

KYT2014 Vuosikatsaus 2011
22.5.2012

KYT2014

KANSALLINEN YDINJÄTEHUOLLON
TUTKIMUSOHJELMA
2011-2014

Vuosikatsaus
2011

Kari Rasilainen

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| Esipuhe | 3 |
| 1. Johdanto | 4 |
| 2. Tutkimusohjelman tavoitteet | 5 |
| 3. Tutkimushankkeet vuonna 2011 | 6 |
| 3.1 Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat | 7 |
| 3.2 Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus | 9 |
| 3.2.1 Turvallisuusperustelu | 9 |
| 3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky | 10 |
| 3.2.3 Muut turvallisuustutkimukset | 12 |
| Viitteet | 17 |
| | |
| Liite 1 KYT2014 hankekohtaiset vuosiyhteenvedot 2011 | 19 |
| Liite 2 KYT2014 julkaisut ja opinnäytteet 2011 | 70 |
| Liite 3 KYT2014 organisaatio 2011 | 75 |
| Liite 4 KYT2014 hankeseuranta 2011 | 77 |

ESIPUHE

Tämä on Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT2014) sisällöllinen vuosikatsaus vuodelta 2011. Vuosikatsauksessa kuvataan lyhyesti tutkimusohjelman saavuttamia tutkimustuloksia hankepäälliköiden raportointien 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. Kahden tutkimushankkeen vuosiyhteenvetoja ei ole toimitettu koordinaattorille.

1 Johdanto

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

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

Ydinjätehuollon toimintaympäristössä tapahtuu tutkimusohjelmakaudella 2011–2014 merkittäviä muutoksia sekä Suomessa että ulkomailla. Suunnitelmien mukaan Posiva Oy jättää ydinjätelaitoksen rakentamislupahakemuksen valtioneuvostolle vuoden 2012 loppuun mennessä. Suomessa on uusi ydinenergian ja ydinjätehuollon toimija, Fennovoima Oy.

Tutkimusohjelmakauteen ajoittuu myös useita muita ydinjätehuoltoon suoraan ja välillisesti liittyviä päätöksentekomenettelyjä. Ohjelmakauden aikana on tarkoitus ottaa nyt rakenteilla oleva ydinvoimalaitosyksikkö (Olkiluoto 3) käyttöön ja käsitellä uusien ydinvoimalaitosten (Olkiluoto 4, Fennovoima 1) rakentamislupahakemukset. Otaniemen tutkimusreaktorin (FiR1) käyttö lupa uusittiin v. 2011 vuoden 2023 loppuun asti. VTT on käynnistämässä uusien ydintekniikan tilojen ja niihin liittyvien laitteistojen rakentamista Otaniemeen. Uudet tilat edistävät myös ydinjätehuollon ja radiokemian tutkimuksia.

Ruotsissa saatetaan loppuun käytetyn ydinpolttoaineen kapselointilaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittely. Hakemus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilojen rakentamislupaa varten jätettiin viranomaisille vuoden 2011 maaliskuussa. USA:ssa nk. Blue Ribbon -komitea on raportoinut (BRC 2012) vaihtoehtoja Yucca Mountainiin kaavailulle geologiselle loppusijoitukselle, josta luovuttiin v. 2010 poliittisella päätöksellä.

EU:n ydinenergia- ja ydinjätetutkimusta tehdään ns. Euratom-puiteohjelmien piirissä. Parhailaan on menossa 7. puiteohjelman (2007–2011) 2-vuotinen jatko aika. 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-ohjelmaa edeltävälle KYT2010-tutkimusohjelmalle toteutettiin kansainvälinen arviointi vuonna 2007 (Apted et al. 2008). Arviointiryhmä totesi, että tutkimusohjelmassa siihen mennessä saavutetut tulokset ja ohjelman rahoitus ovat tasapainossa, eri tutkimusalueet ovat siinä edustettuina ja niitä voidaan pitää riittävinä. Arviointiryhmä esitti kehittämisehdotuksia muun muassa teknisen kehityksen seurantaan, yleiseen ydinjätehuoltoon liittyvään koulutukseen, osaamiskeskuksiin sekä laajoihin ja integroituihin tutkimusprojekteihin. Arviointiryhmän ehdotukset on otettu huomioon KYT2014-ohjelmaa suunniteltaessa koskien esim. laajoja integroituja hankkeita ja koulutuksen valmistelua. Samoin arviointiryhmän suositukset on otettu huomioon ohjelman organisoinnissa ja toimintaohjeen uusimisessa. Arviointiryhmän mainitsemia laajoja integroituja tutkimusprojekteja kutsutaan KYT2014-ohjelmassa koordinoituiksi hankkeiksi.

2. Tutkimusohjelman tavoitteet

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

Tutkimusohjelman sisältö muodostuu kansallisen osaamisen kannalta keskeisistä tutkimuskohteista. Keskeisimmiksi katsottuihin aihepiireihin kaavallaan koko tutkimuskauden kattavia koordinoituja hankkeita. Ydinjätehuollon valmistelutöihin, toteutukseen tai viranomaistarkastukseen suoranaisesti kuuluvat hankkeet eivät kuulu KYT2014-tutkimusohjelmaan.

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

Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) rahoittaa vuosittain ydinjätehuollon tutkimushankkeita työ- ja elinkeinoministeriön esityksen perusteella. TEM:n esitys perustuu KYT-johtoryhmän rahoitussuositukseen. Vuosittain jaettava rahamäärä perustuu jätehuoltovelvollisten vastuumääriin ja oli vuonna 2011 noin 1,7 miljoonaa euroa. Olkiluoto 3 -laitosyksikön käyttöönotto vaikuttaa aikanaan sen omistavien ydinjätehuoltovelvollisten vastuumääriin, jolloin tutkimusrahoitukseen on vastaavasti osoitettavissa enemmän varoja.

KYT2014-tutkimusohjelma tukee ja kannustaa osallistumaan ydinjätetutkimuksen kansainvälisiin ja EU-hankkeisiin. Hankkeita voidaan toteuttaa myös VYR:n ja muiden suomalaisten tai ulkomaisten rahoittajien yhteisrahoituksella. Yhteisrahoitteisiin hankkeisiin sovelletaan samoja rahoitusehtoja ja vaatimuksia kuin VYR:n rahoittamiin hankkeisiin. Yritysten osalta niihin sisältyy EU:n valtiontukisäännösten de minimis -sääntö.

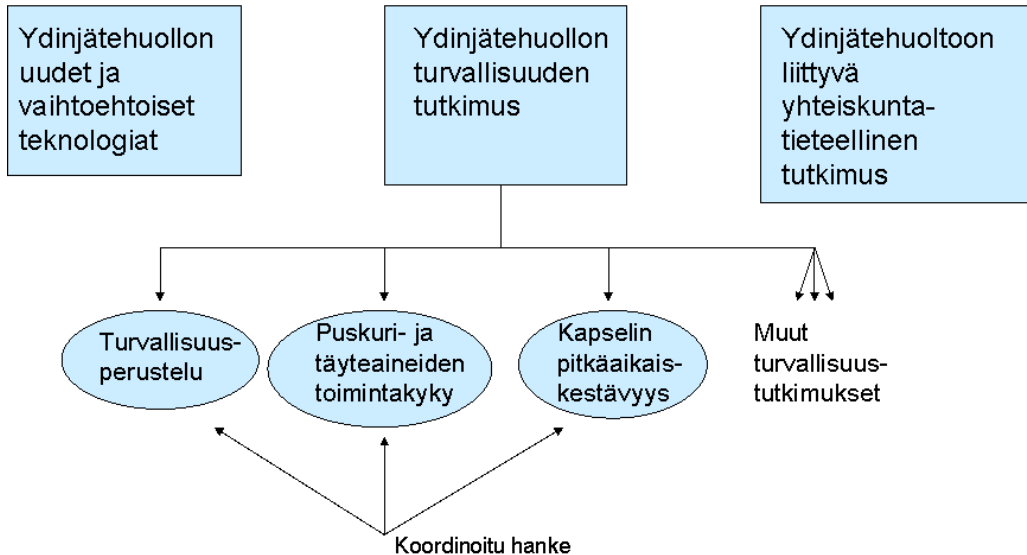
KYT2014-ohjelma pyrkii osaltaan varmistamaan olennaisen kansallisen asiantuntemuksen jatkuvan saatavuuden, edistämään tieteellistä ja korkeatasoista osaamista sekä lisäämään yleistä tietämystä ydinjätehuollon alalla. Tämä toteutuu mm. edistämällä uuden asiantuntijapolven kouluttamista alalle. KYT2014-ohjelma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

KYT2014-ohjelman tutkimussisältöön, raportointiin ja tiedonvälitykseen liittyvät tavoitteet on esitetty tarkemmin KYTin puiteohjelmassa (TEM 2010). Tutkimusohjelman sisäinen työnjako on kuvattu toimintaohjeessa.

Vuoden 2011 erityisenä tavoitteena pidettiin lähinnä sitä, että ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksiin saadaan käynnistettyä laajoja koordinoituja hankkeita turvallisuusperusteluissa, puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyssä sekä kapselin pitkäaikaiskestävyydessä. Koordinoituihin hankkeisiin osallistuu useita

tahoja ja hanke koordinoi omaa toimintaansa hankekoordinaattorin avulla. Myös perinteiset yksi- ja monivuotiset hankkeet ovat mukana tutkimusohjelmassa.

Kuvassa 1 on esitetty KYT2014-ohjelman tutkimusaihepiirit.



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

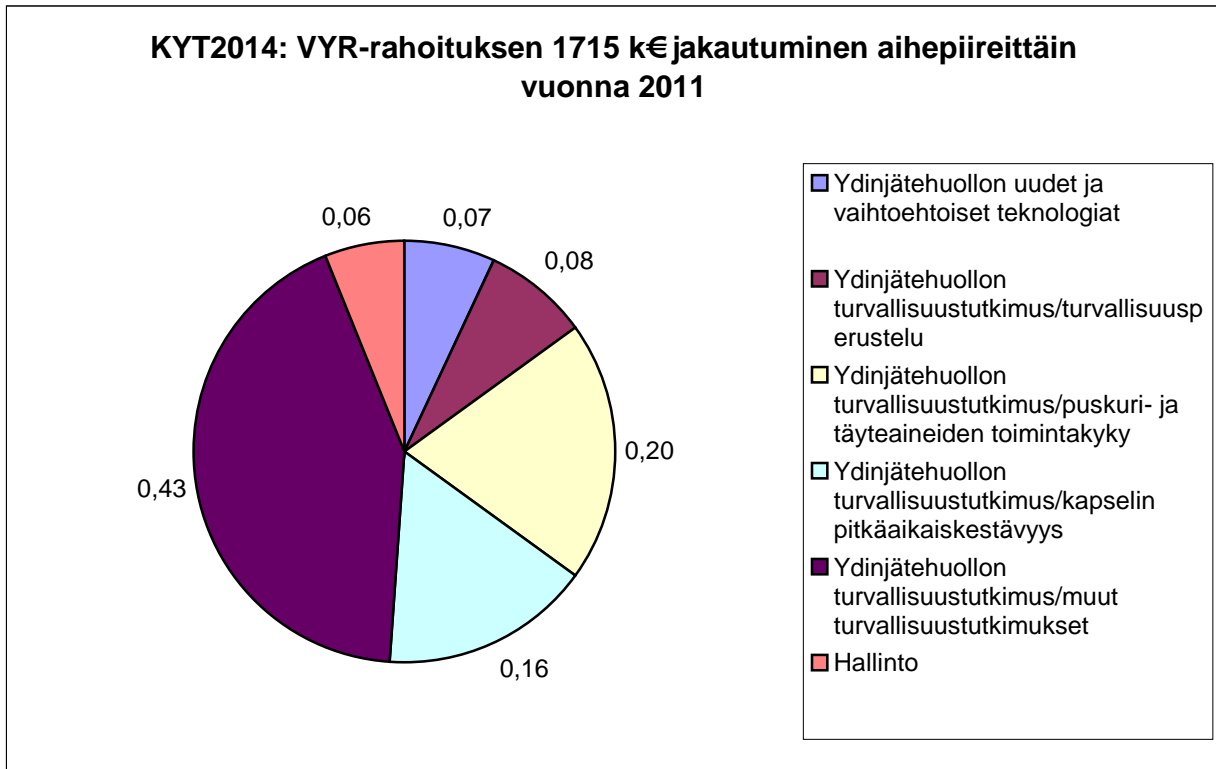
3. Tutkimushankkeet vuonna 2011

Vuoden 2011 hankehakuun lähetettiin yhteensä 36 hanke-esitystä ja yhteenlaskettuna VYR-rahoitusta haettiin 3.6 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
 - uusien asiantuntijoiden kouluttaminen
 - uuden osaamisen luominen
- tieteelliset ansiot
- tuloksellisuus, jota on osoitettu KYT-hankkeissa tai muissa yhteyksissä.

Tutkimusohjelman johtoryhmä laati tukiryhmien sisällöllisten arvioiden pohjalta rahoitusesityksen ja kokosi tukiryhmien työn pohjalta hanke-esityksille sisällöllisen palautteen. Hankekohtaiset palautteet saatettiin hanke-esitysten tekijöiden tietoon. Kaikkia rahoitettuja hankkeita jouduttiin leikkaamaan, koska hanke-esitysten yhteenlaskettu VYR-rahoitus oli yli kaksinkertainen rahoitusvaraansa verrattuna.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) teki johtoryhmän esityksen pohjalta rahoitusesityksen, johon pyysi lausunnon STUKilta. Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) teki lopullisen rahoituspäätöksen 15.3.2011. Vuonna 2011 KYT2014-ohjelmassa tutkimushankkeille myönnetty rahoitus on n. 1,6 M€ Tämän lisäksi VYR myönsi rahoitusta tutkimusohjelman hallintohankkeelle. Rahoitettujen hankkeiden jakautuminen eri aihepiireihin on esitetty Kuvassa 2.



Kuva 2. KYT2014-hankekokonaisuuden jakautuminen eri aihepiireihin vuonna 2011.

Vuonna 2011 KYT2014-ohjelman kokonaisrahoitus oli 2,8 M€ josta valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) rahoitti 1,7 M€ Tutkimuslaitokset itse rahoittivat pääosin loput. Tutkimusohjelman kokonaislaajuus oli 23,5 henkilötyövuotta.

Seuraavassa esitellään lyhyt yhteenveto tutkimusohjelman vuoden 2011 tutkimustuloksista. Liitteessä 1 on esitetty yksityiskohtaisemmat hankekohtaiset vuosiyhteenvedet ja koordinoitujen hankkeiden sisällölliset vuosiyhteenvedet. Liitteessä 2 on lueteltu tutkimusohjelmassa vuonna 2011 tuotetut julkaisut ja opinnäytteet. Liitteessä 3 on kuvattu tutkimusohjelman organisaatio vuonna 2011 ja Liitteessä 4 tutkimushankkeiden seuranta vuonna 2011.

Vuonna 2011 hankekokonaisuus koostui ydinjätehuollon teknologioita ja turvallisuutta käsittelevistä tutkimushankkeista. Yhteiskuntatieteellisiä tutkimushankkeita ei ollut mukana. Tutkimusohjelmassa on ilmoitettu valmisteltavan 7 väitöskirjaa, joista 1 tarkastettiin vuonna 2011.

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 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 2011 ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat –aihepiiri koostui kolmesta hankkeesta, Taulukko 1.

Taulukko 1. Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat.

| Tutkimushanke | Hankepäällikkö |
|---|-----------------------|
| Kehittyneet polttoainekierron - Uudet erotustekniikat | Risto Harjula, HYRL |
| Kehittyneet polttoainekierron - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi | Silja Häkkinen, VTT |
| Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA) | Rainer Salomaa, Aalto |

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

Kehittyneet polttoainekierron - Uudet erotustekniikat

Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle erikoisalana epäorgaaniset ioninvaihtomateriaalit. Tohtorikoulutukseen liittyvä tutkimustyö on organisoitu osaprojekteihin 1 Sekametallioksidien syntetisointi, 2 Alustava testaus, 3 Sekametallioksidien karakterisointi ja 4 Eluutiokokeet. Oman tutkimustyön lisäksi hankkeessa toteutettiin yhdessä VTT:n hankkeen (Kehittyneet polttoainekierron - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi) kanssa kirjallisuusselvitys erotus- ja transmutaatiotekniikan uusimmasta tutkimuksesta maailmalla.

Vuonna 2011 hankkeessa tutkittiin uusien nanohuokoisten metallioksideja aktinidien erotusta varten. Useita sekametallioksideja syntetisoitiin ja niiden selektiivisyys testattiin alustavasti mittaamalla merkkiaineiden jakautumiskertoimia (Kd) eri typpihappoliuksissa. Syntetisoitujen Zr-fosfaattien rakennetta tutkittiin röntgendiffraktiomittauksilla (XRD).

Kehittyneet polttoainekierron - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi

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

VTT:n käyttöön on hankittu v. 2011 ulkomailta kaksi uutta laskentamallia (CMS-ohjelmiston SIMULATE ohjelman uusi versio ja COSI6-ohjelma), joihin perehtyminen on dokumentoitu. Analysointivalmiuksien kehittämisen lisäksi hankkeessa toteutettiin yhdessä HYRLin hankkeen (Kehittyneet polttoainekierron - Uudet erotustekniikat) kanssa kirjallisuusselvitys erotus- ja transmutaatiotekniikan uusimmasta tutkimuksesta maailmalla.

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 lyijyjähdytteisessä kiihdytinpohjaisessa reaktorissa. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 FLUKA Monte Carlo koodin hankkiminen, asennointi ja koekäyttö, 2 Myrrha-koereaktorin geometrian mallinnus ja neutronivuon laskenta ja 3 Suuripalamaisen polttoaineen nuklidikoostumuksen laskenta ja sen jälkikäsitely Myrrhassa.

FLUKA-mallin käyttöön on v. 2011 perehtynyt kolme henkeä. Myrrha-reaktorin mallinnus on tehty. Osaprojektin 3 laskenta toteutettiin CASMO-4 -mallilla. FLUKA-mallista puuttuu keskeisiä vaikutusaloja, joten sen kytkeminen VTT:llä kehitettyyn ja käytettävään Serpent-malliin on käynnistetty. Hankkeessa on valmistunut 2 kandidaatintyötä.

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 pystyreikään (KBS-3V) ja tälle vaihtoehtona useiden kapselien sijoittamista pitkään vaakareikään (KBS-3H). KBS-3 -konsepti on todennäköisin vaihtoehto myös uusien suomalaisten ydinvoimalaitoshankkeiden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa.

KYT2014-ohjelman turvallisuuden tutkimus kohdistetaan pääosin kolmelle tutkimusalueelle: (1) turvallisuusperustelu, (2) puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky ja (3) kapselin pitkäaikaiskestävyys, ks. Kuva 1. Näistä tutkimusalueista kahdelle ensimmäiselle toteutettiin v. 2011 koordinoitu hanke. Olemukseltaan koordinoitua hanketta voidaan pitää pienimuotoisena tutkimusohjelmalla, jonka koordinointiin on saatavissa KYT2014-ohjelmasta rahoitusta. Koordinoitujen hankkeiden lisäksi v. 2011 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 koordinoitun 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 osahankkeen vaatimasta osaamisesta riippuen yhden tai useamman tutkimusorganisaation edustajia. Näin työsuunnitelma muodosti sisällöllisesti kiinteästi integroidun kokonaisuuden. Tutkimusohjelman johtoryhmä suosittelee rahoitusta koordinoitulle hankkeelle yhtenä kokonaisuutena. Hallinnollisesti kukin osahanke teki oman hanke-esityksensä. Taulukon 2 hankkeiden lisäksi HYRLin hanke Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA) osallistui osaprojektillaan 3 LS-TUPER-tutkimusryhmän työhön.

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

| Tutkimushanke | Hankepääällikkö |
|--|--------------------------------|
| Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER) | Markus Olin, VTT |
| Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER) – Täydentävät tarkastelut | 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 tulkinnat (VTT), 4 Skenaarioiden koostaminen (VTT), 5 Laskennallisen analyysimallin kehittäminen (Ludus Mundi), 6 Epävarmuusmenetelmien kehittäminen (VTT), 7

Täydentävät tarkastelut (GTK, HYRL), 8 Mentorointi (VTT) ja 9 Synteesi (kaikki). Osaprojektit 5 ja 7 toteutettiin 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. 2011. Osaprojektissa 3 aloitettiin joulukuussa 2011 opinnäytetyönä erikoistyö Aalto-yliopistoon radionuklidien kallioperäkulkeutumisesta; erikoistyö on tarkoitus laajentaa diplomityöksi v. 2012.

Koordinoitu hanke käynnistyi vuonna 2011, jolloin järjestettiin normaalien projektialaverien lisäksi tapaaminen sorptio- ja kolloidiaihepiiristä sekä julkinen workshop tammi-helmikuun vaihteessa 2012, jonka aineisto laitettiin KYT2014 verkkosivulle. Turvallisuusperustelun kannalta erityisen keskeiseksi aihepiiriksi on osoittautunut skenaarioiden koostaminen, ja perehtyminen aihepiiriin metodologiseen kirjallisuuteen aloitettiin. Laskennallisen analyysimallin kehittäminen käynnistettiin. Hankkeen nuori tutkija VTT:ltä osallistui EU:n Erasmus Mundus –ohjelman järjestämälle kansainväliselle savimateriaalin mallinnuskurssille Poitiers'n yliopistossa Ranskassa. Hanke on aihepiiriin perehdyttämisessä hyödyntänyt kytköstä EU-hankkeeseen CROCK, koska jotkut hankkeen tutkijoista osallistuvat myös CROCK-hankkeeseen.

3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky

KBS-3-konseptin puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyn luotettava arviointi ratkaisee pitkälti koko turvallisuusperustelun luotettavuuden. Sitä varten viranomaisten käytettävissä on oltava riittävästi korkeatasoista osaamista näiden aineiden toimintakyvystä ja sen vaikutuksesta pitkäaikaisturvallisuuteen.

Bentoniittipuskuri on KBS-3 -loppusijoituskonseptissa teknisen vapautumisestjärjestelmän (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. Bentoniittiin¹ 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 kuudesta hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitun hankkeen BOA Bentoniitin ominaisuuksien arviointi (Taulukko 3). Kuuden 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. Taulukon 3 hankkeiden lisäksi HYRLin hanke Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA) osallistui osaprojektillaan 1 BOA-tutkimusryhmän työhön.

¹ Bentoniitilla tarkoitetaan tässä paisuvahilaisia savia yleisterminä.

Taulukko 3. Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen 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 |
| Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA); osahanke 2.2 THM-mallin toteutus | Antti Lempinen, Ludus Mundi 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 |

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; GTK=Geologian tutkimuskeskus; JYFL=Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos; HYFL=Helsingin yliopiston fysiikan laitos

Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)

Koordinoidussa 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, 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 (HYFL) ja 1.7 Mikrobit bentoniitissa (VTT).

