

KYT2018

KANSALLINEN YDINJÄTEHUOLLON
TUTKIMUSOHJELMA
2015-2018

Vuosikatsaus
2015

Kari Rasilainen

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
1. Johdanto	4
2. Tutkimusohjelman tavoitteet	6
3. Tutkimushankkeet vuonna 2015	8
3.1 Ydinjätehuollon teknologiat	11
3.2 Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus	12
3.2.1 Turvallisuusperustelu	12
3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky	12
3.2.3 Kapselin toimintakyky	14
3.2.4 Mikrobiologian vaikutukset	17
3.2.5 Muut turvallisuustutkimukset	18
3.3 Ydinjätehuolto ja yhteiskunta	22
Viitteet	22
Liite 1 KYT2018 hankekohtaiset vuosiyhteenvedot 2015	23
Liite 2 KYT2018 julkaisut ja opinnäytteet 2015	82
Liite 3 KYT2018 organisaatio 2015	88
Liite 4 KYT2018 hankeseuranta 2015	90

ESIPUHE

Tämä on Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT2018) sisällöllinen vuosikatsaus vuodelta 2015. Vuosikatsauksessa kuvataan lyhyesti tutkimusohjelman saavuttamia tutkimustuloksia hankepäälliköiden raportoimien hankekohtaisten tulosten perusteella.

Vuosikatsauksessa käsitellään rahoituskysymyksiä vain yleisellä tasolla. KYT2018-ohjelman tärkein yksittäinen rahoittajataho on valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR). Tutkimusta tekevät organisaatiot ovat ohjanneet hankkeisiinsa usein myös omaa rahoitustaan.

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

1 Johdanto

Suomen lainsäädäntö edellyttää, että ydinjätehuoltovelvolliset vastaavat tuottamiensa jätteiden huollon suunnittelusta, toteutuksesta ja kustannuksista mukaan lukien tutkimus- ja kehitystyö. Teollisuuden Voima Oyj:n (TVO) ja Fortum Power and Heat Oy:n yhdessä omistamalla Posiva Oy:llä on Suomen laajin ydinjätehuollon tutkimus- ja kehitystyön ohjelma.

Työ- ja elinkeinoministeriöllä (TEM) on kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT), jonka pitkän aikavälin tarkoituksena on varmistaa alan osaaminen ydinenergialain 53 b §:n tavoitteiden mukaisesti sekä edistää yhteistyötä viranomaisten, ydinjätehuoltovelvollisten ja tutkijoiden kesken. Osaamisen ylläpidossa keskeinen asia on uusien asiantuntijoiden kouluttaminen alalle.

Ydinjätehuollon toimintaympäristössä tapahtuu tutkimusohjelmakaudella 2015–2018 merkittäviä muutoksia sekä Suomessa että ulkomailla.

Kotimainen toimintaympäristö

Tutkimusohjelmakautteen, v. 2015 - 2018, ajoittuu Suomessa useita ydinjätehuoltoon suoraan ja välillisesti liittyviä päätöksiä ja valintoja. Ydinjätehuollon ratkaisut ovat hyvin pitkävaikutteisia ja siten päätöstentekoon valmistautuminen, jonka osana on tutkimustyön tekeminen, täytyy aloittaa hyvissä ajoin.

Merkittävin asia ydinjätehuollossa ohjelmakaudella on Posivan loppusijoituslaitoksen rakentamisen aloitus ja valmistautuminen käyttöluvan jättämiseen. Vuoden 2012 lopulla Posiva toimitti valtioneuvostolle rakentamislupahakemuksen käytetyn polttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta muodostuvan laitospakettisuuden rakentamiseksi Eurajoen Olkiluotoon, lupa myönnettiin vuoden 2015 syksyllä. Laitosten rakentaminen aloitetaan luvan myöntämisen jälkeen. Käyttöilupaa haetaan nykyisen aikataulun mukaan noin vuonna 2020.

Ohjelmakaudella pyritään ottamaan nyt rakenteilla oleva ydinvoimalaitosyksikkö (Olkiluoto 3) käyttöön ja edetä vuonna 2010 Hanhikivi 1 –ydinvoimalaitokselle myönnetyn periaatepäätöksen mukaisesti rakentamislupavaiheeseen. Fennovoima käynnistää kesällä 2016 YVA-menettelyn käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen paikanvalintaa varten.

Loviisan ydinvoimalaitosyksiköiden käyttöluvut ovat voimassa 2020-luvun loppupuolelle. Olkiluodon laitosyksiköiden 1 ja 2 luvat ovat voimassa vuoden 2018 loppuun saakka. TVO:n Olkiluoto 1 - ja 2 -laitosyksiköiden käyttöilupien jatkamista tullaan hakemaan seuraavaksi 20 vuoden jaksoksi ennen lupien umpeutumista. Käytöstäpoiston ja purkujätteen loppusijoituksen luvitus alkaa nykyisten suunnitelmien mukaan 2020-luvun alussa Loviisan voimalaitoksen osalta. Sitä ennen on edessä Otaniemessä sijaitsevan tutkimusreaktorin käytöstäpoisto, jonka YVA-menettely on saatettu päätökseen helmikuussa 2015.

VTT on käynnistänyt Ydinturvallisuustalo-rakennushankkeen vuoden 2014 alkupuolella. Rakennus otetaan suurimmalta osaltaan käyttöön vuoden 2016 loppuun mennessä. Ydinturvallisuustaloon rakennetaan ajanmukaiset kokeelliset tutkimustilat kuumakammiovalmiuksineen, joissa voidaan tutkia esimerkiksi aktivoituneita reaktorimateriaaleja, mutta ei käytettyä polttoainetta. Taloon rakennetaan myös laboratoriotilat ydinjätetutkimukselle sekä uudet radiokemian ja dosimetrian laboratoriot.

Kansainvälinen toimintaympäristö

Ulkomaisen kehityksen arvioidaan olevan vilkasta ydinjätehuollon alalla. Esimerkiksi EU:n ydinjätedirektiivi vaikuttaa toimialan käytäntöihin ja suunnitelmiin. Ruotsissa saatetaan loppuun

maaliskuussa 2011 viranomaisille jätetty käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittely. Ranskassa korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituslaitoksen rakentamisen lupahakemuksen käsittely alkaa vuonna 2015 ja loppusijoitus aikataulun mukaan vuonna 2025. USA:ssa nk. Blue Ribbon -komiteat ovat selvittäneet vaihtoehtoja Yucca Mountainiin kaavaillulle geologiselle loppusijoitukselle, josta luovuttiin vuonna 2010 poliittisella päätöksellä.

Monet eurooppalaiset ydinjätehuollon toimijat ovat kehittämässä voimalaitosten käyttöjätteen loppusijoituksen ratkaisuja, koska jätteen kertymisnopeuden vuoksi paine loppusijoituksen aloittamiseen kasvaa. Suomessa ja Ruotsissa voimalaitosjätteen loppusijoitus on jo luvitetussa toteutusvaiheessa.

Euroopan unionin (EU) rahoitus ydinjätetutkimukselle on toteutettu Euratomin tutkimus- ja koulutusohjelmien kautta puiteohjelmina. Seitsemäs puiteohjelma on päättynyt ja uusi Horizon 2020 -ohjelma vuosille 2014–2020 on käynnissä: ensimmäinen hankehaku vuosille 2014-2015 avautui keväällä 2014. Vuonna 2009 perustettiin teknologiafoorumi IGD-TP (Implementing Geological Disposal - Technology Platform), jonka tehtävänä on koordinoida Euratomin piirissä tehtävää ydinjätehuollon tutkimusta. Suomesta IGD-TP:hen osallistuu aktiivisimmin Posiva. Posivan lisäksi ohjelmassa on mukana myös eräitä muita suomalaisia ydinjätealalla toimivia organisaatioita ja voimayhtiöitä. SNE TP-NUGENIA tutkimusohjelmassa on mukana laitosten purkamiseen ja laitosjätteen käsittelyyn liittyvää tutkimustoimintaa, mikä täydentää IGD-TP:n tavoitteita jätehuollon tutkimustarpeiden osalta.

EU:n piirissä komissio on parhaillaan pyrkimässä ns. yhteiseen ohjelmasuunnitteluun (European Joint Programme), jonka yhtenä ulottuvuutena on kansallisten tutkimusohjelmien ja yksittäisten hankkeiden nykyistä tiiviimpi kytkeminen isommiksi eurooppalaisiksi tutkimusohjelmiksi. Suomessa tämä koskisi esim. KYT2018- ja SAFIR2018-ohjelmia.

OECD:n ydinennergiajärjestön (Nuclear Energy Agency, NEA) jätekomitea (Radioactive Waste Management Committee, RWMC) käsittelee työryhmissään erityisesti pitkäikäisen jätteen ja käytetyn ydinpolttoaineen huoltoa, loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta sekä ydinlaitosten käytöstäpoistoa. RWMC:llä on kolme työryhmää. Forum on Stakeholder Confidence (FSC) keskittyy ydinjätehuollon yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen. Integration Group for the Safety Case (IGSC) keskittyy loppusijoituksen turvallisuuteen eri näkökulmista ja loppusijoituksen turvallisuusperustelujen kehittämiseen. Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD) keskittyy käytöstäpoiston strategioihin ja purkuteknikoihin, sääntelyyn, käytöstäpoistojätteisiin, rahoitukseen ja kustannuksiin. Jätekomitea kokoontuu kerran vuodessa. Työryhmät järjestävät vuosittain seminaareja, työpajoja ja vuosikokouksia sekä julkaisevat selvityksiä ja esitteitä. Jätekomiteassa ja sen työryhmissä on edustus myös Suomesta; jätekomiteassa on edustus myös KYT-ohjelmasta.

Suomalaiset ydinjätehuollon toimijat osallistuvat aktiivisesti kansainvälisten suositusten ja eurooppalaisten turvallisuusvaatimusten valmisteluun. STUK vaikuttaa IAEA:n (International Atomic Energy Agency) ydinjätehuoltoa koskeviin vaatimuksiin erityisesti IAEA:n ydinjäteasioita käsittelevän komitean (Waste Safety Standards Committee, WASSC) kautta osallistumalla vaatimus- ja ohje-luonnosten valmisteluun ja toimimalla IAEA:n projekteissa (esim. International Intercomparison and Harmonisation Project On Demonstrating the Safety of Geological Disposal, GEOSAF). Ohjetyön lisäksi STUK toimii Suomen yhteysorganisaationa IAEA:n ylläpitämässä ydinennergia-alan tiedonvaihto-järjestelmissä (mm. ydinjätetietokanta IAEA Online Information Resource for Radioactive Waste Management, NEWMDB). STUK:n asiantuntijat osallistuvat myös muiden jäsenvaltioiden vertaisarviointeihin IAEA:n arviointiryhmien jäsenenä. IAEA-yhteistyö antaa kokonaiskuvaa ydinjäteasioihin, vaikka ne eivät suoraan koskisikaan tutkimusta. STUK osallistuu myös WENRA:n (Western European Nuclear Regulators Association) ydinjäte- ja käytöstäpoistotyöryhmän (Working Group on Waste and Decommissioning, WGWD) työhön. WGWD:n tavoitteena on harmonisoida ydinjätteeseen ja käytöstäpoistoon liittyviä viranomaisvaatimuksia. Luvanhaltijat Fortum ja TVO

osallistuvat puolestaan Foratomin alla toimivan ENISS-ryhmän kautta WENRA:n, IAEA:n ja Euroopan komission ohjeisto- ja säännöstötyön seurantaan ja kommentointiin.

NKS (Nordic Nuclear Safety Research) on pohjoismainen ministeriöiden ja voimayhtiöiden rahoittama yhteistyöverkosto, joka tukee ydinturvallisuuteen, säteilysuojeluun ja valmiustoimintaan liittyvää tutkimusta sekä alan seminaarien järjestämistä. Ydinjätehuollon alueella NKS:n puitteissa on viime vuosina selvitetty mm. vaikeasti havaittavien nuklidien mittausta purkujätteestä sekä järjestetty kolme käytöstäpoistoseminaaria. Seminaareista ensimmäinen pidettiin Risø:ssa Tanskassa vuonna 2005, toinen Studsvikissa Ruotsissa vuonna 2010 ja kolmas Haldenissa Norjassa vuoden 2013 lopulla.

2. Tutkimusohjelman tavoitteet

KYT2018-tutkimusohjelman lähtökohdat perustuvat ydinenergi lakiin (990/1987, 53 b §), 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 arviointiin”.

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

Ydinenergi lain mukaan ydinjätehuoltovelvolliset vastaavat tuottamiensa jätteiden huollon käytännön suunnittelusta, toteutuksesta ja kustannuksista mukaan lukien tutkimus- ja kehitystyö. Siksi ydinjätehuoltovelvollisten selvitysvelvollisuuden piiriin kuuluvat hankkeet eivät kuulu KYT-ohjelmaan. Myöskään STUK:n valvontatyötä suoraan tukevat hankkeet eivät kuulu KYT2018-ohjelmaan. Eri toimijat voivat kuitenkin tarjota KYT-ohjelman ja tutkijoiden käyttöön esimerkiksi omia koelaitteistoja ja kokeellisia tutkimusaineistoja, jolloin laitteet ja aineistot on mahdollista saada laajemmin tutkimusyhteisön hyödynnettäviksi esimerkiksi opinnäytetöissä.

KYT-tutkimusohjelmaan osallistuvat korkeakoulut ja yliopistot vastaavat oman strategiansa mukaisesta perus- ja jatko-opiskelijoiden koulutuksesta sekä tutkimustyöstä. Tutkimuspalveluita tarjoavat organisaatiot vastaavat puolestaan oman osaamisensa kehittämisestä strategiansa ja palveluiden kysynnän pohjalta. KYT-ohjelma täydentää omalta osaltaan näiden organisaatioiden toiminnan rahoitusvaihtoehtoja.

KYT2018-tutkimusohjelma toimii samalla viranomaisten, ydinjätehuoltoa toteuttavien organisaatioiden ja tutkimuslaitosten välisenä keskustelu- ja tiedonvälitysoorumina. Näin luodaan edellytyksiä rajallisten tutkimusresurssien tehokkaalle hyödyntämiselle ja varmistetaan siitä, että yksittäisiin tutkimushankkeisiin saadaan riittävän monipuolinen ja poikkitieteellinen tutkimusryhmä sekä asiantunteva tukiryhmä. Tehokkaalla tiedonvaihdolla voidaan myös välttää mahdollista päällekkäistä tutkimusta sekä koordinoita esimerkiksi kansainvälisiin hankkeisiin osallistumista.

