vuonna 2009 perustettiin teknologiayhteisö IGD-TP (Implementing Geological Disposal - Technology Platform), jonka tarkoituksena on ryhtyä merkittävältä osin koordinoimaan Euratomin piirissä tehtävää ydinjätehuollon tutkimusta. Suomesta IGD-TP:hen osallistuvat toistaiseksi Posiva ja VTT.

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. Myös tutkimusohjelman organisointia on kehitetty, esimerkkinä mainittiin koordinoitua hankkeita ja tukiryhmätoimintaa. KYT-ohjelman piirissä käynnistettyä Kansallista ydinjätehuollon kurssia pidettiin onnistuneena ja koulutuksen kehittämistä kiiteltiin. Tutkimusohjelman tuloksista todettiin, että ne ovat suhteessa käytettävissä olevaan rahoitukseen. Tutkimusohjelmaan on pystytty sisällyttämään uusia tutkimusaihepiirejä. Arvioitsijat esittivät myös runsaasti uusia suosituksia tutkimusohjelman kehittämiseksi. Johtoryhmä käsittelee kehitysehdotuksia mahdollisuuksien mukaan jo kuluvalle tutkimuskaudella.

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 kaavailaan 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 tiedonvaihdoilla voidaan myös välttää mahdollista päällekkäistä tutkimusta sekä koordinoita esimerkiksi kansainvälisiin hankkeisiin osallistumista.

Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) rahoittaa vuosittain ydinjätehuollon tutkimushankkeita työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) esityksen perusteella. TEM:n esitys perustuu KYT-johtoryhmän rahoitussuosituksen. 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.

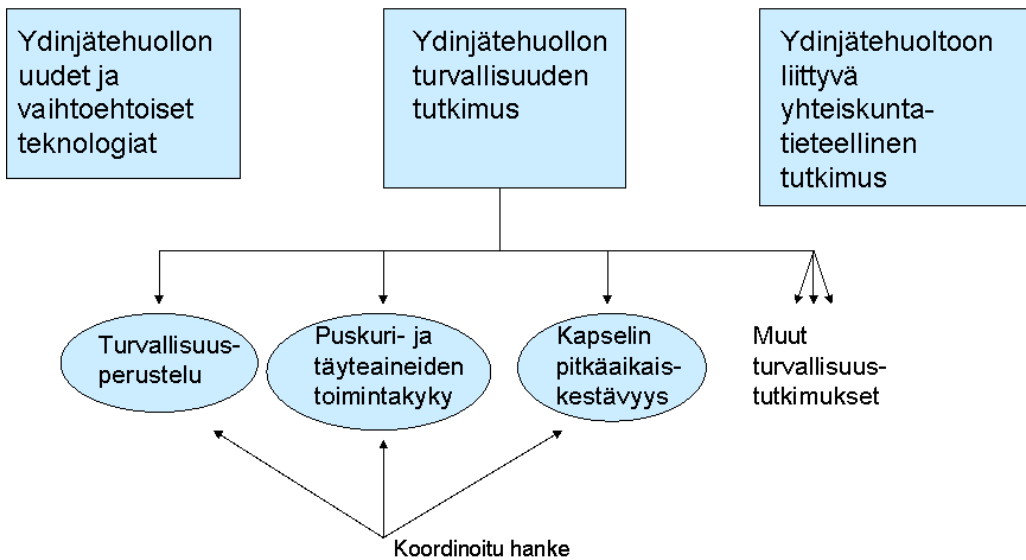
KYT2014-tutkimusohjelma tukee ja kannustaa osallistumaan ydinjätetutkimuksen kansainvälisiin ja EU-hankkeisiin, edellytyksenä kuitenkin on, että tutkimustulokset ovat KYT-hengen mukaisesti julkisia. Hankkeita voidaan toteuttaa myös VYR:n ja muiden suomalaisten tai ulkomaisten rahoittajien yhteisrahoituksella. Yhteisrahoitteisiin hankkeisiin sovelletaan samoja rahoitusehtoja ja vaatimuksia kuin VYR:n rahoittamiin hankkeisiin. Yritysten osalta niihin sisältyy EU:n valtioneuvoston 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 2012 ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksissa pyrittiin laajoihin useampivuotisiin koordinoituihin hankkeisiin turvallisuusperusteluissa, puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyssä sekä kapselin pitkäaikaiskestävyydessä. Lisäksi pyrittiin myös muihin ajankohtaisiin turvallisuustutkimuksiin ja yhteiskuntatieteellisiin ydinjätehuollon tutkimuksiin.

Kuvassa 1 on esitetty KYT2014-ohjelman tutkimusaihepiirit.



Kuva 1. KYT2014-ohjelman tutkimusaihepiirit (TEM 2010).

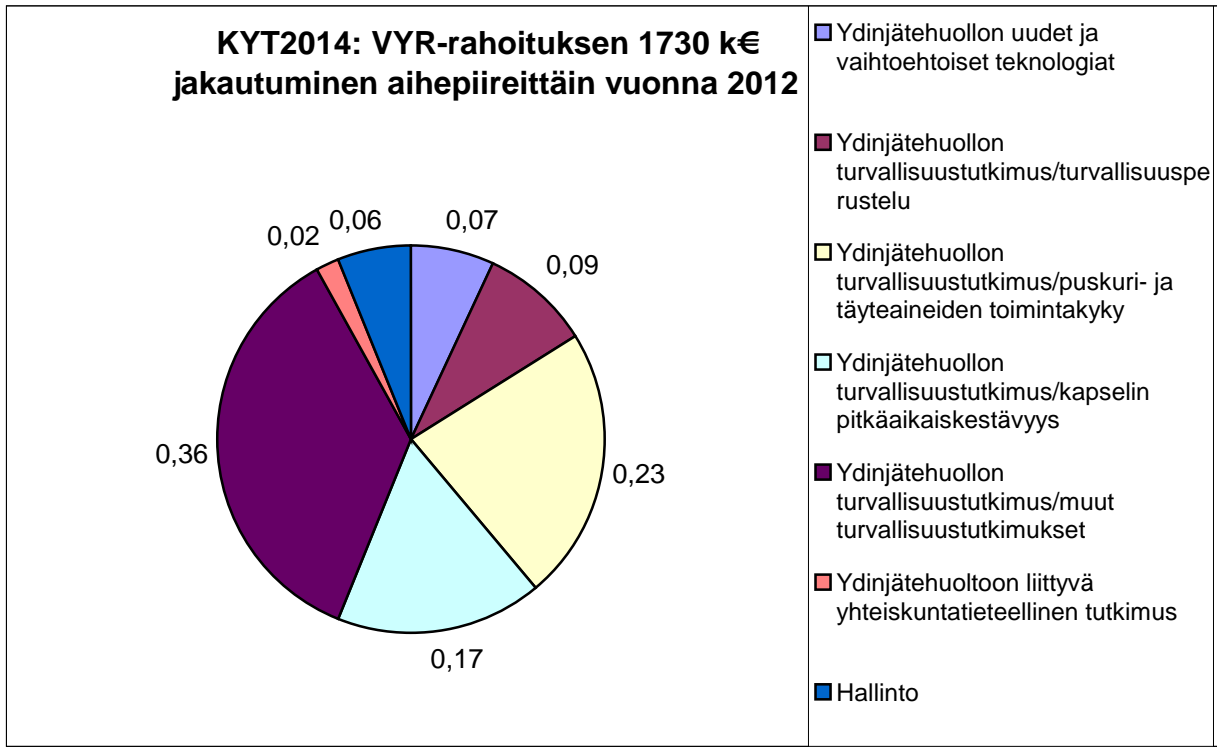
3. Tutkimushankkeet vuonna 2012

Vuoden 2012 hankehakuun lähetettiin yhteensä 35 hanke-esitystä ja yhteenlaskettuna VYR-rahoitusta haettiin 2,9 M€ Hanke-esitykset arvioitiin sisällöllisesti tukiryhmissä ja arvioinnissa kiinnitettiin huomiota seuraaviin kriteereihin, jotka myös ilmoitettiin hankehaun kutsukirjeessä:

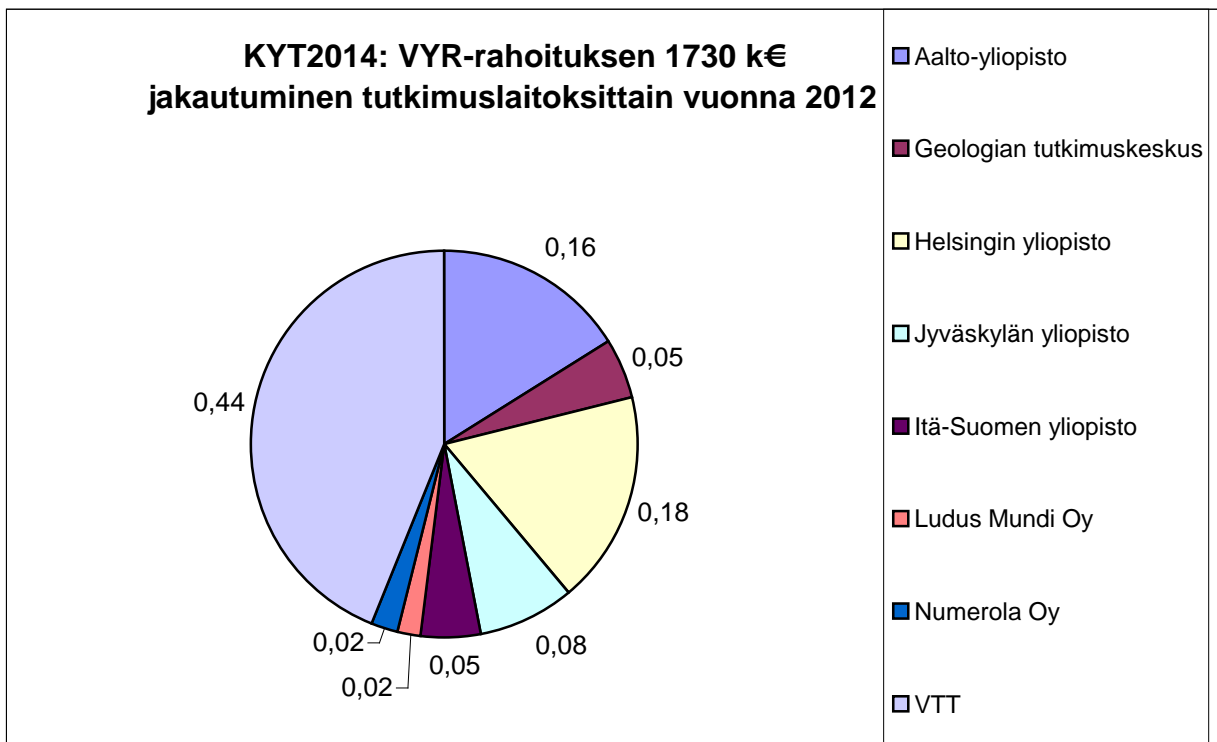
- merkittävyyttä ja hyödynnettävyyttä arvioidaan tutkimustarpeiden kannalta
- verkottuminen alan toimijoiden kesken tarkoittaa, että haetaan koottuja yhteisiä hankkeita ja ehyitä kokonaisuuksia
- koulutusvaikutus ja hanke-esityksen tieteelliset ansiot
 - uusien asiantuntijoiden kouluttaminen
 - uuden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

Tutkimusohjelman johtoryhmä laati tukiryhmien hankearvioiden pohjalta rahoitusesityksen ja sisällöllisen palautteen. Hankekohtaiset palautteet saatettiin hanke-esitysten tekijöiden tietoon. Lähes kaikkia rahoitettuja hankkeita jouduttiin leikkaamaan, koska hanke-esitysten yhteenlaskettu haettu VYR-rahoitus ylitti vuoden 2012 rahoitusvaran yli miljoonalla eurolla; myös hankkeiden edistyminen otettiin rahoitusesityksessä huomioon.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) teki johtoryhmän esityksen pohjalta rahoitusesityksen, johon se pyysi lausunnon STUKilta. Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) teki lopullisen rahoituspäätöksen 8.3.2012. Vuonna 2012 KYT2014-ohjelmassa hankekokonaisuudelle myönnetty rahoitus on n. 1,7 M€ Kaikkiaan tutkimusohjelmassa myönnettiin VYR-rahoitusta 31 tutkimushankkeelle ja hallintohankkeelle. VYR-rahoituksen jakautuminen eri aihepiireihin on esitetty Kuvassa 2 ja eri tutkimuslaitoksille Kuvassa 3.



Kuva 2. VYR-rahoituksen jakautuminen eri aihepiireihin vuonna 2012.



Kuva 3. VYR-rahoituksen jakautuminen tutkimuslaitoksittain vuonna 2012.

Tutkimusohjelman kokonaisrahoitus v. 2012 oli n. 2,7 M€ josta VYR kattoi n. 1,7 M€ ja tutkimuslaitokset itse kattoivat n. 1 M€. Tutkimusohjelman kokonaislaajuus v. 2012 oli n. 26,5 henkilötyövuotta¹. Vuonna 2012 hankekokonaisuus koostui etupäässä ydinjätehuollon teknologioita ja

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

turvallisuutta käsittelevistä tutkimushankkeista. Yhteiskuntatieteellisiä tutkimushankkeita oli mukana yksi. Tutkimusohjelman piirissä tarkastettiin 2 väitöskirjaa v. 2012.

Seuraavassa esitellään lyhyt yhteenveto tutkimusohjelman vuoden 2012 tutkimustuloksista. Liitteessä 1 on esitetty yksityiskohtaisemmat hankekohtaiset vuosiyhteenvedot ja koordinoitujen hankkeiden sisällölliset vuosiyhteenvedot. Liitteessä 2 on lueteltu tutkimusohjelmassa vuonna 2012 tuotetut julkaisut ja opinnäytteet, esim. väitöskirjat. Liitteessä 3 on kuvattu tutkimusohjelman organisaatio vuonna 2012 ja Liitteessä 4 tutkimushankkeiden seuranta vuonna 2012.

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 2012 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 polttoainekierrot - Uudet erotustekniikat

Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle erikoisalana epäorgaaniset ioninvaihtomateriaalit. Tutkimustyön teknisenä tavoitteena on uusien nanohuokoisien metallioksidionin vaihtimien kehittäminen aktinidien erotukseen. Tohtorikoulutukseen liittyvä tutkimustyö on organisoitu osaprojekteihin 1 Sekametallioksidien syntetisointi, 2 Alustava testaus, 3 Sekametallioksidien karakterisointi ja 4 Eluutiokokeet.

Vuonna 2012 hankkeessa syntetisoitiin epäorgaanisia titaanifosfaatteja, sekä titaanizirkoniumsekafosfaatteja (TiP, TiZrP, vastaavasti) sekä uutta gamma-sirkoniumfosfaattia (ZrP-4), jolla havaittiin hyvä stabiilius vedessä ja laimeissa hapoissa. Syntetisoitujen sekametallioksidien selektiivisyys testattiin alustavasti mittaamalla merkkiaineiden jakautumiskertoimia (Kd) eri typpihappoliuksissa. Syntetisoiduille tuotteille toteutettiin yhteensä kuusi eluutiokoetta..

Yhdessä VTT:n hankkeen, *Kehittyneet polttoainekierrot - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi*, kanssa julkaistiin raportti erotus- ja transmutaatiomenetelmien kansainvälisestä tutkimuksesta (Häkkinen et al. 2013)².

² Jollei muuta ilmoiteta, viitataan tämän luvun kirjallisuusviitteissä Liitteen 2 julkaisuluetteloon.

Kehittyneet polttoainekierröt - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi

Hankkeen tavoitteena on sellaisen osaamisen ja laskentaympäristön hankkiminen, joiden avulla 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.

Laskentaohjelmaan Serpent 2 kehitettiin lisäominaisuus, joka helpottaa tärkeiden nuklidien tunnistamista polttoainekiertoanalyysissä. Yksi henkilö osallistui heinäkuussa polttoainekiertomallinnusohjelma COSI6:n käyttäjäkurssille. Sivuaaktinidien polttamista EPR-tyyppisessä kevytvesireaktorissa on tutkittu CASMO-SIMULATE -ohjelman avulla.

Yhdessä HYRLin hankkeen, *Kehittyneet polttoainekierröt - Uudet erotustekniikat*, kanssa julkaistiin raportti erotus- ja transmutaatiomenetelmien kansainvälisestä tutkimuksesta (Häkkinen et al. 2013). Hankepäällikkö osallistui OECD/NEA:n WPFC-työryhmän (Working Party on Scientific Issues of Fuel Cycle) ja sille alisteisen AFCS-asiantuntijaryhmän (Advanced Fuel Cycle Scenarios) kokouksiin. Kaksi projektin edustajaa osallistui 12IEMPT tapaamiseen syyskuussa.

Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA)

Hankkeen tavoitteena on transmutaatiotekniikoiden kriittinen arviointi sekä kehittää reaktorianalyysimenetelmiä ja niiden tarkkuutta suuren palaman polttoaineiden nuklidikonsentraatioiden laskemiseksi. Hankkeessa lasketaan tapauskohtaiset arviot ydinjätteen hävittämisestä lyijyjäähdytteisessä kiihdytinpohjaisessa reaktorissa. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 FLUKA koodin kytkeminen VTT:llä kehitettyyn Serpent-koodiin, 2 Myrrha-koereaktorin transmutaationopeuksien laskenta täydellä sydänlatauksella em. kytketyllä mallilla ja 3 Myrrha-koereaktorin kriittisen latauskuvion suunnittelu.

FLUKA-koodi kytkettiin Serpent-koodiin. Transmutaationopeuksienn laskennassa Myrrha-koereaktorille havaittiin, että Am:n transmutaationopeus on pienempi kytketyllä koodilla kuin pelkästään FLUKAlla laskettaessa. Hankkeessa on suunniteltu Myrrha-koereaktorin kriittinen latauskuvio.

3.2 Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus

Viranomaisten käytössä on oltava luvanhakijasta riippumatonta korkeatasoista asiantuntemusta KBS-3 -konseptista ja siihen sisältyvistä vaihtoehtoisista menetelmistä ja ratkaisuista. Referenssikonseptina tutkitaan kapselin sijoittamista pystyreikäkään (KBS-3V) ja tälle vaihtoehtona useiden kapselien sijoittamista pitkään vaakareikäkään (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. 2012 koordinoitua hankkeita. Olemukseltaan koordinoitua hanketta voidaan pitää pienimuotoisena tutkimusohjelmalla, jonka koordinointiin on saatavissa KYT2014-ohjelmasta rahoitusta. Koordinoitujen hankkeiden lisäksi v. 2012 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 koostui neljästä hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitua hankkeen LS-TUPER (Loppusijoituksen turvallisuusperustelu), Taulukko 2. Neljän osahankkeen muodostama tutkimusryhmä laati hankehakua varten koordinoitulle hankkeelle yhteisen työsuunnitelman ja siihen pohjautuvan budjetin. Työsuunnitelma laadittiin tarvelähtöisesti, jolloin työsuunnitelman osahankkeisiin osallistui tarvittavasta osaamisesta riippuen yhden tai useamman tutkimusorganisaation edustajia. Näin työsuunnitelma muodosti sisällöllisesti kiinteästi integroidun kokonaisuuden. Tutkimusohjelman johtoryhmä suositteli rahoitusta koordinoitulle hankkeelle yhtenä kokonaisuutena. Hallinnollisesti kukin osahanke teki oman hanke-esityksensä.

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

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)	Markus Olin, VTT
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)/HYRL	Juhani Suksi, HYRL
Turvallisuusperustelun täydentävät tarkastelut TUPER/GTK	Lasse Ahonen, GTK
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER); osahanke laskennallisen analyysimallin kehittäminen	Antti Lempinen, Ludus Mundi Oy

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

Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)

Koordinoitussa hankkeessa tavoitteena on kokonaisvaltaisen turvallisuusperustelun laatiminen KBS-3-tyyppiselle loppusijoitusratkaisulle omakohtaisen työn kautta. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Koordinointi (VTT), 2 Turvallisuusperustelun metodiikka ja esitystavat (VTT), 3 Vaihtoehtoiset käsitteelliset mallit ja tulokset (HYRL), 4 Skenaarioiden koostaminen (VTT), 5 Laskennallisen analyysimallin kehittäminen (Ludus Mundi), 6 Epävarmuusmenetelmien kehittäminen (VTT), 7 Täydentävät tarkastelut (GTK), 8 Mentorointi (VTT) ja 9 Synteesi (kaikki). Osaprojektit 3, 5 ja 7 toteutettiin HYRLin, Ludus Mundi Oy:n ja GTK:n vetäminä, vastaavasti. Muut osaprojektit ovat olleet VTT:n vastuulla. Osaprojekti 8 on uusien asiantuntijoiden koulutusta. Osaprojektissa 9 ei ollut toimintaa v. 2012.