Mallinnus-osaprojekti on jaettu tehtäviin 2.1 THM-mallin matematiikka (JYFL), 2.2 THM-mallin toteutus (Ludus Mundi), 2.3 THM-mallinnus (VTT), 2.4 THM(B)-mallinnus (Numerola, VTT) ja 2.5 THM(C)-mallin kehitys (VTT, Numerola, Ludus Mundi, JYFL).

Koordinointi-osaprojekti on jaettu tehtäviin 3.1 Sisäinen yhteistyö, 3.2 Kotimainen yhteistyö ja 3.3 Kansainvälinen yhteistyö.

Koordinoitu hanke käynnistyi muodollisesti vuonna 2011, mutta sisällöllisesti se jatkoi jo KYT2010-ohjelmassa käynnistettyä PUSKURI-projektina aloitettua tutkimusyhteistyötä. Hanke järjesti normaalien projektipalaverien lisäksi julkisen workshopin tammi-helmikuun vaihteessa 2012, jonka esitykset on laitettu KYT2014 verkkosivulle. Kotimainen yhteistyö kattaa tiedonvaihdon B+Tech Oy:n kanssa sekä nuorten tutkijoiden osallistumista Helsingin ja Jyväskylän yliopistojen kursseille. Kansainvälistä yhteistyötä on tehty laatimalla MRS:n (Materials Research Society) syyskokoukseen 3 esitystä hankkeen tuloksista. Hanke on käynnistänyt yhteistyötä EU-hankkeen BELBAR kanssa, koska hankkeen tutkijoita on mukana EU-hankkeessa. 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 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 17 hankkeesta, Taulukko 4.

Taulukko 4. Muut turvallisuustutkimukset.

| Tutkimushanke | Hankepäällikkö |
|--|----------------------------|
| Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA) | Pirkko Hölttä, HYRL |
| Kuparin korroosio hapettomassa vedessä | Antero Pehkonen, Aalto |
| Kuparisen ydinjätekapselfin mekaaniset ominaisuudet | Hannu Hänninen, Aalto |
| Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO) | Pentti Kauppinen, VTT |
| Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen | Timo Saario, VTT |
| Kallion in situ tutkimukset | Marja Siitari-Kauppi, HYRL |
| Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnalle | Jukka Lehto, HYRL |
| Kiven heterogeenisten ominaisuuksien yhdistäminen matriisidiffuusio-mallinnukseen | Jussi Timonen, JYFL |
| Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (Geomikro) | Merja Itävaara, VTT |
| Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI) | Ilmo Kukkonen, GTK |
| Syvän kalliooperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO) | Juho Rousu, HY |
| Kalliolaatu: Kiteisen kalliooperän laatutekijöiden visualisointi ja mallinnus 1-3-ulottuvuudessa ja mallien luotettavuuden arviointi | Jussi Leveinen, 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

Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA)

Hankkeen tavoitteena on selvittää loppusijoitustilan materiaalien, erityisesti bentoniitin rapautumista ja muodostuvien kolloidien merkitystä radionuklidien kuljettajina eri pohjavesiolosuhteissa, yhdistää kokeellinen työ ja mallinnus sekä kehittää osaamista ja kouluttaa asiantuntijoita. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Kolloidien muodostuminen loppusijoitustilan materiaaleista, 2 Radionuklidien sorptio kolloideihin ja niiden kulkeutuminen ja 3 Radionuklidien vaihtoehtoiset tulkinnat. Osaprojekti 1 teki yhteistyötä BOA-hankkeen kanssa ja osaprojekti 3 LS-TUPER-hankkeen kanssa.

Vuonna 2011 hankkeessa tutkittiin kokeellisesti kolloidien muodostumista loppusijoitustilan materiaaleista (bentoniitti, kivimurska, sementti ja silika) eri liuoksissa. Muodostuvien kolloidien ominaisuuksia, esim. hiukkaskokojakaumaa, pitoisuutta ja zetapotentiaalia on seurattu. Zetapotentiaali on mitta kolloidin stabiilisuudelle; loppusijoituksen turvallisuuden kannalta nimenomaan stabiilit

kolloidit ovat tärkeitä. Kolloidifraktion erottamista liuoksista testattiin ja radionuklidien sorptiota kolloideihin mitattiin. Tuloksista pidettiin 2 poster esitystä kansainvälisessä Migration 2011 konferenssissa.

Kuparin korrosio hapettomassa vedessä

Hanke on jatkoa v. 2010 toteutetulle KYT-hankkeelle. Tässä hankkeessa jatketaan loppusijoituksessa käytettävän kuparikapselin korroosion tutkimista vedessä, jossa ei ole liuennutta happea. Tutkimuksen lähtökohtana on KTH:n tutkijan Peter Szakáloksen tutkimusryhmän esittämät tulokset siitä, että kupari saattaa olemassa olevasta tiedosta poiketen syöpyä pelkistävässä olosuhteissa vetyä kehittäen. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Kahden koelaitteiston tiiveyden ja toiminnan varmistaminen, 2 Kokeet lämpötiloissa 20 °C ja 60 °C, 3 Kuparikennon valmistaminen, 4 VTT:n kokeet typpi-atmosfäärissä ja 5 Studsvikin kokeet pohjavedessä. Hankkeessa on tehty yhteistyötä Studsvik Nuclear AB:n kanssa siten, että kummassakin on oma koelaitteistonsa.

Vuonna 2011 havaittiin, että sekä Aalto-yliopiston että Studsvikin koelaitteistoissa (KTH:n tutkijoiden suunnitelmien mukaan tehdyt) on pieni vuoto, joten täyteen tiiveyteen laitteistolla ei katsota päästävän. Koelaitteistoilla on tehty kokeita (Studsvik ja Aalto) lämpötilassa 60 °C. Korroosiokokeissa on alustavasti havaittu vetyä, sen alkuperää ei ole vielä tyhjentävästi selvitetty.

Kuparisen ydinjättekapselin mekaaniset ominaisuudet

Hankkeen tavoitteena on selvittää kuparikapselin eri osien (perusmateriaalit ja hitsit) mekaanisia ominaisuuksia 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.

Osaprojektissa 1 on valmisteltu Kati Savolaisen väitöskirjaa kuparin kitkatappihitsauksesta, joka tarkastettiin v. 2012 puolella. Huoneenlämpötilassa tehdyistä kokeista on laadittu julkaisu. Osaprojektissa 3 saatujen tulosten mukaan vedyn absorptio kupariin vaikuttaa merkittävästi kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin ja virumiseen. Hankkeessa on ollut v. 2011 vilkasta julkaisutoimintaa jokaisessa osaprojektissa.

Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)

Hankkeen tavoitteena on kapselikuparin pitkäaikaiskestävyyden määrittäminen ja eliniän ennustaminen. Painopiste on hitsatun OFP-kuparin pitkäaikaiskokeissa, joita täydennetään kokeilla eri lämpötiloissa. 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 sai osarahoitusta Ruotsin säteilyturvaviranomaiselta (Strålsäkerhetsmyndigheten SSM).

Hankkeessa on jatkettu v. 2011 pitkäkestoisia virumiskokeita OFP-kuparille (oxygen free phosphorus containing). Koetulosten avulla on VTT:llä kehitetty omaa virumismallia. Osaprojektissa 6 on jatkettu Juhani Rantalan väitöskirjan valmistelua. Hankkeessa laadittiin esitys Japanissa pidettävään Creep 2011 konferenssiin, mutta tsunamin takia konferenssi siirtyi vuoteen 2012.

Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen

Edeltävässä hankkeessa 2009-2010 todettiin uusi kuparin mahdolliseen haurastumiseen / jännityskorroosioon johtava mekanismi, jonka aiheuttaa rikin diffuusio pohjavedestä kuparin sisään raerajoja pitkin. Hankkeen tavoitteena on määrittää kuparin sisään diffundoituvan rikin määrän riippuvuus pohjaveden sulfidipitoisuudesta, ajasta ja kuparin jännitystilasta, sekä mikä vaikutus raerajoille keskittyvällä rikillä on kuparin mekaaniseen kestävyys. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Sulfidin diffuusion määrittäminen kokeellisesti pohjavedestä kupariin sisään altistusajan ja pohjaveden sulfidipitoisuuden funktiona, 2 Raerajadiffuusiomallin kehittäminen ja sulfidin/rikin diffuusiokertoimen suuruuden määrittäminen laskennallisesti CuOFP-materiaalin raerajoilla, 3 Kuparin jännitys-venymä-tilan merkityksen määrittäminen diffuusio-prosessissa sulfidipitoiselle pohjavedelle altistettujen koekappaleiden SEM/EDS analyysin avulla ja tuloksia hyödyntävän laskennallisen analyysin kautta, 4 Sulfidipitoiselle pohjavedelle altistumisen vaikutuksen määrittäminen kokeellisesti CuOFP-materiaalin mekaaniseen kuormankantokykyyn ja virumiseen ja 5 Raportointi. Hanke sai osarahoitusta Ruotsin säteilyturvaviranomaiselta (Strålsäkerhetsmyndigheten SSM).

Vuonna 2011 hankkeessa on tehty 3 koetta OFP-kuparille Olkiluodon tyypisessä vedessä, johon on lisätty 1 tai 10 mg/l sulfidia. Kokeiden kesto oli 5 viikkoa. Sulfidille altistuksen jälkeen koekappaleet on avattu väsyttämällä ilmassa. Koekappaleille on tehty SEM/EDS analyysit.

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 käytämme arvioitaessa radionuklidien kulkeutumista kalliassa. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 In situ diffuusiokoe 1 –tulosten mallinnus, 2 In situ diffuusiokoe 2 -laboratorioskaalan tukevat tutkimukset ja 3 PET analyysit migraatioreittien tutkimiseksi. Hankkeella on vilkasta kotimaista ja kansainvälistä yhteistyötä (esim. JYFL ja Poitiers'n yliopisto Ranskassa) ja kytkös myös EU-hankkeeseen Posinam.

Vuonna 2011 hankkeessa mallinnettiin HYRLissä in situ –kulkeutumiskokeen tuloksia TDD (time domain diffusion) mallilla. Grimselin ja Kurun kiviäytteisiin on tehty laboratoriomittakaavassa seleenin sorptio- ja diffuusiokokeita. Kiven huokosrakennetta tutkittiin PET-analyysillä Dresdenin yliopistossa. Hankkeessa oli vilkasta kansainvälistä yhteistyötä v. 2011.

Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnalle

Hankkeessa tutkitaan käytetyssä polttoaineessa olevien kolmenarvoisten aktinidien ja lantanidien kiinnittymismekanismia 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 Kaoliniitin ja illiitin LIF-spektroskopia, 2 Kaoliniitin NMR tutkimukset ja 3 Eräsorptiokokeiden mallintaminen.

Vuonna 2011 hankkeella on vilkasta kansainvälistä yhteistyötä, jonka kautta valmistellaan Nina Huittisen väitöskirjaa. LIF-spektroskopian avulla on määritetty curiumin spesieksiä ja sorptiomekanismia. NMR-kokeilla on määritetty pH:n vaikutusta mitattuun protonispektriin.

Kiven heterogeenisten ominaisuuksien yhdistäminen matriisidiffuusio-mallinnukseen

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 TDD-mallin kehitys diffuusion simulointiin tomografian antamissa rakenteissa, 2 Yksinkertaisten mineraalispesifisten sorptioominaisuuksien liittäminen TDD-malliin ja 3 Diffuusiosimuloinnit Grimselin kiviäytteissä, joissa otetaan huomioon niiden heterogeeninen huokoisuus.

Hankkeessa on v. 2011 viimeistely TDD-mallia ja testattu sitä Sievin kiviäytteille. Malliin on rakennettu sorption kuvaamisen mahdollistava perusominaisuus, jonka kehittämistä jatketaan v. 2012. Grimselin kiviäytteille on tehty mineraalispesifiset huokoisuuskuvaukset, jota on käytetty simuloinnissa tutkittaessa huokoisuuden heterogeenisuuden vaikutusta matriisidiffuusioon. Tutkituille näytteille heterogeenisuuden vaikutus havaittiin vähäiseksi. Hanke tekee tiivistä yhteistyötä HYRLin hankkeen Kallion in situ tutkimukset ja Poitiers'n yliopiston kanssa. Hankkeessa valmistellaan Mikko Voutilaisen väitöskirjaa.

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 Orgaaninen hiili syväntäytteissä, 2 Metaanin anaerobinen hapettuminen ja 3 Yhteistyö GEOBIOINFON ja SALAMI hankkeen kanssa. Hanke on tehnyt yhteistyötä myös BOA-hankkeen kanssa sen osatehtävässä 1.7.

Hankkeessa on tehty v. 2011 kirjallisuuskatsaus orgaanisen hiilen koostumuksen määrittämismenetelmistä. Metaanin anaerobista hapettumista on tutkittu Outokummun syväreistä 500 m syvyydestä otetuista näytteistä; Pauliina Rajala laati tutkimuksista opinnäytetyön. Hankkeessa oli vilkasta julkaisutoimintaa v. 2011.

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 HY:n GEOBIOINFO-hankkeen kanssa. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Outokummun syväreian fluidi- ja kaasututkimus ja tutkimusmetodiikan kehitys, 2 Kallioperän suolaisten fluidien viipymääjan ja alkuperän tutkimus, 3 Kallioperän syvän biosfäärin diversiteetin kartoitus, 4 Outokummun syväreian käyttö loppusijoituskohteen analogiana ja 5 Syvän biosfäärin energiatarkestit.

Vuonna 2011 hankkeessa kehitettiin fluidi- ja kaasututkimuksen metodiikkaa laajalla reikätkutkimus- ja näytteenotto-ohjelmalla. Suolaisten fluidien alkuperän tutkimus jatkuu yhteistyössä GFZ Potsdamin kanssa. Outokummun syväreian käyttökelpoisuutta loppusijoituskohteen analogiana tutkittiin ylös nostettujen biofilmiansojen avulla, joissa mikrobien kiinnitysalustoina oli kivimurskaa, kivilevyä ja lasia. Marraskuussa asennettiin uudet biofilmiansat, joissa kiinnittymisalustoina oli kivi- ja kuparilevyjä. Kivi-kupari-bentoniittiansan suunnittelu on käynnistetty yhteistyössä KYTin loppusijoitustutkijoiden kanssa. Hankkeessa oli vilkasta julkaisutoimintaa v. 2011 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 aineenvaihduntaverkostojen monimutkaisuuden vuoksi. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Bioinformatiikka-alustan kehittäminen ja 2 Aineenvaihduntaverkkojen rekonstruktio menetelmien kehittäminen. Hanke toimii yhteistyössä GTK:n SALAMI-hankkeen ja VTT:n GEOMIKRO-hankkeen kanssa.

Vuonna 2011 hankkeessa kehitettiin ohjelmistoalusta GEOVISION tukemaan bioinformatiikka-analyseja. Aineenvaihduntaverkkojen kehitystyössä on kehitetty edelleen HY:llä jo olevia metaboliarekonstruktio menetelmiä. Kahden näytteen metaboliaverkkojen vertailuun kehitettiin laskennallinen menetelmä. Hankkeessa on valmisteltu Yvonne Herrmanin gro gradu tutkielmaa.

Kalliolaatu: Kiteisen kallioperän laatutekijöiden visualisointi ja mallinnus 1-3-ulottuvuudessa ja mallien luotettavuuden arviointi

Hanke on jatkoa KYT2010-ohjelmassa käynnistetyille hankkeelle. Tähän mennessä hankkeessa on nykyisten kalliolaatuluokituksen ja rakennettavuusmallin pohjalta kehitetty rakojen ominaisuuksien kartoittamista, maatutkaprofiilien tulkintaa, paikkaan sidotun tiedon visualisointia, sekä insinöörigeologisia 3D-mallinnus- ja analysointiohjelmia. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Lohjan alueen rakoilu- ja rakennegeologinen 3D-malli, 2 Erilaisten rakojen aiheuttamat heijasteet betonitutkalla (korkeataajuinen pieni maatutka) laboratoriomittakaavassa, 3 Kalliolaatun määrityksen teko suoraan 3D-rakoilu ja -rakennemallista tai mallista tehdyistä 1D- ja 2D-havainnoista ja 4 Väitöskirjatyön yhteenveto eli synopsis.

Vuonna 2011 hankkeessa on rakennettu olemassa olevista havainnoista rakoilu- ja rakennegeologinen 3D malli Lohjan Mustion alueesta. Betoni- ja maatutkalla tutkittiin erilevyisten ilmatäytteisten rakojen heijasteita laboratorioskaalassa. Mäntsälän louhoksen rakoverkkomallin pohjalta on käynnistetty työ kalliolaadun laskemiseksi Q-menetelmällä. Mira Markovaara-Koiviston väitöskirjan yhteenvedon kirjoittaminen on aloitettu.

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 2011 hankkeen osaprojektissa 1 on kehitetty osamallit huokoisuuden ja kemiallisten tekijöiden arvioimiseksi loppusijoitustiloissa. Työstä laadittu käsikirjoitus on lähetetty arvioitavaksi kv. betonialan lehteen. Työtä mallien kelpoistamiseksi on jatkettu. 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 Kirjallisuuskatsaus, 2 Mallinnus ja 3 Esikokeet. Osaprojekti Mallinnus liittyi esikokeissa käytettävän yksinkertaistetun veden koostumuksen kiinnittämiseen geokemiallisella mallinnuksella aiemmin analysoitujen pohjavesinäytteiden pohjalta.

Hankkeessa vuonna 2011 tehdyssä kirjallisuuskatsauksessa ilmeni, että relevantteja hiilen eluutiokokeita on tehty lukumääräisesti vähän rautapohjaisille materiaaleille ja raportoidut faasikohtaiset spesiaatiomääritykset ovat usein puutteellisia (kirjallisuuskatsaus julkaistaan VTT:n julkaisusarjassa v. 2012 puolella). Kokeita varten tarvittavien vesien suunnittelu geokemiallisen mallinnuksen avulla on pääosin tehty. Esikokeiden aloittaminen siirtyi vuodenvaihteeseen.

Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa

Hankkeen tavoitteena on empiirisen tiedon valossa tarkentaa suomalaiseseen 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, 2 Kokeellinen ekosysteemi alkuaineiden siirtymisen simulointiin ja 3 Tutkijakoulutus.

Vuonna 2011 hankkeessa tuotettiin julkaisu alkuaineiden maasta kasviin siirtymisen epälineaarisuudesta ja sen vaikutuksista biosfäärimallinnukseen. Alkuaineiden siirtymisen simulointia varten rakennettiin 9 kokeellista ekosysteemiä (mesokosmos). Hankkeessa valmistui Päivi Roivaisen väitöskirja, joka tarkastettiin joulukuussa; Tiina Tuovisen väitöskirja on valmisteilla. Hankkeen julkaisutoiminta oli vilkasta v. 2011.

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 Koejärjestelyjen suunnittelu ja rakentaminen, 2 Purkujätteiden mikrobiologinen korrosio, 3 Biofilmin ominaisuudet ja 4 Kenttäkokeet.

Vuonna 2011 hankkeessa toteutettiin koejärjestelyjen suunnittelu ja rakentaminen. Lämpötilalla on 3 kk esikokeiden perusteella vaikutusta mikrobiyhteisön monimuotoisuuteen. Esikokeissa havaittiin myös, että sulfaatinpelkistäjäyhteisö oli huomattavasti monimuotoisempi näytteissä, joissa on mukana hiiliterästä. Kenttäkokeet käynnistettiin Olkiluodon VLJ-luolassa 16 näyteastialla; kaavaillut kokeiden kestot ovat 1, 2 ja 3 vuotta.

Viitteet

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.

Avolahti, J. 2011, KYT2014-toimintaohje. <http://kyt2014.vtt.fi>

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).

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 | Silja Häkkinen, 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) – Täydentävät tarkastelut | 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 |
| Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA); osahanke 2.2 THM-mallin toteutus | Antti Lempinen, Ludus Mundi 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 |

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; GTK=Geologian tutkimuskeskus; JYFL=Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos; HYFL=Helsingin yliopiston fysiikan laitos

Muut turvallisuustutkimukset

| Tutkimushanke | Hankepäällikkö |
|---|----------------------------|
| Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA) | Pirkko Hölttä, HYRL |
| Kuparin korroosio hapettomassa vedessä | Antero Pehkonen, Aalto |
| Kuparisen ydinjätekapselin mekaaniset ominaisuudet | Hannu Hänninen, Aalto |
| Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO) | Pentti Kauppinen, VTT |
| Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen | Timo Saario, VTT |
| Kallion in situ tutkimukset | Marja Siitari-Kauppi, HYRL |
| Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnalle | Jukka Lehto, HYRL |
| Kiven heterogeenisten ominaisuuksien yhdistäminen matriisidiffuusio-mallinnukseen | 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, HY |
| Kalliolaatu: Kiteisen kallioperän laatutekijöiden visualisointi ja mallinnus 1-3-ulottuvuudessa ja mallien luotettavuuden arviointi | Jussi Leveinen, 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

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|---------------------------------|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi | | |
| Kehittyneet polttoainekierrot – uudet erotustekniikat | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi | | |
| Advanced nuclear fuel cycles – new separation technologies | | |
| Tutkimuslaitos | | Vastuuhenkilö |
| Helsingin yliopisto, kemian laitos, radiokemian laitos | | 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?) | | |
| Uusi 4-vuotinen hanke (tutkimusta tehty aiemmin pienimuotoisemmin VTT:n projektissa alihankkijana) | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| VTT | | |
| Tutkimuksen tavoite | | |
| <p>Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle. Tohtorikoulutukseen liittyvän tutkimustyön tavoitteena on uusien nanohuokoisien metallioksidi-ioninvaihtimien tutkimus ja kehittäminen aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta tai uusien nesteuuttomenetelmien synnyttämistä sekundäärijäteliuoksista. Lisäksi tavoitteena on kehittyneiden polttoainekiertojen kansainvälisen tutkimuksen seuranta ja tiedonvälitys koskien uusia erikoistekniikoita</p> | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| | 2 | |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) | | |
| <p>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.</p> | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| <p>1. Kehittyneiden polttoainekiertojen uusimman tutkimuksen seuranta - seurantaraportti yhdessä VTT:n projektin kanssa</p> <p>2. TUTKIMUSTYÖ</p> <p>2.1. Sekametallioksidien syntetisointi: syntetisoitu eri synteesiolosuhteilla (n. 40 synteesiä) Mo-,Zr ja Ti-fosfaatteja sekä sekametallifosfaattia (Zr/Ti)</p> <p>2.2. Alustava testaus (Am- ja Eu-sorptiokyky typpihaposta): mitattu tuotteiden jakaantumiskerroin (kd) typpihapossa konsentraation (1-0.001 M) funktiona, parhaimmillaan saatu Am/Eu-erotustekijät luokkaa 10-15 eli lupaavia kolonnierotukseen.</p> <p>2.3. Sekametallioksidien karakterisointi (FeSEM, XRD): Tuotteiden kiderakenne varmistettu XRD:llä</p> <p>2.4. Eluutiokokeet (Am:n ja Eu:n erottaminen toisistaan): Am ja Eu eluutuvat kuten kd-arvojen perusteella voi ennustaa (eluutiopiikkien maksimi) mutta Eu:n eluutiopiikki on leveä (hidas kinetiikka) sekoittuen osittain Am:n terävään piikkiin.</p> | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt | | |
| A. Paajanen and R.Harjula, Removal of 85Sr, 134Cs, 141Ce, 152Eu and 241Am from Nitric Acidic Solutions by Tungsten Doped Antimony Silicate, Proceedings of GLOBAL 2011 Conference, Makuhari, | | |

Japan, Dec 11-16, 2011, Paper No. 358397.