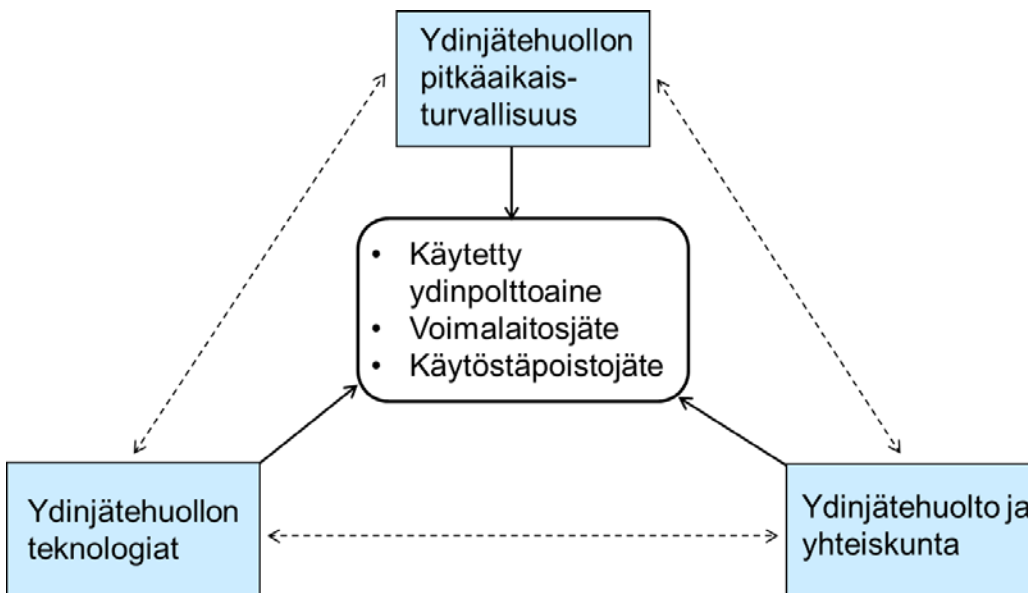
Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) rahoittaa vuosittain ydinjätehuollon tutkimushankkeita työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) esityksen perusteella. TEM:n esitys perustuu KYT-johtoryhmän rahoitussuosituksen. Vuosittain jaettava rahamäärä perustuu jätehuoltovelvollisten vastuumääriin. Tutkimuskaudella 2016–2018 on tutkimukseen, tutkimusinfrastruktuurin kehittämiseen ja täydennyskoulutustoimintaan osoitettavissa noin 2,9 miljoonaa euroa. Tämä jakautuu kaikille avoimeen hakuun, jonka osuus on noin 1,7 miljoonaa euroa vuosittain sekä vain VTT Oy:lle suunnattuun, Ydinturvallisuustalon tutkimusinfrastruktuurin kehittämiseen tarkoitettuun osaan.

KYT2018-tutkimusohjelma tukee ja kannustaa osallistumaan ydinjätetutkimuksen kansainvälisiin hankkeisiin. Esimerkiksi EU-hankkeita voidaan toteuttaa VYR:n ja muiden suomalaisten tai ulkomaisten rahoittajien yhteisrahoituksella. Yhteisrahoitteisiin hankkeisiin sovelletaan KYT2018-ohjelman osalta VYR:n rahoitusehtoja, jotka ovat saatavana KYT-tutkimusohjelman verkkosivuilta (<http://kyt2018.vtt.fi/>).

KYT2018-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. KYT2018-ohjelma voi tarjota osarahoitusta väitöskirjatyölle, mikäli esitetty työ täyttää tutkimusohjelman sisältö- ja laatuksiteerit.

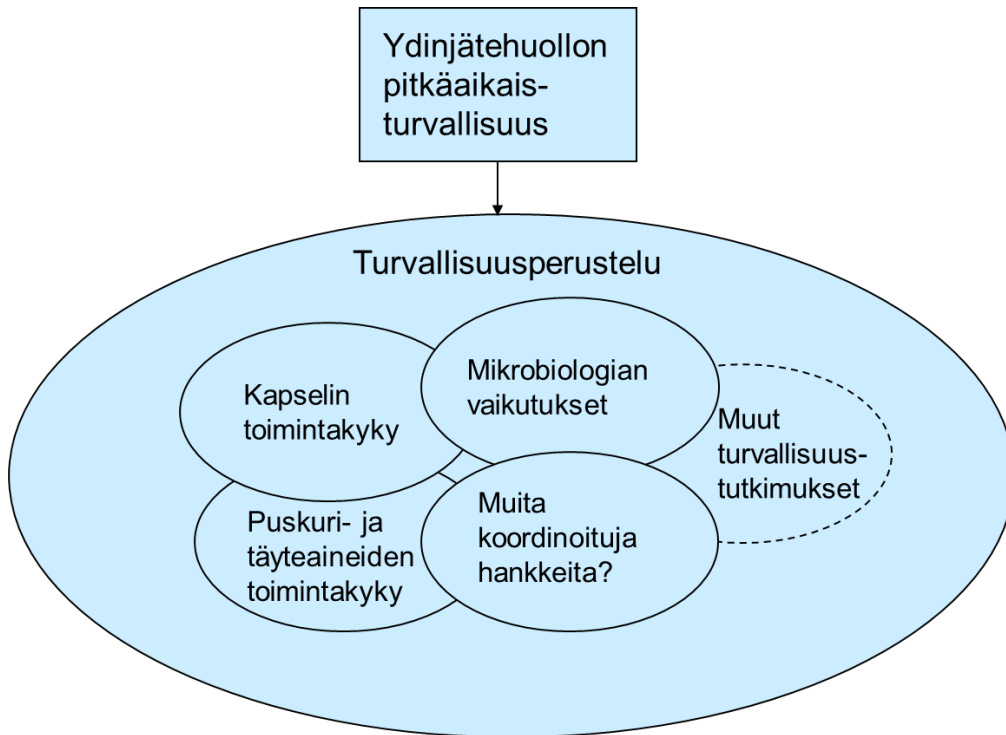
KYT2018-ohjelman tutkimussisältöön, raportointiin ja tiedonvälitykseen liittyvät tavoitteet on esitetty tarkemmin KYTin puiteohjelmassa (TEM 2014). Tutkimusohjelman sisäinen työnjako on kuvattu toimintaohjeessa (<http://kyt2018.vtt.fi/>).

KYT2018-ohjelman tutkimukset jaetaan sisällöllisiin toistensa kanssa vuorovaikuttaviin aihepiireihin (1) ydinjätehuollon teknologiat, (2) ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus sekä (3) ydinjätehuolto ja yhteiskunta, kuva 1. Ydinjätteen loppusijoituksen yhteiskunnallinen hyväksyttävyyden on riippuvainen sen pitkäaikaisturvallisuudesta, jota arvioidaan turvallisuusperustelulla. Turvallisuusperustelussa puolestaan arvioidaan ydinjätehuollon teknologioiden toimivuus pitkäaikaisturvallisuuden kannalta. Tutkimusohjelman johtoryhmä voi täsmentää vuosittain aihepiirien keskinäistä ja sisäistä painotusta.



Kuva 1. KYT2018-tutkimusohjelman aihepiirit.

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimuksen rakenne on kuvattu otsikkotasolla kuvassa 2. Pitkäaikaisturvallisuuden aihepiiriin kuuluvia tutkimuksia suunniteltaessa on tavoitteena oltava tutkimuksen hyödynnettävyys loppusijoituksen turvallisuusperustelussa. Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuustutkimukset voivat tässä tutkimusohjelmassa kohdistua käytettyyn ydinpolttoaineeseen, voimalaitosjätteeseen tai käytöstäpoistojätteeseen. Kaikkien näiden jättehuollon suunnittelu Suomessa perustuu geologiseen loppusijoitukseen.



Kuva 2. KYT2018-tutkimusohjelman ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuteen kohdistuva tutkimus. Yhtenäisellä viivalla rajatut ellipsit edustavat aihepiirejä, joille toivotaan ehdotuksia koordinoituiksi hankkeiksi. Muistakin kuin kuvassa mainituista aihepiireistä voidaan ehdottaa koordinoituja hankkeita. Katkoviivalla rajattu ellipsi edustaa yksittäisiä turvallisuustutkimuksia.

3. Tutkimushankkeet vuonna 2015

Vuoden 2015 hankehakuun lähetettiin yhteensä 45 tutkimushanke-esitystä ja yhteenlaskettuna VYR-rahoitusta haettiin 3,6 M€ Hanke-esitykset arvioitiin sisällöllisesti tukiryhmissä ja arvioinnissa kiinnitettiin huomiota seuraaviin kriteereihin, jotka myös ilmoitettiin jo hankehaun kutsukirjeessä:

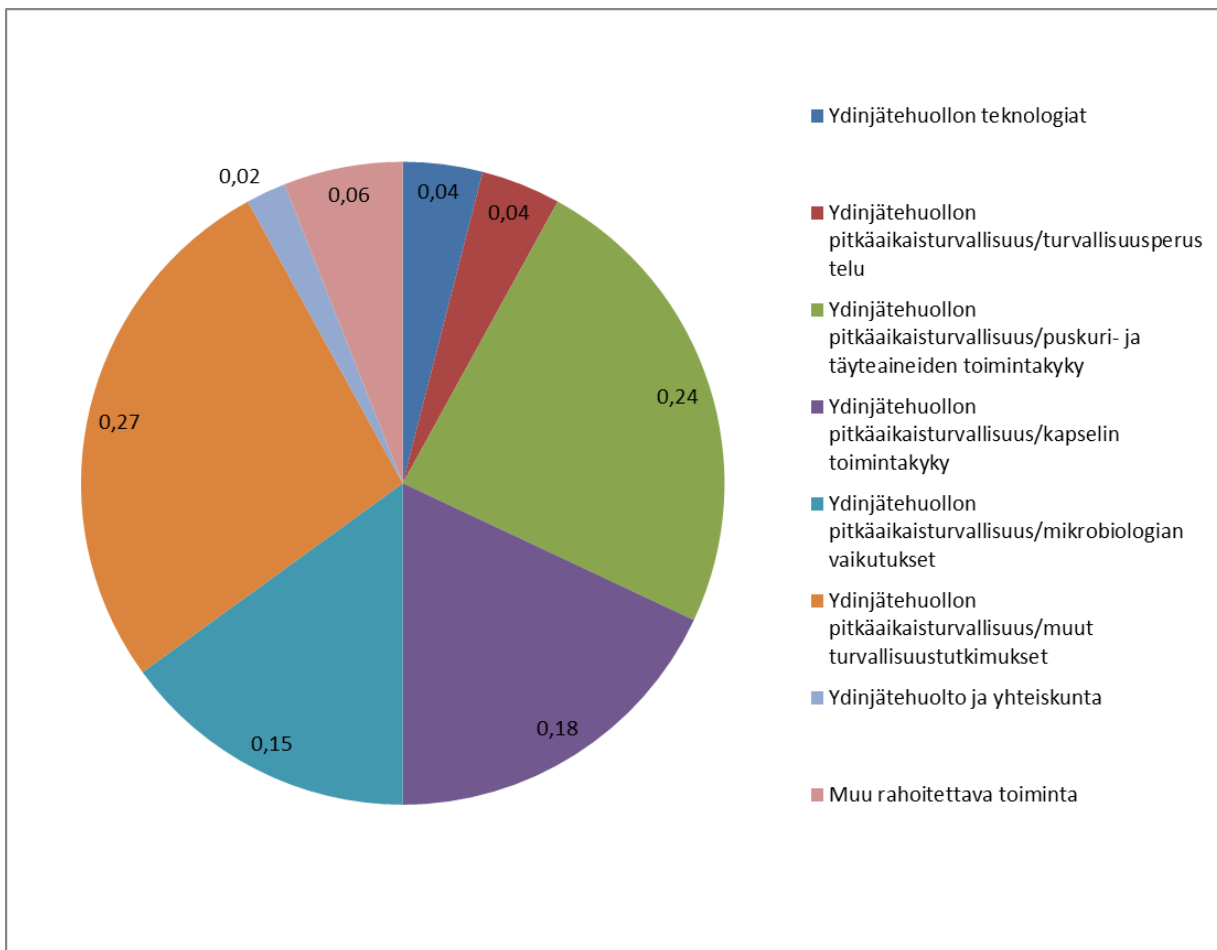
- merkittävyyttä ja hyödynnettävyyttä arvioidaan tutkimustarpeiden kannalta
- verkottuminen alan toimijoiden kesken tarkoittaa, että haetaan koottuja yhteisiä hankkeita ja ehyitä kokonaisuuksia
- koulutusvaikutus ja hanke-esityksen tieteelliset ansiot
 - uusien asiantuntijoiden kouluttaminen
 - uuden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

Tutkimusohjelman johtoryhmä laati tukiryhmien hankearvioiden pohjalta rahoitussuosituksen ja kokosi tukiryhmien työn pohjalta hanke-esityksille sisällöllisen palautteen. Hankekohtaiset palautteet saatiin hanke-esitysten tekijöiden tietoon. Useita hanke-esityksiä jouduttiin jättämään rahoittamatta ja rahoitettuja hankkeita jouduttiin leikkaamaan, koska hanke-esitysten yhteenlaskettu haettu VYR-rahoitus oli noin kaksinkertainen VYR-rahoitusvaraansa nähden.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) teki johtoryhmän suosituksen pohjalta rahoitusesityksen, johon se pyysi lausunnon STUKilta. Valtion ydinjätehuoltoraasto (VYR) teki lopullisen rahoituspäätöksen

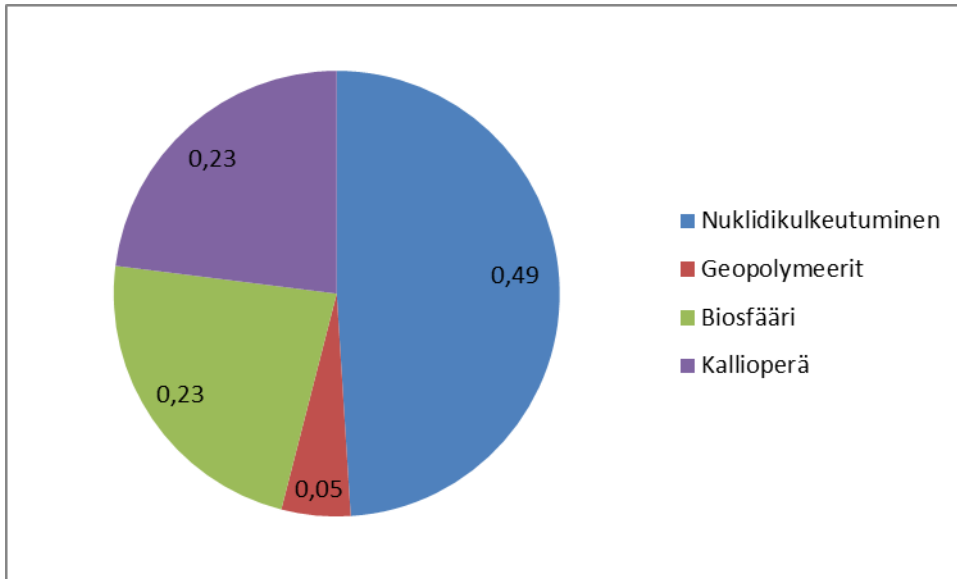
10.3.2015. Vuonna 2015 KYT2018-ohjelmalle myönnetty kokonaisrahoitus on n. 1,9 M€ Kaikkiaan tutkimusohjelmassa myönnettiin VYR-rahoitusta 29 tutkimushankkeelle. Tutkimushankkeiden lisäksi vuonna 2015 VYR:n varoista rahoitetaan tutkimusohjelman hallintohanke. VYR-rahoituksen jakautuminen eri tutkimusaihepiireihin on esitetty kuvissa 3 ja 4 ja eri tutkimuslaitoksille kuvassa 5.