Koordinoitu hanke käynnistyi vuonna 2011. Osaprojektissa 1 järjestettiin 3 projektikokousta ja 2 workshopia. Kaikille avoimen matriisidiffuusio-workshopin aineisto on pantu tutkimusohjelman verkkosivulle. Hankepäällikkö esitteli hankkeen tuloksia EU-hankkeen CROCK kokouksessa Tukholmassa. Osaprojektissa 2 saatettiin päätökseen opinnäytetyönä Karita Kajannon erikoistyö Aalto-yliopistoon radionuklidien kallioperäkulkeutumisesta (Kajanto 2012). Osaprojekteissa 2, 3, 4, 5 ja 7 laadittiin laajennettuja abstrakteja sen varmistamiseksi, että tutkimusryhmällä on yhteinen näkemys turvallisuusperustelun peruskäsitteistä ja -termeistä, jotka on tarkoitus julkaista VTT:n julkaisusarjassa. Osaprojektissa 4 Ludus Mundi Oy vetäytyi de facto yhteistyöstä loppuvuonna. Hankkeessa käynnistettiin Karita Kajannon diplomityö Aalto-yliopistoon v. 2012 kallion jännitystilän vaikutuksesta pohjaveden virtaukseen.

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 vapautumisestajärjestelmän (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. Bentoniittiin³ 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 koostui seitsemästä hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitua hankkeen BOA Bentoniitin ominaisuuksien arviointi (Taulukko 3). Seitsemän osahankkeen muodostama tutkimusryhmä laati hankehakua varten koordinoitulle hankkeelle yhteisen työsuunnitelman ja siihen pohjautuvan budjetin. 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 hanke-esityksensä.

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

Tutkimushanke	Hankepäälikkö
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Markus Olin, VTT
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Antti Niemistö, Numerola Oy
Bentoniitin ominaisuuksien arviointi: 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

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 Kokeet, 2 Mallinnus ja 3 Koordinointi.

Kokeet-osaprojekti on edelleen jaettu tehtäviin 1.1 Bentoniitin karakterisointimenetelmien kehitys ja soveltaminen (VTT, GTK, HYFL, JYFL), 1.2 Tomografian soveltaminen (JYFL), 1.3 Bentoniitin homogenisoituminen ja mikrorakenne (VTT), 1.4 Liukenemis- ja kationinvaihtoreaktiot bentoniitissa tiheyden ja lämpötilan funktiona (VTT), 1.5 Montmorilloniitin liukoisuus (VTT), 1.6 Kolloidien muodostuminen loppusijoitustilan materiaaleista (HYRL), 1.7 Mikrobit bentoniitissa (VTT) ja 1.8 Block shear (Aalto).

³ Bentoniitilla tarkoitetaan tässä paisuvahilaisia savia yleisterminä.

Mallinnus-osaprojekti on jaettu tehtäviin 2.1 Fenomenologinen THM-mallinnus (JYFL), 2.2 Mikrorakennepohjainen THC-mallinnus (VTT), ja 2.3 THCM(B)-mallinnus (Numerola, VTT, JYFL).

Koordinointi-osaprojekti on jaettu tehtäviin 3.1 Sisäiset työskentelytavat, 3.2 Kotimainen yhteistyö, 3.3 Kansainvälinen yhteistyö 3.4 Mentorointi ja ohjaus.

Koordinoitu hanke käynnistyi muodollisesti vuonna 2011, mutta sisällöllisesti se jatkoi jo KYT2010-ohjelmassa käynnistettyä PUSKURI-projektina aloitettua tutkimusyhteistyötä. Kokeellisella puolella hanke panosti v. 2012 merkittävästi osallistumiseen kansainväliseen savialan konferenssiin Montpellierissä Ranskassa (yhteensä 7 esitystä: Itälä & Muurinen 2012, Kataja et al. 2012, Lahtinen et al. 2012, Matusewicz et al. 2012, Muurinen et al. 2012, Myllykylä et al. 2012, Olin et al. 2012). Mallinnuspuolella em. Montpellierin savikokouksessa oli esitys VTT:n ja Numerolan kesken toteutetusta mallivertailusta reaktiivisesta kulkeutumisesta puristetussa benoniitissa, josta myös pidettiin esitys TOUGH-symposiumissa Berkeleyssä USA:ssa (Itälä 2012). Kosteuden kulkeutumismalli puristetulle bentoniitille kehitettiin Numerolassa ja sitä sovellettiin JYFLin tomografikokeiden tulkinnassa. Suomen matematiikkapäivillä pidettiin suullinen esitys bentoniitin mallintamisesta (Mika Laitinen) ja fysiikanpäivillä bentoniitin kokeellisesta tutkimuksesta (Liljeström et al. 2012). Koordinointipuolella järjestettiin kaikille avoin workshop, jonka aineisto on pantu tutkimusohjelman verkkosivulle. BOA-hankkeessa hankittua osaamista esiteltiin EU-hankkeen BeLBAR kick off –kokouksessa.

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.

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 säätää osaltaan radionuklidikohtaista vapautumisnopeuden (Bq/a) numeroarvoa.

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

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

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)	Juhani Rantala, VTT
Kuparisen ydinjätekapselfin mekaaniset ominaisuudet	Hannu Hänninen, Aalto
Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen (CUHA)	Timo Saario, VTT
Korroosion monitorointi loppusijoitusolosuhteissa (KAISA)	Timo Saario, VTT
Kuparin korroosio hapettomassa vedessä	Antero Pehkonen, Aalto

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Seuraavassa tarkastellaan koordinoitua hanketta L-TICO osahankkeittain.

Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)

Hankkeen tavoitteena on kapselikuparin pitkäaikaiskestävyyden määrittäminen ja eliniän ennustaminen. Painopiste on hitsatun OFP-kuparin pitkäaikaiskokeissa, joita täydennetään kokeilla eri lämpötiloissa. Erityisesti selvitetään moniaksiaalisuuden elinikävaikutus, josta ei ole ilmiönä 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.

Vetokokeiden pisin koe on toistaiseksi yli 90 000 h. Elementtimenetelmällä tehdyt hitsien ja vikojen mallinnukset viittaavat jännitystilojen nopeaan relaksaatioon. Vaurion kehittymisen arvioimiseksi realistisissa olosuhteissa 4 uutta vetokoetta on menossa. Elinikämallinnuksen kehittämiseksi tarvitaan edeltävänä vaiheena virumis/relaksaatiomallin todentaminen. Toistaiseksi saatu viittaus jännitysten relaksoitumisesta poikkeavat siitä mitä SKB on esittänyt, ja hanke on käynnistämässä yhteistyötä Prof. Sandströmin (KTH) kanssa eroavaisuuksien syiden asian selvittämiseksi.

Kuparisen ydinjätekapselfin 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 osaprojekteiksi 1 Kuparikapselin eri osien (perusmateriaalien ja hitsien) mekaanisten ominaisuuksien selvittäminen lämpötilan ja muodonmuutoksen funktiona, 2 Deformaatiomekanismien selvittäminen in situ –aineenkoestuksella ja 3 Vedyn absorptio kupariin loppusijoitusolosuhteissa.

Osatehtävässä 1 hyväksyttiin Kati Savolaisen väitöskirja ja siihen liittyen on julkaistu 2 lehtiartikkelia (Savolainen et al. 2012a,b). Huoneenlämpötilassa tehtyjen kokeiden tuloksista on julkaistu lehtiartikkeli (Ivanchenko et al. 2012), korotetuissa lämpötiloissa tehtäviä kokeita on suunniteltu. Vedyn absorption kupariin on havaittu vaikuttavan merkittävästi kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin: tuloksia on julkaistu lehtiartikkelissa (Yagodzinsky et al. 2012) ja kahdessa konferenssissa (Hänninen et al. 2012, Malickii et al. 2012). Hankkeessa on ollut varsin vilkasta julkaisutoimintaa v. 2012.

Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen (CUHA)

Edeltävässä projektissa 2009–2010 todettiin uusi kuparin mahdolliseen haurastumiseen/jännitys-korroosioon 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 kestävyys. 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 diffuusion, 4 Haurastuminen; sulfidin/rikin vaikutus kuparin mekaaniseen kuormankantokykyyn ja virumiseen ja 5 Raportointi. Hanke sai osarahoitusta Ruotsin säteilyturvaviranomaiselta (Strålsäkerhetsmyndigheten SSM).

Osatehtävässä 1 neljäs altistuskoe on tehty sulfidipitoisuudella 200 mg/l ja jännitystasolla 50% myötölujuudesta. Tulokset on raportoitu VTT tutkimusraporttina (Arilahti et al. 2013). Osatehtävän 2 työt on keskeytetty, koska väsyttämällä tapahtuneen koesauvojen avaamisen jälkeen murtopinnoilta löytynyt musta pintafilmi on todettu olevan kuparioksidia, ei sulfidia. Osatehtävässä 3 todettiin, liittyen osatehtävän 2 havaintoon, että on todennäköistä, että ko. oksidifilmi syntyy altistuksen jälkeen väsyttämällä tehtävän murtopinnan avaamisen yhteydessä. Osatehtävässä 4 on valmistunut Konsta Sipilän diplomityö (Sipilä 2012).

Korroosion monitorointi loppusijoitusolosuhteissa (KAISA)

Hankkeen tavoitteena on evaluoida, kehittää ja verifioida potentiaaliset in situ on-line korroosionopeuden mittaustekniikat siten, että niillä saatuja tuloksia voidaan käyttää kuparikapselin korroosiomallien verifiointissa ja siten, että niiden toimivuus simuloituissa loppusijoitusolosuhteissa ja mahdollisesti tulevissa Olkiluodon Onkalossa tehtävissä mittauksissa voidaan taata. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Kirjallisuusselvitys in situ on-line korroosionopeuden mittaustekniikoista, 2 Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen, 3 Tekniikoiden luotettavuus ja mittaustulosten hajonta, 4 Mittaustekniikoiden optimointi ja 5. Raportointi.

Hankkeen tulokset keskittyivät osatehtävän 1 kirjallisuusselvitykseen, joka on raportoitu VTT:n tutkimusraporttisarjassa (Sipilä & Saario 2013). Muut osatehtävät päätettiin integroida v. 2013 aloitettavaan MICCU-hankkeeseen.

Kuparin korrosio hapettomassa vedessä

Vuonna 2011 on kokeissa, joissa kupari on ollut ultrapuhtaassa vedessä, havaittu kahdessa kokeessa pieniä määriä vetyä, mutta kahdessa ei. Tämän jatkohankkeen tavoite on saada varmuus siitä, kehittykö kuparin korrosioreaktioissa hapettomassa vedessä todella vetyä vai ei. Hanke toteutetaan samalla konsortiolla kuin vuosina 2009 ja 2010 siten, että Aalto-yliopisto ja VTT toteuttavat tutkimuksensa pääosin KYT-rahoituksella ja Studsvik Nuclear AB itse hankkimallaan rahoituksella. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Kokeet ruostumattomasta teräksestä tehdyllä koeastialla, 2 Kokeet kuparista tehdyllä koeastialla, 3 Kokeet simuloituissa pohjavedessä (muuten vastaava kuin osaprojekti 1) ja 4 Tulosten analysointi ja raportointi yhdessä Studsvikin kanssa. Hanke sai osarahoitusta Ruotsin säteilyturvaviranomaiselta (Strålsäkerhetsmyndigheten SSM).

Osatehtävässä 1 havaittiin, että 60 °C kokeissa vetypitoisuus on lisääntynyt Pd-kalvossa kertoimella 2-10 verrattuna referenssitason. Oletus on, että vety on muodostunut kuparin korroosiosta, Studsvik Nuclear AB:n saamat tulokset tukevat tätä oletusta. Kuparista tehty koeastia on valmis ja testattavana. Tuloksia esiteltiin kansainvälisessä konferenssissa (Lehmusmies et al. 2012).

3.2.4 Muut turvallisuustutkimukset

Arvioitaessa ydinjätehuollon turvallisuutta yleensä ja geologisen loppusijoituksen turvallisuutta erityisesti, tietoja tarvitaan useilta tieteenaloilta ja myös edellä mainittujen koordinoitujen hankkeiden lisäksi.

Muut turvallisuustutkimukset –aihepiiri koostui 11 hankkeesta, Taulukko 5.

Taulukko 5. Muut turvallisuustutkimukset.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnalle	Nina Huittinen, HYRL
Kiven kolmiulotteisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen	Jussi Timonen, JYFL
Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (Geomikro)	Merja Itävaara, VTT
Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)	Ilmo Kukkonen, GTK
Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)	Juho Rousu, Aalto
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 1	Jari Puttonen, Aalto
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 2	Eila Lehmus, VTT
C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)	Kaija Ollila, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa	Jukka Juutilainen, UEF
Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa	Leena Carpén, VTT

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 radionuklidien kulkeutumisen tutkimiseen in situ -olosuhteissa. Työssä selvitetään vaikuttavatko kemiallisten ja/tai fysikaalisten olosuhteiden muutokset in situ - ja laboratoriokokeiden välillä niihin parametreihin, joita käytetään arvioitaessa radionuklidien kulkeutumista kalliolla. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Ensimmäisen in situ kokeen tulosten raportointi, 2 Toinen in situ koe ja sitä tukevat laboratoriokokeet, 3 Kiven rakenteen tutkiminen ja 4 Kiven kolmiulotteisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen / KytKentä Jyväskylän yliopiston projektiin. Hankkeella on vilkasta kotimaista ja kansainvälistä yhteistyötä (esim. JYFL ja Poitiers'n yliopisto Ranskassa) ja kytkös myös EU-hankkeeseen Posinam.

Vuonna 2012 hankkeessa mallinnettiin Grimselin granodioriitille tehtyjä in situ diffuusiokokeita (Cs-134, Na-22). Grimselin vuorilaboratoriosta saadulla granodioriittiblokilla on käynnissä seleenin diffuusiokoe. Simuloitua pohjavettä käyttäen on tehty Se-75 radioaktiivisella merkkiaineella batch sorptiokokeita Grimselin granodioriitin ja Kurun harmaan graniitin murskeille. Kiven huokosrakennetta tutkittiin PET-analysillä Dresdenin yliopistossa. Hankkeessa oli vilkasta kansainvälistä yhteistyötä v. 2012.

Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnalle

Hankkeessa tutkitaan käytetyssä polttoaineessa olevien kolmenarvoisten aktinidien ja lantanidien kiinnittymismekanismeja savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnoille. Hankkeen tavoite on syventää tärkeiden ydinjäteaineiden sorption mallintamisessa tarvittavaa tietoa, jota käytetään radionuklidien pidättymisen ja kulkeutumisen arviointiin sekä lähi- että kaukoalueilla. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 TRLFS tutkimusten loppuunsaattaminen, 2 NMR tutkimusten loppuunsaattaminen ja 3 Yhteenvedon kirjoittaminen väitöskirjaan.

Vuonna 2012 hankkeella oli vilkasta kansainvälistä yhteistyötä, jonka kautta valmisteltiin Nina Huittisen väitöskirjaa (Huittinen 2013). Käytännössä saatettiin päätöksen kesken olleita kokeellisia tutkimuksia ja kirjoitettiin väitöskirjan yhteenvedon-osa. Formaalisti väitöstilaisuus oli 22.2.2013.

Kiven kolmiulotteisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen

Hankkeen tavoitteena on mallintaa TDD-menetelmää käyttäen matriisidiffuusiota röntgentomografialla ja ¹⁴C-PMMA -mittauksella saatavassa heterogeenisessä huokosrakenteessa. Erityisesti tavoitteena on implementoida TDD-malliin (time domain diffuusio) yksinkertaisia, mutta mineraalispesifisiä sorptioprosesseja kuten ioninvaihtoa. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Näytteiden valinta ja mittaukset ja 2 Matriisidiffuusiomallien kehitys ja käyttö.

Hankkeessa on v. 2012 tehostettu TDD-mallia (esim. malli on rinnakkaistettu) ja validoitu sitä eri koetuloksiin verraten. Mallilla on simuloitu menestyksellisesti Grimselin granodioriitille tehty diffuusiokoe. Hanke tekee tiivistä yhteistyötä HYRLin hankkeen Kallion in situ tutkimukset ja Poitiers'n yliopiston kanssa. Hankkeessa viimeisteltiin v. 2012 Mikko Voutilaisen väitöskirja (Voutilainen 2012) ja itse väitöstilaisuus pidettiin 17.12.2012.

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. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Tutkimuskohteet ja 2 Tutkimusmenetelmät. Tutkimusmenetelmät on edelleen organisoitu osatehtäviin 2.1 Mikrobidiversiteetti, 2.2 Sulfaatinpelkistäjät, metanogeenit ja metanotrofit, 2.3 Metaanin anaerobinen hapettuminen ja 2.4 Kalliopohjavesien vesikemiallisten menetelmien arvioiminen. Hanke teki kiinteää yhteistyötä Aalto-yliopiston GEOBIOINFO ja GTK:n SALAMI hankkeiden kanssa. Hanke on tehnyt yhteistyötä myös BOA-hankkeen kanssa sen osatehtävässä 1.7.

Mikrobiyhteisöjen diversiteetin karakterisoimiseksi hankkeessa on otettu syviä vesinäytteitä Outokummun syväreistä ja Kuhmon Romuvaaran tutkimusreistä. On tehty tilastollinen analyysi yhteistyössä Aalto-yliopiston GEOBIOINFO-hankkeen kanssa sulfaatinpelkistäjämikrobien ja geokemian suhteesta. Hankkeessa oli vilkasta julkaisutoimintaa v. 2012.

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. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Outokummun syväreiden fluidi- ja kaasututkimus ja tutkimusmetodiikan kehitys, 2 Kallioperän suolaisten fluidien viipymäajan ja alkuperän tutkimus, 3 Kallioperän syvän

biosfäärin diversiteetin kartoitus, 4 Outokummun syväreian käyttö loppusijoituskohteen analogiana ja 5 Syvän biosfäärin energiatarkeastelut.

Vuonna 2012 hankkeessa kehitetty uusi kaasunäytteen ottomenetelmä on edennyt testivaiheeseen. Suolaisten fluidien alkuperän tutkimus jatkuu yhteistyössä GFZ Potsdamin kanssa. Outokummun syväreian käyttökelpoisuutta loppusijoituskohteen analogiana tutkittiin ylös nostettujen biofilmiansojen avulla (500 m ja 970 m syvyydeltä), joissa mikrobien kiinnitysalustoina oli kivi- ja kuparilevyjä. Kivi-kupari-bentoniittiansan suunnittelu on käynnistetty yhteistyössä KYTin loppusijoitustutkijoiden kanssa. Hankkeessa oli vilkasta julkaisutoimintaa v. 2012 ja siellä valmistellaan Riikka Kietäväisen väitöskirjaa.

Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)

Hanke kehittää ja soveltaa bioinformatiikan menetelmiä ja työkaluja kallioperän mikrobiyhteisöjen toiminnan ymmärtämiseksi. Bioinformatiikan menetelmät ovat välttämättömiä aineiston massiivisuuden ja aineenvaihduntaverkoston monimutkaisuuden vuoksi. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Aineenvaihduntaverkoston rekonstruointi, 2 Aineenvaihduntaverkoston toiminnan analyysi ja 3 Geokemiallisen datan ja aineenvaihduntareittien tilastollinen analyysi. Hanke toimii yhteistyössä GTK:n SALAMI-hankkeen ja VTT:n GEOMIKRO-hankkeen kanssa.

Vuonna 2012 hankkeessa kehitettiin edelleen laskennallista bioinformatiikkatyökalua lisäämällä siihen normalisointiaskel, jolla eri tyyppisten näytteiden vertailu helpottuu. Yvonne Herrmannin gradutyönä (Bielefeldin yliopisto, Saksa) kehitettiin laskennallinen työkalu aineenvaihduntareittien rikastumisanalyysiin (Herrmann 2012).

Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojektit 1 ja 2

Hankkeen tavoitteena on parantaa olemassa olevaa tiedon tasoa betonisten vapautumisesteiden säilymisestä loppusijoitusolosuhteissa ja hankkia valmiudet arvioida vapautumisesteiden käyttöikä entistä realistisemmin. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Holistinen betonimalli ja 2 Betoninäytteiden analyysit. Osaprojekti 1 on edelleen jaettu tehtäviin 1.1 Kloridipitoisuuden määrittäminen raudoitteiden korroosion suhteen, 1.2 Laboratoriokokeissa kiihdytetyn karbonatisoitumisen soveltuvuus betonirakenteiden karbonatisoitumisen ennustamiseen ja 1.3 Mallin kehitys ja epävarmuustekijöiden hallinta tilastollisin menetelmin. Osaprojekti 2 on jaettu tehtäviin 2.1 Betonin kemiallinen koostumus, 2.2 Betonin mineraalikoostumus ja hydrataatio, 2.3 Betonin mikrorakenne ja huokoisuus sekä 2.4 Koetulosten tulkinta ja raportointi. Hanke on yhteishanke Aalto-yliopiston (osaprojekti 1) ja VTT:n (osaprojekti 2) kesken.

Vuonna 2012 hankkeen osaprojektissa 1 on jatkettu työtä betonimallin kelpoistamiseksi ja valmisteltu Olli-Pekka Karin väitöskirjaa. On havaittu, että laboratoriokokeissa käytettävä kiihdytetyn karbonatisoitumisen menetelmän soveltuvuus loppusijoitusolosuhteissa tapahtuvan karbonatisoitumisen ennustamiseen ei ole itsestään selvää, vaan että soveltuvuuden arvioiminen vaatii vielä lisätyötä. Osaprojektissa 2 toteutettiin suunnitelmien mukaisesti kokeelliset tutkimukset mm. betonin kemiallisesta koostumuksesta, hydrataatiosta, mineraalikoostumuksesta, mikrorakenteesta ja huokoisuudesta.

C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)

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 osaprojekteiksi 1 Säteilyttämättömän teräksen eluutiokokeet – esikokeet jatkuvat, 2 Säteilyttämättömän teräksen varsinaiset eluutiokokeet, 3 Hiilen kemiallisten olomuotojen analysointi, 4 Säteilytetyn teräsmateriaalin hankinta ja 5 14C pidättymismekanismit loppusijoitusolosuhteissa. Osaprojekti 5 toteutettiin alihankintana HYRListä.

Vuonna 2011 tehty kirjallisuusselvitys on julkaistu VTT:n tutkimusraporttina (Vuorinen 2012). Säteilyttämättömän teräksen esikokeet on käynnistetty tarkkaan kontrolloiduissa olosuhteissa. Osahankkeeseen 5 liittyvä tutkimus on aloitettu osana Sami Kallion pro gradu työtä HYRLissä.

HIILI-14 –hanke osallistui aktiivisesti EU-hankkeen CAST (Carbon-14 Source Term) valmisteluun; se on parhaillaan neuvotteluvaiheessa. CAST-hanke käynnistyy kesällä 2013: Suomesta siihen osallistuu HIILI-14 hankkeen lisäksi Fortum.

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.

Vuonna 2012 hankkeessa tuotettiin julkaisu Cs-137:n siirtymisestä järvivedestä kaloihin (Tuovinen et al. 2012). Hankkeessa tehtiin 2 opinnäytetyötä (Rytönen 2012, Turunen 2012). Alkuaineiden siirtymisen simuloimista varten rakennettiin erillinen kokeellinen ekosysteemi, ns. mikrokosmos, tukemaan aiemmin tehtyjä mesokosmoksia (9 kpl). Hankkeessa valmistellaan Tiina Tuovisen väitöskirjaa.

Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa

Hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmien muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujättemateriaalit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Purkujättemetallien mikrobiologinen korroosio, 2 Purkujättemetallien pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja 3 Raportointi.

Vuonna 2012 käynnistettiin osatehtävässä 1 esikokeiden havaintojen pohjalta laboratoriokoesarja, joka on edelleen käynnissä. Kenttäkokeen yhden vuoden näytteiden analysointi on aloitettu. Osatehtävässä 2 on havaittu, että hiiliteräs edistää bakteerien selviytymistä ja lisääntymistä verrattuna veteen, joka ei ole ollut yhteydessä hiiliteräkseen. Hankkeessa on tehty yksi opinnäytetyö.

3.3 Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus

KYTin piirissä tehtävän ydinjätehuoltoon liittyvän yhteiskuntatieteellisen tutkimuksen tarkoituksena on tukea päätöksentekoa ja sen valmistelua. Ydinjätehuollon toteuttaminen on luvanvaraista ja siihen vaikuttavat yhteiskunnalliset arvot ja odotukset. Toiminnan mahdollistavat päätökset tehdään

valtioneuvostossa ja käytännön toteutus tapahtuu sijaintipaikkakunnalla. Loppusijoitushankkeen vaikutukset ulottuvat myös pitkälle tulevaisuuteen.

KYT2014 puiteohjelmassa mainitaan, että yhteiskuntatieteellisen tutkimukseen aihepiiriin kuuluvat eri toimijoiden riippumattomuus ja luotettavuus, eettinen keskustelu ja pitkään ajalliseen keston liittyviä kysymyksiä. Vuoden 2012 hankehaun evästyksessään KYT2014 johtoryhmä toi esiin, että erityisesti turvallisuuskriittisen yhteiskuntatieteellisen tutkimuksen merkityksen katsottiin korostuneen Fukushima ydinonnettomuuden seurauksena.

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

Taulukko 6. 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

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

Hankkeen tavoitteena on hahmottaa olemassa olevia sosio-tekniisiä haasteita käytetyn ydinpolttoaineen huollon toteuttamiseen liittyen. Eri osapuolten näkemysten pohjalta tuotettu kuva auttaa arvioimaan ydinjätehuollon sosioteknisiin haasteisiin vaikuttavia tekijöitä. Hanke on organisoitu kahteen osaprojektiin: 1 Eri näkemysten identifiointi Suomen ydinjätehuollon sosio-tekniisistä ja turvallisuushaasteista ja 2 Tietämyksen päivitys suomalaisesta uudesta (v. 1999 jälkeen julkaistusta) yhteiskuntatieteellisestä ydinjätetutkimuksesta. Tutkimustyö perustuu neljän erilaisen aineiston hyödyntämiseen: 1 media-aineisto, 2 asiantuntijahaastattelut, 3 dokumenttiaineistot ja 4 yhteiskuntatieteellinen ydinjätetutkimus. Hanke osallistuu myös yhteiskuntatieteelliseen EU-hankkeeseen InSOTEC.

Osatehtävässä 1 on laadittu maaraportti InSOTEC-hankkeeseen (Nurmi et al. 2012) ja KYT-hankkeen FiNSOTEC oma tiedeartikkeli on julkaistu (Litmanen et al. 2012); toinen tiedeartikkeli on parhaillaan arviointiprosessissa. Osatehtävässä 2 on laadittu hankkeen tuloksista yleistajuinen artikkeli FUTURA-lehteen (Litmanen et al. 2013), joka julkaistaan keväällä 2013. Anna Nurmi on käynnistänyt väitöskirjaprosessinsa.

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 vuosiyhteenvetot 2011

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

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus

Turvallisuusperustelu (koordinoitu hanke, hankekoordinaattori lihavoituna)

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)	Markus Olin, VTT
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)/HYRL	Juhani Suksi, HYRL
Turvallisuusperustelun täydentävät tarkastelut TUPER/GTK	Lasse Ahonen, GTK
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER); osahanke laskennallisen analyysimallin kehittäminen	Antti Lempinen, Ludus Mundi Oy

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

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

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Markus Olin, VTT
Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)	Antti Niemistö, Numerola Oy
Bentoniitin ominaisuuksien arviointi: 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

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
Korroosion monitorointi loppusijoitusolosuhteissa (KAISA)	Timo Saario, VTT
Kuparin korrosio hapettomassa vedessä	Antero Pehkonen, Aalto

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Muut turvallisuustutkimukset

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnalle	Nina Huittinen, HYRL
Kiven kolmiulotteisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen	Jussi Timonen, JYFL
Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (Geomikro)	Merja Itävaara, VTT
Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)	Ilmo Kukkonen, GTK
Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)	Juho Rousu, Aalto
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 1	Jari Puttonen, Aalto
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 2	Eila Lehmus, VTT
C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)	Kaija Ollila, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa	Jukka Juutilainen, UEF
Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa	Leena Carpen, VTT

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 2012

Tutkimushankkeen nimi Kehittyneet polttoainekierrot – uudet erotustekniikat		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Advanced nuclear fuel cycles – new separation technologies		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopisto, kemian laitos, radiokemian laitos (HYRL)	Vastuuhenkilö FT Risto Harjula, dosentti	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) 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, Itä-Suomen yliopisto	Ulkomaiset organisaatiot COST EUFEN	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle. Tohtorikoulutukseen liittyvän tutkimustyön tavoitteena on uusien nanohuokoisien metallifosfaatti-ioninvaihtimien tutkimus ja kehittäminen aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta tai uusien nesteuuttomenetelmien synnyttämistä sekundaarijäteliuoksista. Lisäksi tavoitteena on kehittyneiden polttoainekiertojen kansainvälisen tutkimuksen seuranta ja tiedonvälitys koskien uusia erikoistekniikoita.		
Tuloskategoria Uusia testattuja ja karakterisoituja aktinidien erotusmateriaaleja	Julkaisujen lukumäärä 1	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) 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 (2013-) kv. hankkeisiin esimerkiksi Fortumin ja VTT:n kanssa. Hankkeeseen sisältyvä kehittyneiden polttoainekiertojen tutkimuksen seuranta antaa tutkimuslaitoksille, viranomaisille ja voimayhtiöille ajantasaista tietoa käytetyn ydinpolttoaineen suoran loppusijoituksen yhdestä vaihtoehdosta.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) 2. TUTKIMUSTYÖ 2.1. Metallifosfaattien (Ti, ZrTi, ja edellisvuosista poikkeava uusi ZrP-4) syntetisointi. n.10 eri tuotetta kolmenlaisesta eri vaihtimesta 2.2. Alustava testaus (uusille vaihtimille, myös ISY:ltä saadulle: Am- ja Eu-sorptiokyky typpihaposta) 2.3. Metallifosfaattien karakterisointi (XRD: kiderakenne, uutena IR: funktionaaliset ryhmät) 2.4. Eluutiokokeet (Am:n ja Eu:n erottaminen toisistaan, paras erotus uudella ZrP-4-vaihtimella) 3. Tieteellinen artikkelikäsikirjoitus aloitettu loppuvuodesta		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		

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

1) E. Wiikinkoski, R. Harjula *Separation of actinides and lanthanides in acidic solution with inorganic zirconium phosphate ion exchanger*, EUFEN1-konferenssi, Tarragona, Espanja 2-4.4.2012

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2012

Tutkimushankkeen nimi Kehittyneet polttoainekierrat – Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Advanced Fuel Cycles – Computational Fuel Cycle Analysis		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuuhenkilö Tuomas Viitanen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat		
Tutkimusjatkumo Hanke on jatkoa aiemmalle projektille KYT2010-ohjelmassa: "Suomalainen erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus"		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot HYRL, Aalto-yliopisto	Ulkomaiset organisaatiot CEA, Tarton yliopisto	Muut tutkimusohjelmat, tms. SAFIR2014, NETNUC
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 Tietokoneohjelmistot, kansallisen osaamisen kehittäminen	Julkaisujen lukumäärä 1 tutkimusraportti, 2 konferenssipaperia ja 2 konferenssiposteria	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä Tuloksia voidaan pitkällä aikavälillä hyödyntää kehitettäessä tekniikoita, joiden avulla ydinjätteen pitkäikäisten isotooppien määrää ja siten myös loppusijoituksen vaatimaa aikaa lyhennetään merkittävästi. Lyhyelläkin aikavälillä projekti lisää suomalaista ydinenergiaosaamista, ja sen puitteissa koulutetaan nuoria tutkijoita alalle.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain		
2.1 Ydinpolttoainekiertojen analysointivalmiuden kehittäminen Pauli Juutilainen tutustui COSI6-ohjelman käyttöön CEA:n järjestämällä kurssilla heinäkuussa. Ohjelmaan perehtyminen jatkui käytännön skenaariolaskuilla, joissa tutkittiin Suomen siirtymistä nopeiden reaktoreiden käyttöön muutamalla erilaisella strategialla. Tutkimuksista laadittiin konferenssipaperi ja posterit OECD/NEA:n organisoimaan 12IEMPT (12th Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation) –tapaamiseen. Tuomas Viitanen kehitti Serpent –palamalaskentaohjelmaan kaksi uutta tulostuksenhallintaominaisuutta, jotka helpottavat tärkeiden nuklidien tunnistamista polttoainekiertoa liittyvissä analyysissä. Uusista ominaisuuksista ja esimerkkilaskuista laadittiin 12IEMPT-tapaamiseen konferenssipaperi ja -posterit.		
Antti Rätty tutki sivuaktinidien polttoa kevytvesireaktoreissa CASMO-SIMULATE –ohjelmalla. Aiheesta kirjoitettiin tutkimusraportti.		
2.2 Tiedonvälitys ja alan kehityksen seuranta Alan kehitystä on seurattu osallistumalla OECD/NEA:n WPFC- ja WPFC/AFCS –työryhmien kokouksiin ja seuraamalla ajankohtaisia alaa käsitteleviä raportteja. Projektin puitteissa kaksi henkeä osallistui myös 12IEMPT-tapaamiseen. Kokouksista kirjoitettiin lyhyet matkaraportit, jotka jaettiin seurantarvymälle.		

Työpanos ja kustannukset

Töitä on tehty ja kustannuksia kertynyt lähes tarkalleen arvioidun mukaisesti. Alkuperäisen suunnitelman mukaan sivuaktiniden polttoa kevytvesireaktoreissa piti tutkia Karin Rantamäki, mutta hänen kiireidensä vuoksi tehtävään vaihdettiin tutkija Antti Rätty. Lisäksi vuonna 2012 maksettiin kahden vuoden COSI6 -lisenssimaksut, kun budjetissa oli huomioitu maksut vain yhdelle vuodelle.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

1. S. Häkkinen, R. Harjula, A. Paajanen, "Erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus maailmalla", tutkimusraportti, VTT-R-09387-11, 2012 (valmistui vuoden 2012 puolella mutta 2011 tavoite)
2. T. Viitanen, "INTELLIGENT NUCLIDE SELECTION CAPABILITY IN THE REACTOR PHYSICS AND INVENTORY CALCULATION CODE SERPENT 2", 12IEMPT-tapaaminen, 24.-27.9., Praha, Tsekki, 2012
3. P. Juutilainen, "TRANSITION FROM THERMAL TO FAST REACTORS IN FINLAND", 12IEMPT-tapaaminen, 24.-27.9., Praha, Tsekki, 2012
4. A. Rätty, "Sivuaktinidien poltto osittaisella MOX-latauksella", VTT Tutkimusraportti VTT-R-00541-13, 2012.

Matkat

1. OECD/NEA:n työryhmän WPFC:n (Working party on Scientific Issues of the Fuel Cycle) sekä asiantuntijaryhmän EGAFCS (Expert Group on Advanced Fuel Cycle Scenarios) kokoukset Pariisissa 13.-15.2.2012
2. COSI6 käyttäjäkurssi ja -kokous Cadarachessa Ranskassa 17.-20.7.2012
3. EGAFCS:n kokous ja 12IEMPT-tapaaminen Prahassa 24-27.9.2012.

Muu tutkimuksista tiedottaminen

HYRL:n ja Aalto-yliopiston yhteistyökumppaneiden kanssa järjestettiin tapaaminen, jossa esiteltiin projektien etenemistä, keskusteltiin tulevaisuudensuunnitelmista ja alustettiin vuoden 2013 yhteistyötä HYRL:n kanssa. Lisäksi hankepäällikkö tapasi joulukuussa kahta Tarton yliopiston edustajaa ja keskusteli ydintutkimuksen tilanteesta Tarton yliopistossa sekä tutkimusyhteistyömahdollisuuksista.

Liitteet

- A) Konferenssiartikkeli ja posterit: "Intelligent Nuclide Selection Capability in the Reactor Physics and Inventory Calculation Code Serpent 2"
- B) Konferenssiartikkeli ja posterit: "Transition from Thermal to Fast Reactors in Finland"
- C) Tutkimusraportti: "Sivuaktinidien poltto osittaisella MOX-latauksella"
- D) Matkaraportti: WPFC+AFCS -kokoukset, 13.-15.2.2012
- E) Matkaraportti: 12IEMPT-tapaaminen ja AFCS -kokous, 24.-27.9.2012

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyllyteenveto 2012

Tutkimushankkeen nimi Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Transmutation of nuclear waste in ADS (FLUTRA)		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu Teknillisen fysiikan laitos	Vastuhenkilö Rainer Salomaa	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat.		
Tutkimusjatkumo Jatkoa samannimiselle hankkeelle vuodelta 2011, jatkohankkeet 2012 ja eteenpäin.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, Posiva, HYRL	Ulkomaiset organisaatiot EUROTRANS	Muut tutkimusohjelmat, GEN4FIN-aktiviteetit, YTERA-tohtorikoulutusohjelma
Tutkimuksen tavoite Selvittää erityisesti suuren palaman ydinpoltoaineen ADS-transmutoinnin käyttökelpoisuutta keskittymen menetelmän kannalta relevantteihin nuklideihin.		
Tuloskategoria FLUKA, CASMO ja Serpent sovellukset sekä koodinkehitys	Julkaisujen lukumäärä 3 konferenssijulkaisua	Opinnäytetöiden lukumäärä 2
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Uusien ydintekniikan asiantuntijoiden koulutus. Suuripalamainen polttoaine asettaa muuttuvia vaatimuksia myös loppusijoitukseen.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) <ul style="list-style-type: none">- FLUKAn lisäksi MYRRHAn sydän mallinnettiin Serpentiin.- FLUKA suurenergiakoodi kytkettiin Serpent reaktorifysiikkakoodiin tuottamalle sille ulkoinen alle 20MeV neutronien lähde.- Alikriittisen MYRRHAn täyssydän FLUKA-Serpent hybridisimulaatiolla laskettiin amerikumien transmutaationopeus ja todettiin se alhaisemmaksi kuin pelkällä FLUKAlla laskettu.- Etsittiin kriittinen MYRRHAn latauskaavio.- Laskettiin sivuaktinidien transmutaationopeuksia kriittisessä konfiguraatiossa ja todettiin, että riittävän suurissa pitoisuuksissa niiden poltto onnistuu sekä kiihdytinavusteisesti että ilman.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt NENE2012 ja Nordic Gen4-konferenssit, 2 kandidaatintyötä		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) NETNUC-seminaari		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2012

Tutkimushankkeen nimi Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Safety case		
Tutkimuslaitos Teknologian tutkimuskeskus VTT (koko hankkeen koordinaattori)	Vastuuhenkilö 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 toinen vuosi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, Helsingin yliopisto, Geologian tutkimuskeskus ja Ludus Mundi Oy	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms. KYT2014: BOA (koordinoitu hanke)
Tutkimuksen tavoite Hanke vastaa tarpeeseen tuottaa Suomeen uusia asiantuntijoita turvallisuusperustelun laatimis- ja arviointityön tarpeisiin sekä kehittää uusia tarkastelutapoja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin. 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.		
Tuloskategoria Asiantuntemuksen kehittäminen; tietokoneohjelma	Julkaisujen lukumäärä 7 (erittely alempana)	Opinnäytetöiden lukumäärä Erikoistyö, Karita Kajanto Diplomityön aloitus, Karita Kajanto
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Koordinoitussa hankkeessa VTT:n, HYRL:n, GTK:n ja Ludus Mundi Oy:n 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, vaihtoehtoisten käsitteellisten mallien ja tulkintojen muodostaminen, analyysien käytännön suorittaminen erilaisilla laskentamalleilla sekä tulosten luotettavuuden ja epävarmuuksien arviointimenetelmät.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Hanke koostuu koordinoitiosasta sekä kahdeksasta osaprojektista, joiden sisällölliset kuvaukset esitetään seuraavassa: <u>6.1 Koordinaatio</u> Osaprojektissa suunnitellaan ja toteutetaan projektin sisällöllinen ja kotimainen yhteistyö. Siinä kehitetään luontevat työskentelytavat, joilla tiedonvaihto ja hankkeen tulosten integrointi toteutuu tavoitteen kannalta toivotulla tavalla. Koordinoitihanke järjesti koko hankkeen yhteisen workshopin 2.2.2012. Esityksistä laadittu laajennetut abstraktit, jotka on tarkoitus julkaista. <u>1.2 Turvallisuusperustelun menetelmät ja esittäminen</u> Osaprojektissa perehdytään viimeisimpiin turvallisuusperusteluaihetta käsitteleviin aineistoihin, joiden pohjalta muodostetaan käsitys turvallisuusperustelun laatimisen periaatteista, ajattelutavoista ja rajoituksista. Karita Kajanto teki erikoistyönsä: tavoitteena oli tutkia rakogeometrian vaikutusta numeerisesti COMSOL Multiphysics ohjelmistolla; raon keskimääräiset sorptio- ja virtausominaisuudet pidetään vakiona, mutta avaamaa ja sorptiopaikkojen sijaintia voidaan vaihdella. <u>1.3 Vaihtoehtoiset mallit ja tulokset</u> .Vuonna 2012 Geologian tutkimuskeskuksessa tehty työ LS-TUPER hankekonsortiossa keskittyy pääasiassa kolmeen osioon: 1)Turvallisuusperustelun metodiikka ja esitystavat, 2) skenaarioiden koostaminen, 3) täydentävät tarkastelut Turvallisuusperustelun metodiikka ja esitystavat osiossa tehty työ oli taustaselvitystä, tutustumista erityisesti Suomessa tehtyihin turvallisuus-analyysiin, viranomaisohjeistukseen ja yleisempään, myös ydinjätehuollon ulkopuoliseen 'safety case'-kirjallisuuteen. Skenaarioiden koostaminen osiossa nähtiin geologiselta kannalta tarkoituksenmukaiseksi lähtökohdaksi tarkastella kallioliikuntotilanteen hydrogeologisia vaikutuksia. Täydentävät tarkastelut-osio keskittyi metallisen kuparin käyttäytymiseen ja luonnonanalogiioihin. Lähtökohdista ovat olleet kuparikapselin ominaisuudet, kuparin käyttäytyminen eri muodoissaan eri ympäristöissä ja näistä johdettuna turvallisuustoimintoihin mahdollisesti liittyvät avainprosessit. Teknisten vapautumisestien luonnonanalogiosta on käsitelty luonnonkuparianalogiat <u>1.4 Skenarioanalyysin kehittäminen</u>		

Osaprojektissa opitaan koostamaan skenaariot järjestelmällisesti FEP:eistä sekä esittämään niiden yhteys turvallisuustoimintoihin ja niihin liittyviin toimintakykyavoitteisiin selkeästi. Erityistä painoarvoa laitetaan yhteisvaikutusten huomioon ottamiselle. Osaprojektissa perehdytään vaihtoehtoihin tapoihin koostaa skenaarioita, minkä pohjalta päädytään hankkeen kannalta tarkoituksenmukaisimpaan tapaan koostaa skenaariot.