S. Häkkinen, A. Paajanen, R. Harjula, Erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus maailmalla, Tutkimusraportti VTT-R-XXXX-YY

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

A. Paajanen and R. Harjula, Removal of ^{85}Sr , ^{134}Cs , ^{141}Ce , ^{152}Eu and ^{241}Am from Nitric Acidic Solutions by Tungsten Doped Antimony Silicate, Poster-esitys GLOBAL 2011 Conference, Makuhari, Japan, Dec 11-16, 2011, Paper No. 358397.

E. Wiikinkoski: aktinidien ja lantanidien erotus happoliuoksessa epäorgaanisilla zirkoniumfosfaatti-ioninvaihtimilla, poster-esitys, Marie Curie Symposium 8.-9.12.2011, Helsinki.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|---|---|---|
| Tutkimushankkeen nimi Kehittyneet polttoainekierron – Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Advanced Fuel Cycles – Computational Fuel Cycle Analysis | | |
| Tutkimuslaitos VTT | Vastuuhenkilö Silja Häkkinen | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa aiemmalle projektille KYT2010-ohjelmassa: "Suomalainen erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus" | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot HYRL | 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 3 tutkimusraporttia 1 konferenssiposteri | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Projektissa kehitettävällä laskentaohjelmistolla mallinnetaan erilaisia polttoainekierron ratkaisuja, joiden avulla vähennetään käytetyn polttoaineen jälkilämpöä ja pitkäikäisten isotooppien määrää. Tämä helpottaa loppusijoitukseen liittyviä materiaaliratkaisuja ja merkittävästi pienentää ydinjätteen loppusijoituksen vaatimaa aikaa. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| 2.1 Ydinpolttoainekiertojen analysointivalmiuden kehittäminen VTT:lle on hankittu uusi versio Studsvik Scandpowerin CMS-ohjelmiston SIMULATE-ohjelmasta, joka kykenee mallintamaan MOX-polttoainetta. Tätä uutta versiota käyttäen on laskettu uudelleen vuonna 2010 vanhalla versiolla tehdyt laskut sivuaktinidien poltosta kevytvesireaktoreissa. Laskuista on kirjoitettu raportti, joka on liitteenä. Päätuloksena oli, että sivuaktinideja ei onnistuttu näissä laskuissa polttamaan kevytvesireaktorissa. CMS-ohjelmistoon liittyen Silja Häkkinen osallistui myös toukokuussa pidettyyn CMS:n käyttäjäkokoukseen. Lisäksi Karin Rantamäki osallistui kokoukseen eri projektin puitteissa. VTT:lle on hankittu ydinpolttoainekiertoa kokonaisuudessaan mallintavan COSI6-ohjelman lisenssi CEA:lta. Silja Häkkinen on osallistunut ohjelman käyttäjäkurssille. Ohjelmasta, sen rakenteesta ja ohjelman vaatimista syöttötiedoista on kirjoitettu raportti, joka on liitteenä. Ohjelmaa voidaan käyttää VTT:llä muun muassa erilaisten polttoainekiertojen vertailuun ydinjätehuollon näkökulmasta. Pauli Juutilainen osallistui Bad Honnefissa Saksassa joulukuussa pidettyyn innovatiivista suljettua polttoainekiertoa käsittelevään seminaariin. Juutilainen esitteli seminaarissa ERANOS-laskentaan liittyvän posterin. ERANOS-ohjelma mallintaa nopeita reaktoreita. Pauli Juutilainen osallistui myös reaktorifysiikan laskentaan Pohjoismaissa liittyvään seminaariin huhtikuussa Helsingissä. Lisäksi Silja Häkkinen, Karin Rantamäki ja Tuomas Viitanen osallistuivat seminaariin eri projektien puitteissa. | | |
| 2.2 Tiedonvälitys ja alan kehityksen seuranta Alan kehitystä on seurattu osallistumalla kokouksiin ja seuraamalla ajankohtaisia alaa käsitteleviä raportteja. Silja Häkkinen nimitettiin vuoden alussa OECD/NEA:n työryhmän WPEC:n (Working Party | | |

on Scientific Issues of the Fuel Cycle) Suomen edustajaksi. OECD/NEA:n työryhmien toiminnasta ja alan kansainvälisestä kehityksestä kirjoitetaan raportti yhdessä HYRL:n yhteistyöprojektin "Kehittyneet polttoainekierrat – Uudet erotustekniikat" kanssa. Projektipäällikkö on painottanut ajankäyttöään erityisesti tähän osaprojektiin, minkä vuoksi myös raportista tulee laajempi ja kattavampi kuin alun perin suunniteltiin. VTT:n osuus raportista on valmis ja HYRL kirjoittaa oman osuutensa raporttiin vuoden 2012 alussa.

Työpanos ja kustannukset

Töitä on tehty ja kustannuksia kertynyt suurinpiirtein arvioidun mukaisesti. Matkakuluja ei ole kertynyt niin paljon, kuin alun perin arvioitiin, koska GLOBAL 2011 konferenssi Japanissa jäi väliin kohdassa "Matkat" selvitettyjen syiden vuoksi. Nämä rahat käytettiin kuitenkin muuhun projektiin liittyvään tutkimustyöhön.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

1. K. Rantamäki, "Sivuaktinidien poltto kevytvesireaktorissa", tutkimusraportti, VTT-R-07384-11, 2011.
2. S. Häkkinen, "COSI6 VTT:llä", tutkimusraportti, VTT-R-07431-11, 2011.
3. S. Häkkinen, R. Harjula, A. Paajanen, "Erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus maailmalla", tutkimusraportti, VTT-R-09387-11, 2011.
4. P. Juutilainen, "ZPR-6 Benchmark Calculation with ERANOS", posterit seminaarissa: "WE-Heraeus seminar: Innovative Nuclear Power in Closed Fuel Cycle Scenario", Bad Honnef, 5.-8.12.2011.

Matkat

1. XV Meeting on Reactor Physics Calculations in the Nordic Countries, Helsinki, 12.-13.4.2011.
2. CMS-ohjelmiston käyttäjäkokous, Tukholma, 24.5.2011
3. OECD/NEA:n työryhmän WPFC (Working party on Scientific Issues of the Fuel Cycle) seminaari polttoaineen kehityksestä, Pariisi, 16.-17.6.2011
4. COSI6 käyttäjäkurssi, Cadarache, Ranska, 3.-6.10.2011
5. Seminaari: Innovative Nuclear Power in Closed Fuel Cycle Scenario, Bad Honnef, Saksa, 5.-8.12.2011.

Lisäksi alun perin oli tarkoitus osallistua myös GLOBAL 2011 konferenssiin Japanissa, joka käsittelee kehittyneitä polttoainekiertoja. Fukushima onnettomuuden vuoksi konferenssi siirrettiin kuitenkin alun perin ilmoitetusta poiketen syyskuulta joulukuulle. Projektipäällikkö, jonka piti osallistua konferenssiin, ei kuitenkaan voinut enää joulukuussa matkustaa Japaniin pitkälle edenneen raskauden vuoksi. Näiden seikkojen takia konferenssi jäi väliin.

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

HYRL:n yhteistyökumppanien kanssa on järjestetty kaksi tapaamista, joissa on esitelty projektien etenemistä sekä keskusteltu tutkimussuunnitelmista ja yhteisestä raportista. Toiseen tapaamisista osallistui myös Aalto-yliopiston FLUTRA-projektin edustaja.

Liitteet

- A) Tutkimusraportti: "Sivuaktinidien poltto kevytvesireaktoreissa"
- B) Tutkimusraportti: "COSI6 VTT:llä"
- C) Konferenssiposterin abstrakti: "ZPR-6 Benchmark Calculation with ERANOS"
- D) Matkaraportti: WPFC workshop, 16.-17.6.2011
- E) Matkaraportti: COSI6 käyttäjäkurssi, 3.-6.10.2011

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|--|--|---|
| Tutkimushankkeen nimi Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Transmutation of nuclear waste in an ADS (FLUTRA) | | |
| Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto, Teknillinen fysiikka | Vastuuhenkilö Rainer Salomaa | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat. | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Ei aiempaa rahoitusta, jatkohankkeet 2012 ja eteenpäin. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, Posiva, HYRL | Ulkomaiset organisaatiot EUROTRANS | Muut tutkimusohjelmat, tms. GEN4FIN-aktiviteetit, YTERA-tohtorikoulutusohjelma |
| Tutkimuksen tavoite Selvittää erityisesti suuren palaman ydinpolttoaineen ADS-transmutoinnin käyttökelpoisuutta keskittyen menetelmän kannalta relevantteihin nuklideihin. | | |
| Tuloskategoria FLUKA, CASMO -sovellukset | Julkaisujen lukumäärä 2 konferenssia | 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 yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) <ul style="list-style-type: none">- FLUKA-ohjelmisto on hankittu. Kolme henkilöä on koulutautunut sen käyttöön.- MYRRHA-koereaktori ja protonikiihdytin on mallinnettu neljällä latauskaaviolla.- On laskettu spallaatiotuotto, energiavahvistus sekä paikka- ja energiariippuva neutronivuo ja energiavahvistus alikriittiselle lataukselle.- On laskettu CASMO-4E:llä BWR:n suuripalamaisen (60 MWd/kgHMi) polttoaineen nuklidikoostumukset- Am-241, I-129 ja Tc-99 on jälkikäsitelty MYRRHA:ssa | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt ICENES2011 ja NOMAGE4 –konferenssit, 2 kandidaatintyötä, 1 tekninen raportti | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT-seminaari, NETNUC-seminaari, Aalto-yliopiston seminaarit, ATS-kokous | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|---|---------------------------------|---|
| Tutkimushankkeen nimi | | |
| Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi | | |
| Safety case for final disposal | | |
| Tutkimuslaitos | Vastuuhenkilö | |
| VTT (myös koko hankkeen koordinointi) | 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 ensimmäinen vuosi | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| VTT, Helsingin yliopisto, Geologian tutkimuskeskus ja Ludus Mundi Oy | | KYT2014: BOA (koordinoitu hanke); Sulfidin aiheuttama kuparin haurastuminen; HIILI-14, EU-CROCK |
| Tutkimuksen tavoite | | |
| <p>Hanke vastaa tarpeeseen tuottaa Suomeen uusia asiantuntijoita turvallisuusperustelun laatimis- ja arviointityön tarpeisiin sekä kehittää uusia tarkastelutapoja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin.</p> <p>Hankkeen tulokset ovat hyödynnettävissä viranomaisarviointin tukena. Ne myös selkiyttävät turvallisuusperustelun käsitettä aiempaa laajemmille piireille. Lisäksi helppokäyttöisen ja edullisen laskennallisen turvallisuusanalyysimallin kehittämisen kautta analyysivalmiudet tulevat entistä helpommin kaikkien ulottuville.</p> | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Asiantuntemuksen kehittäminen; tietokoneohjelma | - | - |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) | | |
| <p>Koordinoitussa hankkeessa VTT:n, HYRL:n, GTK:n ja Ludus Mundi Oy:n kesken käynnistetään 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.</p> | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| <p>Hanke koostuu koordinoitiosasta sekä kahdeksasta osaprojektista, joiden sisällölliset kuvaukset esitetään seuraavassa:</p> <p>1. <u>Koordinointi</u></p> <p>Osaprojektissa suunnitellaan ja toteutetaan projektin sisällöllinen ja kotimainen yhteistyö. Siinä kehitetään luontevat työskentelytavat, joilla tiedonvaihto ja hankkeen tulosten integrointi toteutuu tavoitteen kannalta toivotulla tavalla.</p> <p>Järjestetty kaksi projektiryhmän kokousta:</p> <p>Kick off tapaaminen 4.3.2011</p> <p>Sorptio- ja kolloiditapaaminen 9.5.2011</p> <p>Kansainväliseen yhteistyöhön perehdyttämistä sorption ja diffuusion osalta tehty yhteistyössä EU-</p> | | |

hanke CROCKin kanssa.

Tukiryhmän kanssa pidettiin kokous kesäkuussa.

Ensimmäisen vuoden tulokset kokoava Workshop 2.2.2012. Lisäksi laadittu joukko extended abstrakteja, jotka kootaan yhtenäiseksi VTT Technology raportiksi kevään kuluessa.

2. Turvallisuusperustelun metodiikka ja esitystavat (VTT)

Osaprojektissa perehdytään viimeisimpiin turvallisuusperusteluaihetta käsitteleviin aineistoihin, joiden pohjalta muodostetaan käsitys turvallisuusperustelun laatimisen periaatteista, ajattelutavoista ja rajoituksista.

Metodiikkaan perehtyminen on edennyt ja esim. Posivan lähestymistapa tunnetaan aiempaa paremmin.

Sovittu toimintatavoista koko hankkeen puitteissa, käyty läpi sorption ja kolloidien roolia turvallisuustarkasteluissa.

3. Vaihtoehtoiset käsitteelliset mallit ja tulkinat (VTT)

Osaprojektissa opitaan muodostamaan vaihtoehtoisia käsitteellisiä malleja ja tulkintoja käytetyn polttoaineen, loppusijoituskapselin, puskurin ja täyteaineen, ja kallioperän sekä niiden välisten rajapintojen käyttäytymiselle. Apuna tässä työssä toimivat FEP-tietokannat. Mielenkiintoa voidaan kohdistaa erityisesti malleihin ja tulkintoihin, jotka edustavat vallitsevasta näkemyksestä merkittävästi poikkeavaa vaihtoehtoa.

Työstäminen aloitettu kolloidi- ja sorptiomalleista.

Joulukuussa Karita Kajanto aloitti erikoistyönsä Veli-Matti Pulkkasen ohjauksessa: tavoitteena on tutkia rakogeometrian vaikutusta numeerisesti COMSOL Multiphysics ohjelmistolla; raon keskimääräiset sorptio- ja virtausominaisuudet pidetään vakiona, mutta avaumaa ja sorptiopaikkojen sijaintia voidaan vaihdella.

4. Skenaarioiden koostaminen (VTT)

Osaprojektissa opitaan koostamaan skenaariot järjestelmällisesti FEP:eistä sekä esittämään niiden yhteys turvallisuustoimintoihin ja niihin liittyviin toimintakykytavoitteisiin selkeästi. Erityistä painoarvoa laitetaan yhteisvaikutusten huomioon ottamiselle. Osaprojektissa perehdytään vaihtoehtoisii tapoihin koostaa skenaarioita, minkä pohjalta päädytään hankkeen kannalta tarkoituksenmukaisimpaan tapaan koostaa skenaariot. Tässä työssä omakohtaisen työn merkitys on oleellisen tärkeä.

Työ aloitettu perehtymällä aihepiiriin. Skenaarioiden muodostamisesta ja ylipäänsä skenaarioiden muodostamisesta on tehty tutkimusta ja käyty järjestelmällistä keskustelua.

GTK:ssa on lisäksi tehty taustaselvitystä ilmastoskenaarioiden mahdollista päivittämistä varten.

5. Laskennallisen analyysimallin kehittäminen (Ludus Mundi)

Osaprojektissa laaditaan modulaarinen, helppokäyttöinen ja ilmainen laskennallinen malli turvallisuuden arviointiin. Malli toteutetaan alustariippumattoman ja avoimen Scilab-ohjelmiston työkalupakkina. Mallin soveltamiskohteet määräytyvät osaprojektin 4 mukaisesti. Tavoitteena on, että mallin ensimmäinen versio on ladattavissa vuoden 2011 loppuun mennessä KYT2014-ohjelman kotisivulta. Se sisältää tarvittavan dokumentaation verifikaatioesimerkkeineen. Tiivistelmä mallinkehitystyötä kuvailevasta artikkelista tarjotaan vuonna 2012 pidettävään ydinjäteaiheiseen kansainväliseen kokoukseen.

Ratkaisijan toteutuksessa on yritetty ratkaista ongelmaa, miten käyttäjä pystyy muuttamaan tilan kuvausta muuttamatta koko tietorakennetta. Ratkaisuna on muunneltavien ratkaisuryhmien joukko eli käytännössä joukko erillisiä ratkaisijoita. Aihepiiristä abstrakti vuosiraportissa.

6. Epävarmuusanalyysimenetelmien kehittäminen (ei työaikaa vuonna 2011) (VTT)

Osaprojektin tavoitteena on pystyä haarukoimaan loppusijoitusjärjestelmän monimutkaisuuden ja tarkasteltavien pitkien ajanjaksojen luomia epävarmuuksia matemaattisten menetelmien avulla. Työ aloitetaan vuonna 2012.

7. Täydentävät tarkastelut (GTK)

Osaprojektissa selvitetään, miten ja minkälaisia täydentäviä tarkasteluja voidaan hyödyntää KBS-3-loppusijoituskonseptin turvallisuusperustelussa. Työn toisessa vaiheessa 2012 keskitytään hankkeen kannalta muutamiin tärkeimpiin hyödyntämiskohteisiin.

Käyty läpi kuparikapselin käsittelyä aikaisemmissa turvallisuustarkasteluissa. Tehty yhteenvetoa metallisen kuparin luonnonanalogoista ja kuparin esiintymisympäristöstä niissä.

HYRL: Valittuja kohteita ovat teknisten vapautumisesteiden ja kulkeutumisläpimäisyyden luonnonanalogioiden sekä loppusijoituspaikan hydrogeologista historiaa kuvaavat havainnot, joiden katsotaan mahdollisesti nousevan tärkeiksi Olkiluodon loppusijoituslaitoksen tulevan rakennuslupakäsittelyn yhteydessä. Tarkastelussa tullaan hyödyntämään erityisesti Olkiluodon ja Forsmarkin tutkimusalueilla tehtyjä paleohydrogeokemillisiä tutkimuksia.

Valittuja kohteita ovat teknisten vapautumisesteiden ja kulkeutumisläpimäisyyden luonnonanalogioiden sekä loppusijoituspaikan hydrogeologista historiaa kuvaavat havainnot, joiden katsotaan mahdollisesti nousevan tärkeiksi Olkiluodon loppusijoituslaitoksen tulevan rakennuslupakäsittelyn yhteydessä. Tarkastelussa tullaan hyödyntämään erityisesti Olkiluodon ja Forsmarkin tutkimusalueilla tehtyjä paleohydrogeokemillisiä tutkimuksia.

8. Mentorointi (VTT)

Oleellinen osa LS-TUPER:n kaltaista vahvasti koulutuspainotteista hanketta on asiantunteva työnohjaus. Mentoreiden rooli on olla aktiivisesti läsnä hankkeen etenemisessä.

Nuorten tutkijoiden kanssa on käyty jatkuvaa keskustelua ja tiedonvaihtoa.

Kokousesitysten valmistelua VTT:llä.

Projektin puitteissa Merja Tanhua-Tyrkkö osallistui Poitiersin yliopistossa Erasmus Mundus-ohjelman (IMACS- International Master in Advanced Clay Science) savikursseille: Molecular modelling, Thermodynamic functions: experimental and theoretical approaches ja Modelling of fluid-clay interactions in the environment.

9. Synteesi (ei työaikaa vuonna 2012)

Synteessissä esitetään, miten hankkeessa on sen eri vaiheiden kautta päädytty turvallisuusperusteluun. Osaprojektien tulosten integroimisen haasteellisuuden vuoksi synteesi aloitetaan jo vuoden 2013 jälkipuoliskolla.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Valmisteilla vuosiraportti VTT Technology sarjaan:

M. Olin, M. Tanhua-Tyrkkö, L. Ahonen, P. Hölttä, J. Suksi, A. Lempinen. 2012. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuusperustelu KYT2014-tutkimusohjelman projektin LS-TUPER ensimmäinen vuosiraportti. VTT Technology
Karita Kajanto aloittanut erikoistyön tekemisen.