Tutkimusohjelman kokonaisrahoitus v. 2015 on n. 2,8 M€ josta VYR kattaa n. 1,9 M€ ja tutkimuslaitokset itse kattavat n. 0,9 M€ Tutkimusohjelman kokonaislaajuus on n. 25,8 henkilötyövuotta¹.

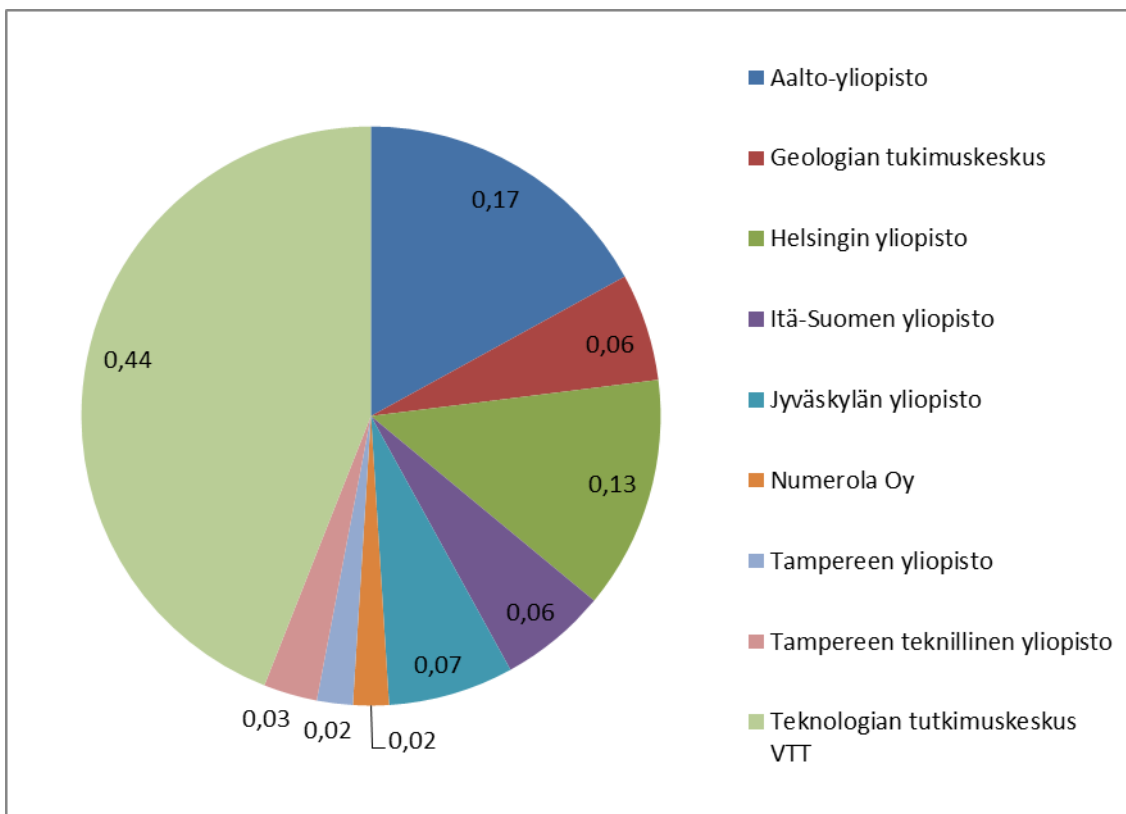


Kuva 3. KYT2018: VYR-kokonaisrahoituksen 1959 k€ jakautuminen tutkimusaihepiireittäin vuonna 2015.

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



Kuva 4. KYT2018: Tutkimusaihepiirin Muut turvallisuustutkimukset suhteelliset VYR-rahoitusosuudet vuonna 2015.



Kuva 5. KYT2018: VYR-tutkimusrahoituksen 1959 k€jakautuminen tutkimuslaitoksittain vuonna 2015.

Seuraavassa esitellään lyhyt yhteenveto tutkimusohjelman vuoden 2015 tutkimustuloksista; yhteenveto ei kuitenkaan pyri olemaan kattava, vaan siinä esitetään lähinnä poimintoja hankkeiden tuloksista. Liitteessä 1 on esitetty yksityiskohtaisemmat hankekohtaiset vuosiyhteenvedet ja koordinoitujen hankkeiden sisällölliset vuosiyhteenvedet. Liitteessä 2 on lueteltu tutkimusohjelmassa vuonna 2015 tuotetut julkaisut ja opinnäytteet. Liitteessä 3 on kuvattu tutkimusohjelman organisaatio vuonna 2015 ja Liitteessä 4 tutkimushankkeiden seuranta vuonna 2015.

Vuonna 2015 hankekokonaisuus koostui etupäässä ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuutta käsittelevistä tutkimushankkeista. Ydinjätehuollon teknologioita käsitteleviä tutkimushankkeita on kaksi ja yhteiskuntatieteellisiä tutkimushankkeita yksi.

3.1 Ydinjätehuollon teknologiat

Vuonna 2015 ydinjätehuollon teknologiat –aihepiiri koostui kahdesta hankkeesta (Taulukko 1).

Taulukko 1. Ydinjätehuollon teknologiat –aihepiirin hankkeet.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kehittyneet polttoainekierrot - Uudet säädettävät erotusmateriaalit (SERMAT)	Risto Koivula, HYRL
Kehittyneet polttoainekierrot – Skenaario- ja inventaarilaskenta	Tuomas Viitanen, VTT

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

Kehittyneet polttoainekierrot - Uudet säädettävät erotusmateriaalit (SERMAT)

Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle erikoisalana epäorgaaniset ioninvaihtomateriaalit. Tohtorikoulutukseen liittyvän tutkimustyön tavoitteena on uusien nanohuokoisien zirkoniumfosfaatti-ioninvaihtimien tutkimus ja kehittäminen aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta tai uusien nesteuuttomenetelmien synnyttämistä sekundäärijäteliuoksista. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Asiantuntijan kouluttaminen 2 Synteesiolosuhteiden ja selektiivisyyden välisten yhteyksien tutkimus. Osaprojekti 2 jakautuu osiin syntetisointi, karakterisointi ja selektiivisyyden määrittäminen.

Vuonna 2015 osaprojektissa 1 tohtorikoulutettava FM Elmo Wiikinkoski on palkattu projektiin alkaen 1/2015. Osaprojektissa 2 epäorgaanista ioninvaihtinta alfa-zirkoniumfosfaattia (kaksiulotteinen, kerroksittainen rakenne), työnimi ZrP-4C, on valmistettu tuore erä suuressa litrakoon tietokoneohjatussa reaktorissa systemaattisia tutkimuksia varten. Tutkimuksissa havaittiin, että kun reaktioaika kasvaa, kiteisyys kasvaa, selektiivisyys alenee ja happamuus alenee. Hanke toteutettiin rinnakkaishankkeena VTT:n hankkeen Kehittyneet polttoainekierrot – Skenaario- ja inventaarilaskenta kanssa.

Kehittyneet polttoainekierrot – Skenaario- ja inventaarilaskenta

Hankkeen tavoitteena on tukea erilaisten polttoainekierron ratkaisujen tehokasta mallinnusta, jotka tähtäävät ydinjätteen määrän ja aktiivisuuden huomattavaan vähentämiseen. Hankkeessa keskeistä on osaamisen ja laskentaympäristön kehittäminen tätä varten. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Skenaario- ja inventaarilaskenta, 2 Kansainvälisen tutkimuksen seuranta.

Vuonna 2015 osaprojektissa 1 suoritettiin gamma-annosnopeuslasku kevytvesireaktorin polttoainepullelta tutkittaessa käytetyn polttoainepulun ”itsesuojelukykyä proliferaatioyhteyksissä. VTT:llä käytössä olevalle, lisenssimaksuiltaan varsin kalliille COSI6-ohjelmalle valittiin korvaajaksi Hungarian Academy of Sciences Centre for Energy Research -organisaatiossa kehitetty SITON-polttoainekierto-koodi. Osaprojektissa 2 hankepäällikkö osallistui NEA:n WPFC-työryhmän (Working Party on Scientific Issues of the Fuel Cycle) ja AFCS-asiantuntijaryhmän (Expert Group on Advanced Fuel Cycle Scenarios) kokouksiin helmikuussa sekä AFCS:n kokoukseen syyskuussa.

3.2 Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus

3.2.1 Turvallisuusperustelu

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelu -aihepiiri koostui kahdesta hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitun hankkeen Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi, TURMET (Taulukko 2). Tässä koordinoitussa hankkeessa tutkimusryhmä on laatinut yhteisen työsuunnitelman, kokonaisbudjetin ja tutkimusyhteenvedon. Kumpikin osahanke on kuitenkin jättänyt itsenäisen hanke-esityksen.

Taulukko 2. Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelu –aihepiirin hankkeet (koordinoitu hanke TURMET, hankekoordinaattori lihavoituna).

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
TURMET - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi osa 1	Suvi Karvonen, VTT
TURMET - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi osa 2	Ahti Salo, Aalto

Aalto=Aalto-yliopisto; VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT

TURMET - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi

Hankkeen tavoitteena on perehtyä ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusperustelun metodiikkaan systeemanalyysin näkökulmasta. Modernin systeemanalyysin keinoin pyritään kytkemään entistä läpinäkyvämmiin pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvät vaatimukset turvallisuusanalyysin tekemisen tapaan. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Kirjallisuuskatsaus turvallisuusperustelun metodiikasta (VTT), 2 Kirjallisuuskatsaus skenaarioanalyysistä (Aalto). Koordinoitun hankkeen koordinointi tapahtuu VTT:n osaprojektissa.

Vuonna 2015 osaprojektissa 1 kirjallisuuskatsauksen painopiste on ollut yleisissä turvallisuusperustelun käsitteissä, OECD NEA:n turvallisuusperusteluaineistossa ja muiden maiden turvallisuusperustelutyössä. Kirjallisuuskatsaus dokumentoitiin työraporttina. Osaprojektissa 2 laadittiin kirjallisuuskatsaus skenaarioanalyysistä suunnitelmien mukaisesti, työ dokumentoitiin työraporttina. Sen lisäksi laadittiin alustava käsitteellinen malli skenaarion valintaa varten; malli perustuu Bayes-verkkoon.

3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky –aihepiiri koostui kuudesta hankkeesta, joista neljä muodostaa koordinoitun hankkeen THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers (THEBES) ja loput kaksi ovat itsenäisiä hankkeita (Taulukko 3). Koordinoitussa hankkeessa tutkimusryhmä on laatinut yhteisen työsuunnitelman, kokonaisbudjetin ja tutkimusyhteenvedon. Jokainen osahanke on kuitenkin jättänyt itsenäisen hanke-esityksen.

Taulukko 3. Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky –aihepiirin hankkeet (koordinoitun hankkeen THEBES hankekoordinaattori lihavoituna).

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers)	Wojciech Solowski, Aalto
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers	Veli-Matti Pulkkanen, VTT
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers), X-ray tomography and modelling	Markku Kataja, JYFL
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers	Kai Hiltunen, Numerola
Bentoniitin eroosio ja radionuklidien vuorovaikutus	Pirkko Hölttä, HYRL
Bentonite swelling pressure	Tapani Pakkanen, UEF

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

THEBES – Paisuvasavisten vapautumisesteiden käyttäytyminen

Hankkeen tavoitteena on kehittää, todentaa ja testata kytketty termo-hydro-mekaanis-kemiallinen laskentamalli bentoniitille. Malli toteutetaan numeerisena ohjelmistona ja sillä simuloidaan käytännön tarkasteluissa tärkeitä tapauksia. Lisäksi hankkeessa koulutetaan uusia asiantuntijoita ja kehitetään uutta osaamista hyvän kansallisen ja kansainvälisen yhteistyöverkoston kautta. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Kytketyn THCM mallin kehittäminen (Aalto) 2 THCM- ja mikrorakennekokeiden tekeminen mallinnusta varten (VTT), 3 Röntgentomografiakokeet ja mallinnus (JYFL), 4 THCM mallin kehittäminen ja validointi (Numerola). Hankkeen koordinointi tehdään Osaprojektissa 1.