1.5 Laskennallinen malli

Osaprojektissa laaditaan modulaarinen, helppokäyttöinen ja ilmainen laskennallinen malli turvallisuuden arviointiin. Malli toteutetaan alustariippumattoman ja avoimen Scilab-ohjelmiston työkalupakkina.

Mallin kehittämistä on jatkettu vuonna 2012 aloitetun työn pohjalta.

1.6 Epävarmuuden arviointimenetelmät

Osaprojektin tavoitteena on pystyä haarukoimaan loppusijoitusjärjestelmän monimutkaisuuden ja tarkasteltavien pitkien ajanjaksojen luomia epävarmuuksia matemaattisten menetelmien avulla. Työ aloitetaan vuoden 2012 lopulla. Esitys Tukholmassa EU CROCK tapaamisessa.

1.7 Täydentävät tarkastelut

Osaprojektissa on tarkasteltu KBS-3-loppusijoituskonseptin turvallisuusperustelun täydentäviä tarkasteluita. STUK:n ohjeessa YVL D.5 täydentävät tarkastelut liitetään turvallisuusperusteluun seuraavalla tavalla: ”*Turvallisuusperustelu muodostuu kokeellisiin tutkimuksiin pohjautuvasta laskennallisesta analyysistä sekä täydentävistä tarkasteluista siltä osin kuin kvantitatiiviset analyysit eivät ole mahdollisia tai niihin sisältyy huomattavia epävarmuuksia.*” Vuoden 2011 työssä inventoitiin tärkeimpiä hyödyntämiskohteita lähtökohtana erityisesti niiden soveltuvuus Olkiluotoon. Työn tuloksena kohteiksi valikoitui (1) kallioperän hydrogeokemiallista vakautta koskeva tutkimus, (2) radionuklidien kulkeutumismallien luonnonanalogiat sekä (3) bentoniittipuskurin ja kuparikapselin pitkäaikaiskestävyyttä koskeva tutkimus. GTK:n ja HYRL:n välisessä työnjaossa sovittiin, että kahden ensin mainitun osalta radiokemian laboratorio jatkaa omaa selvitystyötään.

1.8 Mentorointi

Veli-Matti Pulkkanen on ohjannut Karita Kajannon erikoistyötä ja aloitettua diplomityötä. Markus Olin on puolestaan toiminut Pulkkasen mentorina.

1.9 Synteesi

Ei aloitettu vielä vuonna 2012.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

3.1 Tieteelliset julkaisut ja konferenssiesitelmät

EU CROCK meeting in Stockholm 22.-24.5.2012:

M. Olin, E. Puhakka, A. Itälä, M. Tanhua-Tyrkkö, V.-M. Pulkkanen, H. Nordman, K. Kajanto, E. Puukko, L. Koskinen. 2012.

Radionuclide transport modelling by molecular chemistry, surface complexation and reactive transport modelling

M. Olin, V.-M. Pulkkanen, H. Nordman, A. Poteri. 2012. How to predict Kd values outside experimental studied conditions

and to estimate related uncertainty? Oral presentation. 1st Workshop of the CROCK, Stockholm, 24nd May 2012

Matrix diffusion workshop 13.9.2012 Otaniemi

H. Nordman: PA issues

M. Olin: Issues observed in 90's

K. Rasilainen & J. Suksi: Matrix diffusion and analogue studies

3.2 Työraportit

K. Rasilaisen aloittanut turvallisuusperustelusta kertovan raportin laadinnan: *Käytetyn polttoaineen huolto,*

Turvallisuusperustelu tutkimuksen ja päätöksenteon välineenä. Tehdään valmiiksi vuonna 2013.

3.3 Opinnäytteet

Karita Kajanto, erikoistyö: *The effect of geometry on radionuclide transport in a bedrock fracture*

Karita Kajannon diplomityö aloitettu ja tehdään loppuun vuonna 2012

3.4 Lehtikirjoitukset ja muut mahdolliset julkaisut

Suksi, J. Tunnetaanko loppusijoitussysteemin prosesseja riittävästi. Esitelmä, LS-TUPER workshop. GTK 2.2.2012.

Laajennetut abstraktit keväällä 2012:

Kolloidit ja turvallisuusperustelu (P. Hölttä)

Kuparikapseli korroosiosuojana (L. Ahonen)

Täydentävät tarkastelut (J. Suksi)

Turvallisuustoiminnot ja skenaarioiden laatiminen (M. Olin)

Laskennallisen analyysimenetelmän kehittäminen (A. Lempinen)

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

Matriisidiffuusio workshop syyskuussa 2012

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2012

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 montmorilloniitin 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, karakteritointitekniikat 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 montmorilloniitin 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 syntyyä 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)		
<p>The experimental work has continued on the basis of work started already in 2011, and also Aalto University's new sub-project has started promisingly.</p> <p>The following abstracts, in Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement October 22-25 in Montpellier, were sent and presented either as posters or orally:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. X-ray tomographic method for measuring three-dimensional wetting and deformation of compacted bentonite – University of Jyväskylä and Numerola Oy 2. Formation and stability of bentonite colloids – University of Helsinki 3. Dissolution of Na- and Ca-montmorillonite in groundwater simulants under anaerobic conditions – VTT 4. CO₂ effect on the ph of compacted bentonite buffer – VTT 5. Na/Ca selectivity coefficients of Na-montmorillonite at different temperatures – VTT 		

6. Measurement of chloride concentration in the porewater of compacted bentonite with ionselective electrode– VTT
7. Microstructural investigation of calcium montmorillonite – VTT and University of Helsinki

Report on microbes: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T20.pdf>

Some results from experimental part

Microbes:

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.

Microstructure, VTT:

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, and to the abovementioned clay meeting, following abstract was presented as a poster:

1. Modelling transport of water and ions and chemical reactions in compacted bentonite – two flexible modelling platforms– VTT and Numerola

About the same subject, A. Itälä presented a poster in TOUGH Symposium 2012 September 17–19, 2012, in Berkeley, USA:

2. Modelling Transport of Water and Ions, and Chemical Reactions in Compacted Bentonite – Comparison Between TOUGHREACT, Numerrin and COMSOL Multiphysics

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. A common workshop for all partners was arranged in Kumpula Campus of Helsinki University 31.1.2012:

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

Coordination

Meeting with the support group was arranged 29.5.2012.

Knowledge gained in BOA, was presented in kick off meeting of EU BELBaR project in Lund 7.-8.2012. Especially interesting appeared to be tomographical applications of Jyväskylä University

Julkaisut ja opinnäytetyöt

1. E .Myllykylä, M. Tanhua-Tyrkkö, A. Bouchet and M. Tiljander. Dissolution of Na- and Ca-montmomillonite in groundwater stimulants under anaerobic conditions. Clays in natural & engineered barriers for radioactive waste confinement 5th international meeting, Montpellier October 22nd -25th 2012. Poster presentation. (submitted to be published in Clay Minerals)

2. A. Eloranta, "Experimental Methods for Measuring Elasto-Plastic Parameters of Bentonite Clay", University of

Jyväskylä, May, 2012 (Thesis).

3. Itälä & A. Muurinen: Na/Ca selectivity coefficients of Na-montmorillonite at different temperatures
4. 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
5. J. Gallardo Fores, Master thesis “Shear resistance of backfill component’s interfaces in nuclear waste disposal” (http://civil.aalto.fi/fi/tutkimus/pohjarakennus/opinnaytteet/d_juan_gallardo_fores.pdf)
6. M. Kataja, T. Harjupatana, J. Alaraudanjoki, "Application of X-ray tomography in bentonite erosion research", BelBar Project Start-up Workshop, Lund, 8.3.2012.
7. M. Kataja, T. Harjupatana, J. Alaraudanjoki, M. Laitinen and A. Niemistö, "X-ray tomographic method for measuring three-dimensional wetting and deformation of compacted bentonite", Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement, Montpellier, 22.-25.10.2012 (Poster presentation).
8. 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.
9. M. Matuszewicz, V. Liljeström, J.-P. Suuronen, A. Root, A. Muurinen, R. Serimaa, M. Olin: Microstructural investigation of calcium montmorillonite, in Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement October 22-25 in (submitted to be published in Clay Minerals)
10. M. Olin, M. Laitinen, V.-M. Pulkkanen, A. Itälä, M. Tanhua-Tyrkkö: Modelling transport of water and ions and chemical reactions in compacted bentonite – two flexible modelling platforms, in Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement October 22-25 in
11. M. Rättö; M. Itävaara. 2012. Microbial activity poster in bentonite buffers. Literature study. Espoo, VTT. 30 p. VTT Technology; 20, ISBN 978-951-38-7833-7, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T20.pdf>
12. Muurinen, J. Järvinen and M. Tanhua-Tyrkkö: Measurement of chloride concentration in the porewater of compacted bentonite with ion-selective electrode, in Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement October 22-25 in
13. O. Elo B.Sc.: Veden ionivahvuuden vaikutus bentoniittikolloidien stabiiliuteen.
14. T. Harjupatana, "Veden kulkeutumisen ja muodonmuutosten mittaaminen bentoniittinäytteissä röntgentomografiamenetelmällä", University of Jyväskylä, December, 2012 (Thesis).
15. 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.

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

A talk about modelling of bentonite buffer was given at Finnish Mathematics Days 2012

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2012

Tutkimushankkeen nimi Kuparisen ydinjättekapselin 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 5	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 TKT
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 vaikutukset mekaanisiin ominaisuuksiin pitää tuntea turvallisuusanalyysissä. Tuloksia hyödyntävät erityisesti viranomaiset ja lisäksi 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) mekaanisten ominaisuuksien selvittäminen optisella venymämittauslaitteistolla lämpötilan ja muodonmuutosnopeuden funktiona sekä mikro- ja nanokovuusmittausten avulla.</i> Väitöskirja on valmistunut ja siihen liittyen on kirjoitettu 2 lehtiartikkeliä. Todellisia vikoja sisältävät näytteet on karakterisoitu ja niillä on aloitettu kokeet, joissa deformaation paikallistumista ja paikallisia venymiä mitataan optisella venymämittauksella. Venymämittausta varten on kehitetty pintamalli, joka mahdollistaa erittäin tarkan paikallisten venymien mittauksen. Kuparikapselin eri osien (kansi, sylinteri, EB ja FSW hitsit) mekaaniset ominaisuudet on mitattu muodonmuutosnopeuksilla $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ja $2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Hitaalla muodonmuutosnopeudella, 10^{-7} s^{-1} , EB ja FSW hitseissä murtovenymä pienenee ja tapahtuu paikallinen deformaatio, joka on erityisen merkittävä EB hitseissä. Kati Savolainen väitöskirjan valmistuttua aloitti uusi tutkija Lauri Luumi diplomityön keskittyen deformaation paikallistumiseen kuparikapselin eri osissa, erityisesti hitsausliitoksissa, ja kuinka muodonmuutosnopeus ja erilaiset hitsausvirheet vaikuttavat mekaanisiin ominaisuuksiin. <i>Deformaatiomekanismien selvittäminen in situ -aineenkoetuksella.</i>		

Kalibraatiokäyrä paikallisen deformaatioasteen määrittämistä varten FE-SEM/EBSD laitteistolla on valmis ja sitä käytetään hitsausliitosten paikallisen deformaatioasteen määrittämiseen. Kuparin *in situ* -aineenkoetusta on tehty myös vetyä sisältävillä kuparinäytteillä ja tuloksista on valmisteilla lehtiartikkeli. Mikro- ja nanokovuusmittaukset ovat jatkuneet kuparikapselin eri osille ja tuloksista on tekeillä lehtiartikkeli.

Vedyn absorptio kupariin loppusijoitusolosuhteissa ja vedyn vaikutus kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin.

Vedyn vaikutusta kuparikapselin mekaanisiin ominaisuuksiin on tutkittu tekemällä veto- ja virumiskokeita vetyvaratuilla näytteillä ja vedyn liukoisuutta ja diffuusiota kuparissa on tutkittu sisäisen kitkan ja termisen desorption menetelmillä. Tulokset osoittavat, että vety vaikuttaa merkittävästi kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin ja virumiseen. Tuloksia on julkaistu 2 lehtiartikkelissa ja 2 konferenssiesitelmässä. Haurastumisen kvantitatiiviseksi ymmärtämiseksi tehdään vuonna 2013 lisäkokeita ja vedyn liukoisuutta ja diffuusiota kuparissa selvitetään myös atomitasoisen *ab-initio* mallinnuksen avulla.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Väitöskirja:

- Savolainen K., (2012) Friction Stir Welding of Copper and Microstructure and Properties of the Welds. Aalto University, Department of Engineering Design and Production. Doctoral dissertations 13/2012, 169 p.

Julkaisut:

- Savolainen, K., Saukkonen, T., Hänninen, H., (2012) Banding in Friction Stir Weld of Copper. *Science and Technology of Welding and Joining*, 17(2), pp. 111-115.
- Savolainen, K. Saukkonen, T., and Hänninen, H. (2012) Localization of Plastic Deformation in Copper Canisters for Spent Nuclear Fuel. *World Journal of Nuclear Science and Technology*, 2(1), pp. 16-22.
- Ivanchenko, M., Yagodzinsky, Y., Hänninen, H., (2012) Hydrogen-Induced Mechanical Losses in Oxygen-Free Copper. *Solid State Phenomena*, 184, pp. 122-127.
- Yagodzinsky, Y., Malitckii, E., Saukkonen, T., Hänninen, H., (2012) Hydrogen-enhanced creep and cracking of oxygen-free phosphorus-doped copper. *Scripta Materialia*, 67, pp. 931-934.
- Hänninen, H., Malitckii, E., Saukkonen, T., Yagodzinsky, 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, 8 p.
- Malitckii, E., Yagodzinsky, Y., Saukkonen, T., Hänninen, H., (2012) Hydrogen-induced acceleration of creep in oxygen-free phosphorus-doped copper. JUNIOR EUROMAT, Switzerland, Lausanne, Université de Lausanne, 23-27 July 2012. (Poster presentation)

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, Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2012, Statens Offentliga Utredningar, SOU 2012: 7.
- Swedish National Council for Nuclear Waste, Kärnavfallsrådets yttrande över behovet av kompletteringar av Svenska Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökan om tillstånd enligt miljöbalken i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall, 2012.

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

Tuloksista on tiedotettu seuraavissa konferensseissa ja seminareissa:

- 2012 International Hydrogen Conference, Hydrogen-Materials Interactions, September 9-12, 2012, Jackson Lake Lodge, Moran, Wyoming, USA. Osallistuja: Hannu Hänninen.

- JUNIOR EUROMAT 2012, Switzerland, Lausanne, Université de Lausanne, 23-27 July 2012.
Osallistuja: Evgeni Malitckii.
- Meeting on hydrogen interaction with copper at Swerea KIMAB, Stockholm, 04.06.2012.
Osallistujat: Hannu Hänninen, Tapio Saukkonen, Yuriy Yagodzinsky, Evgeni Malitckii, Olga Todoshchenko ja Maria Ganchenkova. Esitykset:
 1. **Hydrogen effects on mechanical properties of OFP copper**
Y. Yagodzinsky, E. Malitckii, T. Saukkonen, and H. Hänninen
 2. **Void nucleation mechanism in copper: computational studies**
M. Ganchenkova, Y. Yagodzinsky, O. Todoshchenko, and H. Hänninen
 3. **Optical Strain Monitoring of Copper**
E. Malitckii, Y. Yagodzinsky, T. Saukkonen, and H. Hänninen
 4. **Hydrogen uptake in OFP copper from reactions with water**
O. Todoshchenko, Y. Yagodzinsky, and H. Hänninen
 5. **Nanoindentation and EBSD study of elastic anisotropy in electron beam welds of OFP copper**
T. Saukkonen, K. Savolainen, and H. Hänninen

Tutkimusvierailu:

- Lauri Luumi, Tohoku University, Sendai, Japani, 1.6. – 28.8.2012.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2012

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) Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tämä projekti on jatkoa hankkeelle Sulfidien aiheuttama kuparin jännityskorroosio (KYT2010 / 2009-2010), jossa on todettu rikin menevän kupariin helposti sisään raerajoja pitkin sulfidipitoisesta pohjavedestä. Projekti alkoi v. 2011.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot SSM, Ruotsi	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on arvioida sulfidien aiheuttamaa kuparikapselin haurastumisriskiä sulfidien konsentraation funktiona.		
Tuloskategoria Perusta riskiarviolle	Julkaisujen lukumäärä 3 tutkimusraporttia + 1 diplomityö	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 diplomityö
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tulosten perusteella tarkennetaan arviota pohjavedessä olevan sulfidien aiheuttamasta kuparikapselien haurastumisriskistä.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Määrittää kupariin sisään menneen rikin vaikutus kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin (haurastuminen). Vuoden 2012 aikana altistettiin CuOFP –koekappaleita viiden viikon ajan Olkiluodon tyyppiselle pohjavedelle, johon oli lisätty 200 mg/l sulfidia. Tulosten perusteella CuOFP –materiaalin mekaanisissa ominaisuuksissa havaitaan muutoksia siten, että altistuksen tuloksena veto- ja murtolujuus kasvavat ja murtumissitkeys pienentyy tilastollisesti merkittäväällä määrällä, eli materiaali haurastuu. Altistuksen jälkeen tehdyissä virumiskokeissa havaittiin myös lievää virumiskestävyyden heikkenemistä. Kun näitä tuloksia verrataan muiden CuOFP-materiaalin valmistuserien virumisominaisuuksiin, ovat havaitut muutokset kuitenkin tuloshajonnan puitteissa.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt <ol style="list-style-type: none">1. Arilahti, E., Mattila, M., Lehtikuusi, T., Saario, T. & Varis, P., 2012, Sulphide-induced embrittlement of CuOFP– Intermediate Report 2. VTT Research Report VTT-R-00291-12, January, 20122. Arilahti, E., Lehtikuusi, T., Saario, T. and Varis, P., “Sulphide-induced embrittlement of CuOFP– Intermediate Report 3”. VTT Research Report VTT-R-07554-12, November, 2012.3. Sipilä, K., The Effect of Sulphide-Containing Groundwater on Creep Behaviour of Copper, Master of Science Thesis, December 2012, Tampere University of Technology, 101+11 pages (in		

Finnish).