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

Avoin Workshop 2.2.2012

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|---|---------------------------------|---|
| Tutkimushankkeen nimi | | |
| Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER) – Täydentävät tarkastelut | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi | | |
| Safety case for final disposal – Complementary justifications | | |
| Tutkimuslaitos | Vastuuhenkilö | |
| Helsingin yliopisto, kemian laitos, radiokemian laboratorio | Juhani Suksi | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) | | |
| Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus; Turvallisuusperustelu | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) | | |
| Nelivuotiseksi kaavaillun koordinoitun hankkeen ensimmäinen vuosi | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. KYT2014: BOA |
| VTT, Geologian tutkimuskeskus ja Ludus Mundi Oy | - | (koordinoitu hanke) |
| Tutkimuksen tavoite | | |
| Osaprojektissa selvitetään, miten ja minkälaisia täydentäviä tarkasteluja voidaan hyödyntää KBS-3-loppusijoituskonseptin turvallisuuden osoittamisessa. Vuoden 2011 tavoitteena oli inventoida ja arvioida hyödyntämiskohteita, joiden katsotaan nousevan tärkeiksi Olkiluodon loppusijoituslaitoksen tulevan rakennuslupakäsittelyn yhteydessä. | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Asiantuntemuksen kehittäminen | - | - |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) | | |
| 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. Hankkeen onnistuminen tulee edistämään viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| Hyödyntämiskohteiksi valittiin kallioperän hydrogeokemiallista vakautta koskeva tutkimus ja radionuklidien kulkeutumislähtökohtien luonnonanalyytit. Erityisen haasteelliseksi koettiin Olkiluodon sulavesivaiheen ja Itämeren kehitysvaiheiden vaikutusten arviointi. Vuoden 2011 aikana kerättiin aineistoa koskien erityisesti Suomessa ja Ruotsissa tehtyjä paleohydrogeologisia tutkimuksia. Olkiluodon ja Forsmarkin tutkimukset koskien erityisesti vettä johtavien rakojen ja virtauskanavien pintojen mineraaleja ovat avainasemassa selvitetessä alueiden hydrogeokemiallista vakautta. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) | | |
| Projektin tämän hetken tilannetta esiteltiin LS-TUPER workshopissa, joka järjestettiin 2.2.2012 GTK:ssa | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|---|--------------------------------------|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi Loppusijoituksen turvallisuusperustelu /GTK LS-TUPER/GTK) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi | | |
| Tutkimuslaitos Geologian tutkimuskeskus | Vastuuhenkilö Lasse Ahonen | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus | | |
| Tutkimusjatkumo Uusi koordinoitu hanke 2011-2014 | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, HYRL, Ludus Mundi | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Tavoitteena vahvistaa, laajentaa ja välittää eteenpäin kansallista osaamista turvallisuustutkimuksen alalla | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä 2 | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä Tutkimus tukee loppusijoituksen turvallisuusperustelun viranomaisarviointia ja aihepiiristä kiinnostuneita kansalaisia | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain Osahankkeessa 2 (turvallisuusperustelun metodiikka ja esitystavat) perehdytty aiheeseen ja taustoihin. Pääosa työpanoksesta osahankkeessa 7 (täydentävät tarkastelut), jossa tarkasteltu kuparikapselin stabiilisuutta kokonaisuutena ja suhteessa kuparin luonnonanalogioihin. Pyritty myös hahmottamaan kapselin käyttäytymisen esittämistä laskennallisen turvallisuusperustelun kannalta. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt Ahonen, L., Hakkarainen, V., Kaija, J., Kuivamäki, A., Lindberg, A., Paananen, M., Paulamäki, S. & Ruskeeniemi, T. 2011. Geological safety aspects of nuclear waste disposal in Finland. In: Geoscience for society: 125th anniversary volume. Geological Survey of Finland. Special Paper 49. Espoo: Geological Survey of Finland, 145-152. Ahonen, L. & Ruskeeniemi, T. 2011. Palmottu natural analogue study: behaviour of uranium in and around a uranium deposit. In: Naturally occurring radioactive materials (NORM) in the environment - geochemical and biological behaviour, tools for risk assessment: ERACedu workshop proceedings, Kuopio, September 14-15, 2011. Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksen julkaisusarja 4/2011. Kuopio: University of Eastern Finland, 16-17. Ahonen, L. 2012. Kuparikapseli korroosiosuojana. LS-TUPER –hankkeen ensimmäinen vuosiraportti. | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|---|-------------------------------------|--|
| Tutkimushankkeen nimi Bentoniitin ominaisuuksien arviointi (BOA) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Assessment of bentonite characteristics | | |
| Tutkimuslaitos Teknologian tutkimuskeskus VTT(koordinaattori) | Vastuuhenkilö 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 | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, Jyväskylän ja Helsingin yliopistot, GTK, Numerola Oy ja Ludus Mundi Oy Yhteistyö: B+Tech | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. KYT2014: LS-TUPER EU 7: BELBaR |
| Tutkimuksen tavoite Hankkeessa kehitettävä bentoniitin prosessi- ja mikrorakenneosaaminen luo tieteellisesti perustellun pohjan tutkia kvantitatiivisesti loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeisinä pidettyjä selvityskohteita (esim. eroosioilmiöt tai montmorilloniitin muuntuminen). BOA-hankkeen konsortio-osapuolet (VTT, Jyväskylän ja Helsingin yliopistot, GTK, Numerola Oy ja Ludus Mundi Oy) muodostavat bentoniittitutkimuksen osaamiskeskuksen, jolla on pitkäaikaista kokemusta bentoniitista, käytössään monipuoliset menetelmät vaativaan 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. Lisäksi hanke toimii uusien tutkijoiden kasvattajana ja on päärahoituslähde 4-6 väitöskirjatyölle. | | |
| Tuloskategoria Kokeelliset menetelmät, karakterisointitekniikat ja tietokonemallit | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä kaksi maisteritason tutkintoa 4-6 väitöskirjaa tekeillä, mutteivät valmistu vielä 2011 |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) 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 aihepiirin ymmärrystä. Tutkimuksen tuloksena syntyvää ketjua tai toimintamallia, bentoniitin karakterisoinnista teoreettisiin malleihin kokeellisen toiminnan kautta, soveltamalla voidaan parantaa ja tehostaa bentoniittimateriaaleihin liittyvää tutkimusta Suomessa. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Lähes kaikista osahankkeista on laadittu laajennettu abstrakti BOAn vuosiraporttiin. 1 Kokeet | | |

Kokeellisen toiminnan tavoitteena on kehittää ja soveltaa uusia karakterisointimenetelmiä sekä toteuttaa prosessikokeita, joiden tuloksista saadaan tukea ja aineistoa mallinnukseen. Kaikki kokeet pyritään toisaalta mallintamaan. Tuloksena saadaan uusia ja testattuja karakterisointimenetelmiä erityisesti mikrorakenteen tutkimiseen ja vastaavasti tietoa siitä miten mikrorakenne vaikuttaa ja muuttuu erilaisten prosessien seurauksena.

1.1 Bentoniitin karakterisointimenetelmien kehitys ja soveltaminen

GTK:ssa on tutkittu näytteitä XRD:llä ja elektronimikroskopiolla (SEM):

- Paisuntaominaisuuksia ja bentoniittinäytteen mineralogialla näytteiden puhtauden selvittämiseksi.
- Menetelmäkehitystä smektiittiryhmän beidelliitti-montmorilloniitti mineraalien erottamiseksi röntgendiffraktiolla.
- Testattu TEMmiä varten epoksiin imeytettyjen bentoniittinäytteiden analysointia
- XRD:llä tutkituista SWY-2 bentoniiteista valmistettiin preparaateit elektronioptisia tutkimuksia varten. Näytteitä analysoitiin SEM:llä

HYFLissä on tehty

- sironnamittauksia nanorakenteesta.
- mittausasemalla D11 (Genoble) saatiin tietoa suuremman kokoluokan rakenteista (~75 nm) kuin Fysiikan laitoksen laitteistolla (~15 nm).
- Sironnan mallintamiseksi kehitettiin Matlab-ohjelma, jolla voidaan laskea intensiteetti ja verrata mittaustulokseen.

1.2 Tomografian soveltaminen (THM-kokeet)

Röntgenmikrotomografiaan sekä hydrostaattisiin/akiaalisiin puristuskokeisiin perustuvat kokeelliset menetelmät veden tärkeimpien kuljetusmekanismien ja bentoniitin elastoplastisten ominaisuuksien mittaamiseksi on saatiin kehityksi kevään kuluessa. Menetelmien testaus paljasti vielä eräitä kehityskohteita erityisesti hydrostaattisen puristuskoelaitteen toiminnassa. Ensimmäisissä mittauksissa pystyttiin kuitenkin määrittämään puhdistetun bentoniitin myötöominaisuudet sekä elastisen alueen materiaaliparametrit siten, että niitä voidaan hyödyntää laskentamallien validointitarkoituksiin. Ensimmäiset laajemmat systemaattiset kastumiskoesarjat puhdistetulla bentoniitilla suoritettiin kesän aikana. Tulokset osoittavat, että menetelmä kastuvan bentoniitin kosteuden muutosten ja muodonmuutosten samanaikainen mittaus pystytään tekemään röntgentomografiatekniikalla. Tulosten järjestäminen mallinnuksen validointitarpeita varten käyttökelpoiseen muotoon on meneillään. Tulokset raportoidaan aluksi kahtena opinnäytteinä, joista toinen on tarkastuksessa ja toinen viimeistellään kevään 2012 aikana.

1.3 Bentoniitin homogenisoituminen ja mikrorakenne

The adaptation and optimization of following methods for bentonite research has been started and is continuing: Small-Angle X-ray Scattering (cooperation with Helsinki University), X-ray tomography (cooperation with Jyväskylä University), High Pressure Freezing and Freeze Substitution as a sample preparation and Transmission Electron Microscopy (at Helsinki University, Institute of Biotechnology).

1.4 Liukenemis- ja kationinvaihtoreaktiot bentoniitissa tiheyden ja lämpötilan funktiona

Kationinvaihtokokeiden ensimmäinen erä (löysä bentoniitti) on tehty ja tulosten käsittely on meneillään. Tuloksia julkaistu syksyn 2011 MRS-kokouksessa.

1.5 Montmorilloniitin liukoisuus

Montmorilloniitin liukoisuuskokeita (aiempi Mopo-hanke) on jatkettu suunnitelman mukaisesti ja tuloksia julkaistu syksyn 2011 MRS-kokouksessa.

1.6 Kolloidien muodostuminen loppusijoitustilan materiaaleista

Kolloiditutkimukset edistyneet suunnitellusti.

1.7 Mikrobit bentoniitissa

Kirjallisuuskatsaus bentoniitissa tehdyistä mikrobiologisista painekokeista on Draft working raportti vaiheessa. Kirjallisuuskatsaus viimeistellään loppuvuoden aikana.

Tutkimusvierailuja tehty geomikrobiologisia tutkimuksia tekeviin laboratorioihin: Max Planck ja Munchenin tekninen yliopisto, Saksassa syyskuussa 2011. NanoSims laitteistojen hyödyntämistä ja yhteistyömahdollisuuksia luotu.

Bentoniitin puristamiseen tiettyyn paineeseen, joka kehitetty VTT:llä Arto Muurisen toimesta pyritään hyödyntämään mikrobiologisissa tutkimuksissa miniatyrisoimalla laitteisto.

Vuoden 2011 aikana alustavia kokeita DNA:n eristämiseksi bentoniitista bentoniitti/mikrobi/kupari interaktion tutkimiseen

2 Mallinnus

Mallinnuksen koko projektin kattavana tavoitteena on käyttökelpoisen THMC(B)-mallin kehittäminen ja soveltaminen hankkeen kokeellisiin tuloksiin sekä turvallisuuden kannalta tärkeisiin sovelluksiin. Vuoden 2011 aikana kehitetään THM-mallin kastumista kuvaavaa osaa, lisätään joukko kemiallisia reaktioita THM-malleihin, sovelletaan THC-mallinnusta oman kokeellisen toiminnan tueksi ja lisäksi parannetaan mallien käytettävyyttä etenkin Numerrin ja COMSOL-sovelluksissa.

2.1 THM-mallin matematiikka

Työ on jatkoa PUSKURI-hankkeessa aloitetulle mallinnukselle. Edistyminen on ollut lähes tavoitteiden mukaista.

Aiemmin kehitettyyn bentoniitin THM -malliin on sisällytetty suuret plastiset muodonmuutokset. Päivitetty malli on implementoitu numeeriseen ratkaisijaan yhteistyössä Numerola Oy:n kanssa. Mallin kehittämistä ei ole toistaiseksi jatkettu koska tähän varattua tutkijaresurssia ei voitu pitää projektin palveluksessa budjettileikkauksen takia. Mallin kehitykseen pyritään palaamaan kevään 2012 aikana

2.2 THM-mallin toteutus

Veden siirtymisestä bentoniitissa lämpötilagradientin ja hydraulisen gradientin vaikutuksesta on kirjoitettu artikkelikäsikirjoitus, joka lähetetään

Transport in porous media -lehteen joulukuun aikana. Sen merkittävin tulos on, että veden kemiallisen potentiaalin gradientti ja lämpötilagradientti ovat toisistaan riippumattomia parametreja veden siirtymisessä.

2.3 THC-mallinnus

THC-mallinnus tukee kokeellisia osatehtäviä 1.4 ja 1.5 ja odottaa niiden tuloksia ennen kuin käynnistyy kunnolla. Itälän MRS paperissa on myös laskennallisia tuloksia.

THC-laskentaa pyritään tekemään myös COMSOL Multiphysics ohjelmistolla, mikä vaatii onnistuakseen runsaasti työtä.

2.4 THMC(B)-mallinnus

Seminaari pidetty kesäkuussa ja uutta suunnitellaan elokuuksi. VTT:n ja Numerolan yhteinen bentoniitin kemian ja kulkeutumisen kytkävä mallinnus on edistynyt. Numerolan työt edenneet suunnitelman mukaisesti.

Simulaattorista tehtiin vaatimusmäärittely ja simulaattorin ensimmäinen versio valmistui. Tällä hetkellä simulaattoriin on liitetty testikäyttöä varten van Genuchten -kosteudensiirtomalli ja lämmönjohtumismalli.

Toteutettiin ohjelmistotyökalut, joilla simulaattorin paljon laskentaresursseja vaativat tehtävät voidaan siirtää käyttäjän tietokoneelta ulkopuoliselle serverille.

2.5 THMC-mallien kehitys

Mallin laadinnan suunnittelu on aloitettu Q9-toimintamalliin tukeutuen. Jatketaan PUSKURIssa aloitettua yhteistyötä Numerolan ja Jyväskylän yliopiston. Uutena kumppanina mukana Ludus Mundi.

Bentoniitin elastoplastista käytöstä kuvaava 3D-laskentaohjelma saatiin toimimaan ja toiminnan todettiin olevan linjassa JY Fysiikan laitoksen mittauksiin ja laskelmiin nähden.

Laskentaverkon tihentämiseen toteutettiin menetelmä, jolla voidaan parantaa bentoniittisimulaatioiden tarkkuutta ja/tai pienentää laskenta-aikaa.

Selvitettiin lineaarisen yhtälöryhmän rinnakaiseen ratkaisuun tarkoitetun MUMPS-ohjelmistopakettin käyttöönottoa. Käyttöönotto todettiin tässä vaiheessa liian työlääksi.

VTT:n Markus Olinin, Veli-Matti Pulkkasen ja Aku Itälän kanssa pidettiin kesäkuussa kaksipäiväinen bentoniitin kemian mallinnukseen keskittyvä työpaja Jyväskylässä Numerolan väen kanssa. Kemiamalli käytiin läpi ja malliin tehtiin korjauksia sekä täsmennyksiä. Mallin muutokset päivitettiin Numerolan laskentaohjelmaan ja uusittu koodi testattiin.

BELBaR

3 Koordinointi

Koordinoitihankkeen tavoitteena on koko projektin tavoitteiden saavuttamisen varmistaminen, verkottuminen, sisäinen yhteistyö ja nuorten tutkijoiden ohjauksesta huolehtiminen. Erityisenä tavoitteena on kokeellisen toiminnan ja mallinnuksen sisäinen ja välinen yhteistyö ja tiedonvaihto. Koordinoinnilla pyritään varmistamaan se että kaikki kokeet mallinnetaan ja kaikkia malleja sovelletaan myös kokeelliseen aineistoon.

3.1 Sisäinen yhteistyö

Koordinaatiohanke järjesti koko projektin yhteisen kick off tapaamisen 18.3., jossa kutakin osahanketta esiteltiin ja lisäksi käytiin läpi koordinoitun hankkeen tavoitteet

Projektin avoin workshop 31.1. Espoossa.

3.2 Kotimainen yhteistyö

Hankkeen tutkijat ovat jatkuvasti tiedonvaihdossa B+Tech Oy:n kanssa.

Hankkeen tutkijat osallistuvat Helsingin ja Jyväskylän yliopiston kursseille ja luovat kontakteja alan tutkijoihin.

VTT:n sisällä tehdään yhteistyötä osallistumalla Materials modelling frontier-hankkeen valmisteluun. Olin piti esityksen VTT:n sisäisessä seminaarissa lokakuussa: Assessment of bentonite characteristics

BOA-hankkeen tukiryhmän kokous pidettiin kesäkuussa Otaniemessä.

3.3. Kansainvälinen yhteistyö

Kansainväliseen yhteistyöhön pyritään osallistumalla kv-kokouksiin mm. MRS:n syyskokoukseen, jossa on kolme esitystä: yksi suullinen ja kaksi posterit. Lisäksi on osallistuttu NEA Clay Forumin kokoukseen.

Vuoden 2011 aikana on luotu hyvät mahdollisuudet BOAn yhteistyöhön EU-hanke BELBaRin kanssa.

3.4 Mentorointi ja ohjaus

Mentorointia ja ohjausta kehitetään. VTT:n sisällä ohjaajina ovat toimineet A. Muurinen, R. Zilliacus ja M. Olin. Muurinen ja Olin ovat M. Matuszewiczin väitöstyön ohjaajia. Olin ohjaa myös A. Itälän ja V.-M. Pulkkasen väitöstitä.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

A poster was presented at NEA Clay Club Workshop in Karlsruhe and an oral presentation will be given in MRS 2011 Meeting in Argentina

Matuszewicz M., Liljeström V., Muurinen A. & Serimaa R. 2011. Sxas and tem investigation of bentonite structure. 3. NEA Clay Club Workshop Proceedings Karlsruhe (Germany) "Clays under Nano- to Microscopic resolution"

Carlsson T., Muurinen A., Matusewics M. & Root A. 2011. Porewater in compacted water-saturated MX-80 bentonite. The XXXV International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management, MRS 2011

Posteresitys ja paperi laadittu kokeiden tuloksista Argentiinan MRS 2011 kokousta varten: Itälä, A. & Muurinen, M. 2011. Na/Ca selectivity coefficients of montmorillonite in perchlorate solution at different temperatures. . The XXXV International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management, MRS 2011

Posteresitys ja paperi laadittu kokeiden tuloksista Argentiinan MRS 2011 kokousta varten: Myllykylä E., Tanhua-Tyrkkö M. & Bouchet A. Alteration and dissolution of Na-montmorillonite in simulated groundwaters

BOAn vuosiraportti VTT Technology sarjaan työn alla:

M. Olin (ed.). 2012. Assessment of bentonite characteristics - Annual report of KYT2014 programme project BOA. VTT Technology

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

Avoin Workshop 31.1.2012

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|--|--|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Assessment of Bentonite Characteristics | | |
| Tutkimuslaitos Numerola Oy | Vastuuhenkilö Antti Niemistö | |
| 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. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, Jyväskylän yliopisto | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Matemaattisen mallin ja ohjelmiston kehittäminen bentoniittipuskurin toimintakyvyn arviointiin | | |
| Tuloskategoria Tietokonemallit | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Numerolassa kehitettyjä ohjelmistoja käytetään bentoniitin matemaattisten mallien validointiin ja mallien parametrien estimointiin. Pidemmällä tähtäimellä Numerola ja sen yhteistyökumppanit voivat käyttää Numerolan kehittelemiä ohjelmistoja loppusijoituksen toimivuuden arviointiin. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Bentoniittipuskurin THMC-simulaattorin kehittäminen: Simulaattorista tehtiin vaatimusmäärittely ja simulaattorin ensimmäinen versio valmistui. Tällä hetkellä simulaattoriin on liitetty testikäyttöä varten van Genuchten -kosteudensiirtomalli ja lämmönjohtumismalli. Toteutettiin ohjelmistotyökalut, joilla simulaattorin paljon laskentaresursseja vaativat tehtävät voidaan siirtää käyttäjän tietokoneelta ulkopuoliselle serverille. THMC-mallien laskentamenetelmien kehittäminen: Bentoniitin elastoplastista käytöstä kuvaava 3D-laskentaohjelma saatiin toimimaan ja toiminnan todettiin olevan linjassa JY Fysiikan laitoksen mittauksiin ja laskelmiin nähden. Laskentaverkon tihentämiseen toteutettiin menetelmä, jolla voidaan parantaa bentoniittisimulaatioiden tarkkuutta ja/tai pienentää laskenta-aikaa. Selvitettiin lineaarisen yhtälöryhmän rinnakaiseen ratkaisuun tarkoitettun MUMPS-ohjelmistopakettin käyttöönottoa. Käyttöönotto todettiin tässä vaiheessa liian työlääksi. VTT:n Markus Olinin, Veli-Matti Pulkkasen ja Aku Itälän kanssa pidettiin kesäkuussa kaksipäiväinen bentoniitin kemian mallinnukseen keskittyvä työpaja. Kemiamalli käytiin läpi ja malliin tehtiin korjauksia sekä täsmennyksiä. Mallin muutokset päivitettiin Numerolan laskentaohjelmaan ja uusittu koodi testattiin. Koetoiminnan tukeminen: Tomografiakuvien kuva-analyysiohjelmistosta tehtiin JY Fysiikan laitokselle uusi versio, joka yksinkertaistaa bentoniittikuvien analysointia. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyllyteenveto 2011