Vuonna 2015 hanke järjesti workshopin joulukuussa. Osaprojektissa 1 koodattiin konstitutiivisia osamalleja elementtimenetelmään perustuvaan Numerrin-malliin, joka on kehitetty Numerola Oy:ssä. Osaprojektissa 2 tehtiin hydro-mekaanisia kokeita uudella näitä kokeita varta vasten hankitulla triaksiaalisella puristussellillä. Osahankkeessa 3 tehtiin kaksi julkaisua ja kaksi opinnäytetyötä. Osaprojektissa 4 lisättiin osamalleja Numerola Oy:n THM-ratkaisijaan. Koordinoidussa hankkeessa on erittäin monipuolista yhteistyötä ulkomaalaisten tutkimusryhmien kanssa, mukaan lukien tutkijavierailuja. Lisäksi on yhteistyötä useiden EU-hankkeiden kanssa. Hanke on kehittänyt sisäisen yhteydenpidon tehostamiseksi omat verkkosivut Aalto-yliopiston alustalle.

Bentoniitin eroosio ja radionuklidien vuorovaikutus

Hankkeen yleisenä tavoitteena on tutkia bentoniitin eroosiota sekä radionuklidien ja bentoniittikolloidien tai mineraalien välisiä vuorovaikutuksia, soveltaa eri menetelmiä ja kouluttaa alalle uusia osaajia. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Bentoniitin eroosio, 2 Radionuklidien vuorovaikutus 3 Tutkimuksista tiedottaminen.

Vuonna 2015 on seurattu bentoniitin kemiallista eroosiota ja kolloidien stabiilisuutta veden ionivahvuuden funktiona eri näytteillä. On myös käynnistetty kokeet, joissa seurataan bentoniitin eroosiota keinotekoisissa rako-systeemeissä. Osaprojektissa 2 on määritetty batch menetelmällä Sr-85:n ja Eu-152:n jakaantumiskertoimia (Kd) bentoniitti-kolloideille Allard ja OLSO liuoksissa pH:n ja kiinteä aine/liuossuhteen funktiona CO₂ -vapaassa olosuhdekaapissa. Tuloksia on esitelty BELBaR seminaareissa Madridissa ja Karlsruhessa, Clay konferenssissa Brysselissä ja Migration-2015 konferenssissa Santa Fe:ssä. Hankkeessa valmistui opinnäytetyö.

Bentoniitin paisumisaine

Hankkeen tavoitteena on selvittää bentoniitin paisumisilmion syvällistä fysikaaliskemiallista perustaa ja kehittää käytännön työkalu makroskooppisen paisumisen ennustamiseen bentoniitin koostumuksen ja

ympäristötekijöiden funktiona. Työn keskeinen konkreettinen kohde on bentoniitin paisumispaineen ennustaminen. Hanke on jaettu osaprojekteihin tutkittavien bentoniittien mukaan 1 Montmorilloniitti 2 Beidelliitti ja 3 Nontroniitti.

Vuonna 2015 montmorilloniitin paisuntapainetta on simuloitu molekyyliidynaamisella mallinnuksella. Montmorilloniitti-beidelliitti systeemin paisuntapainetta on arvioitu. Mallinnetut paisuntapaineet ovat sopusoinnussa kokeellisten havaintojen kanssa. Simuloinneista on laadittu julkaisukäsikirjoitus kansainväliseen julkaisusarjaan.

3.2.3 Kapselin toimintakyky

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen kapselin toimintakyky –aihepiiri koostui viidestä hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitun hankkeen KAPSELI (Taulukko 4). Tässä koordinoitussa hankkeessa ei ole varsinaista yhteistä työohjelmaa samalla tavalla kuin edellä kuvatuissa koordinoituissa hankkeissa. Jokainen osahanke on laatinut omaa osuuttaan koskevan työsuunnitelman ja tutkimusyhteenvedon omassa hanke-esityksessään.

Taulukko 4. Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden kapselin toimintakyky –aihepiirin hankkeet (koordinoitu hanke KAPSELI, hankekoordinaattori lihavoituna).

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
KAPSELI: Experimentally verified model based predictions for the integrity of the copper overpack (PRECO)	Juhani Rantala, VTT
KAPSELI: Kuparikapselin mekaaninen lujuus (MECHACOP)	Hannu Hänninen, Aalto
KAPSELI: Reaktiotuotteiden vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen olosuhteissa (REPCOR)	Jari Aromaa, Aalto
KAPSELI: Mikrobiologisen toiminnan vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen hapettomissa olosuhteissa (BASUCA)	Leena Carpen, VTT
KAPSELI: Loppusijoituksen aerobisen vaiheen mikrobiologinen korroosio (MICOR)	Pauliina Rajala, VTT

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Seuraavassa esitetään koordinoitu hanke KAPSELI osahankkeittain.

Kokeellisesti todennetut malliennusteet kuparikapselin eheydelle (PRECO)

Hankkeen tavoitteena on tuottaa arvio kuparikapselin venymä- ja jännitys jakaumasta sekä elinikäarvio perustuen kokeellisesti verifioidun virumis- ja relaksaatiomallin käyttöön elementtimenetelmämallinnuksessa (FEM). Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Yksiaksiaaliset virumiskokeet kuparille, 2 Kuparin relaksaatiokäyttäytyminen, 3 Moniaksiaalisuuden vaikutus, 4 Alhaisen lämpötilan mekanismimuutos, 5 Kapselin ja vikojen elementtimallinnus, 6 Virumisen ja korroosion yhteisvaikutus, 7 Koulutus.

Kapselin ulkoinen paine muokkaa kuparivaipan kiinni sisäosaan, jolloin etenkin kannen hitsin alueelle tulee jännitys- ja venymäkeskittyviä. FE-mallinnuksessa otetaan huomioon hitsin paikallisesti heikentyneet vyöhykkeet: joint line hooking ja oksidipartikkelivyöhyke. Vuonna 2015 yksiaksiaaliset kokeet jatkuvat (pisin 110 000 h). Abaqukseen implementoitiin sovitettu relaksaatiomalli vastaamaan relaksaatio kokeita. Oksidipartikkelivyöhykkeen testausta multiaksiaalikoikeissa ei vielä aloitettu, mutta sauvat laitettiin koneistukseen. Selvää indikaatiota matalan lämpötilan vaikutuksesta mekaanisiin ominaisuuksiin ei löydetty johtuen lyhyistä kokeista kirjallisuudessa. Sovitettiin uusi relaksaatiomalli kapselin FE -analyysiin. Kokeiltiin nanoindentaatiota kuparille ja sitä voidaan soveltaa vuonna 2016 small punch -laitteistolla oksidipartikkelivyöhykkeen testaukseen.

Kuparikapselin mekaaninen lujuus (MECHACOP)

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparikapselin eri osien (perusmateriaalit ja hitsit) mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää makroskooppinen ja mikroskooppinen plastinen deformaatio sen epähomogeenisissä rakenteissa. Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Kuparikapselin mekaaniset ominaisuudet, 2 Deformaation ja deformaatiomekanismien paikallistuminen kitkatappihitsissä 3 Vedyn aiheuttaman jännityksen paikallistuminen puhtaassa kuparissa.

Tuntemalla kuparikapselin eri osien deformaatiomekanismit voidaan ennustaa kapselin deformaatio ja mahdollinen murtuminen pitkäaikaisessa käytössä ja mallintaa sen käyttäytyminen luotettavasti. Vuonna 2015 tutkittiin hitsausvirheiden ja rasitusnopeuden vaikutusta plastisten muodonmuutosten paikallisuuteen kitkatappi ja elektronisuihku hitsatussa kuparissa. Kehitettiin myös digitaalisen kuvan korrelaatio (DIC) kuvantamistapa kuparioksidille. Tämä uusi metodi antaa tarkempaa tietoa rasitus- ja jännitystiloista. Tehtiin 6N kuparikristalleille jännitystestejä, joissa selvitettiin vedyn vaikutusta plastisiin muodonmuutoksiin. Hankkeessa on ollut vilkasta julkaisutoimintaa.

Reaktiotuotteiden vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen olosuhteissa (REPCOR)

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparin pinnalle muodostuvien reaktiotuotekerrosten vaikutus kuparin korroosioon. Reaktiotuotekerroksilla uskotaan olevan vaikutus sekä yleisen korroosion nopeuteen että paikallisen korroosion eri muotoihin. Hanke on porrastettu vuosittain eteneviksi osahankkeiksi. Vuoden 2015 osahanke on muodostaa reaktiotuotekerroksia sähkösaostetun kuparin pinnalle kuivissa olosuhteissa kaasufaasissa, hapettavassa kosteassa kaasufaasissa ja hapettavassa upotusrasituksessa erilaisilla synteettisen pohjaveden koostumuksilla. Vuosille 2016-2018 on esitetty yleiset tavoitteet. Vuoden 2016-2017 osahanke tutkii reaktiotuotekerrosten vaikutusta korroosioon hapettavissa olosuhteissa sekä kaasua- että nestefaasissa. Vuosina 2017-2018 tavoite on tutkia reaktiotuotekerrosten vaikutusta korroosioon hapettomissa olosuhteissa nestefaasissa.

Vuonna 2015 keskityttiin yllämainittuun osaprojektiin ja tehtiin kokeita OL-SR synteettisessä pohjavedessä, matalalla pH -arvolla huoneen lämpötilassa 16h ja 7vrk mittaisina. Tutkimus osoitti, että paras kokeiden toistettavuus saatiin hapettamalla näytteet ilmassa 90 °C lämpötilassa. Mittaussarjat oksidikerrosten paksuudesta myöhästyivät kvartsikiteiden osoittauduttua käyttökelvottomiksi. Hankkeessa valmistui opinnäytetyö, ja hankkeen tutkija siirtyi toisen työnantajan palvelukseen loppuvuonna.

Mikrobiologisen toiminnan vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen hapettomissa olosuhteissa (BASUCA)

Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosioon Suomen loppusijoituksen anaerobisessa, hapettomassa loppuvaiheessa. Tutkimuksia tehdään laboratoriossa koeolosuhteissa, joissa simuloidaan mahdollisimman tarkasti loppusijoitusolosuhteita loppusijoituksen loppuvaiheessa, jolloin kapseli on jo käynyt läpi aerobisen lämpimän vaiheen. Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Koejärjestelyn suunnittelu ja edelleen kehittäminen, 2 Kuparin mikrobiologinen korroosio, 3 Kuparin pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja vaikutus ja 4 Raportointi.

Vuonna 2015 koejärjestelyjä paranneltiin hapettomuuden varmistamiseksi ja rakennettiin lämpöhuone, jossa voidaan suorittaa kokeita 20-80 °C lämpötilassa. Ensimmäiset laboratoriokokeet kuparille aloitettiin 10 °C lämpötilassa simuloidussa pohjavedessä metanogeenien ja bakteerien läsnä ollessa. Kokeissa käytettävät mikrobit, bakteerit ja arkeonit rikastettiin Onkalon pohjavedestä loppusijoitusvyvydeltä ennen kokeita. Tuloksia esiteltiin useissa tieteellisissä konferensseissa.

Loppusijoituksen aerobisen vaiheen mikrobiologinen korroosio (MICOR)

Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosiokäyttäytymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa hapellisessa lämpimässä vaiheessa. Tutkimuksia tehdään laboratoriossa koeolosuhteissa, joissa simuloidaan mahdollisimman tarkasti loppusijoitusolosuhteita loppusijoituksen alkuvaiheessa sekä myös kenttäolosuhteissa. Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen, 2 Kuparin mikrobiologinen korroosio, 3 Kuparin pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja vaikutus ja 4 Raportointi.

Koelaitteistoja paranneltiin korkean lämpötilan kokeita varten. Rakennettiin koelaitteisto tutkimaan mikrobien aineenvaihduntatuotteiden vaikutuksia pistekorroosion ydintymispotentiaaliin ja suoritettiin erimittaisia kokeita. Impedanssispektroskopiolla verrattiin puhtaita kuparipintoja kokeista saatuihin ja huomattiin vaikutuksia kuparipinnan käyttäytymiseen. Onkalon vedellä rikastutettiin kokeisiin liittyviä mikrobiviljelmiä ja bentoniitti sterilointiin gammasteriloinnilla.

3.2.4 Mikrobiologian vaikutukset

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden mikrobiologian vaikutukset –aihepiiri koostui neljästä hankkeesta, joista kolme muodostavat koordinoitun hankkeen Ydinjätteen loppusijoituksen mikrobiologiset riskit MILORI ja yksi on itsenäinen hanke (Taulukko 5). Koordinoidussa hankkeessa ei ole varsinaista yhteistä työohjelmaa samalla tavalla kuin edellä kuvatuissa koordinoituissa hankkeissa TURMET ja THEBES. Jokainen osahanke on laatinut omaa osuuttaan koskevan työsuunnitelman ja tutkimusyhteenvedon omassa hanke-esityksessään.

Taulukko 5. Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden mikrobiologian vaikutukset –aihepiirin hankkeet (koordinoitun hankkeen MILORI hankekoordinaattori lihavoituna).

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
MILORI: Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksen mikrobiologia (MAKERI)	Minna Vikman, VTT
MILORI: Matala- ja keskiaktiivisen metallijätteen mikrobiologinen korroosio (CORLINE)	Leena Carpen, VTT
MILORI: Mikrobiyhteisöjen rikkimetaboliala loppusijoitusolosuhteissa (GEOBIOKIERTO)	Hanna Miettinen, VTT
Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS)	Lasse Ahonen, GTK

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; GTK=Geologian tutkimuskeskus

MILORI: Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksen mikrobiologia (MAKERI)

Hankkeen tavoitteena on arvioida matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen geologiseen loppusijoitukseen liittyviä mikrobiologisia riskejä, jotka voivat pahimmassa tapauksessa johtaa vapautumisesteiden toimintakyvyn heikkenemiseen ja radionuklidien kulkeutumiseen loppusijoitustilasta biosfääriin. Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Olosuhteiden vaikutus matala-aktiivisen huoltojätteen hajoamiseen ja vapautumisesteiden toimintakykyyn simulaatiokokeissa, 2 Mikrobiyhteisöjen toiminta ja vaikutukset matala-aktiivisen jätteen loppusijoituksessa, 3 Kirjallisuuskatsaus keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksesta ja siihen mahdollisesti liittyvistä mikrobiologisista riskeistä Suomen olosuhteissa, 4 Säteilyn ja olosuhteiden vaikutus keskiaktiivisen jätteen biohajoavuuteen ja vapautumisesteiden toimivuuteen, 5 Mikrobien aineenvaihduntatuotteiden ja entsyymien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksessa ja 6. Raportointi.