4. Arilahti, E., Lehtikuusi, T., Saario, T., Sipilä, K. and Varis, P., "Sulphide-induced embrittlement of CuOFP- Final Report 2012". VTT Research Report VTT-R-00066-13, December 2013

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

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2012

Tutkimushankkeen nimi Korroosion monitorointi loppusijoitusolosuhteissa (KAISA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Corrosion monitoring under disposal vault conditions		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuhenkilö Timo Saario	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on uusi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Posiva, STUK	Ulkomaiset organisaatiot UCTM, Bulgaria, ZAG, Slovenia	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Evaluoida, kehittää ja verifioida potentiaaliset in situ on-line korroosionopeuden mittaustekniikat siten, että niiden toimivuus simuloiduissa loppusijoitusolosuhteissa ja mahdollisesti tulevissa Olkiluodon Onkalossa tehtävissä mittauksissa voidaan taata.		
Tuloskategoria Kokeellinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 1	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Teknisten vapautumisesteiden korroosionopeus todellisissa olosuhteissa on tunnettava riittävällä tarkkuudella. Todellisissa olosuhteissa mitattuja korroosionopeuksia voidaan hyödyntää myös korroosioriskin arviointiin kehitettyjen mallien verifiointiin.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Hankkeessa tehtiin kirjallisuusselvitys in situ on-line korroosionopeuden mittaustekniikoista, jotka sopivat parhaiten kuparille loppusijoitusolosuhteissa. Vuoden 2013 alusta hanke päätettiin sulauttaa osaksi MICCU-hanketta.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Sipilä, K., & Saario, T., 2013, On-line in situ corrosion monitoring methods for nuclear waste disposal conditions. VTT Research Reports VTT-R-00061-13, January 2013.		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT2014-tutkimusohjelman seminaarit ja alan kansainväliset konferenssit		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiylhteenveto 2012

Tutkimushankkeen nimi Kuparin korroosio hapettomassa vedessä		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Corrosion of copper by water under oxygen free conditions		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto/Materiaalitekniikan laitos	Vastuhenkilö 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 ei jatkoa ole suunniteltu.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT	Ulkomaiset organisaatiot Studsvik Nuclear AB	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite <ul style="list-style-type: none">- saada lopullinen puolueeton tieto siitä, onko kuparin korroosio vetyä kehittäen mahdollista hapettomassa puhtaassa vedessä- saada tieto siitä, onko em. reaktio mahdollista simuloitua pohjavedessä- arvioida tämän mahdollisen korroosion todennäköisyys ja mahdolliset seuraukset todellisessa loppusijoituksessa		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä 1	Opinnäytetöiden lukumäärä 0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) <ul style="list-style-type: none">- loppusijoituksesta päättävät voivat arvioida kuparin korroosionkestoa 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 termodynamiikkaa- kehitetyllä laitteistolla saatavaa potentiaali- ja pH -dataa voidaan hyödyntää vedyn muodostumisen tarkempaa termodynaamiseen laskentaan		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
Task 1 Ruostumattomasta teräksestä valmistetulla reaktorilla tehdyt kokeet <ol style="list-style-type: none">1. T = 60 °C<ul style="list-style-type: none">• Kokeen kesto 60 vuorokautta (15 vrk T = 20 °C, 45 vrk T = 60 °C)• Ultrapuhdas vesi• H-pitoisuus Pd-kalvossa kokeen jälkeen oli 5 ppm (referenssinäytteessä 1 ppm)<ul style="list-style-type: none">• Analysoitu käyttäen Leybold-Heraeus WLD 1002. T = 60 °C<ul style="list-style-type: none">• Kokeen kesto 48 vuorokautta (14 vrk T = 20 °C, 34 vrk T = 60 °C)• Ultrapuhdas vesi• H-pitoisuus Pd-kalvossa kokeen jälkeen 6 ppm (referenssi 4 ppm)<ul style="list-style-type: none">• Analysoitu käyttäen Hydrogen Thermal Desorption –menetelmää (TDS)		
Tärkeimmät havainnot: Vetyanalyyseihin perusteella testireaktorin osia erottavan palladiumkalvon vetypitoisuus kasvoi kummassakin kokeessa. Vetypitoisuus kasvoi 2-10-kertaiseksi verrattuna kalvoon, joka ei ollut ollut kokeessa. Vety on ilmeisesti peräisin kuparin korroosiosta perustuen Studsvik Nuclear AB:n tekemiin referenssikokeisiin käyttäen platinaa.		

Task 2 Studsvik Nuclearin kokeet synteettisessä pohjavedessä

- Ei toteutettu koska Studsvik ei saanut rahoitusta vuodelle 2012

Task 3 Konferenssiesitys Eurocorr 2012

- Corrosion of copper by water under oxygen-free conditions
S. Lehmusmies, A. Pehkonen, O. Forsen, T. Saario, R. Becker and M. Granfors.
The European Corrosion Congress Eurocorr 2012, Istanbul, 9 – 13 September 2012.
EUROCORR 2012 Proceedings. European Federation of Corrosion. Istanbul (2012), 15 pp.
 - Tärkeimmät tulokset: Studsvik Nuclear AB:n tekemien kokeiden paineen muutokset osoittavat, että mittakammion paine kasvaa eri tavoin kun käytetään platinaa tai kuparia reagoivana aineena. Aallossa tehdyissä kokeissa paineen muutokset ovat samanlaisia kuin Studsvikin mittaamat. Aalto-yliopiston kokeiden palladiumkalvojen vetyanalyysit osoittavat 2-10-kertaisen kasvun. Paineen muutokset ja Studsvikin kaasuanalyysit kuparilla tehdyistä kokeista tukevat sitä, että vetyä muodostuu kuparin reagoidessa ultrapuhdaan veteen kanssa hapettomissa olosuhteissa.

Task 4 Kokeet kuparista valmistetulla reaktorilla

- Kuparireaktori on valmistettu ja sen testaus on käynnissä
- Korroosio- ja redox-potentiaalin mittauksen anturit on asennettu ja testauksessa
- Kokeet kuparireaktorissa pohjavedellä aloitetaan kun tiiveys on varmistettu.
- Kuparireaktorin puhdistusmenetelmiä on testattu ja päädytty sähkökemialliseen peittaukseen. Kammion esipuhdistuksella varmistetaan, että kokeet alkavat puhtaalla kuparipinnalla.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Konferenssiesitys: Corrosion of copper by water under oxygen-free conditions
S. Lehmusmies, A. Pehkonen, O. Forsen, T. Saario, R. Becker and M. Granfors.
The European Corrosion Congress Eurocorr 2012, Istanbul, 9 – 13 September 2012.
EUROCORR 2012 Proceedings. European Federation of Corrosion. Istanbul (2012), 15 pp.

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

Konferenssiesitys The European Corrosion Congress Eurocorr 2012, kts. yllä.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyllyteenveto 2012

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? Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus: Kallioperä ja pohjavesi ja Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä		
Tutkimusjatkumo Hanke on tutkimuskokonaisuus kansainvälisessä yhteistyöprojektissa (Grimsel Test Site - Phase VI): Long Term Diffusion (LTD)		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot JYFL, GTK, VTT	Ulkomaiset organisaatiot Nagra, AIST, JAEA, NRI, RAWRA, HYDRASA (University of Poitiers), CEA, Saclay	Muut tutkimusohjelmat, tms. EU projekti Posinam
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Työssä käytettyjä kallion in situ tutkimusmenetelmiä kiven rakenteen selville saamiseksi kuin myös kehitettyjä analyysitekniikoita pidättymättömien radioaktiivisten alkuaineiden määrittämiseksi kiviäytteistä voidaan hyödyntää in situ kulkeutumiskokeissa Suomessa.		
Tuloskategoria menetelmien kehitys, luo laajaa osaamis pohjaa, kansainvälisen yhteistyön ylläpito, uuden tutkijapolven perehdyttäminen	Julkaisujen lukumäärä 1	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
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.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain Radiokemian laboratorio vastaa stabiileille Se isotoopeille tehtävistä Kd ja diffuusiokerroin määryyksistä ICP-MS ja ICP-OES -tekniikoilla. TDD mallinnusta on käytetty arvioitaessa kiven rakenteellisen heterogeenisuuden vaikutusta radionuklidien kulkeutumisessa ja pidättymisessä kiveen.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt L Jokelainen, T Meski, A Lindberg, J Soler, M Siitari-Kauppi, A Martin and J Eikenberg, The Determination of Cs-134 and Na-22 diffusion profiles in granodiorite using gamma spectroscopy, published in Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry K Hänninen: Selenin sorptio kiviaineeseen ja menetelmien validointi, Opinnäytetyö Metropolia Ammattikorkeakoulu/ Laboratorioanalytikkolinja 2012, 54+15 sivua		
Muu tutkimuksista tiedottaminen J Ikonen ja M Siitari-Kauppi: 12.6.2012, LTD Partner Meeting, Luzern, Sveitsi M Siitari-Kauppi: 13.-14.6.2012, Grimsel Test Site - Phase VI, 10th International Steering Committee Meeting, Luzern, Sveitsi M Siitari-Kauppi: 8.6.2012, KYT2014 Seurantaryhmä 5 kokous /Nuklidikulkeutuminen, VTT		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2012

Tutkimushankkeen nimi Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnoille		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Sorption of trivalent actinides onto clay and (hydr)oxide minerals		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Radiokemian laboratorio (HYRL)	Vastuuhenkilö Nina Huittinen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Turvallisuusperustelu, puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, sekä muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa vuonna 2008 alkaneelle tutkimukselle. Hanketta jatketaan vuoteen 2012 asti.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot •ASM	Ulkomaiset organisaatiot •Institut für Nukleare Entsorgung, Forschungszentrum Karlsruhe, Saksa •Université de Poitiers, Ranska •National Institute of Chemical Physics and Biophysics, Viro	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Projektissa pyritään saamaan yksityiskohtaista tietoa kolmenarvoisten aktinidien adsorptiomekanismeista eri savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnoille, sekä tutkia adsorptioon osallistuvien pintaryhmien luonnetta, määrää, sekä affiniteettia An(III) ja Ln(III) ioneja kohtaan.		
Tuloskategoria Kokeellinen työ	Julkaisujen lukumäärä 3	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 väitöskirja
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Hankkeessa saatuja tuloksia voidaan käyttää käytetyn polttoaineen ja korkea-aktiivisen jälleenkäsittelyjätteen loppusijoituksen turvallisuusanalyysin tarkentamisessa. Hydroksidi ja oksidimineraaleja sekä savimineraaleja löytyy joko primäärimineraalifaaseina tai muuntumistuotteina kallioperässä. Savimineraaleja käytetään myös puskureina ja täyteaineina loppusijoitustilassa. Aktinidien ja mineraalipintojen vuorovaikutusten tunteminen atomi- ja molekyyllitasolla vähentää suuresti turvallisuusanalyysin lähtötietojen epävarmuutta.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) TRLFS-tutkimusten loppuunsaattaminen: Tämän hankkeen aikana curiumin spesiaatiota on tutkittu alumiinihydroksidi-, ja kaoliniittisuspensioissa aika-erotteisella laserindusoidulla fluoresenssispektroskopiolla. Työ on suoritettu yhteistyössä Karlsruhen teknillisen instituutin (KIT) ydinjätetutkimusinstituutin (INE) kanssa. Kokeellisessa työssä curiumin adsorptiosta gibbsiitin pinnalle (α -Al(OH) ₃) mineraalin liukeneminen ja jälleensaostuminen todettiin määräävän kolmenarvoisen metallikationin kiinnittymismekanismien alumiinihydroksidin pinnalla. Kokeellista työtä alumiinihydroksidien parissa jatkettiin osana saksalaisen Tomas Kupcikin väitöskirjaa. Näistä alumiinihydroksidituloksista on tarkoitus kirjoittaa yhteisjulkaisu vuoden 2012 alussa. Kokeellisessa työssä curiumin adsorptiosta kaoliniitin pinnalle (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄) kaoliniitin liukeneminen emäksisissä olosuhteissa todettiin vaikuttavan kolmenarvoisen metallin spesiaatioon. Näissä emäksisissä olosuhteissa kaoliniitin pinnalle muodostuu curium-silikaattikompleksi. Tuloksista on tarkoitus kirjoittaa yksi tieteellinen julkaisu vuoden 2012 aikana. NMR-tutkimusten loppuunsaattaminen: NMR-tutkimukset yttriumin ja europiumin spesifisestä adsorptiosta kaoliniitin pinnalle saatetaan loppuun. Diamagneettista yttriumia käytetään kolmenarvoisten aktinidien analogina koska aktinidien lantanidianalogit kuten Eu ³⁺ ovat		

paramagneettisia. NMR analyysit on suoritettu Tallinnassa kemiallisen fysiikan ja biofysiikan instituutissa fyysikko Priit Sarvin opastuksessa. Kokeissa pyritään karakterisoimaan kaoliniitin pinnalla olevat Si-OH ja Al-OH ryhmät, sekä identifioimaan ne ryhmät, joihin kolmenarvoinen metalli-ioni kiinnittyy. Lisäksi pH:n ja suolapitoisuuden vaikutusta kaoliniitin pinta-ominaisuuksiin kuten Si-OH/Si-O⁻ ja Al-OH₂⁺/Al-OH/Al-O⁻ suhteisiin pyritään selvittämään. Näytteitä eri Y³⁺ ja Eu³⁺ pitoisuuksilla on valmistettu kahdessa eri pH:ssa, 3 ja 8. Happamissa olosuhteissa metalli on kiinnittynyt pintaan elektrostaattisesti kun puolestaan pH:ssa 8 suurin osa kiinnittymisestä tapahtuu pintakompleksin muodostumisena kemiallisen sidoksen avulla. Näytteet on tarkoitus saada mitattua vuoden 2012 aikana, minkä jälkeen tulokset voidaan analysoida. NMR-tuloksista on tarkoitus kirjoittaa yksi tieteellinen julkaisu vuonna 2012.

Yhteenvedon kirjoittaminen: Koska hanke päättyy vuonna 2012, viisivuotisen hankkeen keskeisistä tuloksista tullaan kirjoittamaan yhteenvedo, joka on FM Nina Huittisen väitöskirja. Yhteenvedossa evaluoidaan viiden vuoden aikana kerättyjä tuloksia ja näiden sovellettavuutta esimerkiksi loppusijoitustilan turvallisuusanalyysissä käytettäviin kulkeutumismalleihin. Lisäksi tullaan pohtimaan tulevaisuudennäkymiä radionuklidien molekyylliskaalan vuorovaikutusten tutkimisessa hankkeessa käytetyillä menetelmillä.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Julkaisut (1)

N. Huittinen, Th. Rabung, M. Hakanen, J. Lehto, H. Geckeis: New insight into Cm(III) interaction with kaolinite - influence of mineral dissolution, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 99 (2012) 100-109.

N. Huittinen, P. Sarv, J. Lehto: A ¹H and ²⁷Al NMR investigation of Y(III) and Eu(III) interaction with kaolinite, *hyväksytty julkaistavaksi lehteen Applied Clay Science*.

T. Kupcik, **N. Huittinen**, Th. Rabung, J. Lützenkirchen, H. Geckeis, Th. Fanghänel: Macroscopic and spectroscopic investigations on Eu(III) and Cm(III) sorption onto gibbsite (α-Al(OH)₃), bayerite (β-Al(OH)₃) and corundum (α-Al₂O₃), *lähetetty lehteen Journal of Colloid and Interface Science*.

Väitöskirja (3)

N. Huittinen: Sorption of trivalent actinides onto gibbsite, γ-alumina, and kaolinite - A spectroscopic study of An(III) interactions at the mineral-water interfaces.

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

Suulliset esitelmät (2)

N. Huittinen, P. Sarv, J. Lehto: The specific sorption of Y(III) onto γ-alumina: A solid-state ¹H MAS NMR study, *Advanced Techniques in Actinide Spectroscopy (ATAS)*, Dresden, Saksa, 5-7.11.2012

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2012

Tutkimushankkeen nimi Kiven heterogeenisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Including heterogeneous rock structure in the modeling of matrix diffusion		
Tutkimuslaitos Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos	Vastuuhenkilö Jussi Timonen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Kaksivuotisen hankkeen jälkimmäinen vuosi ja myös jatkoa 2009-2010 toteutetulle hankkeelle "Kiven kolmiulotteisen huokoisuusrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen".		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio	Ulkomaiset organisaatiot Poitiersin yliopisto, Ranska Nagra, Sveitsi	Muut tutkimusohjelmat, tms. Grimsel, LTD Phase II
Tutkimuksen tavoite Tutkimuksen tavoitteena on mallintaa matriisidiffuusiota realistisessa rakenteellis-kemiallisesti heterogeenisessa kivessä ja tuottaa erityisesti in situ –kokeisiin sopiva analysointityökalu.		
Tuloskategoria Sekä kokeellisia menetelmiä että numeerisia simuloitteja	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia voidaan soveltaa arvioitaessa ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisvaikutuksia ja radionuklidien kulkeutumista biosfääriin. Niitä voivat hyödyntää sekä viranomaiset että ydinjätetoimijat.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) 1. Numeerista TDD-koodin muistin käyttöä tehostettiin ja se rinnastettiin. Tehostamisen ansiosta simulaatioita pystyy nyt suorittamaan noin 40 kertaa suuremmissa näytteissä ja noin 6-kertaisella nopeudella. 2. Simulointikoodin tehostamisen ja rinnakkaistamisen ansiosta TDD-mallia kyettiin validoimaan entistä laajemmin ja tarkemmin. Lisäksi mallin antamia tuloksia verrattiin menestyksellisesti diskreetissä ajassa liikkuvien satunnaiskävelijöiden tuottamiin tuloksiin numeerisesti generoidussa näytteessä. 3. TDD-simulointikoodiin implementoitiin kemiallinen sorptio- ja desorptio-ominaisuus. Tätä ominaisuutta testattiin ja hyödynnettiin simuloitaessa cesiumin diffuusiota todellisessa mineraalirakenteessa, joka oli määritetty tämän projektin ensimmäisen vuoden aikana. 4. TDD-simuloinneilla mallinnettiin onnistuneesti aiemmin Grimselin granodioriitissa tehtyjä heliumin läpιδiffuusiomittauksia.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Arvojulkaistut: Voutilainen, M., Siitari-Kauppi, M., Sardini, P., Lindberg, A., and Timonen, J.: Pore-space characterization of an altered tonalite by X-ray computed microtomography and the ¹⁴ C-labeled-polymethylmethacrylate method. J. Geophys. Res. 117, B01201 (2012). Voutilainen, M., Sardini, P., Siitari-Kauppi, M., Kekäläinen, P., Aho, V., Mylly, M., and Timonen, J.: Diffusion of tracer in altered tonalite: experiments and simulations with heterogeneous distribution of porosity. Transport Porous Med. 96, 319-336 (2012). Opinnäytteet: Voutilainen, M.: Characterization of structure and diffusion in geological materials. Doctoral Thesis,		

Department of Physics, University of Jyväskylä Research Reports 12/2012, (2012).

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

Fysiikan päivät, Helsinki (13.–15.3.2012), M. Voutilainen, Simulated Diffusion in Altered Tonalite Using Tomographic Imaging Combined with Diffusion Experiments. Puhe.