| | | |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)- Mineralogiset tutkimukset GTK:ssa | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Assessment of bentonite characteristics (BOA)- Mineralogical studies in GTK | | |
| Tutkimuslaitos Geologian tutkimuskeskus | Vastuuhenkilö Mia Tiljander | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Puskuri- ja täyteaineen toimintakyky | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus jatkuu vuonna 2012 | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, Jyväskylän ja Helsingin yliopistot | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Hanke on osa VTT:n koordinoimaa hanketta (BOA). GTK:n osuus on kokeellisessa osahankkeessa, jonka tavoitteena on tuottaa mineralogista tietoa bentoniittimateriaaleista, joita käytetään bentoniitin liukoisuustutkimukseen ja rakennetutkimukseen. | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia hyödynnetään Emmi Myllykylän (VTT) ja Michal Matusewiczin (VTT) jatko-opinnoissa. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Näytteiden mineralogialla sekä paisuntaominaisuuksia tutkittiin röntgendiffraktiolla (XRD) yhteensä 12 näytteestä. Mineralogialla tutkittiin etenkin näytteiden puhtauden selvittämiseksi sekä liukoisuuskokeissa mahdollisesti tapahtuvien muutosten havaitsemiseksi. Em. lisäksi tehtiin mentelmäkehitystä smektiittiryhmän beidelliitti-montmorilloniitti mineraalien erottamiseksi röntgendiffraktiolla. Näytteiden analysointia testattiin myös elektronimikroskoopilla (SEM) ja mikroanalysaattorilla (EPMA). SEM-analytiikka onnistui hyvin käytettävistä olevista näytteistä, muuta tarvitaan lisää testausta, jotta menetelmää voidaan kunnolla hyödyntää. SEM-analytiikalla on mahdollista selvittää bentoniitin mineralogialla ja mineraalien määräsuhteita tarkemmin kuin XRD:llä. EPMA-analytiikka antaa lisäarvoa tutkimukselle, sillä sen avulla saadaan savimateriaalista kvantitatiivista analyysitietoa ja samalla voidaan määrittää tarkka kemiallinen koostumus SEM:llä mahdollisesti tunnistamatta jääneille faaseille. Menetelmää testattiin vuonna 2011 ja saadut tulokset rohkaisevat menetelmän käytön jatkamiseen. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|---------------------------------------|---|
| Tutkimushankkeen nimi Bentoniitin fenomenologinen THM -mallinnus (BOA -konsortion osahanke) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Phenomenological THM -modeling of bentonite | | |
| Tutkimuslaitos Jyväskylän yliopisto, fysiikan laitos | Vastuuhenkilö Markku Kataja | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa PUSKURI -hankkeelle | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, Numerola | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. BelBar -projekti (EU/FP7) |
| Tutkimuksen tavoite Projektissa kehitetään mm. röntgenmikrotomografiaan perustuvia kokeellisia menetelmiä bentoniitin elastoplastisten ominaisuuksien ja veden kulkeutumisominaisuuksien mittaamista ja mallien kokeellista validointia varten. | | |
| Tuloskategoria Mallinnus, kokeellinen tutkimus | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä 1 |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Projektin tuloksia voidaan hyödyntää sekä viranomaisten että teollisuuden projekteissa, kokeellisten tutkimusten suunnittelussa ja tulkinnassa sekä varsinaisessa turvallisuusanalyysissä. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) <u>Tomografian soveltaminen, THM-kokeet:</u> Röntgenmikrotomografiaan sekä hydrostaattisiin/akσιαalisiin puristuskokeisiin perustuvat kokeelliset menetelmät veden tärkeimpien kuljetusmekanismien ja bentoniitin elastoplastisten ominaisuuksien mittaamiseksi on saatiin kehitetyiksi kevään kuluessa. Menetelmien testaus paljasti vielä eräitä kehityskohteita erityisesti hydrostaattisen puristuskoelaitteen toiminnassa. Ensimmäisissä mittauksissa pystyttiin kuitenkin määrittämään puhdistetun bentoniitin myötöominaisuudet sekä elastisen alueen materiaaliparametrit siten, että niitä voidaan hyödyntää laskentamallien validointitarkoituksiin. Ensimmäiset laajemmat systemaattiset kastumiskoesarjat puhdistetulla bentoniitilla suoritettiin kesän aikana. Tulokset osoittavat, että menetelmä kastuvan bentoniitin kosteuden muutosten ja muodonmuutosten samanaikainen mittaus pystytään tekemään röntgentomografiatekniikalla. Tulosten järjestäminen mallinnuksen validointitarpeita varten käyttökelpoiseen muotoon on meneillään. Tulokset raportoidaan aluksi kahtena opinnäytetöinä, joista toinen on tarkastuksessa ja toinen viimeistellään kevään 2012 aikana. <u>THM mallin matematiikka:</u> Aiemmin kehitettyyn bentoniitin THM -malliin on sisällytetty suuret plastiset muodonmuutokset. Päivitetty malli on implementoitu numeeriseen ratkaisijaan yhteistyössä Numerola Oy:n kanssa. Mallin kehittämistä ei ole toistaiseksi jatkettu koska tähän varattua tutkijaresurssia ei voitu pitää projektin palveluksessa budjettileikkauksen takia. Mallin kehitykseen pyritään palaamaan kevään 2012 aikana. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt Aaro Eloranta, "Experimental Methods for Measuring Elasto-plastic Parameters of Bentonite Clay", Pro Gradu, Jyväskylän yliopisto, 2011 | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Tutkimusohjelman seminaarit | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|---|--|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA): Bentoniittisaven nano- ja mikrorakenne röntgensäteilyn sironnan ja mikrotomografian avulla | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Assessment of bentonite characteristics (BOA): Characterization of bentonite clay using x-ray scattering and microtomography | | |
| Tutkimuslaitos Helsingin yliopisto, fysiikan laitos | Vastuhenkilö Ritva Serimaa | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus: Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus alkoi vuonna 2011 ja suunnitelma tehty koko KYT2014 –ohjelman ajaksi. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, Jyväskylän yliopisto | Ulkomaiset organisaatiot Nordic network on soft matter physics | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Bentoniittisaven nanorakennetta tutkitaan röntgensäteilyn pienkulmasironnan avulla ja mikrorakennetta röntgenmikrotomografian avulla. Työn tarkoituksena on kehittää menetelmiä ja tutkia vesi- ja suolapitoisuuden vaikutusta bentoniitin nano- ja mikrorakenteeseen. | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä 1 | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia on tarkoitus hyödyntää mallinnuksessa. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Bentoniittisaven nanorakenne on lamellaarinen. Lamellaariset mineraalihiukkaset voivat aggregoitua ja niiden väliin jää heikommin järjestyneitä alueita. Sirontamittausten mukaan vesi vaikuttaa lamellien väliseen järjestykseen, joka on parhaimmillaan kuivassa näytteessä. Mikrotomografian avulla havaittiin puhdistettuun savinäytteeseen muodostuvan laattamaisia rakenteita näytteen kuivuessa. Suolan huomattiin stabiloivan bentoniitin nano- ja mikrorakenteita. Sironnan mallintamiseksi kehitettiin Matlab-ohjelma, jolla voidaan laskea intensiteetti ja verrata mittaustulokseen. Fysiikan laitoksen mikrotomografialaitteistoa kehitettiin yhdistämällä siihen röntgensirontamittauslaitteisto. Laitteisto on nyt ainutlaatuinen tutkimusinstrumentti, jolla saadaan samanaikaisesti tietoa näytteen sekä nano- että mikrorakenteesta ja rakenteen muutoksista näytteen kuivuessa. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt Matusewicz M., Liljeström V., Muurinen A. & Serimaa R. 2011. Sx and tem investigation of bentonite structure. 3. NEA Clay Club Workshop Proceedings Karlsruhe (Germany) "Clays under Nano- to Microscopic resolution" | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Esitykset KYT2014/BOA -seminaareissa. Tuloksista on tehty laajennettu abstrakti. | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|---------------------------------|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi | | |
| Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi | | |
| The effect of colloids on radionuclide migration | | |
| Tutkimuslaitos | Vastuuhenkilö | |
| Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Radiokemian laboratorio | Pirkko Hölttä | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) | | |
| Ydinjätehuollon turvallisuus: Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, Turvallisuusperustelu | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) | | |
| Jatkoa KYT2010 KOLKU hankkeelle, suunnitelma on tehty koko KYT2014 kaudeksi | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| VTT, JYFL, GTK, Posiva, B ⁺ Tech | NAGRA, KTH | Grimsel Test Site VI: CFM, LTD |
| Tutkimuksen tavoite | | |
| Tavoitteena on selvittää kolloidien muodostumista loppusijoitustilan materiaaleista sekä mikä on niiden merkitys radionuklidien kuljettajina erilaisissa pohjavesiolosuhteissa. Tavoitteena on myös saada tietoa bentoniittipuskurin rapautumismekanismeista ja – kinetiikasta. Koko hankkeen tavoitteena on yhdistää kokeellinen työ ja mallinnus sekä kehittää kotimaista osaamista ja kouluttaa uusia asiantuntijoita (pro gradut ja väitöskirja). | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Menetelmät ja kokeelliset parametrit mallitukseen | 1 | |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) | | |
| Tuloksia hyödynnetään käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa lähialueella arvioitaessa bentoniitin ja tunnelin täyteaineiden toimintakykyä sekä arvioitaessa radionuklidien pääsyä kolloidien mukana loppusijoitustilasta lähialueelle ja kaukoalueen kautta biosfääriin. Tuloksena saadaan tietoa mm. bentoniittipuskurin hajoamisesta, pohjaveden suolaisuuden vaikutuksesta kolloidien liikkuvuuteen ja aktinidien sorption pysyvyydestä. Lisäksi saadaan menetelmät määrittää kolloidien ominaisuuksia ja lähtödataa/testitapauksia, joita voidaan käyttää parametreina mallien kehittämisessä ja testaamisessa. Tuloksia hyödynnetään myös Grimselin CFM projektissa. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| <u>Kolloidien muodostuminen loppusijoitustilan materiaaleista (BOA:n osahanke)</u> | | |
| Bentoniitista, kivimurskeista, sementistä ja silikasta on tehty näytteitä käyttäen vähäsuolaista ja laimennettua suolaista referenssipohjavettä sekä elektrolyyttiliuoksia. Kolloidien muodostusta ja ominaisuuksia on seurattu analysoimalla kolloidien partikkelikokojakaumat ja pitoisuudet sekä zeta-potentiaalit käyttämällä dynaamista laservalonsirontamenetelmää. Bentoniitti kolloidien irtautumista ja stabiilisuutta on seurattu veden ionivahvuuden funktiona. Suolaisen veden vaikutus kolloidien stabiilisuuteen on saatu selvästi näytettyä kahdella referenssipohjavedellä ja elektrolyyttiliuoksilla. Kolloidien määrän arvioimista varten on tehty standardisarjoja erottamalla bentoniitti jauheesta sentrifugoimalla kolloidinen fraktio. Työstä oli Migration11 kokouksessa kaksi poster esitystä, joiden pohjalta on tekeillä julkaisut. | | |
| <u>Radionuklidien sorptio kolloideihin ja niiden kulkeutuminen</u> | | |
| Kolloidisen fraktion erotusta vesifaasista on testattu ultrasentrifugoimalla ja membraanisuodatuksella. Sorptiokokeita on tehty käyttäen MX-80 bentoniitti jauhetta ja NaCl ja CaCl ₂ liuoksia merkkiaineina Sr-85 ja Eu-152. Batch kokeilla on määritetty radionuklidien jakaantumiskertoimia (K _d) ionivahvuuden ja pH:n funktiona bentoniitti jauheeseen ja siitä kokeen aikana irronneeseen kolloidiseen fraktioon. Lisäksi on aloitettu sorptiokokeet myös suoraan bentoniitti-kolloideilla, joita on erotettu standardeja varten. | | |

Radionuklidien kulkeutumisen vaihtoehtoiset tulkinnat (LS-TUPER:n osahanke)

Hankkeessa on järjestetty kaksi projektiryhmän kokousta, joista ensimmäisessä hanke käynnistettiin ja sovittiin toimintatavoista. Toisessa kokouksessa aiheena oli matriisidiffuusio, sorptio ja kolloidit, jotka ovat tämän osahankkeen vastuualue koordinoitussa LS-TUPER hankkeessa. Kolloidit ja turvallisuusperustelu aiheesta on tehty laajennettu abstrakti.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Kekäläinen, P., Voutilainen, M., Poteri, A., Hölttä, P., Hautojärvi, A. and Timonen, J., 2010. Solutions to and validation of matrix-diffusion models. Transport in Porous Media 87 (2011) 125-149.

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

Esitykset KYT2014/BOA ja KYT2014/LS-Tuper seminaareissa. Tuloksista on tehty laajennetut abstraktit.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|---|---------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi Kuparin korroosio hapettomassa vedessä | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Corrosion of copper by water under oxygen free conditions | | |
| Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto/Materiaalitekniikan laitos | Vastuuhenkilö Antero Pehkonen | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Kapselin pitkäaikaiskestävyys | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Projekti on alkanut vuonna 2010 ja jatkuu vuoden 31.1.2012 asti. Tällä hetkellä ei jatkoa ole suunniteltu. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT | Ulkomaiset organisaatiot Studsvik Nuclear AB, SSM | 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 simuloidussa 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 korroosionkeston paremmin. Jos vetyä ei muodostu, parantaa se kuparin korroosionkestoa. Mikäli vetyä syntyy, voidaan arvioida vedyn kuparin korroosionopeutta nostava vaikutus.- mikäli vetyä muodostuu Cu:n korroosion katodireaktiossa, on tutkimuslaitosten ilmeisesti tutkittava uusien tähän asti tuntemattomien kupariyhdisteiden muodostumista ja niiden termodynamiikkaa | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| Osatehtävä1: Kahden koelaitteiston tiiveyden ja toiminnan varmistaminen Sekä Studsvik Nuclear AB:n että Aalto-yliopiston laitteet ovat riittävän tiiviitä ja ne toimivat moitteettomasti. Täyteen tiiveyteen on Hultquistin käyttämällä laitteistolla mahdoton päästä. | | |
| Osatehtävä2: Kokeet lämpötiloissa 20 ja 60 °C Sekä Aalto-yliopistossa että Studsvikissä on kokeita tehty sekä tyhjässä, vain vettä sisältävässä laitteistossa sekä siten, että vedessä on ollut Pd ja Cu. Alustavasti on vetyä (18 at-%) on havaittu analysoimalla tyhjiöstä massaspektrometrillä silloin, kun kuparia on ultrapuhtaassa vedessä. Rinnakkaiskokeessa analysoitiin vain Pd-kalvon vetypitoisuus, joka nousi referenssinäytteen arvosta 1 ppm arvoon 5 ppm. Etenkin massaspektrometrin tulokset ovat erittäin epävarma. Samoin Pd-kalvon pitoisuuden nousu on niin pieni, ettei siitä voida varmuudella päätellä vedyn muodostumista kennossa. Kokeet on tehty vain lämpötilassa 60 °C. Näin siksi, että jos tässä lämpötilassa ei vetyä muodostu, ei sitä myöskään alhaisemmassa lämpötilassa muodostu. | | |
| Osatehtävä 4: VTT:n kokeet typpi-atmosfäärissä Koska kokeissa on alustavasti havaittu vetyä, ei typpi-atmosfäärissä toistaiseksi ole tarvetta tehdä kokeita. | | |
| Osatehtävä 5: Studsvikin kokeet pohjavedessä Studsvikin kokeisiin käyttämä budjetti on ylitetty selvästi laiterankentamisen takia, mistä syystä | | |

kokeita pohjavedessä ei voitu 2011 tehdä.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

2011 KYT-raportoinnin lisäksi ei muita julkaisuja tai opinnäytteitä ole tehty.

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

KYT- seminaari kevät 2011

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|--|---|
| Tutkimushankkeen nimi Kuparisen ydinjätekapselfin mekaaniset ominaisuudet | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Mechanical properties of copper canisters for nuclear waste | | |
| Tutkimuslaitos Aalto Yliopisto Insinööritieteiden korkeakoulu | Vastuuhenkilö Hannu Hänninen | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Kapselin pitkäaikaiskestävyys | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa vuonna 2007 alkaneelle tutkimukselle | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, Posiva | Ulkomaiset organisaatiot SKB, Ruotsi; JRC Petten | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Selvittää kuparikapselin eri osien mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää mikroskooppinen ja makroskooppinen plastinen deformaatio kuparikapselin rakenteissa. | | |
| Tuloskategoria Kokeellinen menetelmä kehitetty kuparin vetyvaraukseen. | Julkaisujen lukumäärä 4 | 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 ominaisuuksiin pitää tuntea. | | |
| 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: <ol style="list-style-type: none">1. Kuparikapselin eri osien (perusmateriaalien ja hitsien) mekaanisten ominaisuuksien selvittäminen optisella venymämittauslaitteistolla lämpötilan ja muodonmuutosnopeuden funktiona sekä mikro- ja nanokovuusmittausten avulla. Väitöskirjaan liittyen on kirjoitettu kaksi lehtiartikkelia. EB-hitsien elastisen anisotropian tutkimusta nanoindentaatiolla ja EBSD:llä on jatkettu ja aiheesta on tehty tutkimussuunnitelma vuoden 2012 kokeita varten. Huoneenlämpötilassa eri muodonmuutosnopeuksilla tehtyjen aineenkoetuskokeiden tuloksista on kirjoitettu artikkeli ja korotetuissa lämpötiloissa tehtävistä kokeista on tehty tutkimussuunnitelma vuoden 2012 kokeita varten. Todellisia vikoja sisältävät näytteet ovat valmistuneet ja niillä aloitetaan kokeet, joissa deformaation paikallistumista ja paikallisia venymiä mitataan optisella venymämittauksella. <ol style="list-style-type: none">2. Deformaatiomekanismien selvittäminen in situ -aineenkoetuksella FE-SEM/EBSD/EDS-laitteistolla. FE-SEM/EBSD laitteistolla on tehty kalibrointikäyrä kuparin plastisen deformaation määrälle paikallisen deformaatioasteen mittaamista varten. Käyrää sovelletaan kaikissa tulevaisissa kuparin hitsausliitosten mikrorakennetutkimuksissa. <i>In situ</i> -aineenkoetuskokeita on tehty sekä ilman vetyvarausta että vetyvarauksen jälkeen deformaatiomekanismien selvittämiseksi. <ol style="list-style-type: none">3. Vedyn absorptio kupariin loppusijoitusolosuhteissa ja vedyn vaikutus kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin. Tuloksia on julkaistu kahdessa konferenssissa (ICIFMS16 ja EUROCORR 2011) ja tuloksista ollaan kirjoittamassa laajaa | | |

lehtiartikkeliä. Tulokset osoittavat, että vety vaikuttaa merkittävästi kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin ja virumiseen. Haurastumisen kvantitatiiviseksi ymmärtämiseksi tehdään vuonna 2012 lisäkokeita. Haurastumisen mekanismiin liittyen julkaistiin EUROCORN 2011 konferenssissa myös artikkeli kuparin jännityskorroosiosta. Jännityskorroosion mekanismi perustuu kuparin oksidikalvojen puolijohdeominaisuuksiin. Tätä aihetta tutkitaan edelleen yhdessä VTT:n kanssa ja tuloksista kirjoitetaan lehtiartikkeli.

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., (2011) Hydrogen-Induced Mechanical Losses in Oxygen-Free Copper. The 16th International Conference on Internal Friction and Mechanical Spectroscopy, ICIFMS16, July 3-8, 2011, Lausanne, Switzerland, *Solid State Phenomena*, 184, pp. 122-127.
- Aaltonen, P., Yagodzinsky, Y., Kilpeläinen, S., Tuomisto, F., Hänninen, H., Role of Excessive Vacancy Generated in p-n Type Duplex Cu₂O Film under Anodic Bias in TGSCC of Pure Copper. *The European Corrosion Congress, EUROCORN 2011*, September 4-8, 2011, Stockholm, Sweden, 12 p.
- Yagodzinsky, Y., Todoshchenko, O., Saukkonen, T., Savolainen, K., Hänninen, H., (2011) Effect of Hydrogen Uptake on Mechanical Properties of Pure Copper. *The European Corrosion Congress, EUROCORN 2011*, September 4-8, 2011, Stockholm, Sweden. To be published.

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, Nuclear Waste State-of-the-Art Report 2011, Swedish Government Inquiries, SOU 2011:14..
- Swedish National Council for Nuclear Waste, Kärnavfallsrådets Yttrande över SKB:s FUD-Program 2010. Statens Offentliga Utredningar, SOU 2011:50.

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

Tuloksista on tiedotettu seuraavissa konferensseissa:

- Pohjoismainen FSW-kokous, Finnsång, Sweden, 10-11.5.2011. Osallistuja: Kati Savolainen.
- The 16th International Conference on Internal Friction and Mechanical Spectroscopy, ICIFMS16, July 3-8, 2011, Lausanne, Switzerland, Osallistujat: Mykola Ivanchenko ja Yuriy Yagodzinsky.
- The European Corrosion Congress, EUROCORN 2011, September 4-8, 2011, Stockholm, Sweden. Osallistuja: Yuriy Yagodzinsky.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|---|--|---|
| Tutkimushankkeen nimi Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Material Integrity of Welded Copper Overpack (MICO) | | |
| Tutkimuslaitos VTT | Vastuuhenkilö J. Rantala | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) 3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkunut saman aihepiirin puitteissa vuodesta 2004 | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot Aalto yliopisto | Ulkomaiset organisaatiot SSM, KEMA | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Selvittää kapselikuparin rasitukset mekaaninen kestävyys loppusijoitusolosuhteissa, erityisesti virumisen osalta | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä 2 | Opinnäytetöiden lukumäärä 1 työn alla |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) STUK, Posiva, SSM: loppusijoitusratkaisupäätöksen tekninen tuki kokeelliseen näyttöön perustuen. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Virumisen aiheuttamaa vauriomekanismia OFP-kuparissa ja sen hitseissä on tutkittu kokeellisesti pitkäaikaisilla virumiskokeilla ja moniaksaalisilla kokeilla. Havaittu vaurio on ollut pääasiassa raerajakoloutumista. OFHC-kuparia on käytetty referenssimateriaalina. Pisimmässä yksiaksaalisessa virumiskokeessa OFP-kuparissa on havaittu ulkopinnassa mikrosäröjä, jotka eivät ole toistaiseksi kasvaneet, mutta joiden lukumäärä on kuitenkin kasvanut ajan kuluessa. Koetuloksia on käytetty hyväksi virumismallin kehittämisessä, jota puolestaan on sovellettu kuparikapselin virumisanalyyysissa (FE). Yhdistetyn virumisen ja korroosion kokeessa simuloitussa pohjavedessä 90°C:ssa havaittiin edelleen galvaanista korroosiota, jonka mahdollisuus täytyy jatkokokeissa sulkea pois. Moniaksaalisissa virumiskokeissa OFHC-kuparilla CT-sauvalla on havaittu voimakas moniaksaalisuuden aiheuttama eliniän aleneminen. Moniaksaalisissa kokeissa molemmissa kuparilaaduissa on havaittu myös yllättävä raerajojen hapettuminen alueilla, jossa sitä ei odotettu ja jonka mekanismia ei tunneta. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt J. Rantala, J. Salonen, P. Auerkari, S. Holmström, Long-term integrity of copper overpack, Final | | |

Report, KYT2010 Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management 2006-2010, Ministry of Employment and the Economy, 26/2011

J. Rantalan väitöskirja on työn alla.

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

Seuraava konferenssiesitelmä hyväksyttiin Creep2011 konferenssiin Kyotoon, mutta tsunamin takia konferenssi järjestetään toukokuussa 2012:

J. Rantala, P. Auerkari, J. Salonen, S. Holmström, A. Laukkanen and T. Saukkonen, 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

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|--|---------------------------------------|
| 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. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot | Ulkomaiset organisaatiot SSM, Ruotsi | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on arvioida pohjavedessä olevan sulfidin aiheuttamaa kuparikapselin haurastumisriskiä sulfidin konsentraation funktiona. | | |
| Tuloskategoria Perusta riskiarviolle | Julkaisujen lukumäärä 4 | Opinnäytetöiden lukumäärä 0 |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) STUK, SSM, Posiva ja SKB selvitettäessä uuden haurastumismekanismin merkitystä loppusijoituskonseptin luotettavuuteen | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Aikaisempien kokeellisten tulosten perusteella tutkimushypoteesiksi muodostui pohjavedestä peräisin olevien osaslajien diffuusio raerajoja pitkin CuOFP sisään ja niiden mahdollisesti aiheuttama rakenteen haurastuminen. Vuoden 2011 aikana on tehty kolme viiden (5) viikon kestoista altistuskoetta, joissa CuOFP koekappaleita on altistettu Olkiluodon tyyppiselle pohjavedelle johon on lisätty 1 tai 10 mg/l sulfidia. Altistuksen jälkeen koekappaleet on avattu väsyttämällä ilmassa. Pitoisuudelle 10 mg/l sulfidia altistetuista koekappaleista todettiin SEM/EDS –analyysissä n. 30% poikkipinnasta olevan kuparioksidifilmin peittämä. Pitoisuudelle 1 mg/l sulfidia altistetuista koekappaleista vastaavaa kuparioksidia ei todettu. Kaikista avatuista koekappaleista löydettiin pieniä määriä rikkiä, ja joistain kohdista myös klooria. Näillä esiintymillä ei vetokokein mitatuissa mekaanisissa ominaisuuksissa todettu olennaista heikkenemistä. (S)TEM –analyysissä aikaisemmin pohjavedelle + 200 mg/l sulfidia altistetusta koekappaleesta irrotetuista näytteistä yhdestä raerajasta löydettiin fosforin lisäksi S, K ja Cl, jotka ilmeisesti ovat peräisin pohjavedestä. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt <ol style="list-style-type: none">1. Arilahti, E., Lehtikuusi, T., Olin, M., Saario, T. and Varis, P., Evidence for internal diffusion of sulphide from groundwater into grain boundaries ahead of a crack tip in CuOFP copper, Journal of Corrosion Technology, Science and Engineering, Vol. 46 (2011) No: 2, 134-137.2. Pakarinen, J., (S)TEM analysis of OFP copper CT-tested in S containing groundwater. VTT Research Report VTT-R-04957-11, July, 2011.3. Arilahti, E., Lehtikuusi, T., Saario, T. and Varis, P., Sulphide-induced embrittlement of CuOFP– Intermediate Report 1. VTT Research Report VTT-R-05611-11, September, 2011.4. Arilahti, E., Mattila, M., Lehtikuusi, T., Saario, T. and Varis, P., Sulphide-induced | | |

embrittlement of CuOFP– Intermediate Report 2. VTT Research Report VTT-R-00291-12,
January, 2012.