Vuonna 2015 suunniteltiin tehtäviä kokeita pH:n ja säteilyn vaikutuksesta matala-aktiivisen jätteen mikrobiologiseen hajoamiseen ja kaasun muodostukseen. Otettiin näytteet VLJ-luolan kaasunkehityskokeista ja tehtiin analyysit. Aloitettiin kirjallisuuskatsaus mikrobiologisista riskeistä keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksessa ja vierailtiin Loviisan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilassa, kirjallisuuskatsaus julkaistaan VTT:n julkaisusarjassa.

MILORI: Matala- ja keskiaktiivisen metallijätteen mikrobiologinen korroosio (CORLINE)

Hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmien muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujättemateriaalit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa, sekä monitoroida korroosion ja vesikemian muutosten yhteyttä reaaliaikaisesti in situ. Tutkimukset suoritetaan simuloidussa koeympäristössä laboratoriossa sekä loppusijoitusalueella tehtävillä kenttäkokeilla (in situ monitorointi laitteenkehitys). Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen, 2 Purkujättemetallien mikrobiologinen korroosio, 3 Purkujättemetallien pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja 4 Raportointi.

Vuonna 2015 on kehitetty koejärjestelyjä varmistamaan kokeiden hapettomuus ja kaasujen analysoimiseksi on kehitetty laitteisto. Biosidien vaikutusta hiiliteräksen korroosion tutkittiin kokeilla ja huomattiin, että osa niistä aiheuttaa merkittävää korroosiota hapettomissa olosuhteissa. Löydettiin biosidi, joka ei kiihdytä korroosiota. Aloitettiin koesarja loppusijoitustilan vedellä, jossa tutkitaan terästen korroosiota ja verrataan referenssi biosidiveteen. Tuloksia esiteltiin useissa tieteellisissä konferensseissa.

MILORI: Mikrobyhteisöjen rikkimetabolia loppusijoitusolosuhteissa (GEOBIOKIERTO)

Hankkeen päätavoitteena on selvittää mikrobyhteisöjen vaikutusta rikinkiertoon sekä rikkiyhdisteiden muodostumiseen vaikuttavien elektronin luovuttajien ja vastaanottajien (erityisesti rauta) merkitystä syvissä pohjavesissä. Hankkeessa tehdään kirjallisuuskatsaus rikinkierrosta ja sen analysoinnista hyödyntäen leimattuja rikkiyhdisteitä. Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Kirjallisuuskatsaus rikkiyhdisteiden analysoinnista pohjavedessä hyödyntäen leimattua rikkiä, 2 Herkän ³⁵S-leimatun rikin kylmätislausmenetelmän pystyttäminen analysoimaan mikrobyhteisön sulfaatin pelkistymistä, 3 Mikrobin merkitys bentoniitin fysikaaliseen rakenteeseen.

Kirjallisuuskatsaus tehtiin leimattujen rikkiyhdisteiden analysointimenetelmistä. ³⁵S leimattu menetelmä valittiin laboratorioon. Leimatun sulfidin erottamiseksi leimatusta sulfaatista on tehty kylmätislauslaitteistoja isotooppilaboratorioon. Yhteistyöpalaverit THEBES:n, VTT:n ja GTK:n tutkijoiden välillä bentoniitti-mikrobi -olosuhteista ja soveltuvista näytteenottomenetelmistä.

Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS)

Hankkeen tavoitteena on tutkia biogeokemiallisesti tärkeitä kalliopohjaveden komponentteja, erityisesti rikkiä, hiiltä ja typpeä, jotka voivat myös kulkeutua kalliopohjavesissä liuenneina kaasuina tai liukoisina ioneina ja joilla voi olla loppusijoituksen turvallisuuden kannalta erityismerkitystä. Nämä alkuaineet esiintyvät myös eri hapetustiloilla osallistuen mikrobin katalysoimiin elektronin siirtoprosesseihin ja sitä kautta korroosioilmiöihin. Hanke on jaettu osaprojekteihin 1 Syväreikä tutkimuksen menetelmät, 2 Suolaisten vesien viipymäaika ja alkuperä. 3 Rikin olomuodot ja merkitys, 4 Hiilen olomuodot ja esiintyminen ja 5 Loppusijoituksen turvallisuuden biogeokemia.

Vuonna 2015 suoritettiin muutamia syväreikänäytteenottoja. Julkaistiin Pyhäsalmen tuloksia vuodelta 2014 ja aloitettiin yhteistyö Tallinnan teknillisen yliopiston kanssa (tietoa jääkausivesistä). Huomattiin sinkkiasetaattisaostuksen sopivan paremmin sulfidin erottamiseksi suolaisista vesistä. Rikin eri spesiaatiota analysoitiin MC-ICP-MS:llä. Metaanin muodostus grafiitista ja vedystä todettiin termodynaamisesti mahdolliseksi kallioperäolosuhteissa. Tehtiin kirjallisuuskatsaus metaanin esiintymisestä kiteisessä kallioperässä. Hankkeessa on ollut vilkasta julkaisutoimintaa.

3.2.5 Muut turvallisuustutkimukset

Muut turvallisuustutkimukset –aihepiiri koostui 9 hankkeesta (taulukko 6).

Taulukko 6. Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden muut turvallisuustutkimukset –aihepiirin hankkeet.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
C-14 vapautuminen metallijätteestä	Kaija Ollila, VTT
Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann menetelmällä	Jussi Timonen, JYFL
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä	Jukka Lehto, HYRL
Applicability of Geopolymers in Nuclear Waste Management (GeoP-NWM)	Eila Lehmus, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemeissä	Jukka Juutilainen, UEF
Biosfäärimallinnuksen vaihtoehtoiset menetelmät ja niiden arviointi (VABIA)	Tarmo Lipping, TTY
KARMO II – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet	Mikael Rinne, Aalto
ROSA: Rakosimulaattori, joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus- ja suuntajakaumia	Eevaliisa Laine, GTK

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

Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset

Hankkeen tavoitteena on määrittää radionuklidien pidättymistä ja kulkeutumista kiteisessä kivessä. Työssä selvitetään vaikuttavatko kemiallisten/fysikaalisten olosuhteiden muutokset laboratoriokokeista in situ kokeisiin mentäessä niihin parametreihin, joita käytämme arvioitaessa aineiden kulkeutumista kalliolla. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Ensimmäinen in situ diffuusio- ja sorptio koe, 2 Toinen in situ diffuusio- ja sorptio koe, johon liittyy in situ koetta tukevat laboratoriotutkimukset, 3 Kokoukset ja 4 Raportointi.

Vuonna 2015 julkaistiin osaprojektissa 1 Grimselin ensimmäisestä in situ kokeesta artikkeli Journal of Contaminant lehdessä (Soler et al. 2015). Laboratoriossa määritetyt diffuusio- ja sorptio kertoimet eivät eroa merkittävästi in situ olosuhteissa määritetyistä kertoimista. Osaprojektissa 2 on tutkittu seleenin kulkeutumista kiviblokeissa. Neljän vuoden kulkeutumiskokeista on kirjoitettu artikkeli: Sorption and diffusion of selenium oxyanions in granitic rocks (J. Ikonen), joka lähetetään lehteen julkaistavaksi vuoden 2016 alkupuolella. Työstä on laadittu myös gradutyö, jota on tarkoitus jatkaa väitöskirjatyönä.

C-14 vapautuminen metallijätteestä

Hankkeen tavoitteena on selvittää voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen aktiivisissa metallikomponenteissa olevan C-14 isotoopin vapautumista pohjaveteen loppusijoitusolosuhteissa, vapautumisnopeutta, veteen muodostuvia liuenneita ja kaasumaisia hiilen kemiallisia olomuotoja. Erityisesti jakautuminen orgaanisiin ja epäorgaanisiin kemiallisiin olomuotoihin on tärkeää kulkeutumista arvioitaessa. Hanke on osa EU-projektia: CAST (Carbon-14 Source term). Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 CAST ja 2 Kansallinen projekti, joka jakautuu edelleen osatehtäviin Spesiaatioanalyysien testaus ja Säteiläytetyn teräsnäytteen kokeiden valmistelu.

Osaprojektissa 1 on valmistettu teräsjauhe käyttäen raaka-aineena AISI 316Ti – jauhetta. Jauhe hajotettiin kaasuatomisaattorissa ja hiilipitoisuutta kasvatettiin 0,3 %:iin. Jauhetta valmistettiin kahdella eri partikkelikokoolla. Molemmilla käynnistettiin sarja eluutiokokeita simuloituissa pohjavesissä (pH 8.5 ja 12.5) argonkaapissa. Ensimmäiset tulokset viittasivat kontaminaation vaikutukseen esikokeiden tuloksissa. Osaprojektissa 2 päädyttiin VTT:n sisäisenä yhteistyönä ottamaan näytemateriaaliksi

Loviisan reaktorista tuleva säteilytysnäytekapseli (surveillance capsules), joiden kuorimateriaali on ruostumatonta terästä. Siitä voidaan leikata lankasahalla näytteitä VTT:n hot cell -tiloissa.

Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann menetelmällä

Hankkeen tavoitteena on mallintaa radionuklidien kulkeutumista kallioperän raoissa ja kulkeutumisen viivästymistä matriisidiffuusion ja sorption vaikutuksesta hyödyntäen hila-Boltzmann-menetelmää. Lisäksi tavoitteena on saattaa loppuun hankkeen tutkijan (Jukka Kuva) väitöskirjatyö. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Aiemmassa KYT-ohjelmassa aloitetun Cs-kulkeutumiskokeen loppuunsaattaminen, 2 Jukka Kuvan väitöskirjan ja siihen liittyvien julkaisujen loppuunsaattaminen ja 3 Yksinkertaisten mallinnusgeometrioiden luominen ja mahdollisten luonnonrakojen kartoittaminen hila-Boltzmann mallinnusta varten, mallinnus yksinkertaisissa geometrioissa.

Vuonna 2015 osahankkeessa 1 suoritettiin kokeellinen osuus ja tieteellinen artikkeli valmistuneena alkuvuodesta 2016. Osaprojektissa 2 väitöskirja on lähetetty esitarkastajille, julkaisu on tehty loppuun ja niistä neljä on julkaistu ja viides lähetetty lehteen Jukka Kuvan väitöstilaisuus oli tammikuussa 2016. Osaprojektissa 3 on luotu mallinnusgeometrioita ja luonnonrakoja on kartoitettu. Mallinnusmenetelmäksi valittiin lopulta time domain diffusion (TDD).

Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä

Hankkeessa selvitetään käytetystä ydinpolttoaineesta peräisin olevan radiohiilen kemiallisia muotoja ja niiden muutoksia sen kulkeutuessa polttoaineesta kallioperän kautta biosfääriin sekä karbonaatti-muotoisen hiilen sorptiota rakomineraalien, erityisesti kalsiitin, pinnoille. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Pohjaveden ja kalsiitin välinen hiili-isotooppivaihto, 2 Radiohiilen sorptio raudan oksideihin ja 3 Spesiaatitutkimukset.

Osaprojektissa 1 on työstä on lähetetty artikkelikäsikirjoitus Radiochimica Actaan ja se on vertaisarvioitavana. Osaprojektissa 2 on havaittu, että sorptio on voimakkaampaa makeassa ja heikompi suolaisessa referenssipohjavedessä. Osaprojektissa 3 on saatu osa tilatuista kalibrointikaasuista, mikä osin mahdollistaa kvantitatiivisen hiilispesiessä analyysin.

Geopolymeerien käytettävyys ydinjätehuollossa (GeoP-NWM)

Tavoitteena on arvioida etuja, joita saavutetaan käyttämällä geopolymeeriperustaisia matriiseja (ja niistä tehtyjä komposiitteja) keski- ja matala-aktiivisen ydinjätteen huollossa. Nämä materiaalit tarjoavat räätälöityjä mahdollisuuksia jätteen kiinteytykseen ja kapselointiin. Ongelmallisten radioisotooppien, kuten Cs-137, sitominen matriisiin hilarakenteeseen ja hyvä kestävyys liukenemista vastaan antaa uusia mahdollisuuksia.

Vuonna 2015 laadittiin ensimmäinen kirjallisuusselvitys, Introduction to Geopolymers. Valmisteltiin pidettäväksi joulukuussa workshop, johon osallistuisi asiantuntijana professori John Provis University of Sheffield, UK, mutta se jouduttiin lykkäämään VTT:stä riippumattomista syistä.

Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemeissä

Hankkeen yleisenä tavoitteena on tarkentaa suomalaiseseen metsä- ja vesiekosysteemiin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Vesiekosysteemitutkimukset ja 2 Radioekologisen mallintamisen kehittäminen.

Vuonna 2015 Paukkajanvaaran entisen kaivosalueen lähilammista ja -puroista kerättiin vesi-, sedimentti- ja pohjaeläinnäytteitä. Näytteet kuivattiin, esikäsiteltiin ja analysoitiin. Näistä tehdään analyysit alkuainesiirtymistä. Tiina Tuovisen väitöskirja runko on suunniteltu ja kirjoitus aloitettu; aiheena on ydinenergiakiertoon liittyvien alkuaineiden maasta kasviin siirtyminen.

Biosfäärimallinnuksen vaihtoehtoiset menetelmät ja niiden arviointi (VABIA)

Tämän nelivuotiseksi suunnitellun hankkeen tavoitteena on luoda yksinkertaistettu biosfääriin mallinnuslähestymistapa ja sitä noudattavat konkreettiset esimerkkimallit. Mallinnuksessa lähdetään liikkeelle yksinkertaisista ja suppeista malleista, joita laajennetaan hallitusti käsittämään yhtäältä isompia alueita ja toisaalta yksityiskohtaisempia biosfääriin piirteitä. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Tutkimusinfrastruktuurin pystyttäminen ja testaus, 2 1-2 esimerkkimallin toteutus sekä vertailu olemassa oleviin malleihin ja 3 Herkkyysanalyysin määrittely esimerkki-malleille; mallien julkaiseminen avoimena.