Matrix diffusion workshop, VTT, Espoo (13.9.2012):

- M. Voutilainen et al, Laboratory experiments and TDD simulations. Puhe.
- J. Toivanen, P. Kekäläinen, T. Riikilä, K. Mattila, J. Hyväluoma, J. Timonen, Lattice Boltzmann simulations of matrix diffusion. Puhe.
- P. Kekäläinen et al, Soluble cases of the matrix diffusion equation. Puhe.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2012

Tutkimushankkeen nimi Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (Geomikro)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Characterization of deep groundwater microbial communities		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuuhenkilö Merja Itävaara	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa KYT2010, GEOMOL; jatkohanketta suunnitellaan		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot GTK, Aalto yliopisto, Posiva	Ulkomaiset organisaatiot DCO (Deep carbon observatory) www.deepcarbon.net	Muut tutkimusohjelmat, tms. 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 3 artikkelia, 5 konferenssiesitystä/työraporttia	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä Tutkimuksessa saadaan tietoa syvien kalliopohjavesien mikrobiyhteisöjen toiminnasta ko. hankkeessa sekä kotimaisessa ja kansainvälisessä verkostossa. Tietoa hyödynnetään mm selventämään korroosioriskejä ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuusanalyysiin. Tutkimuksen tulokset on tarkoitettu eri ydinjättesektorin toimijoiden hyödynnettäviksi.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain Kuhmon Romuvaaran RO-10 kairareian mikrobiston monimuotoisuuden kartoitus. Funktionaalisten geenien avulla todettiin näytteistä sulfaatinpelkistäjiä, metanogeenia, nitraatin pelkistäjiä ja ammoniumin hapettajia. Ryhmien osuudet eri syvyyksillä vaihtelivat hiukan. Mikrobiyhteisöt käyttivät monipuolisesti hyväkseen erilaisia energialhteita: estereitä, aminosokereita, alkoholeja ja karboksylihappoja. Metaanin ja metanolin anaerobinen hapettuminen Outokummun syväbiosfääristä (180 m) kerätyillä näytteillä. Maankuoresta äkillisesti purkautuvan metaanipulssin vaikutuksia tutkittiin antamalla pohjavedessä esiintyvien mikrobien aktiivisuuteen tutkittiin lisäämällä pohjaveteen metaania ja metanolia, sekä sulfaattia erilaisina yhdistelminä. Mikrobien aktivoituminen oli voimakkainta metanoli/sulfaatti lisäyksen jälkeen. Molekyylibiologisten menetelmien tunnistettiin metanogeenien aktivoitumista mRNA pohjaisesti funktionaalisten geenien kautta. Ammoniakin hapettajat eivät aktivoituneet merkittävästi. Metanogeenit puolestaan aktivoituivat metaanin sekä metaanin ja sulfaatin lisäyksestä. Metaani sulfaatti rajavyöhykkeessä sulfidin muodostuminen voi tapahtua hapettomissa olosuhteissa ja aikaansaada sulfidin muodostumista, joka kuparia korrodoiva. Kivi- ja kuparibioansoihin 6 kk aikana muodostuneiden mikrobiyhteisöjen tutkiminen Outokummun kairareistä 600 m ja 967 m syvyydestä. Bakteriyhteisöjen profilointi paljasti, että kiven tai kuparin pinnalle muodostunut yhteisö ryhmittyi enemmän materiaalin kuin inkubointisyvyyden mukaan. Sitä vastoin aktiivinen bakteriyhteisö ryhmittyi vahvasti inkubointisyvyyden mukaan siten, että tietyssä syvyydessä aktiivisina olivat samanlaiset bakteerit riippumatta siitä olivatko bakteerit kuparin tai		

kiven pinnalla, mutta erosivat toisessa syvyydessä bioansoihin tarttuneista mikrobeista.

Opinnäytetyössä Outokummun syväbiosfääristä todettiin löytyvän lakkaasin kaltaisia multikupari-oksidaasientsyymejä vastaavia geenifragmentteja. Myös askorbaattioksidaasin ja fenoksiatsinonisyntaasin kaltaisia sekvenssejä löydettiin.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Artikkelit:

Purkamo L, Bomberg M, Nyssönen M, Kukkonen I, Ahonen L, Kietäväinen R, Itävaara M. 2013. Retrieval of authentic microbial population from deep crystalline bedrock fracture fluids: evaluation of packer method and sampling timing. In press.

Kietäväinen, R, Ahonen, L, Kukkonen, I T, Hendriksson, N, Nyssönen, M Itävaara, M. 2012. Characterisation and isotopic evolution of saline waters of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland – implications for water origin and deep terrestrial biosphere. Applied Geochemistry. In press. doi.org/10.1016 j.apgeochem.22012.10.013

Nyssönen, M, Bomberg, M, Kapanen, A, Nousiainen, A, Pitkänen, P, Itävaara, M. 2012. Methanogenic and sulphate-reducing microbial communities in deep groundwater of crystalline rock fractures in Oikiluoto, Finland. Geomicrobiology Journal, 29:863–878, 2012, doi-link: 10.1080/01490451.2011.635759

Konferenssiesitykset ja työraportit:

Itävaara, M. 2012. Oral presentation on deep biosphere research. Baltic microbiology conference, BMC 31.10-4.11.2012, Latvia, Riiga (Invited)

Itävaara, M, Bomberg, M, Nyssönen, M. 2012. Diversity of sulphate reducing bacteria in deep earth crust aquifers of Fennoscandian Shield, EMBO Workshop on Microbial sulphur metabolism, April 15-18.4.2012 The Netherlands, oral presentation

Bomberg, M and Itävaara M. Depth-related changes in microbial diversity and active microbial communities of Fennoscandian deep terrestrial subsurface aquifers, Next Generation Sequencing at the Poles; University of Liege, Belgium 21-23.11.2012

Bomberg, M and Itävaara, M. 2012. The diversity of microbial communities in Oikiluoto groundwater fracture zones characterized by DNA and RNA based 16S rRNA-targeted 454 pyro sequencing and qPCR. Posiva Working Report 2012-27, Posiva oy, Eurajoki

Rättö, M and Itävaara, M. 2012. Microbes in bentonite, VTT Technology: 20, 30 pages, ISBN 978-951-38-7833-7

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

Merja Itävaara 2012. Syväbiosfääritutkimukset. Tieteenpäivät 2012.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2012

Tutkimushankkeen nimi Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Saline fluids, gases and microbes in crystalline bedrock (SALAMI)		
Tutkimuslaitos Geologian tutkimuskeskus	Vastuuhenkilö 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)		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT /Biotekniikka, Aalto-yliopisto /Bioinformatiikka	Ulkomaiset organisaatiot GFZ Potsdam, U. Waterloo, DCO (Deep carbon observatory), ICDP (International Continental Scientific Drilling Program)	Muut tutkimusohjelmat, tms. KYT /BOA, KYT /LS-TUPER
Tutkimuksen tavoite Selvittää suolaisissa vesissä esiintyvien kaasujen ja mikrobin mahdollisia keskinäisiä riippuvuus- ja vuorovaikutussuhteita.		
Tuloskategoria kokeellinen	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä 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 yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Tutkimusmetodiikka: Uusi kaasunäytteenottolaitteisto valmistunut ja testeissä Veden viipymä- ja alkuperätutkimus: Julkaisu stabiilien isotooppien käytöstä alkuperän ja epäsuorasti suolaisen veden iän arvioinniksi (painettuna Kietäväinen et al. + 2013). Jalokaasutyö ja sen pohjalta julkaisukäsikirjoitus etenee. Diversiteettikartoitus: Kesällä näytteenotto Romuvaarassa (KR-10). Reiän vesi hyvin vähäsuolaista. Syvälaboratorio: Kuparimetalli- ja kivitrappeja Outokummun reiässä talvella 2012 Energiatarkastelut: Kaasufaasin käyttökelpoinen energiasisältö on vähäinen, paitsi korkeat vetypitoisuudet syvimmissä kaasunäytteissä. Opinnäytetyö kaasujen liukoisuudesta: Taustatyö ja laskut tehty pääosin syksyn aikana.		
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.

Ahonen, L., Heikkinen, N., Kietäväinen, R., Kukkonen, I., Wiersberg, T. 2013. Dissolved gases in crystalline rock, observations from Outokumpu deep drill hole. International symposium and Workshop on Gas Generation and Migration: Implications for the performance of geological repositories for radioactive waste disposal. Organised by the FORGE Euratom Project 5-7. Feb 2013, Luxembourg. Abstrakti ja posterit.

Kietäväinen R., Ahonen L., Kukkonen I.T., Kortelainen N., Nyysönen M., Itävaara M., 2012. Ancient water and isolated ecosystems in crystalline rock. The 22nd V.M. Goldschmidt Conference June 24-29 2012, Montreal, Canada. Abstrakti ja esitelmä.

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I.T., Niedermann, S.T. & Wiersberg, T. 2013. Groundwater residence times of millions of years revealed by noble gases in Outokumpu, Finland. Geologian tutkijapäivät 2013. Abstrakti ja esitelmä.

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

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2012

Tutkimushankkeen nimi Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Deep bedrock bioinformatics		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopisto	Vastuuhenkilö 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 VTT, GTK	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Projektin tuloksena saadaan bioinformatiikan menetelmiä ja työkaluja, joilla voidaan selvittää syvän kallioperän mikrobiyhteisöjen toiminnan vaikutuksia ydinjätteen loppusijoittamisen turvallisuuteen.		
Tuloskategoria Tietokoneohjelma, laskennallinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 2 valmisteilla	Opinnäytetöiden lukumäärä 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) Edelleen kehitettiin bioinformatiikkatyönkulkua genominäytteiden analysoimiseksi. Erityisesti DNA-jaksojen linjauksen tilastollista luotettavuutta pyrittiin parantamaan.2) Kehitettiin laskennallisia menetelmiä aineenvaihduntareittien rikastumisanalyysiin ja analysoitiin Olkiluodon ja Outokummun syväreikien metagenominäytteitä menetelmillä.3) Geokemiallisen ja metagenomidatan välisten riippuvuuksien löytämiseen allitettiin kehittämään nk. harvaan kanoniseen korrelaatioanalyysiin perustuvaa menetelmää.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
1) Lehtijulkaisut		
<ul style="list-style-type: none">• Esa Pitkänen, Paula Jouhten, Peter Blomberg, Liisa Holm, Merja Penttilä, Juho Rousu, Mikko Arvas. Comparative genome-scale reconstruction of gapless metabolic networks for present and ancestral species, lähetetty julkaistavaksi• Lisäksi valmisteilla artikkeli Olkiluodon metagenominäytteiden aineenvaihduntareiteistä.		
3) Opinnäytteet		
<ul style="list-style-type: none">• Yvonne Herrman. Comparison of Metagenomic Data by identifying enriched Pathways in Metabolic Networks (2012). MSc thesis, University of Bielefeld.• Nicole Althermeler. Taxonomy based Pathway Enrichment Analysis. Pro gradu –tutkielma, Helsingin yliopisto, valmisteilla		

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

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2012

Tutkimushankkeen nimi		
Betonisten vapautumisestneiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Durability of engineered concrete barriers under final disposal conditions		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Aalto-yliopisto		Jari Puttonen
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	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Teollisuuden Voima Oy ja Fortum Power and Heat Oy	AECL, Kanada Hokkaido University, Japani	Safir 2014
Tutkimuksen tavoite		
Tutkimuksessa kehitetään kokeellisesti varmennettu osin termodynaaminen tunkeumamalli ja sen numeerinen sovellus teräsbetonirakenteen ikääntymiselle voimalaitosjätteen loppusijoitusolosuhteissa.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Malli, kokeellinen menetelmä	2	0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Ensisijaisia tulosten hyödyntäjiä ovat loppusijoituksesta vastaavat yhtiöt. Malli on yleinen, mutta tarvittavien materiaaliparametrien kokeellisessa määrittämisessä painottuu Suomen ydinvoimaloissa tuotetun matala- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoitustilojen käyttöä hallinta. Mallia voidaan soveltaa myös yleisesti ydinvoimaan liittyviin teräsbetonirakenteisiin ja lisäksi hyödyntämismahdollisuudet kattavat koko rakennusteknologian alueen, jos tarvittavia materiaaliparametreja on sovelluskohtaisesti käytettävissä.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
Osaprojekti 1		
<ul style="list-style-type: none"> • Kokonaismallin kelpoistamiseen tarvittavat lähtötiedot määritettiin hyödyntäen sekä osaprojektin 2 että omien laboratoriokokeiden tuloksia. Mallilla tehtiin uusintalaskennat käyttäen määritettyjä alkuarvoja. • Betoniraudoitteen korroosion käynnistymiseen vaadittava kloridipitoisuus osoittautui parametriksi, jonka määrittäminen on tärkeää sovelluskohtaisesti. • Tutkimuksesta julkaistiin artikkeli kansainvälisessä tieteellisessä julkaisussa. • Kiihdytetyllä karbonatisoitumiskokeella tehtävät suoraviivaiset arvioinnit betonirakenteiden karbonatisoitumisesta loppusijoitustiloissa voivat johtaa virheellisiin päätelmiin. Kiihdytetyllä kokeella saadun tuloksen käyttökelpoisuus karbonatisoitumisen ennustamiseen loppusijoitusolosuhteissa vaatii lisäselvitystä. 		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
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", Journal of Materials Science, doi: 10.1007/s10853-013-7239-3.		

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

Kari O P, "Modelling the Ageing of Concrete under Nuclear Waste Disposal Conditions" In: Hänninen H; Kiesi T, Aalto University publication series SCIENCE + TECHNOLOGY 20/2012 Materials Science and Technology - Nuclear Materials, Advanced Course Kon-67.5100 Postgraduate Seminar on Engineering Materials, seminar papers September 5-6, 2012. Department of Engineering Design and Production 2012, Aalto University, pp. 81-90.

Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management (KYT2014) Annual Summary 2012

Name of the research project Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa		
Name of the research project in Finnish Durability of engineered concrete barriers under final disposal conditions		
Research organisation VTT Technical Research Centre of Finland & Aalto University		Project manager Eila Lehmus (VTT) & Jari Puttonen (Aalto)
Which main topic of KYT2014 the project belongs to? (see framework programme, Fig. 2) Study of the safety of the radioactive waste management - other safety studies		
Research continuum (continuation to earlier research, is continuation being planned?) The project is an extension to the study: Holistic-model for ageing of the steel reinforced concrete structures in final disposal conditions of radioactive waste		
Partners		
Finnish organisations Teollisuuden Voima Oy ja Fortum Power and Heat Oy	Foreign organisations Hokkaido University, Japan	Other research programmes, etc. Safir 2014
Aim of the project The overall objectives of the study are to elevate the existing level of knowledge and to acquire real data on the long-term performance of concrete technical barriers in the circumstances of nuclear waste repositories. In addition, it is expected that skills and methodologies for evaluating the service life of concrete technical barriers will be developed. Regarding subproject 1, verification and development of the comprehensive model by utilising the data from subproject 2. Tasks that are scheduled to be executed in subproject 1 in year 2012 are: <ul style="list-style-type: none"> • Further development of the comprehensive model and the management of the uncertainties in the model by statistical analyses; • The feasibility of accelerated carbonation tests on the prediction of concrete carbonation under disposal conditions. Regarding subproject 2, the goal focus on analysing the chemical and mineralogical compositions and studying the microstructures of concrete samples with water/binder ratio of 0.50 which have been immersed in water solutions for 13 years.		
Result category (e.g. experimental method, computer code) Model, experimental method	Number of publications 1 (VTT), 2 (Aalto)	Number of academic theses 0
Utilisation of results in short and long term (by who and in what way) The primary users of results are the nuclear power utilities responsible for the final disposal of the radioactive waste. The model is especially developed for the control of the service life of the repositories of low- and medium-level radioactive waste that has been produced in Finland's nuclear power plants. The results provide the basis for the approach to the service life design/assessment of reinforced concrete structures, generally nuclear power industry infrastructure. However, the results are not specific to the nuclear power industry and can be disseminated/used within the whole building technology sector.		
Scientific/technical results on subproject level (concise summary of results) Subproject 1 - a development of the comprehensive model and its verification were realised by utilising the data both from the subproject 2 and from the laboratory experiments that were carried out in Aalto University. New calculations were performed with the new initial values. The chloride		

threshold value for the initiation of steel reinforcement corrosion was recognised to be a parameter that needs to be defined as case-specific. The accelerated carbonation tests performed for estimating the service life of nuclear waste disposal facilities may lead to wrong and unconservative conclusions when directly used for the estimation of concrete carbonation. The carbonation phenomena under the disposal conditions needs more study. A scientific article was published in an international Journal.

Subproject 2 – As according to the work plan, for the 0.50 water/binder ratio concrete, the following task were successfully performed:

- Regarding material analysis:

- Microstructure and elemental distribution of the concretes (SEM/EDS)
- Deterioration rate of concrete surfaces and its relationship to sulphate and magnesium contents
- Mineral compositions and hydration of the concretes (XRD + TG)
- Porosity and pore structure of the concretes
- Penetration profiles of aggressive components

- Regarding results analysis:

- Modelling durability performance based on obtained chloride profiles
- Assessment of time to corrosion activation

Publications and academic theses

- 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", Journal of Materials Science, doi: 10.1007/s10853-013-7239-3.
- Vesikari, E., Koskinen, P., Ferreira, M., Durability of Concrete Barriers in Final Depositories of Nuclear Waste 2012. VTT Research Report, R-01454-13, 2012. 57p.

Other communication of the study (e.g. seminar, brochure, handout, etc.)

Kari O P, "Modelling the Ageing of Concrete under Nuclear Waste Disposal Conditions" In: Hänninen H; Kiesi T, Aalto University publication series SCIENCE + TECHNOLOGY 20/2012 Materials Science and Technology - Nuclear Materials, Advanced Course Kon-67.5100 Postgraduate Seminar on Engineering Materials, seminar papers September 5-6, 2012. Department of Engineering Design and Production 2012, Aalto University, pp. 81-90.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2012

Tutkimushankkeen nimi		
C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Release of C-14 under disposal conditions (CARBON-14)		
Tutkimuslaitos	Vastuhenkilö	
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 liuennaita ja kaasumaisia hiilen kemiallisia olomuotoja, erityisesti niiden jakautumista orgaanisiin ja epäorgaanisiin muotoihin. Orgaanisen hiilen osuus on erittäin tärkeä, koska orgaaniset hiilispesiektit 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)		
<p>Tulokset antavat tärkeää tietoa ydinjätteiden loppusijoituksen realistisempia turvallisuustarkasteluja varten. ¹⁴C on osoittautunut säteilyvaikutukseltaan merkittäväksi isotoopiksi voimalaitos- ja purkujätteessä (sekä käytetyissä polttoainepiirroissa). Tuloksia voidaan hyödyntää myös KYT2014-ohjelmaan ehdotetussa 'Loppusijoituksen turvallisuusperustelu' hankkeessa.</p>		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)		
<p>Kirjallisuusselvitys julkaistiin VTT raporttina: U. Vuorinen 2012. ¹⁴C aktivoituneessa metallijätteessä – kirjallisuusselvitys. Tutkimusraportti VTT-R-05446-12.</p>		
1.1	<p>Säteilyttämättömän teräksen esikokeet käynnistettiin hapettomassa kaapissa. Loviisan teräksen eluutiokokeissa varioitiin kiinteän faasin ja veden tilavuuden suhdetta sekä simulanttiveden pH:ta. Ylihiiliteräksen kokeissa käytettiin yhtä pH:ta. Viimeksimainituissa reodox-olosuhteet näyttävät muodostuvan liian pelkistäviksi, koska ylihiiliteräs ei ole ruostumatonta terästä. Näytteenotot tehtiin 75 ja 235 päivän kuluttua kokeen alusta. Orgaanisen hiilen pitoisuudet olivat suhteellisen korkeita johtuen suodattimen aiheuttamasta kontaminaatiosta. Toisessa näytteenotossa suodatintyyppi vaihdettiin. Hiilen pitoisuudet laskivat selvästi, mutta edelleen havaitaan hiiltä orgaanisessa muodossa.</p>	
1.2	<p>Esikokeiden teräsnäytteillä ja ylihiiliteräsnäytteillä aloitettiin uudet reaktiojaksot vaihtamalla vedet kokonaan. Lisäksi aloitettiin sarja kokeita, joissa koeastioina ovat septumikorkilla varustetut lasipullot. Tarkoituksena on analysoida kaasufaasi. Kokeet jatkuvat ja seuraava näytteenotto tehdään helmikuun lopussa.</p>	
1.3	<p>Analyyseja testataan vuonna 2013 kohdan 1.2 kokeista otetuilla näytteillä. Ennen tarkempaa spesiaatioanalyysia on varmistuttava lähtömateriaalin puhtaudesta.</p>	
<p>HIILI-14 projektissa suunnitellut kokeet ovat mukana marraskuussa 2012 jätetyssä EU-projektiehdotuksessa: CAST (Carbon-14 Source Term), WP: Steels. Hanke on neuvotteluvaiheeseessa. Projekti alkaa todennäköisesti 1.6.2013 ja on nelivuotinen.</p>		