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

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|---|---|---|
| Tutkimushankkeen nimi Kallion in situ tutkimukset | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi In situ long term diffusion experiments | | |
| Tutkimuslaitos Helsingin yliopiston kemian laitos, radiokemian laboratorio (HYRL) | Vastuuhenkilö Marja Siitari-Kauppi | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus: Kallioperä ja pohjavesi ja Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on tutkimuskokonaisuus kansainvälisessä yhteistyöprojektissa (Grimsel Test Site - Phase VI): Long Term Diffusion (LTD), Phase II suunniteltu päättyväksi vuonna 2013 | | |
| 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 |
| Tutkimuksen tavoite Hankkeesta saatava tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia. Ydinjätehuollon toimijat voivat käyttää kehitettyjä in situ kulkeutumistutkimusmenetelmiä paikka tutkimuksissaan. Tavoitteena on kouluttaa alan asiantuntijoita kasvavaan tarpeeseen. | | |
| Tuloskategoria menetelmien kehitys, kansainvälisen yhteistyön ylläpito, uuden tutkijapolven perehdyttäminen | Julkaisujen lukumäärä 2 | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Työssä käytettyjä kallion in situ tutkimusmenetelmiä kiven rakenteen selville saamiseksi kuin myös kehitettyjä analyysitekniikoita pidättymättömien radioaktiivisten alkuaineiden määrittämiseksi kivinäytteistä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa in situ kulkeutumiskokeissa Suomessa | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Natriumin ja kesiumin diffuusiotulokset LTD I in situ kokeesta on mallinnettu grunch flow-ohjelmalla. HTO:n ja jodin kulkeutuminen samaisessa kokeessa on tarkasteltu TDD mallinnuksen avulla. Selenin diffuusio ja sorptio ominaisuuksia on tutkittu Kurun harmaaseen graniittiin ja Grimselin granodioriittiin. Diffuusiota tutkittiin stabiilin selenin avulla ICP-MS tekniikalla kiviblokeissa. Kiven huokosrakenteen tutkimus PET-menetelmällä tehtiin Dresdenin yliopistossa. Toukokuussa 2011 HYRL:ssä pidettiin kurssi: Radionuclides diffusion in Geomaterials alan nuorille tutkijoille (12 osallistujaa) ja syyskuussa oli toinen kurssi: Clay minerals in soils and weathered rock (13 osallistujaa). | | |

Julkaisut ja opinnäytetyöt

J Sammaljärvi, L Jokelainen, J Ikonen, M Siitari-Kauppi: Thermal polymerisation of MMA with BPO in brick and grimsel granodiorite submitted to Engineering geology

P Hauta-aho: Seleenin sorptio kivimurskaan, Tutkielma 8.2011

M Voutilainen, M Siitari-Kauppi, A Lindberg, P Sardini, J Timonen: Pore-Space Characterization of an Altered Tonalite by x-ray μ CT and the ^{14}C -PMMA Method in Method in Journal of Geophysical Research - Solid Earth

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

J Ikonen, L Jokelainen, M Siitari-Kauppi, P Sardini, A Martin The diffusion of tritiated water and iodide through granodiorite; in situ Long Term Diffusion experiment in 13th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere 2011, 18.-23.9.2011 Beijing

M Kelokaski, J Sammaljärvi, M Siitari-Kauppi, L Fonteneau, P Sardini Characterisation of pore space by resin impregnation techniques Scientific Basis for Nuclear Waste Management, 2.-7.10.2011 Buenos Aires

M Siitari-Kauppi Radionuklidit graniittimatriisissa in KYT2011 Loppuseminaari 18.3.2011

M Siitari-Kauppi Ydinpolttoaineen loppusijoitustutkimukset – kaukoalue in Marie Curie symposium 8.-9.12.2011 Helsinki

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|--|--|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi | | |
| Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnoille | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi | | |
| Sorption of trivalent actinides onto clay and (hydr)oxide minerals | | |
| Tutkimuslaitos | | Vastuuhenkilö |
| Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Radiokemian laboratorio (HYRL) | | 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 vuoden 2012 loppuun asti. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| •ASM | •Institut für Nukleare Entsorgung, Forschungszentrum Karlsruhe, Saksa •Université de Poitiers, Ranska •National Institute of Chemical Physics and Biophysics, Viro | |
| Tutkimuksen tavoite | | |
| Projektissa pyritään saamaan yksityiskohtaista tietoa kolmenarvoisten aktinidien adsorptiomekanismista eri savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnoille, sekä tutkia adsorptioon osallistuvien pintaryhmien luonnetta, määrää, sekä affiniteettia An(III) ja Ln(III) ioneja kohtaan. | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Kokeellinen työ | 1 | 1 |
| 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 molekyylyllisellä vähentää suuresti turvallisuusanalyysin lähtötietojen epävarmuutta. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| Kaoliniitin ja illiitin LIF-spektroskopia | | |
| Laser-indusoidulla luminesenssi spektroskopiolla on tutkittu curiumin spesiaatiota kaoliniitti- ja illiittisuspensiosta Saksassa, Karlsruhen tutkimuskeskuksen (FZK) ydinjätetutkimusinstituutissa (INE). Kummastakin savimineraalisuspensiosta on kerätty koko pH-alueelta (3-13) emissiospektrit, myös aika-erotteisesti fluoresenssin elinaikojen analysoimiseksi. Tutkimukset tehtiin 1mM NaClO ₄ liuoksessa. Kummankin mineraalin pinnalla havaittiin neljä hyvin samankaltaisia curium-spesiestä. Kolme ensimmäistä spesiestä pH-arvoissa 4-10 ovat Cm(III) sisäkompleksi, sekä tämän sisäkompleksin hydrolyysispesieket: [S-O-Cm(H ₂ O) ₅] ²⁺ , [S-O-Cm(OH)(H ₂ O) ₄] ⁺ sekä [S-O-Cm(OH) ₂ (H ₂ O) ₃]. Neljäs spesies on tutkimusten perusteella curium pintakompleksi joka on muodostunut liuoksessa olevien liuenneiden silikaattien kanssa: [S-O-Cm(OH) _x (silikaatti)]. | | |
| Kaoliniitin NMR tutkimukset | | |
| NMR kokeet on suoritettu kaoliniitille Tallinnan kemiallisen fysiikan ja biofysiikan instituutissa. Kaoliniitinäytteitä valmistettiin 5 g/L suspensiosta, joiden pH:a muuteltiin. Tasapainottumisajan jälkeen mineraalit erotettiin liuoksesta ja kuivattiin vakuumiuunissa NMR kokeita varten. Kokeiden tarkoituksena oli selvittää pH:n vaikutusta mitattuun protonispektriin. Kaoliniitillä on Si-OH ja Al-OH ryhmiä jotka protonoituvat ja dissosioituvat pH:sta riippuen. Tuloksista huomattiin happamien protonien (kemiallinen siirtymä > 2.5ppm) sekä emäksisten protonien (siirtymä <2.5 ppm) lukumäärän pienenenevän pH:n kasvaessa. Ainakin kolme eri protonisignaalia pystyttiin erottamaan | | |

mitatuista spektreistä, jotka vastaavat kemiallisen siirtymän perusteella γ -aluminalle löydettyihin signaaleihin. Näistä noin 2.4 ppm:n piikki nimitettiin $\text{Al}_2\text{-OH}$ protoneiksi ja <0.9 ppm:n piikit puolestaan Al-OH ryhmien protoneiksi. Valmistimme myös europiumia tai yttriumia sisältäviä näytteitä spesifisen sorption tutkimiseksi. Näistä näytteistä kaikki on mitattu mutta tulosten analysoiminen on vielä kesken. Europiumin paramagneettisuus näkyy kuitenkin selkeästi, eli tämän takia osa protonisignaalista häviää, eikä näistä näytteistä saada kvantitatiivista tietoa kolmenarvoisen metallin sorptiokäyttäytymisestä.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

N. Huittinen, P. Sarv, J. Lehto: A proton NMR study on the specific sorption of yttrium(III) and europium(III) on gamma-alumina [$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$], Journal of Colloid and Interface Science 361 (2011) 252–258

Hannu Teittinen: Europiumin sorptio silikaan, gibbsiittiin ja kaoliniittiin, pro gradututkielma 08/2011

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

Suulliset esitelmät

T. Kupcik, N. Huittinen, Th. Rabung, J. Lützenkirchen, H. Geckeis, Th. Fanghänel: Interaction of trivalent metal ions with aluminum (hydr)oxides, Migration 2011, Peking, Kiina, 18-23.9.2011

N. Huittinen, T. Rabung, H. Geckeis, J. Lehto: Liunneen piin vaikutus curiumin spesiaatioon emäksisissä kaoliniittisuspensioissa, Marie Curie symposium, Helsinki, 8-9.12.2011

Posterit esitykset

N. Huittinen, Th. Rabung, J. Lehto, H. Geckeis: The role of dissolved silicon on curium speciation in alkaline kaolinite suspensions, Migration 2011, Peking, Kiina, 18-23.9.2011

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|---|---|---|
| Tutkimushankkeen nimi Kiven heterogeenisten ominaisuuksien 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) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus / Muut turvalisuustutkimukset (kytkentä turvallisuusperusteluihin) | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa 2009-2010 toteutetulle hankkeelle "Kiven kolmiulotteisen huokoisuusrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen", ja se on suunniteltu kaksivuotiseksi | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio Geologian tutkimuskeskus. | Ulkomaiset organisaatiot Poitiersin yliopisto, Ranska Nagra, Sveitsi | Muut tutkimusohjelmat, tms. Grimsel, LTD Phase II |
| Tutkimuksen tavoite Tutkimuksen tavoitteena on mallintaa matriisidiffuusiota realistisessa rakenteellis-kemiallisesti heterogeenisessä kivessä ja tuottaa erityisesti in situ -kokeisiin sopiva mallinnustyökalu. | | |
| Tuloskategoria Sekä kokeellisia menetelmiä että numeerinen simulointi | Julkaisujen lukumäärä 2 | Opinnäytetöiden lukumäärä 1 |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia voidaan soveltaa arvioitaessa ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisvaikutuksia, radionuklidien kulkeutumista biosfääriin. Niitä voivat hyödyntää sekä viranomaiset että ydinjätetoimijat. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Grimselin kiviäytteistä on tehty kolmiulotteisia (3D) tomografisia rekonstruktioita, joista on onnistuneesti eroteltu eri mineraalikomponentit. Näistä 3D-kuvista on rakennettu näytteiden huokoisuuskarttoja yhdistämällä aiemmin ¹⁴ C-PMMA -menetelmällä saadut mineraalien sisäiset huokoisuudet niitä vastaaviin mineraalikomponentteihin. Näin saaduissa huokoisuuskartoissa on simuloitu toteutetulla TDD-koodilla merkkiaineen diffuusiota ja tutkittu siten huokoisuuden heterogeenisuuden vaikutusta diffuusioprosessiin. Työ TDD-koodiin implementoitavista kemiallisista prosesseista (sorptio) on aloitettu ja sitä tullaan jatkamaan vuonna 2012. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt Kaksi referoituja artikkeleita alan kansainvälisissä julkaisuissa, joista toinen on jo julkaistu ja toinen on julkaisuprosessissa. Tehtävänä oleva väitöskirja ei ehtinyt valmiiksi v. 2011 aikana, sen suunniteltu valmistumisaikataulu on nyt kevät 2012. | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Tuloksista pidetään suullinen esitelmä Fysiikan päivillä maaliskuussa 2012. Tämän lisäksi tuloksista on tiedotettu mm. KYT- seminaareissa, esitelmissä muissa tutkimusorganisaatioissa, sekä oltaessa yhteydessä alan teollisiin toimijoihin. | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|--|--|--|
| Tutkimushankkeen nimi | | |
| Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus, GEOMIKRO | | |
| Microbiological characterization of deep bedrock aquifers, GEOMICRO | | |
| Tutkimuslaitos | Vastuuhenkilö | |
| VTT | Dos Merja Itävaara | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) | | |
| Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuden arviointi | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) | | |
| Syväbiosfääritutkimus käynnistyi KYTin rahoittamassa GEOMOL-hankkeessa 2006. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot GTK, HY Geologia, Aalto Yliopisto bioinformatiikka, VTT:n ydinjätetutkimus | Ulkomaiset organisaatiot TUM, Münchenin tekninen yliopisto, Deep carbon observatory (DCO) | Muut tutkimusohjelmat Suomen akatemia (Deep Life Luonnonvaraintutkimussäätiö) |
| Tutkimuksen tavoite Tuottaa tietoa kalliopohjavesien mikrobiyhteisöistä ja niiden toiminnasta, sekä tuottaa tietoa korroosioriskeistä kuten anaerobisen metaanin hapettumisen esiintymisestä pohjavesiolosuhteissa. | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| metaanin anaerobisen hapettumiseen kehitettiin uutta osaamista | 4 tieteellistä julkaisua, 2 posteria, useita konferenssipuheita | 1 gradutyö valmistui, toinen työn alla |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) | | |
| Tuloksia voi hyödyntää loppusijoituksesta vastaavat tahot, esim. Posiva | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| <p>1. Mikrobiologisissa tutkimuksissa todettiin Outokummussa 500 m syvyydessä metaanin anaerobista hapettumista, jolloin sulfaatinpelkistäjät aktivoituivat. Sulfaatinpelkistäjien aktivoitumisen merkitys liittyy kuparin korroosioriskien lisääntymiseen esim. metaani sulfaattivesivyohtykkeen rajapinnalla.</p> <p>2. Outokumpu syväreian orgaanisen hiilen koostumusta tutkittiin. Vesianalyseissä todettiin runsaasti hiililivetyjä, jotka ovat voineet muodostua biotisesti tai abiootisesti, Hiililivetyjen esiintymistä tutkitaan jatkossa lisää.</p> <p>3. Yhteistyö Geobioinfo hankkeen kanssa on jatkunut syväreikä sekvenssidatan käsittelyyn liittyen</p> | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt | | |
| <p>1. Bomberg, M., Nyssönen, M., Itävaara, M. 2011. Quantity and diversity of methanogens and sulphate reducers in Olkiluoto groundwater. - Posiva Working Report 2010, 55 pages</p> <p>2. Itävaara, M., Nyssönen, M., Kapanen, A., Nousiainen, A., Ahonen, L., Kukkonen, I. 2011. Characterization of bacterial diversity down to a depth of 1500 m of the Outokumpu deep borehole. FEMS Microbiology 2011, 1-15, DOI:10.1111/j.1574-6941.2011.01111.x</p> <p>3. Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I.T., Kortelainen, N., Nyssönen, M. Itävaara, M. 2012. Characterization and isotopic evolution of saline waters of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland – implications for water origin and deep terrestrial biosphere. –Manuscript submitted</p> <p>4. Nyssönen, M., Bomberg, M., Kapanen, A., Nousiainen, A., Pitkänen, P., Itävaara, M. 2011. Methanogenic and sulphate-reducing microbial communities in deep groundwater of crystalline rock fractures in Olkiluoto, Finland. -<i>Geomicrobiology Journal</i> in press</p> <p>Pauliina Rajala 2011. The effect of C-1 substrates on the activity of deep biosphere microorganisms from Outokumpu deep drillhole at 500 m depth. Gradutyö Helsingin Yliopisto.</p> | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) | | |
| <p>1.Itävaara M. 2011. Deep biosphere in earth crust aquifers – global and local efforts to understand the role of microbes in deep terrestrial ecosystems 2011 WCEB, The first international BIT's 1st World Congress of Environmental Biotechnology 19-22.10.2011 Dalian, China. Oral presentation.</p> <p>2.Bomberg M., Nyssönen M. and Itävaara M. Characterization of the deep terrestrial subsurface microbial communities by pyro-sequencing. ISSM2011 - 8th International Symposium of Subsurface Microbiology - Microbial life below our feet; Garmisch-Partenkirchen, Germany, September 11-16, 2011, oral</p> <p>3.Purkamo L., Bomberg M, Nyssönen M, Ahonen L, Kukkonen I and Itävaara M. 2011. Acetate consuming microbial populations enriched from Fennoscandian bedrock fracture fluids from a depth of 976 m. ISSM2011 - 8th International Symposium of Subsurface Microbiology - Microbial life below our feet; Garmisch-Partenkirchen, Germany, September 11-16, 2011, poster</p> <p>4.Nupponen-Puputti M., Bomberg M, Nyssönen M, Purkamo L, Kietäväinen R, Ahonen L, Kukkonen I and Itävaara M. 2011. Identification of acetate utilizing communities in deep terrestrial biosphere by Stable Isotope Probing. ISSM2011 - 8th International Symposium of Subsurface Microbiology - Microbial life below our feet; Garmisch-Partenkirchen, Germany, September 11-16, 2011, poster</p> | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|--|---|--|
| 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 Ilmo Kukkonen | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) KYT/KABIO 2008-2010 | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT/Biotekniikka Helsingin yliopisto/Tietojenkäsittelytieteen laitos | Ulkomaiset organisaatiot GeoForschungsZentrum Potsdam (Saksa) ICDP-ohjelma | Muut tutkimusohjelmat, tms. DEEP LIFE 2010-2013 (GTK, VTT, HY/Geotieteet) |
| Tutkimuksen tavoite SALAMI-, GEOMIKRO- ja GEOBIOINFO-hankkeiden yhteisenä tavoitteena on selvittää syvän biosfäärin makroskooppisesti ja mikrobiologisesti havaittavat biogeokemialliset prosessit. | | |
| Tuloskategoria Kokeellinen tutkimus | Julkaisujen lukumäärä Vertaisarvioidut sarjat: 5 kpl julkaistu, 1 lähetetty, 2 valmisteilla Konferenssiabstraktit ja proceedings-julkaisut: 2 kpl | Opinnäytetöiden lukumäärä Kietäväinen, R., väitöskirja, työn alla (SALAMI- ja DEEP LIFE- hankkeet) |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) SALAMI-hankkeen tutkimustuloksia voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa, loppusijoituksen puskuri- ja täyteaineiden käyttäytymisen mallintamisessa, ja kapselien pitkäaikaiskestävyyteen ja korroosioon liittyvien prosessien tutkimuksessa. Tutkimus tuottaa myös tietoa, jota voidaan soveltaa selvitetessä syvien reikien käyttöä loppusijoitukseen. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| 1. Outokummun syväreian fluidi- ja kaasututkimus ja tutkimusmetodiikan kehitys Outokummun syväreikää käytettiin hankkeessa tutkimuskohteena. Outokummussa toteutettiin laaja ohjelma näytteenottoa ja reikä tutkimuksia v. 2011. Kansainvälinen yhteistyö GFZ-Potsdamin ja ICDP:n kanssa oli olennainen osa toimintaa. Syväreillä vesi- ja kaasunäytteenottoa tehtiin letkunäytteenottimella, paineellisella näytteenottimella ja pumppaamalla. Lisäksi tehtiin geofysikaalisia reikäluotauksia ja on-line kaasuanalyysia. | | |
| 2. Kallioperän suolaisten fluidien viipymääjan ja alkuperän tutkimus Veden stabiilien isotooppien perusteella voitiin tehdä tulkinta, jonka mukaan syväreian nykyiset suolaiset pohjavedet ovat suotautuneet maanpinnalta kallioperään meteorisina vesinä nykyistä huomattavasti | | |

lämpimämmän ilmaston vallitessa. Se tarkoittaa kymmenien miljoonien vuosien viipymäaikoja syväreiän vesille. Jalokaasujen ja Cl-isotooppien tutkimus pohjaveden viipymäaikojen selvittämiseksi aloitettiin.

3. Kallioperän syvän biosfäärin diversiteetin kartoitus

Syvän biosfäärin diversiteetistä Suomen kallioperässä tehdään selvitys käyttäen loppusijoituksen ehdokaspaikkojen syviä kairareikiä. Vuonna 2011 tehtiin alustavia tarkasteluja julkaistun raporttiaineiston perusteella. Osahankkeen toteutus alkaa v. 2012.

4. Outokummun syväreiän käyttö loppusijoituksen analogiana

Outokummun syväreikää hyödynnettiin loppusijoituspaikan analogiana ja syvälaboratoriona. Reikään v. 2010 asennetut ns. biofilmiansat nostettiin analyysiä varten ylös toukokuussa yhteistyössä VTT:n GEOMIKRO-hankkeen kanssa. Uudet kupari- ja kivilevyjä sisältävät ansat asennettiin marraskuussa 2011. Ansat nostetaan keväällä 2012. Vuoden 2011 aikana aloitettiin kivi-kupari-bentoniitti-ansan suunnittelu yhteistyössä VTT:n ja GTK:n loppusijoitustutkijoiden kanssa.

5. Syvän biosfäärin energiatarkastelut

Syvän biosfäärin energiatarkasteluissa on tarkasteltu radiolyyttistä vetyä energialähteenä. Syväreiän pohjaosan paineellisissa fluidinäytteissä on havaittu suhteellisen runsaasti vetyä, mikä voi olla radiolyyttisesti syntynyttä. Mikrobiologiset tutkimukset ovat myös osoittaneet, että mikrobeissa on vetyä hyödyntäviä lajeja.

6. Opinnäytetyö aihepiiristä ”Kaasujen näytteenottotekniikat syvistä kairareikiästä”

Aihepiiristä tehtävä pro gradu –työ on siirtynyt v. 2012.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Ahonen, L., Kietäväinen, R., Kortelainen, N., Kukkonen, I. T., Pullinen, A., Toppi, T., Bomberg, M., Itävaara, M., Nousiainen, A., Nyyssönen, M. & Öster, M. 2011. Hydrogeological characteristics of the Outokumpu Deep Drill Hole. In: Kukkonen, I.T. (ed.), The Outokumpu Deep Drilling Project 2004-2010. *Geological Survey of Finland, Special Paper 51*, 151–168.