Vuonna 2015 tutkijatohtori Jari Pohjola pystytti Facilia AB Ecolego-työkaluun perustuvan ympäristön ja kävi Facilia AB:n pääkonttorilla EcoLego työkalun käyttöönottokoulutuksessa. Pohjola yhdisti myös Hjerpe & Broed (2010) kaivomallin sekä Vieno & Suolanen (1991) järvimallin. Tuloksena on EcoLego-malli, jossa järvi, johon kytkeytyy radioaktiivisuuden lähde aktiivisuudella 1 Bq. Vertailu esim. artikkelissa (Vieno & Suolanen 1991) esitettyyn malliin osoittaa, että Jari Pohjolan mallien annosmuunnoskertoimet ovat samaa suuruusluokkaa kun otetaan huomioon (Vieno & Suolanen 1991) mallissa käytetyt ylimitoitettut ruoka-aineiden määrät esimerkiksi kalan syömiselle. Herkkyysanalyysia tehtiin MC-simulaatiolla mm. tilastollisen maastomallin Finravinto 2012 ruoka-annosmäärien sekä vedenkulutuksen osalta. Saadut tulokset on esitetty tilastollisina jakaumina merkki-isotoopeille, joista nähdään moodi ja luottamusväli sekä jakaumien keskinäinen vaihtelu merkki-ainekohtaisesti.

KARMO II – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet

Hankkeen tavoitteena on kehittää menetelmiä kallion rakopintojen mekaanisten ominaisuuksien selvittämiseksi numeerista mallinnusta varten laboratoriomittakaavan replikakoesarjan avulla. Hanke toteutetaan väitöskirjavetoisena ja opinnäytetöiden avulla. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 Fotogrammetrisen menetelmän kehitys, 2 Replikaatioprosessin todennus- ja kehitys ja 3 Kallistuspöytäkoheet ja menetelmäkuvaus.

Vuonna 2015 fotogrammetrisen menetelmän kehitystä jatkettiin kehittämällä pistepilven tarkkuutta Pauliina Kallion kandityössä $16 \rightarrow 33 \text{pts/mm}^2$. Rakopinnan karkeuden mittaamiselle valittiin digitaalinen menetelmä ja tehtiin virhelähteistä kirjallisuusselvitys. KARMO I jäljepinnat on koestettu painekalvojen avulla rakojen kohdakkaisuuden mittaamiseksi. Täysin ilmapulaton jäljennepintaa ei saavutettu, mutta uusia kehitysmahdollisuuksia saatiin määriteltä. Kallistuspöytä korjattiin osana Daniil Iakovlevin diplomityötä. Hankkeessa valmistui kolme opinnäytetyötä.

ROSA: Rakosimulaattori, joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus- ja suuntajakaumia

Hankkeen tavoitteena on luoda rakosimulaatio-tietokoneohjelma ja jakaa se alan tieteellisten julkaisujen kautta käyttäjille. Hanke toteutetaan Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Kallioperä ja raaka-aineet -yksikön ja Aalto-yliopiston Georakentamisen yksikön (GR) yhteistyönä. Hanke on organisoitu osaprojekteiksi 1 ROSA-rakosimulaattori ja 2 Rakosimuloinnin geologinen ja fysikaalinen validointi sekä havaittujen rakogeometrioiden käyttö simuloinnissa.

Vuonna 2015 Mira Markovaara-Koivisto tutustui C-ohjelmointiin käymällä kurssin Introduction to C-programming (CSC-ympäristö). Pidettiin esitelmä aiheesta Prekambrisen kallioperän rakoilun 3D visualisointi ja analyysi joka karakterisoidaan monimutkaisilla rakenteilla. Osallistuttiin R-ohjelmointi

kurssille ja Helsingin yliopiston kurssille Raot monimutkaisessa kivessä, kairareikä seismologia ja laajennetut geotermiset systeemit. Hanke järjesti KYT-seminaarin joulukuussa 2015.

3.3 Ydinjätehuolto ja yhteiskunta

Vuonna 2015 ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus –aihepiiri koostui yhdestä hankkeesta (taulukko 7).

Taulukko 7. Ydinjätehuolto ja yhteiskunta –aihepiirin hanke.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Governing Safety in Finnish and Swedish Nuclear Waste Regimes (SAFER)	Matti Kojo TY

TY=Tampereen yliopisto

Turvallisuuden hallinta Suomen ja Ruotsin ydinjäteregeimeissä

Hanke kohdistuu ydinturvallisuuden hallintaan ydinjäteregeimien näkökulmasta Suomessa ja Ruotsissa. Tavoitteena on parantaa ymmärrystä Suomen ydinjäteregeimistä ja erityisesti sen jatkuvuudesta ja joustavuudesta muuttuvassa sosioteknisessä kontekstissa. Hanke on organisoitu osaprojekteihin 1 Suomen ja Ruotsin ydinjäteregeimien vertailu erityisesti kansalaisjärjestöjen osallistumisen näkökulmasta ja 2 Vertailu Suomen ja Ruotsin sanomalehdissä käydystä julkisesta keskustelusta rakentamislupaprosesseista.

Vuonna 2015 tehty Suomen Ruotsin vertailu osoitti ydinjäteregeulaation eroavan Suomessa ja Ruotsissa siinä määrin toisistaan, ettei voida puhua samankaltaisesta ydinjäteregeimistä tai regulatiivisesta mallista siitä huolimatta, että projektien eteneminen Suomessa ja Ruotsissa näyttää pintapuolisesti katsottuna etenevän varsin yhteneväisesti. Institutionaalisissa puitteissa oli paljon yhteneväisyyksiä, mutta selkeinä eroina esille nousivat Suomesta puuttuva riippumaton valvova elin (Ruotsissa Kärnavfallsrådet), ydinjäterahastojen varojen allokointi (Ruotsissa myös järjestöille ja kunnille rahoitusta), veto-oikeuden erot (Ruotsissa kumottavissa ilman lainmuutosta) sekä eroavaisuudet kompensatiokäytännöissä (sekä tasossa että jakotavassa). Suomen ja Ruotsin sanomalehtien keskusteluista tehdyssä tutkimuksessa ilmeni, että molemmissa maissa teollisuus oli uutisissa useimmiten viitattu tai referoitu toimijaryhmä. Sen sijaan asiantuntijoihin ja kansalaisjärjestöihin viitattiin selvästi useammin ruotsalaisessa kuin suomalaisessa uutisjutuissa. Suomessa puolestaan poliitikot olivat useammin äänensä kuin Ruotsissa. Ruotsalaisissa jutuissa käsiteltiin selvästi useammin loppusijoituksen ongelmia ja riskejä, kun taas Suomalaisissa lehdissä taas käsiteltiin useimmiten turvallisuutta.

Viitteet

TEM 2014, Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma, KYT2018. Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2015–2018. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 43/2014, 41 s.

Liite 1 KYT2018 hankekohtaiset vuosiyhteenvetot 2015

Ydinjätehuollon teknologiat

Ydinjätehuollon teknologiat –aihepiirin hankkeet.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kehittyneet polttoainekierrot - Uudet säädettävät erotusmateriaalit (SERMAT)	Risto Koivula, HYRL
Kehittyneet polttoainekierrot – Skenaario- ja inventaarilaskenta	Tuomas Viitanen, VTT

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

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelu –aihepiirin hankkeet. Koordinoidun hankkeen TURMET hankekoordinaattori lihavoituna.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
TURMET - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi osa 1	Suvi Karvonen, VTT
TURMET - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi osa 2	Ahti Salo, Aalto

Aalto=Aalto-yliopisto; VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky -aihepiirin hankkeet. Koordinoidun hankkeen THEBES hankekoordinaattori lihavoituna.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers)	Wojciech Solowski, Aalto
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers	Veli-Matti Pulkkanen, VTT
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers), X-ray tomography and modelling	Markku Kataja, JYFL
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers	Kai Hiltunen, Numerola
Bentoniitin eroosio ja radionuklidien vuorovaikutus	Pirkko Hölttä, HYRL
Bentonite swelling pressure	Tapani Pakkanen, UEF

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

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen kapselin toimintakyky –aihepiirin hankkeet. Koordinoidun hankkeen KAPSELI hankekoordinaattori lihavoituna.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
KAPSELI: Experimentally verified model based predictions for the integrity of the copper overpack (PRECO)	Juhani Rantala, VTT
KAPSELI: Kuparikapselin mekaaninen lujuus (MECHACOP)	Hannu Hänninen, Aalto
KAPSELI: Reaktiotuotteiden vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen olosuhteissa (REPCOR)	Jari Aromaa, Aalto
KAPSELI: Mikrobiologisen toiminnan vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen hapettomissa olosuhteissa (BASUCA)	Leena Carpen, VTT
KAPSELI: Loppusijoituksen aerobisen vaiheen mikrobiologinen korroosio (MICOR)	Pauliina Rajala, VTT

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden mikrobiologian vaikutukset –aihepiirin hankkeet.
Koordinoitun hankkeen MILORI hankekoordinaattori lihavoituna).

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
MILORI: Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksen mikrobiologia (MAKERI)	Minna Vikman, VTT
MILORI: Matala- ja keskiaktiivisen metallijätteen mikrobiologinen korroosio (CORLINE)	Leena Carpen, VTT
MILORI: Mikrobiyhteisöjen rikkimetabolia loppusijoitusolosuhteissa (GEOBIOKIERTO)	Hanna Miettinen, VTT
Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS)	Lasse Ahonen, GTK

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; GTK=Geologian tutkimuskeskus

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden muut turvallisuustutkimukset –aihepiirin hankkeet.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
C-14 vapautuminen metallijätteestä	Kaija Ollila, VTT
Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann menetelmällä	Jussi Timonen, JYFL
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä	Jukka Lehto, HYRL
Applicability of Geopolymers in Nuclear Waste Management (GeoP-NWM)	Eila Lehmus, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemissä	Jukka Juutilainen, UEF
Biosfäärimallinnuksen vaihtoehtoiset menetelmät ja niiden arviointi (VABIA)	Tarmo Lipping, TTY
KARMO II – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet	Mikael Rinne, Aalto
ROSA: Rakosimulaattori, joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus- ja suuntajakaumia	Eevaliisa Laine, GTK

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

Ydinjätehuolto ja yhteiskunta

Ydinjätehuolto ja yhteiskunta –aihepiirin hanke.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Governing Safety in Finnish and Swedish Nuclear Waste Regimes (SAFER)	Matti Kojo TY

TY=Tampereen yliopisto

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
KEHITTYNEET POLTTOAINEKIERROT – UUDET SÄÄDETTÄVÄT EROTUSMATERIAALIT (SERMAT)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Advanced fuel cycles – New adjustable separation materials		
Tutkimuslaitos		Vastuhenkilö
Helsingin yliopisto, kemian laitos, radiokemian laboratorio (HYRL)		FT dos., Risto Koivula
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon teknologiat, tarkemmin nuklidierotus ja transmutaatio		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke alkoi 2015 ja kestää suunnitellusti koko KYT2018-ohjelman ajan. Jatkoa nelivuotiselle vuonna 2011 alkaneelle "KYT2014: Kehittyneet polttoainekierrat – uudet erotustekniikat" -hankkeelle		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms. Kansallinen ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma (YTERA)
VTT, Fortum	COST EUFEN	
Tutkimuksen tavoite		
Asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle erikoisalana epäorgaaniset ioninvaihtomateriaalit. Kehittää materiaali ja menetelmä aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta. Lisäksi tavoitteena on kehittyneiden polttoainekiertojen kansainvälisen tutkimuksen seuranta ja tiedonvälitys koskien uusia erotustekniikoita.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Menetelmät ja materiaalit	1	-
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Hankkeeseen sisältyy tutkimusprojekti, joka edistää alan asiantuntijuuden saatavuutta ja tieteellisen osaamisen kehittymistä Suomessa ja edesauttaa suomalaisten tutkimuslaitosten ja teollisuuden pääsyä mukaan kansainvälisiin P&T-tutkimushankkeisiin. Hankkeeseen sisältyvä kehittyneiden polttoainekiertotekniikoiden tutkimuksen seuranta antaa tutkimuslaitoksille, viranomaisille ja voimayhtiöille ajantasaista tietoa käytetyn ydinpolttoaineen suoran loppusijoituksen yhdestä vaihtoehdosta.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
Vuonna 2015 saavutetut tulokset liittyvät tutkimussuunnitelmassa esitettyyn päätavoitteeseen "I. Synteesiolosuhteiden ja selektiivisyyden välisten yhteyksien tutkimus" ja sen jokaiseen kolmeen vaiheeseen I.1-I.3. Tutkimusvaiheet etenivät tutkimussuunnitelman mukaisesti.		
I.1a Alkuvuodesta tehtiin ns. perussynteesi "vakio-olosuhteissa", eli suuren erän zirkoniumfosfaattia valmistus tietyn reseptin mukaan. Tuote toimii referenssinä eri modifikaatioille, eli tätä reseptiä muokataan vain yksi muuttuja kerrallaan.		
I.1b Valmistui ensimmäinen systemaattinen muunneltasarja: muuttujana reaktioaika, tarkemmin refluksointi-aika (1 tunti, 5 tuntia, 25 tuntia).		
I.2. Syntetisoidut materiaaliversiot (I.1b) on karakterisoitu kuluvan vuoden aikana PXRD:lla sekä titrauskokein (happamuuden määrittäminen, pKa).		
I.3. Syntetisoidujen materiaalien ¹⁵² Eu- ja ²⁴¹ Am-selektiivisyydet on määritetty pH-alueella 0-3 (seitsemän pH-pistettä) typpihappo-NaNO ₃ -liuoksessa.		

Tuotetut materiaalit osoittautuivat selektiivisyyskokeiden perusteella erinomaisiksi Am/Eu-hivenerotuksiin: Määritettiin erotustekijät tutkitulla pH-alueella, mitkä kertovat materiaalin selektiivisyydestä Eu tai Am kohtaan ja saavutettiin aiempaa (3-10) selvästi suurempia erotustekijöitä (10-100) ja näin tulokset ovat erittäin lupaavia Eu/Am käytännön erotusten kannalta.

Havaittiin selkeitä trendejä eri materiaaliversioiden selektiivisyyden, happamuuden ja kiteisyyden välillä. Kun reaktioaika (muuttuja synteesisarjassa) kasvoi, kiteisyys kasvoi ja selektiivisyys sekä happamuus alenivat. Toistaiseksi ei ole vielä selvää että juuri kiteisyys on syynä selektiivisyyden muutoksiin materiaalien välillä, mutta epäilyksistä on.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

1. S. Häkkinen, E. Wiikinkoski, Kehittyneiden polttoainekiertojen tutkimus maailmalla, VTT-R-00431-15

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

Tiedotus tutkimuslaitoksen (HYRL) sisäisessä seminaarissa, avoin ja n. 30 hlö

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Työpanos ja kustannukset ovat jakaantuneet odotetun mukaisesti. FM Elmo Wiikinkoski 12 htkk. Risto Harjula 0,5 htkk sekä Risto Koivula 0,5 htkk.