- 1.4 Säteilytetyn teräsmateriaalin hankintaa on selvitetty EU-hankesuunnittelun yhteydessä.
- 1.5 ^{14}C pidättymismekanismit loppusijoitusolosuhteissa; Radiohiilen isotooppinen vaihto kalsiittiin (alihankintaprojekti, HY Radiokemian laboratorio, professori Jukka Lehto)
Kirjallisuusselvitys valmistuu vuoden 2013 alkupuolella. Kalsiitin liukoisuustasapainon asettumista tutkittiin tasapainotuskokeilla. Radiohiilen isotooppivaihdon nopeutta kalsiittiin tutkittiin tasapainottamalla ensin näytteitä vedessä ja 0,1 M NaCl liuoksessa sekä 0,01-2 mM NaHCO_3 - ja 0,1-500 mM CaCl_2 - liuoksissa niin kauan, että liukoisuustasapaino ehti asettua. Sen jälkeen osaan liuoksista lisättiin bikarbonaattimuodossa olevaa ^{14}C :a ja toiseen osaan ^{45}Ca -merkkiainetta. Liuoksista otettiin kasvavin aikavälein näytteitä ^{14}C - ja ^{45}Ca -aktiivisuuspitoisuuksien määrittämistä varten. Kokeet jatkuvat 2013 alkupuolella.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

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

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

Tutkimuksesta on pidetty esitys KYT2014 puoliväliseminaarissa.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2012

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 Ympäristötieteen laitos, Itä-Suomen yliopisto / Kuopion kampus	Vastuuhenkilö 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 vuoteen 2014 saakka.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms. Erac
Tutkimuksen tavoite Hankkeen yleisenä tavoitteena on empiirisen tiedon valossa tarkentaa suomalaiseseen metsäekosysteemiin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Erityinen huomio keskittyy alkuaineiden siirtymiseen maaperästä kasveihin ja eläimiin.		
Tuloskategoria Kokeellinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 2
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 uraani-kaivosten ympäristövaikutusten arvioinnissa.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Osaprojekti 1: Siirtymisen epälineaarisuuden vaikutus biosfäärimallinnukseen <ul style="list-style-type: none">• Julkaistiin artikkeli Cs-137:n siirtymisestä järvedestä kaloihin• On kokeiltu erilaisia menettelytapoja lineaarisen ja epälineaarisen mallintamisen vertailuun• On hahmoteltu skenarioita maaperän saastumistilanteista, joita vertailussa mallinnetaan Osaprojekti 2: Kokeellinen ekosysteemi alkuaineiden siirtymisen simulointiin <ul style="list-style-type: none">• Vuonna 2011 pystytetyn mesokosmoskokeen kokeellinen järjestelmä oli onnistunut ja osa vuonna 2011 pystytetyistä mesokosmosksista talvehti ja niissä jatkettiin kasvatuskokeita vuonna 2012• Kesällä 2012 tehtiin myös erillinen mikrokosmoskoe, jossa selvisi, että suurin osa uraanista siirtyy kotiloihin maan kautta, vaikka? siirtymistä tapahtuu myös pelkän ravinnon (koivun lehtien) kautta.• Vuonna 2011 ja 2012 kerättyjen aineistojen alkuaineanalyysit ovat valmistuneet, ja tulosten tilastollista käsittelyä jatketaan.• Uuden manipulaatiokokeen (typpilannoituskoe) esivalmistelu on aloitettu: kokeessa käytettävien koivujen mikrolisäys on tehty joulukuussa 2012.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Tieteelliset artikkelit:		

Roivainen P., Makkonen S., Holopainen T., Juutilainen J. 2012. Element interactions and soil properties affecting the soil-to-plant transfer of six elements relevant to radioactive waste in boreal forest. *Radiat Environ Biophys* 51(1):69-78.

Tuovinen T.S., Saengkul C., Ylipieti J., Solatie D., Juutilainen J. 2012. Transfer of ¹³⁷Cs from water to fish is not linear in two northern lakes *Hydrobiologia* DOI 10.1007/s10750-012-1224-8.

Opinnäytetyöt:

Rytkönen T. 2012. Accumulation of metals, cobalt (Co), molybdenum (Mo) and nickel (Ni), to soil invertebrates in a boreal forest in Nilsiä, Eastern Finland. Pro gradu. Ympäristötieteen laitos. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.

Turunen S. 2012. Cesiumin siirtyminen ravintokasveista poroon Pohjois-Suomessa. LuK-tutkielma. Ympäristötieteen laitos. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.

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

KYT-tutkimusohjelman järjestämät seuranta- ja arviointikokoukset.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2012

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 korrosio</p> <p>Esikokeen tulosten perusteella suunniteltiin laboratoriokoesarja, joka aloitettiin maaliskuussa. Koe on edelleen käynnissä, joten siitä on vasta alustavia tuloksia käytettävissä. Alustavien tulosten mukaan ravinteiden lisäyksellä (glukoosi/metaani) on selvä vaikutus hiiliteräksen yleisen korroosion nopeutumiseen. Ruostumattomien terästen yleisen korroosion korroosionopeudet tutkituissa ympäristöissä (ei ravinnelisäyksiä) ovat olleet hyvin pieniä. Paikallisen korroosion mittauksissa todettiin, että hiiliteräksen paikallisen korroosion nopeus on bioottisessa ympäristössä huomattavasti suurempi kuin abioottisessa. Ruostumattomien terästen osalta tilanne ei ole yhtä selvä ja ainakin toistaiseksi paikallisen korroosion nopeudet ovat olleet pieniä kaikissa tapauksissa. Lopulliset tulokset saadaan kuitenkin vasta, kun koesarja lopetetaan ja näytteet tutkitaan. Kenttäkokeissa yhden vuoden näytteenotto on tehty, mutta tulokset analysoidaan ja raportoidaan vuoden 2013 raportissa.</p> <p>Osatehtävä 2: Biofilmin ominaisuudet</p> <p>Esikokeen tulosten perusteella tiedetään, että mikrobit muodostavat hiiliteräksen pinnalle biofilmin ja voivat tietyissä tapauksissa aiheuttaa hiiliteräksen korroosiota jo lyhyessä ajassa. Tulokset osoittivat, että mikrobit hyötyvät hiiliteräksen läsnäolosta siten, että hiiliteräksen läsnä ollessa vesinäytteissä todettiin enemmän mikrobeja ja niiden yhteisö oli monimuotoisempi kuin vesissä, joissa hiiliterästä ei ollut läsnä. Sulfaattia pelkistävien bakteerien (SRB) määrä kasvoi kaikissa näytteissä kolmen kuukauden altistuksen aikana verrattuna lähtötilanteeseen. Altistusajan kasvaessa kahdeksaan kuukauteen SRB määrä laski kaikissa näytteissä verrattuna kolmeen kuukauteen, mutta monimuotoisuus puolestaan lisääntyi altistusajan kasvaessa. Varsinaisen laboratoriokokeen ja kenttäkokeen tulokset analysoidaan ja raportoidaan v. 2013 raportissa.</p>		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
1 kansainvälinen julkaisu ja yksi opinnäytetyö (julkaisuja käytetään osana väitöskirjaa), julkinen vuosiraportti		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		

Osallistuminen kansainvälisiin konferensseihin (NACE Corrosion, International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management tms.), KYT vuosiseminaarit. Lisäksi VLJ-luolassa tehtävistä kenttäkokeista raportoidaan vuosittain TVO:lle.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2012

Tutkimushankkeen nimi Kansainväliset sosio-tekniset ja turvallisuushaasteet käytetyn ydinpolttoaineen geologisen loppusijoituksen toteutuksessa – 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 Tampereen yliopisto, Johtamiskorkeakoulu	Vastuuhenkilö Tapio Litmanen, JY	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) 3.2.4. Muut turvallisuustutkimukset (3.3. Ydinjätehuol. liittyvä yhteiskuntat. tutkimus)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa edellisellä KYT-ohjelmakaudella aloitetulle ydinjätetutkimukselle, joka mahdollisesti EU-hankkeen nimeltä InSOTEC (13 partneria). Täydentävä rahoitus EU/Euratom-hankkeen ohessa. Edellisen KYT-ohjelmakauden jälkeen projektitutkija Mika Kari sai tutkijakoulupaikan (SOVAKO) ja valmistelea väitöskirjaa JYU-UTA KYT2010 tutkimusprojektin tutkimusaineistosta.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot TEM (haastattelu) YM (haastattelu) STUK (haastattelu) Posiva (haastattelu) Fennovoima (haastattelu) Kansalaisjärjestö (haastattelu)	Ulkomaiset organisaatiot 13 EU-tutkimuspartneria: etupäässä yliopistoja ja yksi kansalaisjärjestö	Muut tutkimusohjelmat, tms. EU/ Euratom 7 puiteohjelma (Theme: Fission-2010-1.1.2; Research activities in support of implementation of geological disposal)
Tutkimuksen tavoite Empiirinen tavoite 1: a) identifioida eri näkemykset Suomen ydinjätehuollon sosio-teknisistä ja turvallisuushaasteista; b) katsoa kuinka eri toimijat (teknis-tieteellinen yhteisö, hallinto, kansalaisyhteiskunta ja markkinatoimijat) hahmottavat nämä jäljellä olevat haasteet. Empiirinen tavoite 2: päivittää tietämystä suomalaisesta uudesta (v. 1999 jälkeen julkaistusta) yhteiskuntatieteellisestä ydinjätetutkimuksesta ja analysoida sen painotuksia vertaillen tätä edeltävään alan tutkimuskirjallisuuteen.		
Tuloskategoria Tieteelliset julkaisut, populaari julkaisu	Julkaisujen lukumäärä 1 maaraportti 2 tieteellistä artikkelia 1 muu julkaisu	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tulokset auttavat hahmottamaan olemassa olevia sosio-teknisiä haasteita ydinjätehuollon toteuttamiseen liittyen. Eri osapuolten näkemysten pohjalta tuotettu kuva tämänhetkisesti nähtävissä olevista sosio-teknisistä haasteista auttaa arvioimaan ydinjätehuollon turvallisuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. FInSOTEC-projekti edistää eri toimijoiden kansainvälistä yhteistyötä tuottamalla saman EU-projektin (InSOTEC) puitteissa eri maiden geologisen sijoituksen sosio-teknisistä haasteista. Tulokset mahdollistavat Suomen sosio-teknisten haasteiden vertaamisen muiden EU-projektimaiden vastaaviin tuloksiin. Koko EU-projektin ja maakohtaisten tulosten levittäminen esimerkiksi Eurajoen kunnan, Posivan, ydinvoimayhtiöiden tietoisuuteen sekä ydinjätehuollon kehittämisessä mukana olevien toimijoiden keskuuteen lisää ymmärrystä tämän hetken tilanteesta ja mahdollisesti odotettavissa olevista haasteista. Kyse on osittain ydinjätehuollon kehittämishaasteiden ennakoinnista.		

Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain)

Osatavoite 1. Tavoitteena oli tuottaa EU-projektin työskentelyn pohjalta yksi EU-projektin yhteinen tieteellinen artikkeli, yksi ns. maaraaportti, yksi FINSOTEC-projektin oma kansainvälinen tiedeartikkeli, joka keskittyy vain Suomen ydinjätehuollon sosioteknisiin haasteisiin.

Tulokset: EU-projektin yhteinen konferenssipaperi on tehty. Suomea käsittelevä maaraaportti on julkaistu. Yksi kansainvälinen tiedeartikkeli on julkaistu. Yksi kansainvälisen tiedeartikkelin käsikirjoitus on arviointiprosessissa.

Osatavoite 2. Yksi yleistajuinen mediajulkaisu

Tulokset: FUTURA-lehden kevään 2013 numeroon on tulossa yleistajuinen julkaisu tutkimusprojektin tuloksista

Osatavoite 3. Lisäksi tavoitteena on huolehtia EU-tutkimusprojektin tulosten tiedonkulusta relevanteille suomalaisille toimijoille ja toimijaryhmille, kuten Eurajoen kunta, Posiva, ydinvoimayhtiöt, STUK, Työ- ja elinkeinoministeriö, Ympäristöministeriö ja kansalaisjärjestöt.

Tulokset: Tutkimustuloksista on informoitu eri toimijoita olemalla heihin yhteydessä ja toimittamalla maaraaportti.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Maaraaportti: Nurmi, Anna, Kojo, Matti, Litmanen, Tapio. 2012. "Identifying remaining socio-technical challenges at the national level: Finland." Working paper, 2012. International Socio-Technical Challenges for Implementing Geological Disposal (InSOTEC; see www.insotec.eu). The Seventh Framework Programme Theme [Fission-2010-1.1.2] [Research activities in support of implementation of geological disposal] (Grant agreement no: 269906).

Tiedeartikkeli: Litmanen, Tapio, Kojo, Matti & Nurmi, Anna. 2012. Socio-Technical Challenges of Finland's Nuclear Waste Policy: Discussion of the Techno-Scientific Community on the Geological Disposal of Spent Nuclear Fuel. Risk, Hazards & Crisis in Public Policy 3(3), pp. 83-103.

Tiedeartikkelin käsikirjoitus: Litmanen, Tapio, Vesalainen, Jurgita & Nigay, Tatiana. 2012. Risk governance through risk dialogue. Copper corrosion as a socio-technical safety challenge in the geological disposal of spent nuclear fuel.

Populaari artikkeli: Megaluokan sosiotekninen projekti välietappiin. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen haasteiden ja epävarmuuksien tulevaisuushallinta. Futura-lehti, kevät 2013.

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

1. Osallistuminen OECD/NEA's kokoukseen: Paris, 25-27, January 2012: "Preparing for Construction and Operation of Geological Repositories – Challenges to the Regulator and the Implementer. A joint international workshop of the RWMC Regulators' Forum and the Integration Group for the Safety Case, 25-27 January 2012")
2. Anna Nurmi and Tapio Litmanen osallistuivat InSOTEC seminaariin: InSOTEC's Stakeholder Seminar, March 21-22, 2012, Barcelona: Stakeholder Seminar: Discussing Socio-Technical Challenges of Long-term Radioactive Waste Management
3. Anna Nurmi and Tapio Litmanen osallistuivat InSOTEC seminaariin: InSOTEC's project meeting at Barcelona, March 23, 2012
4. Tapio Litmanen piti esitelmän "Adaptation and Resistance towards a Repository in Finland" tiedekongressissa: AAAS's Conference at Vancouver, 16–20 February 2012, scientific symposium "Can Science and the Public Collaborate on the Global Future of Nuclear Waste?", 19 February 2012.
5. Projekti on tehnyt yhteistyötä Etelä-Korean tutkijoiden kanssa sekä avustanut tutkimusryhmän Suomi-casen raportointia, tutkijavierailu kesäkuussa 2012 Jyväskylän yliopistossa: Tutkimusprojekti: "The Public Admissibility of High Level Nuclear Waste Management: The Finnish Case", professor T.K. Ahn from Seoul National University and funded by Korea Nuclear Energy Promotion Agency (KONEPA).
6. Tapio Litmanen piti esitelmän tutkimustuloksista KYT2014 tutkimusohjelman johtokunnan kokouksessa Helsingissä 6.11.2012
7. Tapio Litmanen and Jurgita Vesalainen pitivät esitelmän kuparikorrosiotutkimuksestaan: Second Aalto Event of Science and Technology Studies: Energy in Society, Helsinki 5.-6.11.2012.
8. Kansallinen tutkimusverkosto perustettu ydinjäteasioita tutkiville yhteiskuntatieteilijöille.
9. Tapio Litmanen esitteli FInSOTEC-projektin tuloksia KYT2014 ohjelman kansainväliselle arviointipaneelille Helsingissä 29.11.2012
10. Väitöskirjaprojektiaan Suomessa tekevän Vincent F. Ialentin

avustaminen: PhD Student, Anthropology, Cornell University, Ethnography of Finland's Nuclear Waste Disposal Project

11. Väitöskirjaprojektiaan Saksassa edistävän Nagako Saton avustaminen Suomi-tietojen osalta: PhD Student, Lueneburg University, Germany: Risk perceptions on nuclear energy in Finland, Germany and Japan.

12. Väitöskirjaprojektiaan Skotlannissa edistävän Michael Allanin avustaminen Suomi-tietojen osalta: PhD Student, University of Stirling Law School, Scotland: UK Nuclear Waste Law and Policy

Liite 2 KYT2014 julkaisut ja opinnäytteet 2012

Arvojulkaisut⁴

Huittinen, N., Rabung, Th., Schnurr, A., Hakanen, M., Lehto, J. & Geckeis, H. 2012, New insight into Cm(III) interaction with kaolinite - influence of mineral dissolution, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 99 (2012) 100-109.

Huittinen, N., Sarv, P. & Lehto, J. 2012, A ¹H and ²⁷Al NMR investigation of Y(III) and Eu(III) interaction with kaolinite (*Applied Clay Science*, In Press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2013.04.005>).

Ivanchenko, M., Yagodzinsky, Y. & Hänninen, H., 2012, Hydrogen-Induced Mechanical Losses in Oxygen-Free Copper. *Solid State Phenomena*, 184, pp. 122-127.

Jokelainen, L., Meski, T., Lindberg, A., Soler, J., Siitari-Kauppi, M., Martin, A. & Eikenberg, J. 2012. The Determination of Cs-134 and Na-22 diffusion profiles in granodiorite using gamma spectroscopy, published in *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*.

Kari, O.-P., Elakneswaran, Y., Nawa, T. & Puttonen J., 2012, A model for a long-term diffusion of multispecies in concrete based on ion–cement-hydrate interaction, *Journal of Materials Science*, doi: 10.1007/s10853-013-7239-3.

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.

Kupcik, T., Huittinen, N., Rabung, Th., Lützenkirchen, J., Geckeis, H. & Fanghänel, Th., 2012, Macroscopic and spectroscopic investigations on Eu(III) and Cm(III) sorption onto gibbsite (α -Al(OH)₃), bayerite (β -Al(OH)₃) and corundum (α -Al₂O₃) (lähetytty lehteen *Journal of Colloid and Interface Science*).

Kuva, J., Siitari-Kauppi, M., Lindberg, A., Aaltonen, I., Turpeinen, T., Mylly, M. & Timonen, J., 2012, Microstructure, porosity and mineralogy around fractures in Olkiluoto bedrock, *Eng. Geol.* 139-140, 28-37 (2012).

Litmanen, T., Kojo, M. & Nurmi, A., 2012, Socio-Technical Challenges of Finland's Nuclear Waste Policy: Discussion of the Techno-Scientific Community on the Geological Disposal of Spent Nuclear Fuel. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy* 3(3), pp. 83-103.

Nyssönen, M., Bomberg, M., Kapanen, A., Nousiainen, A., Pitkänen, P. & Itävaara, M., 2012, Methanogenic and sulphate-reducing microbial communities in deep groundwater of crystalline rock fractures in Olkiluoto, Finland. *Geomicrobiology Journal*, 29:863–878, 2012, doi-link: 10.1080/01490451.2011.635759

⁴ Julkaisujen luokittelu eri kategorioihin (arvojulkaisut, konferenssijulkaisut ja työraportit, opinnäytteet hankepäälliköiden ilmoitusten perusteella.

Pitkänen, E., Jouhten, P., Blomberg, P., Holm, L., Penttilä, M., Rousu, J. & Arvas, M., 2013, Comparative genome-scale reconstruction of gapless metabolic networks for present and ancestral species (lähetetty julkaistavaksi *Molecular Systems Biology* -lehteen).

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. *FEMSMicrobiology* (in press)

Roivainen, P., Makkonen, S., Holopainen, T. & Juutilainen, J., 2012, Element interactions and soil properties affecting the soil-to-plant transfer of six elements relevant to radioactive waste in boreal forest. *Radiat Environ Biophys* 51(1):69-78.

Savolainen, K., Saukkonen, T., & Hänninen, H., 2012a, Localization of Plastic Deformation in Copper Canisters for Spent Nuclear Fuel. *World Journal of Nuclear Science and Technology*, 2(1), pp. 16-22.

Savolainen, K., Saukkonen, T., & Hänninen, H., 2012b, Banding in Friction Stir Weld of Copper. *Science and Technology of Welding and Joining*, 17(2), pp. 111-115.