Itävaara, M., Nyyssönen, M., Kapanen, A., Nousiainen, A., Ahonen, L., Kukkonen, I., 2011. Characterization of bacterial diversity to a depth of 1500 m in the Outokumpu deep borehole, Fennoscandian Shield. *FEMS Microbiology Ecology*, DOI:10.1111/j.1574-6941.2011.01111.x .

Itävaara, M., Nyyssönen, M., Bomberg, M., Kapanen, A., Nousiainen, A., Ahonen, L., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P. & Kukkonen, I. T. 2011. Microbiological sampling and analysis of the Outokumpu Deep Drill Hole biosphere in 2007–2009. In: Kukkonen, I.T. (ed.), The Outokumpu Deep Drilling Project 2004-2010. *Geological Survey of Finland, Special Paper 51*, 199–206.

Kietäväinen, R., Kortelainen, N., Ahonen, L., Nuppenen, M., Kukkonen, I.T., Itävaara, M., 2011. Chemical and stable isotopic characterization of water from the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland: Tracing deep life. In: Otero, N., Soler, A. and Audi, C. (eds.): AIG-9, 9th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry, Abstracts, p. 83.

Kietäväinen, R., Kortelainen, N., Ahonen, L., Nuppenen-Puputti, M., Kukkonen, I.T., Itävaara, M. & Karhu, J., 2011. Water stable isotopes and geochemistry of saline waters of the Outokumpu Deep Drill Hole – implications to deep biosphere. In: Kultti, S. & Rämö, O.T., (eds.), 8th National Geological Colloquium, Abstract volume. Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, C5, Unigrafia, Helsinki, p. 20

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I.T, Kortelainen, N., Nyyssönen, 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 AIG-9 Special Issue (submitted).

Kukkonen, I.T, Rath, V., Kivekäs, L., Safanda, J. and Cermak, V., 2011. Geothermal studies of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland: Vertical variation in heat flow and palaeoclimatic implications. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 188, 9–25 (doi:10.1016/j.pepi.2011.06.002).

Kukkonen, I. T., Rath, V., Kivekäs, L., Šafanda, J. & Čermák, V. 2011. Geothermal studies of the Outokumpu Deep Drill Hole. In: Kukkonen, I.T. (ed.), The Outokumpu Deep Drilling Project 2004-2010. *Geological Survey of Finland, Special Paper 51*, pp. 181–198.

Nyyssönen, M., Hultman, J., Ahonen, L., Kukkonen, I., Paulin, L., Itävaara, M. & Auvinen, P. 2012. Functionally adapted multispecies microbial communities in deep crystalline rock. (in preparation)

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

Outokummun syväreikään liittyvistä tutkimuksista (mm. SALAMI ja DEEP LIFE) on tehty tutkijoiden haastatteluihin perustuvia lehtijuttuja 2 kpl v. 2011.

Remes, J., 2011. Kurkistus Suomen syvimpään reikään. *Tiede* 6/2011, 26-27.

Riistaniemi, T., 2011. Tietoa maan uumenista. *Sanomalehti Karjalainen*, 10.9.2011, etusivu ja s. 6.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|--|--|
| Tutkimushankkeen nimi Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Deep bedrock bioinformatics | | |
| Tutkimuslaitos Helsingin yliopisto | Vastuuhenkilö Dos. 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 (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) 1) Kehitettiin ohjelmistoalusta GEOVISION tukemaan syvärei'istä peräisin olevien näytteiden bioinformatiikka-analyysyä. 2) Kehitettiin bioinformatiikkatyönkulku genominäytteiden analysoimiseksi . 3) Edelleen kehitettiin aineenvaihduntaverkkojen rekonstruointimenetelmiä. 4) Kehitettiin laskennallista menetelmää aineenvaihduntareittien rikastumisanalyysiin. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt Yvonne Herrman: Comparison of metagenomic data by identifying enriched pathways in metabolic networks, Gradututkielma, valmisteilla (valmistuu keväällä 2012) Valmisteilla 2 lehtiartikkeliä syväreikänäytteiden aineenvaihduntareittien analysoinnista sekä aineenvaihduntaverkkojen rekonstruoinnista. | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Posteresitykset BIOINFORMATICS'2011 ja COBRA'2011 – kokouksissa. | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|---|--|---------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi Kalliolaatu: Kiteisen kallioperän laatutekijöiden visualisointi ja mallinnus 1-3-ulottuvuudessa ja mallien luotettavuuden arviointi | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Rock quality: Visualization and modeling of rock quality parameters in 1-3 dimensions in crystalline bedrock; confidence assessment of the models | | |
| Tutkimuslaitos Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulu, Georakentaminen | Vastuuhenkilö Jussi Leveinen | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Muut turvallisuustutkimukset / Kallioperätutkimukset loppusijoituksen turvallisuuden kannalta | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa hankkeelle "Kalliolaatu: Rakennusgeologiset kallioluokitukset ja niihin liittyvien epävarmuuksien määrittäminen ja esittäminen käyttäen tilastollista päättelyä ja geologisia 3D- ja paikkatieto-ohjelmistoja". Osaa tutkimustuloksista ei hyödynnetä tässä hankkeessa, joka tähtää Mira Markovaara-Koiviston väitöskirjatyöhön. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot Geologian tutkimuskeskus (GTK) Åbo Akademi/Palin Granit Oy | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Hankkeen esittämä lähestymistapa parantaa loppusijoitustilan suunnittelijoille ja rakentajille muodostuvaa kuvaa rakennuskohteen kallioperämalleista, sekä viranomaisen valmiuksia arvioida ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta. | | |
| Tuloskategoria Tietokoneohjelma, tulkintamenetelmä | Julkaisujen lukumäärä 4 | Opinnäytetöiden lukumäärä - |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Hankkeessa kehitettyä MATLAB-ohjelmaa voidaan käyttää kalliorakojen ja niiden ominaisuuksia sisältävän suuren tietomäärän sisällän suodattamiseen ja yhteenvedon tekemiseen. Tietoa voi käyttää niin kalliomekaaniset mallintajat kuin valvontaviranomaiset omien johtopäätöstensä teossa. Lisäksi ohjelmalla voi visualisoida itse raot ja siirtää ne muihin 3D-ohjelmistoihin, joita loppusijoitustilan suunnittelussa käytetään. Hankkeen tulosten perusteella loppusijoitustilassa tehtyjen maatumaluuksien perusteella voisi tehdä päätelmiä myös kalliorakojen ominaisuuksista, ei pelkästään niiden sijainnista/olemassaolosta. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Lohjan alueen rakoilu- ja rakennegeologinen 3D-malli Lohjan Mustion kalkkikivilouhoksella tehtiin pintamalli louhoksen poikkileikkausten perusteella. Lisäksi louhoksella tehtiin stereokuvausta, jonka pohjalta louhoksen pintamalliin voidaan lisätä kivilajit sekä suuret rakenteet ja heikkousvyöhykkeet. Erialaisten rakojen aiheuttamat heijasteet kahdella korkeataajuisilla maatumalilla laboratoriomittakaavassa Heijasteiden syntyä on tutkittu ilma-, vesi- ja silttitäyteisissä raoissa, joiden avauma vaihtelee 0,75 -20 cm. Maatumalilla voidaan erottaa raot, joiden avauma on suurempi kuin neljäsosa maatumalan lähettämän signaalin aallonpituudesta. Lisäksi heijastuvan signaalin muodosta voi päätellä täyteaineen ominaisuuksia. Tutkimukset ovat jatkuneet vuoden 2012 puolella rakopinnoilla, jotka ovat kosteita tai joilla virtaa vettä. Kalliolaatumäärittäminen suoraan 3D-rakoilu ja -rakennemallista tai mallista tehdyistä 1D- ja 2D-havainnoista Mäntsälän louhoksen rakoverkkomalliin on alettu lisäämään muita kalliolaatuominaisuuksia tähdäten | | |

kalliolaadun laskemiseen mallin sisällä Q-menetelmällä. Laskentakaavojen kehittäminen on vielä kesken.

Väitöskirjatyön yhteenveto eli synopsis

Synopsiksessa on mietitty ennustetun kalliolaadun luotettavuutta väitökseen sisältyneen tutkimuksen pohjalta.

Yksi projektin tavoite on kouluttaa uusia osaajia alalle vapautuviin tehtäviin.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Effect of a discontinuity's aperture on the GPR signal. Markovaara-Koivisto M, Hokkanen T. EAGE Near Surface - Conference Proceedings, 2011, Leicester.

Ductile and brittle deformation structures of Mäntsälä granodiorite batholith in southern Finland; observation at three scales. Wennerström M, Markovaara-Koivisto M. Deformation mechanisms, Rheology and Tectonics, DRT 2011 Meeting, 31st August-2nd September 2011, Oviedo (Spain). Abstract Volume.

MATLAB script in visualizing and analyzing scanline data. Markovaara-Koivisto M, Laine E. Computers & Geosciences, Vol 40, pp.185-193.

The effect of fracture aperture and filling material on GPR signal. Markovaara-Koivisto M, Hokkanen T, Huuskonen E. Near Surface Geophysics. Submitted.

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

Hankkeen tulosten esittely GTK Espoon yksikössä 30.9.2011.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|---|--|
| Tutkimushankkeen nimi Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Durability of engineered concrete barriers under final disposal conditions | | |
| Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto | Vastuuhenkilö 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 Teollisuuden Voima Oy ja Fortum Power and Heat Oy | Ulkomaiset organisaatiot AECL, Kanada | Muut tutkimusohjelmat, tms. Safir 2014 |
| Tutkimuksen tavoite Tutkimuksessa kehitetään kokeellisesti varmennettu osin termodynaaminen tunkeumamalli ja sen numeerinen sovellus teräsbetonirakenteen ikääntymiselle voimalaitosjätteen loppusijoitusolosuhteissa. | | |
| Tuloskategoria Malli, kokeellinen menetelmä | Julkaisujen lukumäärä 1 | Opinnäytetöiden lukumäärä 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 yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| Osaprojekti 1 Huokoisuusmallien ja kemiallisten osamallien kehitys loppusijoitusolosuhteisiin <ul style="list-style-type: none">• Kehitetty termodynamiikkaan perustuvat osamallit, joiden avulla syvennetty ymmärrystä Fick:in teoriaan pohjautuvan diffuusiomallin rajallisuudesta ja kehitetty tunkeutumislmiöön parempi mallinustapa• Mallin kelpoistamiseen tarvittavia parametreja on määritetty täydentäen edellisessä hankkeessa (VYR 2010) tehtyjä kokeellisia tutkimuksia tarpeellisilla jatkokokeilla sekä koordinoitusti osaprojektin 2 tuloksien• Käynnistetty laboratoriokokeet mallin kelpoistamiseen käytettyjen koekappaleiden alkuparametrien selvittämiseksi pitkäaikaiskokeen käynnistyshetkellä | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt Lähetetty tieteellinen artikkeli arvioitavaksi kansainväliseen betonialan lehteen. | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|--|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi Betonin pitkäaikaissäilyvyys loppusijoitusolosuhteissa, osaprojekti 2. Betoninäytteitten analysointi | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Concrete long-term durability under final disposal conditions, Subproject 2. Analysing of concrete samples. | | |
| Tutkimuslaitos VTT | Vastuuhenkilö Eila Lehmus, VTT | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) 3.2.4. Muut turvallisuustutkimukset, kohta "betonirakenteiden pitkäaikaikäkäyttäytyminen loppusijoitusolosuhteissa" | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot VTT, VTT Expert Services, TVO, Fortum | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Tutkimuksen tavoite Tutkimuksen tavoitteena on selvittää ja dokumentoida 13 vuotta kemiallisissa liuoksissa olleiden betonikoekappaleiden tämänhetkinen kunto ja arvioida koetulosten perusteella betonin ja betonirakenteen säilyvyys matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoitusolosuhteissa. | | |
| Tuloskategoria Kokeellinen tutkimus | Julkaisujen lukumäärä 1 | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tutkimuksen tuloksia käytetään osaprojektissa 1. Holistinen betonimalli (vastuullinen yksikkö Aalto-yliopisto). Analyysitulokset on luovutettu Aalto-yliopistolle tähän tarkoitukseen. Kehitettävien mallien avulla voidaan arvioida betonirakenteiden käyttöikä loppusijoitusolosuhteissa. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Tutkimushankkeessa analysoitiin kaikki vuonna 1997 aloitetuissa kokeissa mukana olleet betonilaadut kaikissa olosuhteissa lukuun ottamatta laimeimpia koeliuoksia. Vuonna 2011 Tutkimusohjelmaan sisältyi kolmella betonilaadulla tehtävät kemialliset analyysit (mukaan lukien kloridien, sulfaattien ja magnesiumin tunkeumaprofiilit), mineeraalikoostumuksen ja hydraatioasteen analyysit, sekä mikrorakenteen ja huokoisuuden tutkimukset. Toiseksi hankkeessa arvioitiin betonirakenteessa olevien raudoitusten korroosion alkamisajankohta kloridiliuoksissa. Laskelmissa käytettiin diffuusiomalleja ja numeerisia laskentamentelmiä. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt Koskinen, P. & Vesikari, E., 2012. Durability of Concrete Barriers in Final Depositories of Nuclear Waste. Technical Research Centre of Finland. Research Reports VTT-R-01185-12. 64 p. + App. 126 p. | | |
| Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) | | |

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenvedo 2011

| | | |
|---|---------------------------------|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi | | |
| C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14) | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi | | |
| Release of ¹⁴ C (Carbon-14) | | |
| Tutkimuslaitos | Vastuuhenkilö | |
| VTT | Kaija Ollila | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) | | |
| Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Muut turvallisuustutkimukset | | |
| Tutkimusjatkumo | | |
| Hanke on suunniteltu kolmevuotiseksi. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot | Ulkomaiset organisaatiot | Muut tutkimusohjelmat, tms. |
| Helsingin Yliopiston Radiokemian laitos | | |
| Tutkimuksen tavoite | | |
| <p>Hankkeen tavoitteena on selvittää voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen aktiivisissa metallikomponenteissa olevan ¹⁴C-isotoopin vapautumista pohjaveteen loppusijoitustilaolosuhteissa, veteen syntyviä liuenneita ja kaasumaisia hiilen kemiallisia olomuotoja, erityisesti niiden jakautumista orgaanisiin ja epäorgaanisiin muotoihin. Orgaanisen hiilen osuus on erittäin tärkeä, koska orgaaniset hiilispesiektet ovat helposti kulkeutuvia ja siten merkittäviä turvallisuustarkastelujen kannalta.</p> | | |
| Tuloskategoria | Julkaisujen lukumäärä | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Kokeellinen menetelmä | 1 | 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 polttoainepiissa). Tuloksia voidaan hyödyntää myös KYT2014-ohjelmaan ehdotetussa 'Loppusijoituksen turvallisuusperustelu' hankkeessa.</p> | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenvedo saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) | | |
| <p>Kirjallisuuselvytyksessä käytiin läpi olemassa olevaa kirjallisuutta, jossa on tehty kokeita säteilyttämättömällä tai säteilytetyllä teräksellä tai muilla hiiltä sisältävillä sirkoni- tai rautapohjaisilla metalliyhdisteillä. Kirjallisuutta "oikeasta asiasta", aktivoituneesta metallista vapautuvan hiilen spesiaatiosta loppusijoitusta vastaavissa olosuhteissa ei juuri löytynyt. Suuri osa ¹⁴C-kirjallisuudesta, jossa käsitellään vapautumista aktivoituneesta metallista, keskittyy selvittämään radiohiilen vapautuvaa kokonaispitoisuutta aktiivisuuden inventaariota varten. Jonkin verran löytyy kirjallisuutta, jossa tutkittava materiaali on käytetyn polttoaineen kuorimateriaali (Zircaloy), grafiitti tai käytetty polttoaine. Selvityksen mukaan hiilen orgaanisia spesieksiä oli analysoitu muutamassa viitteessä. Yhtenevää käsitystä muodostumismekanismista ei ole pystytty esittämään, vain muodostumisen edellytyksenä olevia olosuhteita. Päähuomio kirjallisuuselvytyksessä on tutkimuksissa käytetyissä koe- ja analyysimenetelmissä, laitteissa, materiaaleissa ja parametreissa.</p> <p>Kokeita varten tarvittavat simuloidut uuttovedet on suunniteltu mallinnuksen avulla. Vesien koostumukset perustuvat Loviisan pohjavesiaseman vesinäytteiden analyysituloksiin (LPVA5 vuonna 2004). Toisen simuloidun veden koostumus laskettiin vastaamaan sementin kanssa tasapainossa olevaa koostumusta. pH 12,5 simuloi sementtimateriaalien vaikutusta. Kirjallisuustutkimuksen perusteella on epäselvää, vaikuttaako liuennut hiilidioksidi orgaanisten hiiliyhdisteiden muodostumiseen vai ei. Siitä syystä suunnitelluissa tutkimuksissa päätettiin ottaa mukaan kaksi versiota LPAV5:n yksinkertaistetusta uuttovedestä: Bikarbonaattivesi ja Vesi ilman bikarbonaattia. Tästä johtuen vesisimulanteja on suunniteltu yhteensä neljä (CA80, CA125, HC80 ja HC125).</p> | | |

Koostumusten perusteella laskettiin vesille reseptit, suunniteltiin sopivat kemikaalit ja kantaliuokset. Vesisimulanttien mallinnustyö ja koostumukset on esitetty kirjallisuusselvityksessä liitteenä.

Kokeiden käynnistys siirrettiin vuoden 2012 puolelle. Fortumilta kokeita varten saadun teräspuutteen saaminen pienempirakeiseen muotoon osoittautui vaikeaksi. Materiaalin kuumeneminen ja mahdollinen kontaminoituminen on ollut ongelma mahdollisissa jauhamismenetelmissä. Toisaalta teräsmateriaalin koostumuksen selvittäminen muiden komponenttien osalta on osoittautunut tärkeäksi kirjallisuuden perusteella. Lisäksi on kartoitettu mahdollisia muita teräsmateriaaleja. Aalto-yliopistosta saatiin terästä, joka oli valmiiksi pieninä palasina. Analyysien mukaan materiaali kuitenkin sisälsi ennakkotiedoista poiketen vain 0.01 % hiiltä. Materiaali toimii hyvin referenssimateriaalina selvitettäessä hiilen orgaanisten spesiesten muodostumista pelkän hiilidioksidin vaikutuksesta raudan läsnäollessa. Kolmanneksi materiaaliksi tutkimuksiin on hankittu japanilaista ylihiiliterästä, jonka hiilipitoisuus on korkeampi kuin Fortumin teräksen. Ainoaksi toimivaksi teräksen jauhamismenetelmäksi osoittautui sahaaminen tiheähampaisella vannesahalla pienellä kuormalla. Partikkelikokoa ei pystytä varioimaan, kuten oli suunnitelma. Ennen kokeiden aloitusta teräsjauhe puhdistettiin isopropanolilla ja asetonilla. Hiilen vapautumisnopeuden mittaamiseksi ja spesiaation tutkimiseksi käynnistetään erilliset koesarjat.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

U. Vuorinen 2012. ¹⁴C aktivoituneessa metallijätteessä – kirjallisuusselvitys. Julkaistaan VTT:n tutkimusraporttina 2012.

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

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyltteenveto 2011

| | | |
|--|---|---|
| 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 (Minera) |
| 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 | 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 uraanikaivosten ympäristövaikutusten arvioinnissa. | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Osaprojekti 1: Siirtymisen epälineaarisuuden vaikutus biosfäärimallinnukseen <ul style="list-style-type: none">KYT2010-ohjelman hankkeen aineistoon perustuva epälineaarisuutta käsittelevä käsikirjoitus julkaistiin lokakuussa 2011 (Tuovinen ym. 2011). Tulokset osoittivat selkeästi, että alkuaineiden siirtyminen maaperästä kasvillisuuteen on epälineaarinen prosessi ja siirtyminen on tehokkaampaa pienillä maaperäpitoisuuksilla. Lineaarisen ja epälineaarisen sovituksen vertaileminen on aloitettu. Osaprojekti 2: Kokeellinen ekosysteemi alkuaineiden siirtymisen simulointiin <ul style="list-style-type: none">Rakennettiin kokeellinen ekosysteemi, jossa voidaan tarkastella alkuaineiden siirtymistä maaperästä kasveihin ja eläimiin. Puutarhalle pystytettiin 9 mesokosmista, joissa käytettiin Murtolahden uraaniesiintymästä kerättyä maata ja 9 kontrollimesokosmista, joissa oli puutarhan läheisyydestä kerättyä maata. Kasvi- ja maanäytteet sekä eläinnäytteet käsiteltiin alkuaineanalyysia varten. Alkuainepitoisuusanalyysit teetettiin kotilo-, liero-, koivunlehti-, ja maanäytteistä (yhteensä 18 näytettä). Alustavan tarkastelun perusteella uraanimaan uraanipitoisuus on selkeästi kontrollimaata korkeampi ja ero näkyy selvästi myös eliöissä ja koivunlehdissä. | | |
| Julkaisut ja opinnäytetyöt Roivainen P. 2011. Characteristics of Soil-to-Plant Transfer of Elements Relevant to Radioactive Waste in Boreal Forest. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Forestry and Natural Sciences 56. | | |

Roivainen P, Makkonen S, Holopainen T, Juutilainen J. 2011. Soil-to-plant transfer of uranium and its distribution between plant parts in four boreal forest species BOREAL ENVIRONMENT RESEARCH 16: 158-166.

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.

Roivainen P, Makkonen S, Holopainen T, Juutilainen J. 2011. Transfer of elements relevant to radioactive waste from soil to five boreal plant species CHEMOSPHERE 83: 385-390.

Tuovinen T.S., Roivainen P., Makkonen S., Kolehmainen M., Holopainen T., Juutilainen J. 2011. Soil-to-

plant transfer of elements is not linear: results for five elements relevant to radioactive waste in five boreal forest species. Science of the Total Environment 410-411, 191-197.

Turunen S. 2011. Pohjois-Savon uraaniesiintymillä elävien maaperä- ja kenttäkerroksen eläinten uraanipitoisuudet. Pro gradu. Ympäristötieteen laitos, Itä-Suomen yliopisto.

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

Roivainen P. (esittäjä), Tuovinen T., Makkonen S., Holopainen T., Juutilainen J. 2011. Soil-to-plant transfer of uranium. Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in the environment – geochemical and biological behavior, tools for risk assessment, Kuopio, September 14-15 2011.