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

-

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyltteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Kehittyneet polttoainekierröt – Skenaario- ja inventaarilaskenta (KOSKI)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Advanced Fuel Cycles – Scenario and Inventory Analysis		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy		Tuomas Viitanen
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?		
Ydinjätehuollon teknologiat		
Tutkimusjatkumo		
Hanke on katkoa KYT2014 ohjelmakauden projektille Kehittyneet polttoainekierröt – Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
HYRL	Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest University of Technology and Economics, CEA	SAFIR2018
Tutkimuksen tavoite		
<p>Tutkimuksen tavoitteena on kehittää ja ylläpitää kotimaista polttoainekiertoa ratkaisujen mallinnusosaamista sekä laskentatyökaluja. Hankkeessa tutkittavissa kehittyneissä polttoainekiertoissa ydinjätteen kokonaismäärää ja lämmöntuotantoa sekä loppusijoitukseen liittyviä riskejä pyritään vähentämään polttoaineen jälleenkäsittelyn ja ongelmallisten nuklidien transmutoinnin (mm. nopeissa reaktoreissa) kautta.</p> <p>Tavoitteena on myös kansainväliseen yhteistyöhön kuten EU-projekteihin ja OECD/NEA:n työryhmissä tapahtuvaan laskentaan osallistuminen.</p>		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
tietokoneohjelmistot, kansallisen osaamisen kehittäminen	2 tutkimusraporttia + 1 matkakertomus	0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä		
<p>Projektissa kehitetään ja ylläpidetään suomalaista kehittyneiden ydinpolttoainekiertojen laskentaosaamista sekä koulutetaan nuoria tutkijoita alalle. Pitkällä aikavälillä tuotetaan viranomaisille ja päättäjille tietoa ydinjätteen suoran loppusijoituksen vaihtoehdoista.</p> <p>Vuonna 2015 aloitettu ja vuonna 2016 viimeisteltävä vertailulasku polttoainepun annosnopeudelle toimii hyvänä referenssinä kotimaiselle Serpent-ohjelmalle. Vertailulaskua tehdessä saavutettu laskentaosaaminen on suoraan hyödynnettävissä esimerkiksi loppusijoitukseen liittyvissä käytetyn polttoaineen analyyseissä. Vuonna 2015 käytöön otettu SITON mahdollistaa polttoainekiertoanalyysien laatimisen VTT:llä myös jatkossa.</p>		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain		
<p>Vuoden 2015 aikana osallistuttiin NEA:n työryhmän puitteissa järjestettyyn vertailulaskuun, jossa tutkittiin käytetyn polttoainepun itsesuojelukykyä proliferaatiomielessä: mikäli käytetyn polttoainepun annosnopeus on riittävän korkea, sen käsittely muuttuu erittäin hankalaksi, ja siksi sen houkuttelevuus esimerkiksi ydinaseen tai liikaisen pommin raaka-aineena pienenee. Aikaisemmin</p>		

annosnopeuksia on laskettu säteilysojeluun tarkoitetuilla ohjelmilla, jotka pyrkivät arvioimaan annosnopeuden yläkanttiin konservatiivisuussyistä. Vertailulaskussa tarkistettiin, että 30 vuotta jäähtyneen polttoainepin annosnopeus todella on itsesuojelumielessä riittävä laskemalla tarkoilla ohjelmilla paras mahdollinen arvio annosnopeudelle. KOSKI-projektin puitteissa annosnopeuslasku laskettiin VTT:llä kehitetyllä Serpent-ohjelmalla.

Vertailulaskussa päästiin vertailemaan kotimaisen ohjelman tuloksia kansainvälisesti käytettyihin ja huolellisesti validoituihin ohjelmiin. VTT:n tulokset vastasivat hyvin muiden tutkimuslaitosten tuloksia. 30 vuotta jäähtyneen polttoainepin gamma-annosnopeus metrin päässä ilmassa oli suuruusluokkaa 5 Sv/h, joka ylittää kansainvälisesti käytetyn itsesuojelurajan 1 Sv/h. Konservatiivisilla säteilysojeluohjelmilla annosnopeusarviot olivat noin tekijällä 3 suurempia. Vertailulaskun määritelmää tarkennettiin helmikuussa 2016, joten VTT:n lopulliset tulokset lasketaan kevään 2016 aikana ennen raportointia OECD/NEA:n työryhmälle ja tulosten julkaisua NEA:n raportissa.

Vuoden 2015 aikana VTT:lle hankittiin unkarilainen SITON-polttoainekierto-ohjelma. Maksuttomalla ohjelmalla on tarkoitus korvata CEA:n kehittämä COSI6-ohjelma, jonka lisenssimaksut ovat kohtuuttomat projektin nykyiseen vuosibudjettiin nähden. SITON-ohjelmaan tutustuttiin vertailemalla sen ja COSI6-ohjelman tuloksia avoimen polttoainekierron Suomi-skenaariossa. Ohjelmien tulokset vastasivat hyvin toisiaan. SITON-ohjelmasta kuitenkin puuttuu vielä joitakin tulosten analyysiä helpottavia ominaisuuksia sekä tärkeitä reaktorimalleja mm. MOX-polttoaineelle, joten ohjelman jatkokehitys on tarpeen. Tulevaisuudessa SITON-ohjelmalle on tarkoitus kehittää uusia reaktorimalleja yhteistyössä unkarilaisen kehitystiimin kanssa.

Alkuperäisistä suunnitelmista poiketen GLOBAL2015 –konferenssista ei laadittu matkaraporttia, koska erillisen raportin hyöty koettiin pieneksi. Olennaisin dokumentaatio, eli GLOBAL2015-konferenssin materiaalit ovat saatavissa VTT:llä (Pauli Juutilainen).

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Antti Rätty, "WPEC/AFCS Expert Group Benchmark on Dose Rate Calculations with Serpent", VTT Research Report VTT-R-05351-15, (2015).

Pauli Juutilainen, "SITON-polttoainekierto-ohjelman käyttöönotto". VTT tutkimusraportti, VTT-R-00903-16

Matkaraportti helmikuun OECD/NEA/WPEC kokouksista

Muu tutkimuksista tiedottaminen

Vuoden 2015 aikana ei järjestetty erillisiä tapaamisia HYRL:n ydinjätehuollon teknologiat -aihepiiriin kuuluvan SERMAT-hankkeen kanssa. Tiedonvaihto projektien välillä tapahtui KYT2014 loppuseminaarissa ja seurantaryhmän kokouksessa.

Työpanos ja kustannukset

Toteutuneet työkustannukset, sivukulut, lisenssimaksut, matkakulut ja muut kulut vastasivat erittäin hyvin vuoden 2015 budjettia. EGAFCS:n annosnopeus-benchmark saatiin laskettua hieman suunniteltua nopeammin, ja työstä vapautuneet resurssit käytettiin polttoainekiertoalustaan.

Matkat

Tuomas Viitanen, OECD/NEA/WPEC (Working Party on the Scientific Issues of the Fuel Cycle) ja OECD/NEA/WPEC/EGAFCS (Expert Group on Advanced Fuel Cycle Scenarios) kokoukset, 16.-18. helmikuuta, Issy - val de Seine, Ranska

Tuomas Viitanen, OECD/NEA/WPEC/EGAFCS kokous, 17.-18. syyskuuta, Issy – val de Seine, Ranska
Pauli Juutilainen, GLOBAL2015-konferenssi, 21.-24. syyskuuta, Pariisi, Ranska

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi TURMET - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi TURMET - Systematization of the Safety Case Methodology		
Tutkimuslaitos Teknologian tutkimuskeskus VTT	Vastuhenkilö Suvi Karvonen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Suunniteltu jatkuvaksi vuosien 2015-2018 ajan		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Aalto Yliopisto	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Koordinoitussa projektissa VTT:n ja Aalto-yliopiston kesken perehdytään ja kehitetään ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusperustelun metodiikkaa. Hankkeen tieteellisenä tavoitteena on arvioida epävarmuuksien huomioonoton vaikutusta turvallisuusanalyysin menetelmiin ja kehittää epävarmuuksien arviointiin teknisiä työkaluja esimerkiksi skenaarioanalyysin avulla.		
Tuloskategoria Asiantuntemuksen kehittäminen; tietokoneohjelma	Julkaisujen lukumäärä 1 tieteellinen julkaisu vuodelta 2015 viimeisteltävänä +kirjallisuusselvitykset	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 Väitöskirja nelivuotisen projektin lopussa 2018
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Projektissa kehitetään osaamista turvallisuusperustelun laatimista varten. Tutkimustuloksia voidaan soveltaa turvallisuusperustelun valmistelussa tai arvioinnissa. Ilmeinen hyödyntäjä on STUK, sekä mahdollisesti Posiva ja voimayhtiöt. Tuloksia voidaan hyödyntää heti projektin loputtua tulosten julkaisun jälkeen. Tarkoituksena on myös laatia internetsivu projektin materiaaleille helpompaa hyödyntämistä varten.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta) Osaprojekti 1: Kirjallisuusselvitys turvallisuusperustelun metodiikasta suunnitelman mukaisesti. Osaprojekti 2: Kirjallisuusselvitys skenaarioanalyysistä ja konseptimalli skenaarioanalyysille suunnitelman mukaisesti. Vuoden 2015 aikana ei ollut merkittäviä sisällöllisiä poikkeamia tutkimussuunnitelmasta. Aallon osalta suunniteltu diplomityöntekijä vaihtui jatko-opiskelijaksi ja näin vuoden 2015 aikana ei syntynyt opinnäytettä, mutta sisältö (kirjallisuusselvitys ja konseptimalli) toteutuivat suunnitellusti.		

<p>Julkaisut ja opinnäytetyöt</p> <p>Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset Edoardo Tosoni, Ahti Salo, Enrico Zio: A Prospective Review of Scenario Analysis of Nuclear Waste Repositories, <i>Reliability Engineering and System Safety</i> tai <i>Risk Analysis</i>. Viimeisteltävänä.</p> <p>Työraportit Literature Review on Safety Case in Nuclear Waste Deposition Literature Review on Scenario Analysis for Nuclear Waste Repositories</p> <p>Opinnäytteet - (Väitöskirja projektin myöhemmässä vaiheessa)</p>
<p>Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)</p> <p>-</p>
<p>Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)</p> <p>Suunnitelman mukaisesti VTT:n osalta. Aallon osalta diplomityöntekijä vaihtui jatko-opiskelijaan ja projektin aloitus huhtikuulta kesäkuulle, mutta suunniteltu työpanos ja sisältö toteutuivat.</p>
<p>Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)</p> <p>-</p>

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi (TURMET)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Systemizing Safety Case Methodology		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Aalto-yliopisto	Ahti Salo	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
3.2.1 Turvallisuusperustelu (eritoten skenaarioanalyysi ja epävarmuuden hallitsemisen menetelmät)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke alkoi vuonna 2015 ja jatkuu vuonna 2016		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT (TKT Suvi Karvonen)	Politecnico di Milano (prof. Enrico Zio)	
Tutkimuksen tavoite		
Koordinoituna VTT:n ja Aalto-yliopiston välisessä projektissa kehitetään ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusperustelun metodiikkaa systeemianalyysin näkökulmasta. Modernin systeemianalyysin keinoin pyritään kytkemään entistä läpinäkyvämmiin pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvät vaatimukset turvallisuusanalyysin tekemiseen. Hankkeen tieteellisenä tavoitteena on arvioida epävarmuuksien huomioon otton vaikutusta turvallisuusanalyysin menetelmiin ja kehittää epävarmuuksien arviointiin teknisiä työkaluja, esimerkiksi skenaarioanalyysin avulla.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kirjallisuuskatsaus, konseptimalli	1	
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tuloksia voivat hyödyntää sekä kotimaiset ja kansainväliset tahot, joiden tehtävänä on laatia epävarmuudet kattavasti huomioonottavia skenaarioanalyysijä ydinjätteiden loppusijoituksesta.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain		
Aallon osahankkeessa laadittiin vuonna 2015 laaja kirjallisuuskatsaus skenaarioanalyysin menetelmiin. Samoin siinä kehitettiin menetelmällinen pohja skenaarioanalyysin kattavuustarkasteluille (engl. comprehensiveness) sekä konseptimalli sille, millaisilla menetelmällisillä valinnoilla laaja-alaista kattavuutta voidaan tavoitella.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Vuonna 2015 laadittu katsaus skenaariomenetelmiin tullaan julkaisemaan mahdollisimman hyvässä kansainvälisessä sarjajulkaisussa ja sisältyy aikanaan Edoardo Tosonin väitöskirjaan. Vuoden 2015 tulokset esitellään Society for Risk Analysis Europe-konferenssissa Bathissa 20.-22.6.2016.		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		
KYT-ohjelman puitteissa tapahtuneen raportoinnin, esitysten ja haastattelujen lisäksi tuloksista on pidetty esitelmiä Aallossa.		
Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)		
MSc Edoardo Tosoni on työskennellyt hankkeessa jatko-opiskelijana kesäkuun alusta joulukuun loppuun. Kustannukset ovat olleet 31 456 euroa VYR-rahoitusta ja 11 439 euroa omaa rahoitusta.		
Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyltteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Aalto University	Wojciech Sołowski	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Long-term safety of spent nuclear fuel disposal: performance of buffer and backfill materials. (Finnish: Puskuri ja täyteaineiden toimintakyky)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) The project continues the collaboration began in KYT2014 project BOA and KYT2010 project PUSKURI.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Aalto University Jyväskylä University VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. Numerola Oy	Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech (UPC), Barcelona (Spain), École des Ponts, Laboratoire Navier Paris Tech (France), Georgia Institute of Technology (USA) Texas A&M University (USA) Université de Pau et des Pays de l'Adour (France)	EU FP7 project BELBaR (Bentonite Erosion: effects on the Long term performance of the engineered Barrier and Radionuclide transport) EU Horizon 2020 Mind (Microbiology In Nuclear Waste Disposal) EU Horizon 2020 Modern KYT2018 GEOBIOKIERTO YTERA doctoral programme
Tutkimuksen tavoite		
Project THEBES investigates the behaviour of swelling clay barriers. In particular, the project characterises bentonite which is going to be used in spent nuclear fuel repositories in Finland. The experimental investigations are connected to THMC constitutive modelling of this material as well as simulation of practical cases useful in risk assessment and design of such repositories		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Experimental methods, theoretical developments, computer methods	During the 4 years the project should yield more than 13 quality journal papers and more than 12 conference publications. In 2015 the project published 1 journal paper and 1 conference paper	At least 2 PhD theses should be completed during 4 years of the project. Some related MSc theses are likely In 2015 Topi Kääriäinen & Joni Lämsä have graduated with a MSc degree
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
The produced results will have use in further research, will give insights on practical design of nuclear waste repositories and can be utilised in the evaluation of the performance of buffer/backfill material. The project will increase the Finnish and international expertise on the subject. The research started in 2015, though perhaps not yet published, will be published during the duration of the project.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista		

olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)

Project THEBES investigates the behaviour of swelling clay barriers. In 2015 the participants advanced the goal as follows:

1. Aalto University

Aalto University initiated the constitutive modelling and numerical modelling of bentonite in 2015. In September, Dr Ayman Abed has been appointed for the project and the research started. Till January Dr Abed implemented Critical State soil model Modified Cam Clay into Numerrin code of Numerola Oy. Subsequently, he implemented Barcelona Basic Model as well as some basic hydraulic conductivity models. The hydro-mechanical coupling is currently operational, though still being benchmarked.