Tuovinen, T.S., Saengkul, C., Ylipietä, J., Solatie, D. & Juutilainen J., 2012, Transfer of ¹³⁷Cs from water to fish is not linear in two northern lakes *Hydrobiologia* DOI 10.1007/s10750-012-1224-8.

Voutilainen, M., Sardini, P., Siitari-Kauppi, M., Kekäläinen, P., Aho, V., Mylly, M. & Timonen, J., 2012, Diffusion of tracer in altered tonalite: experiments and simulations with heterogeneous distribution of porosity. *Transport Porous Med.* 96, 319-336 (2012).

Voutilainen, M., Siitari-Kauppi, M., Sardini, P., Lindberg, A. & Timonen, J. 2012, Pore-space characterization of an altered tonalite by X-ray computed microtomography and the ¹⁴C-labeled-polydimethylmethacrylate method. *J. Geophys. Res.* 117, B01201 (2012).

Yagodzinsky, Y., Malitckii, E., Saukkonen, T., Hänninen, H., 2012, Hydrogen-enhanced creep and cracking of oxygen-free phosphorous-doped copper. *Scripta Materialia*, 67, pp. 931-934.

Konferenssijulkaisut ja työraportit⁵

Ahonen, L., Heikkinen, N., Kietäväinen, R., Kukkonen, I., & Wiersberg, T., 2013, Dissolved gases in crystalline rock, observations from Outokumpu deep drill hole. International symposium and Workshop on Gas Generation and Migration: Implications for the performance of geological repositories for radioactive waste disposal. Organised by the FORGE Euratom Project 5-7. Feb 2013, Luxembourg. Abstrakti ja posterit.

Ari-Lahti, E., Mattila, M., Lehtikuusi, T., Saario, T. & Varis, P., 2012, Sulphide-induced embrittlement of CuOFP– Intermediate Report 2. VTT Research Report VTT-R-00291-12, January, 2012

Ari-Lahti, E., Lehtikuusi, T., Saario, T. & Varis, P., 2012, Sulphide-induced embrittlement of CuOFP– Intermediate Report 3. VTT Research Report VTT-R-07554-12, November, 2012.

Ari-Lahti, E., Lehtikuusi, T., Saario, T., Sipilä, K. & Varis, P., 2013, Sulphide-induced embrittlement of CuOFP– Final Report 2012. VTT Research Report VTT-R-00066-13, December 2012

⁵ Kaikki KYT2014-hankkeet ovat laatineet vuosiraportin. Niistä tähän on otettu koordinaattorille ilmoitettuja ne, jotka on julkaistu esim. kyseisen tutkimuslaitoksen virallisessa julkaisusarjassa, ts. ne joille on ilmoitettu yksikäsitteinen raportin numero.

Bomberg, M., & Itävaara M., 2012, Depth-related changes in microbial diversity and active microbial communities of Fennoscandian deep terrestrial subsurface aquifers, Next Generation Sequencing at the Poles; University of Liege, Belgium 21-23.11.2012

Carpén, L., Maukonen, J., & Salo, S., 2012, Accelerated corrosion of carbon steel and zinc in oxygen-free groundwater - Due to the microbiological activity?: Nace International. Nace International Corrosion Conference & Expo 2012, March 11-15, 2012, Salt Lake City, Utah, USA, Pp. C2012-0001397.

Carpén, L., Vepsäläinen, M., Rajala, P. & Bomberg, M., 2013, Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa – Vuosiraportti 2012. Espoo: VTT. 50 s. Tutkimusraportti VTT-R-01485-13.

Häkkinen, S., Harjula, R., & Paajanen, A., 2012, Erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus maailmalla, tutkimusraportti, VTT-R-09387-11.

Hänninen, H., Malitckii, E., Saukkonen, T., & Yagodzinskyy, Y., 2012, 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, 8 p.

Huittinen, N., Sarv, P. & Lehto, J., 2012, The specific sorption of Y(III) onto γ -alumina: A solid-state ^1H MAS NMR study, Advanced Techniques in Actinide Spectroscopy (ATAS), Dresden, Saksa, 5-7.11.2012.

Itälä, A. & Muurinen, A. 2012 Na/Ca selectivity coefficients of Na-montmorillonite at different temperatures, Montpellier, 22.-25.10.2012 (Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement), posteresitys.

Itälä, A., 2012, Modelling Transport of Water and Ions, and Chemical Reactions in Compacted Bentonite – Comparison Between TOUGHREACT, Numerrin and COMSOL Multiphysics, TOUGH Symposium 2012, September 17–19, 2012, in Berkeley, USA

Itävaara, M, Bomberg, M, & Nyysönen, M. 2012. Diversity of sulphate reducing bacteria in deep earth crust aquifers of Fennoscandian Shield, EMBO Workshop on Microbial sulphur metabolism, April 15-18.4.2012 The Netherlands, oral presentation

Itävaara, M. 2012. Deep biosphere research. Baltic microbiology conference, BMC 31.10-4.11.2012, Latvia, Riiga (Invited speaker)

Itävaara, M., 2012, Syväbiosfääritutkimukset. Tieteenpäivät 2012. (oral presentation)

Itävaara, M., Bomberg, M., Rajala, P., Purkamo, L. & Ojala, L., 2012, GEOMIKRO tutkimusraportti 2012. Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus. Tutkimusraportti VTT-R-07139-12.

Juutilainen, P., 2012, Transition from thermal to fast reactors in Finland, 12IEMPT-tapaaminen, 24.-27.9., Praha, Tsekki, 2012

Kari O.-P., 2012, Modelling the Ageing of Concrete under Nuclear Waste Disposal Conditions, In: Hänninen, H. & Kiesi, T., Aalto University publication series SCIENCE + TECHNOLOGY 20/2012 Materials Science and Technology - Nuclear Materials, Advanced Course Kon-67.5100 Postgraduate Seminar on Engineering Materials, seminar papers September 5-6, 2012. Department of Engineering Design and Production 2012, Aalto University, pp. 81-90.

Kataja, M., Harjupatana, T., & Alaraudanjoki, J., 2012, Application of X-ray tomography in bentonite erosion research, BelBar Project Start-up Workshop, Lund, 8.3.2012.

Kataja, M., Harjupatana, T., Alaraudanjoki, J., Laitinen, M. & Niemistö, A., 2012, X-ray tomographic method for measuring three-dimensional wetting and deformation of compacted bentonite, Montpellier, 22.-25.10.2012 (Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement), posteresitys.

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen I.T., Kortelainen N., Nyyssönen M. & Itävaara M., 2012, Ancient water and isolated ecosystems in crystalline rock. The 22nd V.M. Goldschmidt Conference June 24-29 2012, Montreal, Canada. Abstrakti ja esitelmä.

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I.T., Niedermann, S.T. & Wiersberg, T., 2013, Groundwater residence times of millions of years revealed by noble gases in Outokumpu, Finland. Geologian tutkijapäivät 2013. Abstrakti ja esitelmä.

Lahtinen, M., Hölttä, P., Niemiaho, S., Elo, O., & Lehto, J., 2012, Formation and stability of bentonite colloids, Montpellier, October 22-25, 2012. (Clays in natural and Engineered Barrier for Radioactive Waste Confinement). (to be published)

Lehmusmies, S., Pehkonen, A., Forsen, O., Saario, T., Becker, R., & Granfors, M., 2012, Corrosion of copper by water under oxygen-free conditions. The European Corrosion Congress Eurocorr 2012, Istanbul, 9 – 13 September 2012. EUROCORR 2012 Proceedings. European Federation of Corrosion. Istanbul (2012), 15 pp.

Liljeström, V., Matuszewicz, M., Suuronen, J.-P., Olin, M., Muurinen, S. & Serimaa, R., 2012, Probing clay planned for radioactive waste disposal. Physics Days 13.–15. 3. 2012, Joensuu. Oral presentation.

Litmanen, T., 2012, Adaptation and Resistance towards a Repository in Finland, in. AAAS's Conference at Vancouver, 16–20 February 2012, scientific symposium "Can Science and the Public Collaborate on the Global Future of Nuclear Waste?", 19 February 2012.

Litmanen, T., 2012, Preparing for Construction and Operation of Geological Repositories – Challenges to the Regulator and the Implementer. A joint international workshop of the RWMC Regulators' Forum and the Integration Group for the Safety Case, 25-27 January 2012.

Litmanen, T., 2013, Megaluokan sosiotekninen projekti välietappiin. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen haasteiden ja epävarmuuksien tulevaisuushallinta. Futura-lehti, kevät 2013.

Malitckii, E., Yagodzinsky, Y., Saukkonen, T., & Hänninen, H., 2012, Hydrogen-induced acceleration of creep in oxygen-free phosphorus-doped copper. JUNIOR EUROMAT, Switzerland, Lausanne, Université de Lausanne, 23-27 July 2012. (Poster presentation)

Matuszewicz, M., Liljeström, V., Suuronen, J.-P., Root, A., Muurinen, A., Serimaa, R., & Olin, M. 2012, Microstructural investigation of calcium montmorillonite, in Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement October 22-25 in (to be published in Clay Minerals)

Muurinen, A., Järvinen, J., & Tanhua-Tyrkkö, M., 2012, Measurement of chloride concentration in the porewater of compacted bentonite with ion-selective electrode, in Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement October 22-25, posteresitys.

- Myllykylä, E., Tanhua-Tyrkkö, M., Bouchet, A., & Tiljander, M., 2012, Dissolution of Na- and Ca-montmorillonite in groundwater stimulants under anaerobic conditions. Clays in natural & engineered barriers for radioactive waste confinement 5th international meeting, Montpellier October 22nd -25th 2012. (to be published in Clay Minerals)
- Nurmi, A., Kojo, M. & Litmanen, T., 2012, Identifying remaining socio-technical challenges at the national level: Finland." Working paper, 2012. International Socio-Technical Challenges for Implementing Geological Disposal (InSOTEC; see www.insotec.eu)
- Olin, M., Laitinen, M., Pulkkanen, V.-M., Itälä, A., & Tanhua-Tyrkkö, M., 2012, Modelling transport of water and ions and chemical reactions in compacted bentonite – two flexible modelling platforms, Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement October 22-25, posteresitys.
- Olin, M., Puhakka, E., Itälä, A., Tanhua-Tyrkkö, M., Pulkkanen, V.-M., Nordman, H., Kajanto, K., Puukko, E. & Koskinen, L., 2012, Radionuclide transport modelling by molecular chemistry, surface complexation and reactive transport modelling, Oral presentation. 1st Workshop of the CROCK, Stockholm, 24nd May 2012
- Olin, M., Pulkkanen, V.-M., Nordman, H., & Poteri, A., 2012, How to predict Kd values outside experimental studied conditions and to estimate related uncertainty? Oral presentation. 1st Workshop of the CROCK, Stockholm, 24nd May 2012
- Rantala, J., Auerkari, P., Salonen, J., Holmström, S., Laukkanen, A., & Saukkonen, T., 2012, Creep damage development in canister copper, 12th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2012), May 27-31, 2012, Kyoto, Japan
- Rantala, J., Salonen, J., Auerkari, P., Laukkanen, A., Holmström, S., Saukkonen, T., 2013, KYT 2014 / MICO - Material integrity of welded copper overpack – Final report 2012, Research Report VTT-R-01515-13.
- Rasilainen, K., Vuori, S., Olin, M., Ahonen, L. & Suksi, J. 2013, Käytetyn polttoaineen huolto - Turvallisuusperustelu tutkimuksen ja päätöksenteon välineenä, VTT Technology 92, 52 s. + liitt. 2s. (<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T92.pdf>)
- Rättö, M. & Itävaara, M., 2012, Microbes in bentonite, VTT Technology 20, 30 pages, ISBN 978-951-38-7833-7
- Rättö, M., & Itävaara, M., 2012, Microbial activity poster in bentonite buffers. Literature study. Espoo, VTT. 30 p. VTT Technology; 20, ISBN 978-951-38-7833-7, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T20.pdf>
- Räty, A., 2012, Sivuaktinidien poltto osittaisella MOX-latauksella, VTT Tutkimusraportti VTT-R-00541-13, 2012.
- Rintala, L., 2012, Reducing Radioactive Waste Volume with Transmutation, Seminar on Generation IV Nuclear Energy Systems, Risø, Denmark 29-31 October, 2012
- Rintala, L., Clerc, S., Aarnio, P. & Salomaa, R., 2012, Monte Carlo Simulation of Transmutation of TRU and long-lived FP elements in Accelerator Driven System, 21st International Conference Nuclear Energy for New Europe, Ljubljana, Slovenia, September 5-7, 2012, Proceedings of the 21st International Conference Nuclear Energy for New Europe, DVD, pp. 905.1-8

Salomaa, R., Aarnio, P., Ala-Heikkilä, J., Isotalo, A., Kuopanportti, J., Rintala, L. & Vanhanen, R., 2012, Applicability of Thorium Fuel in Present LWRs, 21st International Conference Nuclear Energy for New Europe, Ljubljana, Slovenia, September 5-7, 2012, Proceedings of the 21st International Conference Nuclear Energy for New Europe, DVD, pp. 904.1-8

Sipilä, K., & Saario, T., 2013, On-line in situ corrosion monitoring methods for nuclear waste disposal conditions. VTT Research Reports VTT-R-00061-13, January 2013.

Vesikari, E., Koskinen, P., & Ferreira, M., 2012, Durability of Concrete Barriers in Final Repositories of Nuclear Waste 2012. VTT Research Report, R-01454-13, 2012. 57p.

Viitanen, T., 2012, Intelligent nuclide selection capability in the reactor physics and inventory calculation code Serpent 2, 12IEMPT-tapaaminen, 24.-27.9., Praha, Tsekki, 2012

Voutilainen, M., 2012, Simulated Diffusion in Altered Tonalite Using Tomographic Imaging Combined with Diffusion Experiments. Puhe, Fysiikan päivät, Joensuu (13.-15.3.2012).

Vuorinen, U., 2012, ¹⁴C aktivoituneessa metallijätteessä: kirjallisuusselvitys. Tutkimusraportti VTT-R-05446-12.

Wiikinkoski, E. & Harjula, R., 2012, Separation of actinides and lanthanides in acidic solution with inorganic zirconium phosphate ion exchanger, EUFEN1-konferenssi, Tarragona, Espanja 2-4.4.2012.

Opinnäytteet

Althermeler, N., 2012, Taxonomy based Pathway Enrichment Analysis. Pro gradu –tutkielma, Helsingin yliopisto, valmisteilla

Clerc, S., 2012, Application of SERPENT Monte Carlo Code for simulation of LWR waste transmutation in Myrrha-like fast facilities, Internship report for Grenoble Institute of Technology, 2012, 51 p., kandidaatintyö

Elo, O., 2012, Veden ionivahvuuden vaikutus bentoniittikolloidien stabiiliuteen, B.Sc. Thesis

Eloranta, A., 2012, Experimental Method for Measuring Elasto-Plastic Parameters of Bentonite Clay, University of Jyväskylä, May, 2012 (Thesis).

Gallardo Fores, J. 2012, Shear resistance of backfill component's interfaces in nuclear waste disposal, Master thesis, (http://civil.aalto.fi/fi/tutkimus/pohjarakennus/opinnaytteet/d_juan_gallardo_fores.pdf)

Harjupatana, T., 2012, Veden kulkeutumisen ja muodonmuutosten mittaaminen bentoniittinäytteissä röntgentomografiamenetelmällä, University of Jyväskylä, December, 2012 (Thesis).

Herrmann, Y., 2102, Comparison of Metagenomic Data by identifying enriched Pathways in Metabolic Networks (2012). MSc thesis, University of Bielefeld.

Huittinen, N., 2013, Sorption of trivalent actinides onto gibbsite, γ -alumina, and kaolinite - A spectroscopic study of An(III) interactions at the mineral-water interfaces. Doctoral Thesis, University of Helsinki, Department of Chemistry, Laboratory of Radiochemistry, Report Series in Radiochemistry 32/2013

Hänninen, K., 2012, Seleenin sorptio kiviainekseen ja menetelmien validointi, Opinnäytetyö Metropolia Ammattikorkeakoulu/ Laboratorioanalyttikkolinja 2012, 54+15 sivua

Kajanto, K., 2012, The effect of geometry on radionuclide transport in a bedrock fracture, Erikoistyö Aalto-yliopisto, Perustieteiden korkeakoulu, Teknillisen fysiikan laitos.

Leskinen, J., 2012, Tyypillisen kiehutusvesireaktorin polttoainepun tuottama aksiaalinen lämpötehojakauma 60 MWd/kgU palamalla reaktorin sulkemisen jälkeen (Axial distribution of decay power in a typical BWR fuel assembly at 60 MWd/kgU burnup after discharge), 2012, 28 p., kandidaatintyö

Ojala, L., 2012, Oxidoreductases from deep biosphere microbes- novel enzymes for fuel cell applications. Helsingin yliopisto 71 pages, 5 appendices, pro gradu.

Rytkönen, T., 2012, Accumulation of metals, cobalt (Co), molybdenum (Mo) and nickel (Ni), to soil invertebrates in a boreal forest in Nilsiä, Eastern Finland. Pro gradu. Ympäristötieteen laitos. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.

Savolainen, K., 2012, Friction Stir Welding of Copper and Microstructure and Properties of the Welds. Aalto University, Department of Engineering Design and Production. Doctoral dissertations 13/2012, 169 p.

Sipilä, K., 2012, The Effect of Sulphide-Containing Groundwater on Creep Behaviour of Copper, Master of Science Thesis, December 2012, Tampere University of Technology, 101+11 pages (in Finnish)

Turunen, S., 2012, Cesiumin siirtyminen ravintokasveista poroon Pohjois-Suomessa. LuK-tutkielma. Ympäristötieteen laitos. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.

Voutilainen, M., 2012, Characterization of structure and diffusion in geological materials. Doctoral Thesis, Department of Physics, University of Jyväskylä Research Reports 12/2012, (2012).

Liite 3 KYT2014 organisaatio 2012

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.
Juhani Hyvärinen (Malla Seppälä)	Fennovoima	

* Virkavapaalla 2012

KYT2014 Tukiryhmä I: Puskuri, täyteaineet ja kapseli

Jäsen	Organisaatio	Tehtävä
Marko Alenius	STUK	pj.
Rainer Laaksonen	STUK	varapj.
Katriina Labbas	STUK	
Jaakko Leino	STUK	
Ari Luukkonen	STUK	
Tuulikki Sillanpää	STUK	
Jarkko Kyllönen	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	
Janne Viertävä	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	
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 2012

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 2012 hankehaun yhteydessä. Käytännön seurantatyö tapahtuu muun muassa erityisissä seurantakokouksissa ja näitä kokouksia varten tukiryhmät I ja II ovat v. 2012 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); Antti Niemistö, Numerola Oy
 - Bentoniitin ominaisuuksien arviointi: 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
 - Korroosion monitorointi loppusijoitusolosuhteissa (KAISA); Timo Saario, VTT
 - Kuparin korroosio hapettomassa vedessä; Antero Pehkonen, 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**
 - Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)/HYRL; Juhani Suksi, HYRL
 - Turvallisuusperustelun täydentävät tarkastelut TUPER/GTK; Lasse Ahonen, GTK
 - Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER); osahanke laskennallisen analyysimallin kehittäminen; Antti Lempinen, Ludus Mundi Oy
5. Nuklidikulkeutuminen
 - Kallion in situ tutkimukset; Marja Siitari-Kauppi, HYRL
 - Kiven kolmiulotteisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusio- mallinnukseen; Jussi Timonen, JYFL
 - Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnalle; Nina Huittinen, HYRL
 - C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HILLI-14); Kaija Ollila, VTT
6. Mikrobiologia
 - Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (Geomikro); Merja Itävaara, VTT
 - Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI); Ilmo Kukkonen, GTK
 - Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO); Juho Rousu, Aalto
 - Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa; Leena Carpén, VTT
7. Biosfääri
 - Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa; Jukka Juutilainen, UEF
8. Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat
 - Kehittyneet polttoainekierrot - Uudet erotustekniikat; Risto Harjula, HYRL
 - Kehittyneet polttoainekierrot - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi; Tuomas Viitanen, VTT
 - Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA); Rainer Salomaa, Aalto

Tukiryhmä III Yhteiskunta ja ihminen (Jaana Avolahti)

9. Yhteiskuntatiede
 - International Socio-Technical and Safety Challenges for Implementing Geological Disposal of Spent Nuclear Fuel - Finland and EU - FInSOTEC-2012-2014; Tapio Litmanen, JY