Abstrakti julkaistu kirjassa: Kauppila P.M., Tornivaara A., Makkonen S. (toim.): ERACedu workshop Proceedings. Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in the environment – geochemical and biological behavior, tools for risk assessment, Kuopio, September 14-15 2011. Publication Series of Environmental Science, University of Eastern Finland 4/2011. ISSN 1799-1676. p.18-20.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014) Vuosiyhteenveto 2011

| | | |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|
| Tutkimushankkeen nimi Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa | | |
| Tutkimushankkeen nimi englanniksi Risks of microbiologically influenced corrosion in the Finnish nuclear waste repository | | |
| Tutkimuslaitos VTT | Vastuuhenkilö Leena Carpén | |
| Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus | | |
| Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Vuosi 2011 oli tämän tutkimuksen ensimmäinen vuosi, hankkeelle on myönnetty jatkorahoitus vuodelle 2012. Hanke on suunniteltu 4-vuotiseksi. | | |
| Yhteistyökumppanit | | |
| Kotimaiset organisaatiot HY | 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 kokeellinen menetelmä | Julkaisujen lukumäärä 1+1 | Opinnäytetöiden lukumäärä |
| Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa purkujätemetallien mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista (Posiva, STUK, TVO, Fortum). Lisäksi projektissa saadaan uutta tietoa eri materiaalien käyttäytymisestä pohjavesiolosuhteissa, otetaan käyttöön uusia sähkökemiallisia mittausten menetelmiä ja uusia, entistä tarkempia molekyylibiologisia mikrobimääritysmenetelmiä, joita kaikkia voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa sovellutusympäristöissä (VTT). | | |
| Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto saavutetuista tuloksista osaprojekteittain) Koejärjestelyjen suunnittelu ja toteutus kenttäkokeiden osalta tehtiin vuoden 2011 aikana. Ennen varsinaisia laboratoriokokeita suunniteltiin ja toteutettiin pienimuotoinen esikoe, jotta osattaisiin suunnitella oikein varsinaiset laboratoriokokeet. Esikokeen tarkoituksena oli selvittää, miten paljon lämpötilalla on vaikutusta mikrobien toiminnalle ja mikrobisyhteisön rakenteelle. Esikokeen ensimmäisten tulosten (3 kk:n altistusaika) perusteella valittiin koelämpötila laboratoriossa tehtäville kokeille (aloitus maaliskuussa 2012) ja tehtiin laboratoriokoesuunnitelma. Johtopäätöksenä 3 kk:n esikokeen tuloksista voitiin todeta, että lämpötilalla oli merkitystä mikrobien laatuun ja määrään ainakin näin lyhyellä koeajalla. Huoneenlämpötilassa olleissa näytteissä tutkittujen geenien kopiomäärä ja lajien monimuotoisuus oli suurempaa kuin alhaisemmassa lämpötilassa (+6°C) pidetyissä näytteissä. Hiiliteräksen läsnäololla oli lämpötilaa suurempi vaikutus mikrobien määrään pohjavedessä. Hiiliteräksen läsnäolossa mikrobimäärät kymmenkertaistuivat, mikrobit näyttivät pysyvän paremmin hengissä ja sulfaattia pelkistävien bakteerien (SRB) määrä oli myös suurempi kuin pelkässä vedessä. Kahdessa tutkituista kuudesta näytteestä oli tapahtunut syöpymistä kolmen kuukauden altistuksen aikana. Toinen näytteistä oli alemmassa lämpötilassa (+6°C) ollut näyte ympäristössä, joka ei ollut pysynyt hapettomana. Toinen näytteistä oli huoneenlämpötilassa, hapettomissa olosuhteissa ollut näyte. Hapellisissa olosuhteissa tapahtunut syöpyminen oli n. 11 µm/a ja hapettomissa olosuhteissa n. 1 µm/a. Hapettomissa olosuhteissa syöpyneen näytteen pinnalla todettiin erittäin runsaasti rikkiä. Hapellisissa olosuhteissa syöpyneen näytteen pinnalla todettiin runsaasti happea ja piitä, mutta vähemmän rikkiä. Vuoden 2011 aikana (viikolla 42) aloitettiin kenttäkokeet Olkiluodon VLJ-luolassa. Luolaan on asetettu 16 näyteastiaa, joihin on otettu vesi hapettomasti kairanreiästä (KR9) ja joissa pyritään simuloimaan purkujätteiden loppusijoitusolosuhteita. Suunnitellut koeajat ovat 1, 2 ja 3 vuotta. | | |

Laboratoriokokeita varten on myös tehty koesuunnitelma ja tehty valmisteluja laboratoriokokeiden aloitusta varten (maaliskuu 2012).

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Leena Carpén, Mikko Vepsäläinen, Pauliina Rajala, Malin Bomberg ja Merja Itävaara. 2012. Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa- Vuosiraportti 2011. VTT Tutkimusraportti nro. VTT-R-00473-12.

Leena Carpén, Johanna Maukonen and Satu Salo: "Accelerated Corrosion of Carbon Steel and Zinc in Oxygen-Free Groundwater – Due to the Microbiological Activity?" Hyväksytty julkaistavaksi NACE Corrosion 2012 konferenssissa 11-15.3.2012, Salt Lake City, Utah, USA.

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

Liite 2 KYT2014 julkaisut ja opinnäytteet 2011

Arvojulkaisut²

Ari-Lahti, E., Lehtikuusi, T., Olin, M., Saario, T. and Varis, P., 2011, Evidence for internal diffusion of sulphide from groundwater into grain boundaries ahead of a crack tip in CuOFP copper, *Journal of Corrosion Technology, Science and Engineering*, Vol. 46 (2011) No: 2, 134-137.

Huittinen, N., Sarv, P., Lehto, J. 2011, A proton NMR study on the specific sorption of yttrium(III) and europium(III) on gamma-alumina [γ -Al₂O₃], *Journal of Colloid and Interface Science* 361 (2011) 252–258

Itävaara, M., Nyysönen, M., Kapanen, A., Nousiainen, A., Ahonen, L., Kukkonen, I., 2011. Characterization of bacterial diversity to a depth of 1500 m in the Outokumpu deep borehole, Fennoscandian Shield. *FEMS Microbiology Ecology*, DOI:10.1111/j.1574-6941.2011.01111.x .

Kekäläinen, P., Voutilainen, M., Poteri, A., Hölttä, P., Hautojärvi, A. and Timonen, J., 2011. Solutions to and validation of matrix-diffusion models. *Transport in Porous Media* 87 (2011) 125-149.

Kietäväinen, R., Ahonen, L., Kukkonen, I.T, Kortelainen, N., Nyysönen, 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 AIG-9 Special Issue* (submitted).

Kukkonen, I.T, Rath, V., Kivekäs, L., Safanda, J. and Cermak, V., 2011. Geothermal studies of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland: Vertical variation in heat flow and palaeoclimatic implications. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 188, 9–25 (doi:10.1016/j.pepi.2011.06.002).

Markovaara-Koivisto, M., Laine E. 2011, MATLAB script in visualizing and analyzing scanline data. *Computers & Geosciences*, Vol 40, pp.185-193.

Nyysönen, M., Hultman, J., Ahonen, L., Kukkonen, I., Paulin, L., Itävaara, M. & Auvinen, P. 2012. Functionally adapted multispecies microbial communities in deep crystalline rock. (in preparation)

Roivainen, P., Makkonen, S., Holopainen, T., Juutilainen, J. 2011. Soil-to-plant transfer of uranium and its distribution between plant parts in four boreal forest species *BOREAL ENVIRONMENT RESEARCH* 16: 158-166.

Roivainen, P., Makkonen, S., Holopainen, T., Juutilainen, J. 2011. Transfer of elements relevant to radioactive waste from soil to five boreal plant species *CHEMOSPHERE* 83: 385-390.

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.

Sammaljärvi, J., Jokelainen, L., Ikonen, J., Siitari-Kauppi, M. 2011. Thermal polymerisation of MMA with BPO in brick and grimsel granodiorite. Submitted to *Engineering geology*

² Julkaisujen luokittelu eri kategorioihin (arvojulkaisut, konferenssijulkaisut ja työraportit, opinnäytteet) hankepäälliköiden ilmoitusten perusteella.

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.

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.

Tuovinen, T.S., Roivainen, P., Makkonen, S., Kolehmainen, M., Holopainen, T., Juutilainen, J. 2011. Soil to-plant transfer of elements is not linear: results for five elements relevant to radioactive waste in five boreal forest species. *Science of the Total Environment* 410-411, 191-197.

Voutilainen, M., Siitari-Kauppi, M., Lindberg, A., Sardini, P., Timonen, J. 2011, Pore-Space Characterization of an Altered Tonalite by x-ray μ CT and the 14C-PMMA Method in *Journal of Geophysical Research - Solid Earth*.

Konferenssijulkaisut ja työraportit

Aaltonen, P., Yagodzinsky, Y., Kilpeläinen, S., Tuomisto, F, Hänninen, H., 2011, Role of Excessive Vacancy Generated in p-n Type Duplex Cu₂O Film under Anodic Bias in TGSCC of Pure Copper. The European Corrosion Congress, EUROCORR 2011, September 4-8, 2011, Stockholm, Sweden, 12 p.

Aarnio, P.A., Andreev, A.A. & Salomaa, R. 2011. Laser-Induced X-Ray Transmutation of Nuclides, 15th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems, May 15-19, 2011, San Francisco, California, p. TuP-24.

Aarnio, P., Ala-Heikkilä, J., Böhling, M. & Latja, E. 2011. Simulating Transmutation in MYRRHA with FLUKA MC-Code, NOMAGE4 Nordic Nuclear Materials Forum for Generation IV Reactors, Park Hotel Halden, Norway, October 30 - November 1, 2011, NOMAGE4 Nordic Nuclear Materials Forum for Generation IV Reactors, P2 (2011)

Ahonen, L. & Ruskeeniemi, T. 2011. Palmottu natural analogue study: behaviour of uranium in and around a uranium deposit. In: Naturally occurring radioactive materials (NORM) in the environment - geochemical and biological behaviour, tools for risk assessment: ERACedu workshop proceedings, Kuopio, September 14-15, 2011. Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksen julkaisusarja 4/2011. Kuopio: University of Eastern Finland, 16-17.

Ahonen, L., Hakkarainen, V., Kaija, J., Kuivamäki, A., Lindberg, A., Paananen, M., Paulamäki, S. & Ruskeeniemi, T. 2011. Geological safety aspects of nuclear waste disposal in Finland. In: Geo-science for society: 125th anniversary volume. Geological Survey of Finland. Special Paper 49. Espoo: Geological Survey of Finland, 145-152.

Ahonen, L., Kietäväinen, R., Kortelainen, N., Kukkonen, I. T., Pullinen, A., Toppi, T., Bomberg, M., Itävaara, M., Nousiainen, A., Nyssönen, M. & Öster, M. 2011. Hydrogeological characteristics of the Outokumpu Deep Drill Hole. In: Kukkonen, I.T. (ed.), The Outokumpu Deep Drilling Project 2004-2010. Geological Survey of Finland, Special Paper 51, 151-168.

Ari-Lahti, E., Lehtikuusi, T., Saario, T. and Varis, P., 2011, Sulphide-induced embrittlement of CuOFP– Intermediate Report 1. VTT Research Report VTT-R-05611-11.

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

- Carlsson, T., Muurinen, A., Matuszewicz, M. & Root A. 2011. Porewater in compacted water-saturated MX-80 bentonite. The XXXV International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management, MRS 2011
- Carpén, L., Maukonen, J., Salo, S., 2011, "Accelerated Corrosion of Carbon Steel and Zinc in Oxygen-Free Groundwater – Due to the Microbiological Activity?" Hyväksytty julkaistavaksi NACE Corrosion 2012 konferenssissa 11-15.3.2012, Salt Lake City, Utah, USA.
- Carpén, L., Vepsäläinen, M., Rajala, P., Bomberg M., Itävaara, M., 2012. Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa- Vuosiraportti 2011. VTT Tutkimusraportti nro. VTT-R-00473-12.
- Huittinen, N., Rabung, Th., Lehto, J., Geckeis H., 2011, The role of dissolved silicon on curium speciation in alkaline kaolinite suspensions, Migration 2011, Peking, Kiina, 18-23.9.2011
- Häkkinen, S. 2011, COSI6 VTT:llä, tutkimusraportti, VTT-R-07431-11.
- Häkkinen, S. Harjula, R. & Paajanen, A. 2011, Erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus maailmalla, tutkimusraportti, VTT-R-09387-11.
- Ikonen, J., Jokelainen, L., Siitari-Kauppi, M., Sardini, P., Martin, A., 2011, The diffusion of tritiated water and iodide through granodiorite; in situ Long Term Diffusion experiment in 13th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere 2011, 18.-23.9.2011 Beijing
- Itälä, A. & Muurinen, A. 2011. Na/Ca selectivity coefficients of montmorillonite in perchlorate solution at different temperatures. The XXXV International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management, MRS 2011
- Itävaara, M., Nyyssönen, M., Bomberg, M., Kapanen, A., Nousiainen, A., Ahonen, L., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P. & Kukkonen, I. T. 2011. Microbiological sampling and analysis of the Outokumpu Deep Drill Hole biosphere in 2007–2009. In: Kukkonen, I.T. (ed.), The Outokumpu Deep Drilling Project 2004-2010. Geological Survey of Finland, Special Paper 51, 199–206.
- Ivanchenko, M., Yagodzhinsky, Y., Hänninen, H., 2011 Hydrogen-Induced Mechanical Losses in Oxygen-Free Copper. The 16th International Conference on Internal Friction and Mechanical Spectroscopy, ICIFMS16, July 3-8, 2011, Lausanne, Switzerland, Solid State Phenomena, 184, pp. 122-127.
- Kelokaski, M., Sammaljärvi, J., Siitari-Kauppi, M., Fonteneau, L., Sardini, P. 2011, Characterisation of pore space by resin impregnation techniques. Scientific Basis for Nuclear Waste Management, 2.-7.10.2011 Buenos Aires
- Kietäväinen, R., Kortelainen, N., Ahonen, L., Nuppunen, M., Kukkonen, I.T., Itävaara, M., 2011. Chemical and stable isotopic characterization of water from the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland: Tracing deep life. In: Otero, N., Soler, A. and Audi, C. (eds.): AIG-9, 9th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry, Abstracts, p. 83.
- Kietäväinen, R., Kortelainen, N., Ahonen, L., Nuppunen-Puputti, M., Kukkonen, I.T., Itävaara, M. & Karhu, J., 2011. Water stable isotopes and geochemistry of saline waters of the Outokumpu Deep Drill Hole – implications to deep biosphere. In: Kultti, S. & Rämö, O.T., (eds.), 8th National Geological

Colloquium, Abstract volume. Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, C5, Unigrafia, Helsinki, p. 20

Koskinen, P. & Vesikari, E., 2012. Durability of Concrete Barriers in Final Depositories of Nuclear Waste. Technical Research Centre of Finland. Research Reports VTT-R-01185-12. 64 p. + App. 126 p.

Kukkonen, I. T., Rath, V., Kivekäs, L., Šafanda, J. & Čermák, V. 2011. Geothermal studies of the Outokumpu Deep Drill Hole. In: Kukkonen, I.T. (ed.), The Outokumpu Deep Drilling Project 2004-2010. Geological Survey of Finland, Special Paper 51, pp. 181–198.

Kupcik, T., Huittinen, N., Rabung, Th., Lützenkirchen, J., Geckeis, H., Fanghänel, Th., 2011, Interaction of trivalent metal ions with aluminum (hydr)oxides, Migration 2011, Peking, Kiina, 18-23.9.2011

Latja, E. 2011. Transmutation of Iodine-129 and Technetium-99 in MYRRHA ADS using FLUKA particle transport code, Aalto University School of Science, Department of Applied Physics, Technical Report FF-2011-01 (2011).

Markovaara-Koivisto M., Hokkanen T., 2011, Effect of a discontinuity's aperture on the GPR signal. EAGE Near Surface - Conference Proceedings, 2011, Leicester.

Matuszewicz, M., Liljeström, V., Muurinen, A. & Serimaa, R. 2011. Saxs and tem investigation of bentonite structure. 3. NEA Clay Club Workshop Proceedings Karlsruhe (Germany) "Clays under Nano- to Microscopic resolution" Extended abstract planned to be published

Myllykylä, E., Tanhua-Tyrkkö, M. & Bouchet, A. 2011. Alteration and dissolution of Na-montmorillonite in simulated groundwaters. The XXXV International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management, MRS 2011

Paajanen, A. & Harjula, R. 2011, Removal of ⁸⁵Sr, ¹³⁴Cs, ¹⁴¹Ce, ¹⁵²Eu and ²⁴¹Am from Nitric Acidic Solutions by Tungsten Doped Antimony Silicate, Proceedings of GLOBAL 2011 Conference, Makuhari, Japan, Dec 11-16, 2011, Paper No. 358397.

Pakarinen, J., 2011, (S)TEM analysis of OFP copper CT-tested in S containing groundwater. VTT Research Report VTT-R-04957-11.

Rantala, J., Salonen, J., Auerkari, P., Holmström, S. 2011, Long-term integrity of copper overpack, Final Report, KYT2010 Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management 2006-2010, Ministry of Employment and the Economy, 26/2011

Rantamäki, K. 2011, Sivuaktinidien poltto kevytvesireaktorissa, tutkimusraportti, VTT-R-07384-11.

Vuorinen, U. 2011. ¹⁴C aktivoituneessa metallijätteessä – kirjallisuusselvitys. Julkaistaan VTT:n tutkimusraporttina 2012 (VTT-R-05446-12).

Wennerström, M., Markovaara-Koivisto M., 2011, Ductile and brittle deformation structures of Mäntsälä granodiorite batholith in southern Finland; observation at three scales. Deformation mechanisms, Rheology and Tectonics, DRT 2011 Meeting, 31st August-2nd September 2011, Oviedo (Spain). Abstract Volume.

Yagodzinky, Y., Todoshchenko, O., Saukkonen, T., Savolainen, K., Hänninen, H., 2011. Effect of Hydrogen Uptake on Mechanical Properties of Pure Copper. The European Corrosion Congress, EUROCORR 2011, September 4-8, 2011, Stockholm, Sweden. To be published.

Opinnäytteet

Böhling, M. 2011. Preliminary simulations of MYRRHA with FLUKA, Bachelor's thesis, Aalto University, Faculty of Information and Natural Sciences, 2011.

Eloranta, A. 2011, "Experimental Methods for Measuring Elasto-plastic Parameters of Bentonite Clay", Pro Gradu, Jyväskylän yliopisto

Hauta-aho, P. 2011, Seleenin sorptio kivimurskaan, Tutkielma 8.2011

Herrman, Y., 2012, Comparison of metagenomic data by identifying enriched pathways in metabolic networks, Gradututkielma, valmisteilla (valmistuu keväällä 2012)

Laato, T. 2011. Tyypillisen kiehtusvesireaktorin polttoaineen aksiaalinen nuklidijakauma 60 MWd/kgU palamalla, (Axial Distribution of Nuclides in a Typical BWR Fuel Bundle at 60 MWd/kgU Burnup), Kandidaatintyö, Aalto-yliopisto, Perustieteiden korkeakoulu, 2011.

Rajala, P. 2011. The effect of C-1 substrates on the activity of deep biosphere microorganisms from Outokumpu deep drillhole at 500 m depth. Gradutyö Helsingin Yliopisto.

Roivainen, P. 2011. Characteristics of Soil-to-Plant Transfer of Elements Relevant to Radioactive Waste in Boreal Forest. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Forestry and Natural Sciences 56.

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.

Teittinen, H. 2011, Europiumin sorptio silikaan, gibbsiittiin ja kaoliniittiin, pro gradututkielma 08/2011

Turunen, S. 2011. Pohjois-Savon uraaniesiintymillä elävien maaperä- ja kenttäkerroksen eläinten uraanipitoisuudet. Pro gradu. Ympäristötieteen laitos, Itä-Suomen yliopisto.

Liite 3 KYT2014 organisaatio 2011

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 (Nina Koivula) | Fennovoima | |

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 | |
| Kari Koskinen | Posiva | |
| Jukka Tanskanen | Posiva | |
| Nina Paaso | TVO | |

KYT2014 Tukiryhmä II: Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot

| Jäsen | Organisaatio | Tehtävä |
|--------------------|--------------|---------|
| Esko Eloranta | STUK | pj. |
| Kai Hämäläinen | STUK | |
| Arto Isolankila | STUK | |
| Petri Jussila | STUK | varapj. |
| 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 | |
| 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 2011

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 2011 hankehaun yhteydessä. Käytännön seurantatyö tapahtuu muun muassa erityisissä seurantakokouksissa ja näitä kokouksia varten tukiryhmät I ja II ovat v. 2011 jakaneet rahoitusta saaneet tutkimushankkeet aihepiireittäin seuraaviin seurantaryhmiin.

Tukiryhmä I Puskuri. täyteaine ja kapseli (pj. Marko Alenius)

Seurantaryhmä 1. Koordinoitu hankekokonaisuus Bentoniittipuskuri (BOA)

- Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA); **Markus Olin, VTT**
- Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA); Antti Niemistö, Numerola Oy
- Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA); osahanke 2.2 THM-mallin toteutus; Antti Lempinen, Ludus Mundi 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

Seurantaryhmä 2. Kapseli

- Kuparin korroosio hapettomassa vedessä; Antero Pehkonen, Aalto
- Kuparisen ydinjätekapselin mekaaniset ominaisuudet; Hannu Hänninen, Aalto
- Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO); Pentti Kauppinen, VTT
- Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen; Timo Saario, VTT
- Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa; Leena Carpén, VTT

Seurantaryhmä 3. Kalliolaatu:

- Kalliolaatu: Kiteisen kallioperän laatutekijöiden visualisointi ja mallinnus 1-3-ulottuvuudessa ja mallien luotettavuuden arviointi; Jussi Leveinen, Aalto

Seurantaryhmä 4. 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 (pj. Esko Eloranta)

Seurantaryhmä 5. Koordinoitu hankekokonaisuus Turvallisuusperustelu (LS-TUPER)

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

Seurantaryhmä 6. Nuklidikulkeutuminen

- Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA); Pirkko Hölttä, HYRL
- Kallion in situ tutkimukset; Marja Siitari-Kauppi, HYRL
- Kiven heterogeenisten ominaisuuksien yhdistäminen matriisidiffuusio-mallinnukseen; Jussi Timonen, JYFL
- C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14); Kaija Ollila, VTT
- Kolmenarvoisten aktinidien kiinnittyminen savi- ja (hydr)oksidimineraalien pinnalle³; Jukka Lehto, HYRL (TR I)

Seurantaryhmä 7. 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, HY

Seurantaryhmä 8. Biosfääri

- Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa; Jukka Juutilainen, UEF

Seurantaryhmä 9. Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat

- Kehittyneet polttoainekierröt - Uudet erotustekniikat; Risto Harjula, HYRL
- Kehittyneet polttoainekierröt - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi; Silja Häkkinen, VTT
- Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA); Rainer Salomaa, Aalto

³ Hanke kuuluu Tukiryhmän I seurattaviin hankkeisiin, mutta toiminnallisista syistä seuranta toteutetaan seurantaryhmässä nuklidikulkeutuminen.