Aalto organised visit of Dr Abed in UPC BarcelonaTech, world leading institution in unsaturated clay modelling, in Jan 2016 where the code was further validated.

Aalto University also conducted research on MX-80 water retention behaviour at constant dry density. The research is done in cooperation with the Université de Pau et des Pays de l'Adour.

The research described above has been submitted for publications at E-UNSAT 2016 conference and currently is a subject of peer review.

2. Jyväskylä University

The X-ray tomographic method developed earlier for purified bentonite was accommodated to MX80 bentonite with moderate modifications. The method was published in Applied Clay Science journal. First experimental results obtained during 2015 were transferred to modellers in Aalto University and B+Tech to be used for model testing and validation. The phenomenological model was modified to include convective water transport zone. The new version of the model was implemented in Numerrin environment by Numerola Oy.

3. VTT Technical Research Centre of Finland

The specifications for the high pressure triaxial were determined, the cell was ordered and it has been delivered in Autumn. The uniaxial cells have been designed and manufactured. These devices are currently being installed. The installation has been delayed, because the MTS device has been reserved the end of the year. However, initial tests with an older, small uniaxial cell have been carried out. Carefully planned sample preparation process has been started and the samples are currently being equilibrated with water vapour at decided relative humidities. The wetting experiments (the construction of the experimental setup) have been started. Testing of low-temperature NMR experiments on partially saturated MX-80 bentonite was carried out.

4. Numerola Oy

Numerola's THM-solver was adapted and tested for MX80 bentonite. Comparisons between simulations and wetting-swelling experiments of JyU showed fairly good agreement with respect to water content and deformations. The simulations seem to follow trends reasonably at initial stages of wetting but more model development is needed to fully describe the wetting and swelling in both time and space. A new convective water transport model was added to the THM-solver. Numerrin software was installed and introduced to Ayman Abed and Wojciech Sołowski at Aalto University.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

- T. Harjupatana, J. Alaraudanjoki and M. Kataja, "X-ray tomographic method for measuring three-dimensional deformation and water content distribution in swelling clays", *Appl. Clay Sci.* 114, 386-394 (2015).

Konferenssijulkaisut ja työraportit

-Markku Kataja, Joni Lämsä and Tero Harjupatana, "Measurement of water transport and swelling of bentonite clay using X-ray imaging. An update". BelBar Workshop, 12.-13.10.2015. Karlsruhe, Germany.

Opinnäytteet

- Topi Kääriäinen, Bentoniitin elastoplastisten ominaisuuksien määrittäminen, Master's thesis, JyU (2015).

- Joni Lämsä, "Veden kulkeutumisen ja muodonmuutosten mittaaminen MX-80-tyyppisessä bentoniitissa röntgenmikrotomografisin menetelmin", Master's thesis, JyU (2015).

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

The network maintains a website (note that the address is going to change due to reorganisation of Aalto University): http://civil.aalto.fi/fi/research/geoengineering/soil/numerical/thebes_project/
In 2015 THEBES has been visited by Dr Klaus-Peter Kröhn who gave seminars in Jyväskylä and VTT
In Sep 2015 Aalto researchers visited Université de Pau et des Pays de l'Adour, where Sołowski gave seminar and attended meetings. The Aalto researchers received training on conducting suction measurements using filter paper technique.
In January 2016 Sołowski went for a day-long visit to UPC BarcelonaTech where he gave seminar and attended meeting. Dr Abed stayed for a short research visit at UPC.
THEBES organised a yearly workshop 11th of Dec 2015 at Aalto University

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

1. Aalto University

Aalto budget for 2015 is approximately 126,000 euros. The budget has been spent fully.

2. Jyväskylä University

The total cost of JyU for the project year 2015 was 107 204 € (planned 107 000 €). The total amount of effective person months was 11.9 (planned 12.75)

3. VTT Technical Research Centre of Finland

VTT budget for 2015 was approximately 196 000 euros. The budget has been spent. The costs related to mechanical test devices have been smaller than planned due to outsourcing of the triaxial cell design and manufacturing.

4. Numerola Oy

Numerola's budget for 2015 was 33,000 euros which was fully spent.

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

All members:

1. Aalto University

Jyväskylä, project meeting, spring 2015

Universite de Pau, France, research visits, September 2015

Jyväskylä, Project meeting, 15.9.2015

Thebes Workshop 11.12.2015, Travel costs of prof. Pierre Delage (École Nationale des Ponts et Chaussées ParisTech)

UPC Barcelona Tech., Spain, Seminar and research visits, January 2016. Jyväskylä University Domestic trips in THEBES meetings.

Dr Klaus Peter Kröhn visited Jyväskylä as invited by the THEBES project, and was partly funded by the project (accommodation).

2. Jyväskylä University

Domestic trips in THEBES meetings. Dr Klaus Peter Kröhn visited Jyväskylä as invited by the THEBES project, and was partly funded by the project (accommodation).

3. VTT Technical Research Centre of Finland

Matuszewicz and Pulkkanen participated in the YTERA graduate school annual seminar in Haikko 18-19.05.2015. Pulkkanen had a presentation of his work.

Dr Klaus Peter Kröhn visited Espoo as invited by the THEBES project, and was partly funded by the project (accommodation).

Matuszewicz participated in the Scientific Basis for Nuclear Waste Management MRS conference in Montpellier (November 2015), where he had an oral presentation.

4. Numerola Oy
Three trips from Jyväskylä to THEBES meetings in Espoo.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Bentoniitin eroosio ja radionuklidien vuorovaikutus (BENTO)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Bentonite erosion and radionuclide interaction processes		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Radiokemian laboratorio		Pirkko Hölttä
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus: Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Tutkimus on jatkoa KYT2014/BOA:n KOLORA osahankkeelle, tutkimussuunnitelma on tehty koko KYT2018 kaudeksi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Aalto, VTT, JYFL, GTK, Posiva, B+Tech	HZDR, EU, NAGRA, KIT, KTH	KYT2018/THEBES, EU/BELBaR, Nagra/CFM
Tutkimuksen tavoite		
<p>Hankkeen yleisenä tavoitteena on tutkia kokeellisesti bentoniitin massan hävikkiä aiheuttavaa kemiallista eroosiota ja sen seurauksena muodostuneiden bentoniittikolloidien, radionuklidien ja mineraalien välisiä vuorovaikutuksia loppusijoitustilaa mahdollisimman hyvin kuvaavissa olosuhteissa. Tavoitteena on tutkia 1) bentoniitin eroosion mekanismeja ja kinetiikkaa, eroosion välivaiheena syntyneen geelifaasin sekä siitä irtautuvien kolloidien muodostumista ja ominaisuuksia hyödyntämällä eri karakterisointimenetelmiä, 2) selvittää radionuklidien, erityisesti aktinidien sorptiota/desorptiota soveltamalla spektroskooppisia menetelmiä radionuklidien, erityisesti aktinidin ja mineraalin välisen sidoksen luonteen tunnistamiseksi. Koko hankkeen tavoitteena on yhdistää kokeellinen työ ja mallinnus. Yleisenä tavoitteena on myös ylläpitää ja kehittää kotimaista osaamista sekä kouluttaa radiokemian, erityisesti loppusijoituksen alalle uusia asiantuntijoita.</p>		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeelliset menetelmät ja analyysitekniikat	1 referee julkaisu	
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
<p>Bentoniitin kemiallisen eroosion seurauksena puskurin massaa häviää mikä voi vaikuttaa heikentävästi puskurin ominaisuuksiin suojata kanisteria ja hidastaa radionuklidien kulkeutumista pois lähialueelta. Bentoniitista muodostuneet stabiilit ja mobiilit savipartikkelit eli kolloidit pidättävät radionuklideja ja voivat toimia niiden kuljettajina kallioperässä. Tutkimustuloksia sovelletaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa lähialueella arvioitaessa bentoniitin ja tunnelin täyteaineiden toimintakykyä sekä arvioitaessa radionuklidien pääsyä bentoniitin eroosion seurauksena muodostuneiden kolloidien mukana loppusijoitustilasta lähialueelle ja kaukoalueen kautta biosfääriin. Eroosikokeiden tuloksena saadaan tietoa mm. bentoniittipuskurin hajoamisesta, rapautumismekanismeista ja -kinetiikasta, pohjavesiolosuhteiden vaikutuksesta kolloidien liikkuvuuteen. Radionuklidien vuorovaikutuskokeista saadaan tietoa radionuklidien kiinnittymismekanismeista mineraalien tai kolloideihin kiderakenteisiin ja varsinkin aktinidien sorption pysyvyydestä. Lisäksi saadaan tietoa ja kokemusta määrittäminen menetelmistä ja lähtödataa sekä testitapauksia mallinnusta varten. Mallittajien kanssa suunniteltujen turvallisuusperustelujen kannalta relevanttien kokeiden tuloksia voidaan mahdollisesti tulevaisuudessa käyttää parametreina</p>		

mallien kehittämisessä ja testaamisessa esim. KYT2018/THEBES hankkeessa. Tuloksia hyödynnetään myös EU/BELBar ja Grimselin CFM projektissa projekteissa. Kaikki tulokset ovat välittömästi kaikkien käytettävissä, erityisesti tukiryhmän, joka siirtää tiedon viranomaisien sekä Posivan ja voimayhtiöiden käyttöön.

Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)

Työ on edistynyt suunnitellun mukaisesti.

"Bentoniitin eroosio" osaprojektissa jatkettiin aiemmin MX-80 bentoniitti-jauheesta (2010) ja -pelleteistä (2014) tehdyillä näytteillä bentoniitin eroosion ja kolloidien stabiilisuuden seurantaan veden ionivahvuuden funktiona laimennetuissa OLSO, NaCl ja CaCl₂ liuksissa (I=0.001 – 0.1 M) määrittämällä muodostuneiden kolloidien partikkelikoko-jakaumia, pitoisuuksia ja zeta potentiaaleja dynaamisella laservalonsirontamenetelmällä (DLS).

On tehty vastaavia eroosiokeiteitä MX-80 pelleteistä ja Nanocor PGN montmorilloniittista tehdyillä uusilla näytesarjoilla ja testattu koejärjestelyä, jossa seurataan bentoniitin eroosiota keinotekoisessa rakosysteemissä joko staattisilla tai dynaamisilla kokeilla.

Veden suolaisuuden ja liuoksen kationien merkitys kolloidien stabiilisuuteen on saatu selvästi näytettyä kahdella referenssipohjavedellä ja elektrolyyttiliuksilla. Veden suolaisuuden lisääntyessä kolloidit aggregoituvat suuremmiksi partikkeleiksi ja sedimentoituvat pois liuksesta.

"Radionuklidien vuorovaikutus" osaprojektissa on kehitetty kolloidiliuosten valmistamiseen uusi aiempaa nopeampi menetelmä, jossa kolloidien erottuminen tapahtuu ultraäänien avulla. Työssä on määritetty batch menetelmällä ⁸⁵Sr ja ¹⁵²Eu:n jakaantumiskertoimia (K_d) MX-80 ja Nanocor bentoniittikolloideille Allard ja OLSO liuksissa pH:n funktiona CO₂ -vapaassa olosuhdekaapissa. Veden suolaisuuden sekä kiinteä aine/liuos -suhteen vaikutus sorptioon on tutkittu. pH vaikuttaa merkittävästi radionuklidien kemialliseen muotoon ja siten niiden sorptioon, erityisesti ¹⁵²Eu:n sorption tulkintaan tarvitaan molekyyllitason mallitusta. Veden suolaisuuden kasvu pienentää sorptiota kolloideihin, syynä on spesifisen pinta-alan pienentyminen partikkelien takertuessa toisiinsa ja osittain sedimentoitumalla pois liuksesta. Desorptiokokeissa noin 60 % ¹⁵²Eu:n aktiivisuudesta poistui Nanocor PGN Montmorilloniitti kolloideista ja mineraalisuspensiosta kahdessa viikossa kun liuos vaihdettiin joka toinen päivä.

Sorptiomekanismia on arvioitu määrittämällä Nanocor PGN suspension ja kolloidiliuoksen zeta potentiaalit pH:n funktiona ilman radionuklidia ja strontiumin tai europiumin ollessa liuksessa. Zeta potentiaali oli vähemmän negatiivinen Eu:n ollessa läsnä minkä ajatellaan johtuvan pinta-kompleksien muodostumisesta savimineraalien alumiinisilikaatien kanssa. Vastaavaa eroa ei havaittu strontiumilla, jonka oletetaan sorboituvan ioninvaihdolla.

On analysoitu ja täydennetty gradu työn tuloksia kokeista, joissa määritettiin Np-237 sorptiota alfa-aluminaan, Na-montmorilloniittiin, ja bentoniittikolloideihin hapettomissa olosuhteissa batch kokein sekä in-situ ATR FT-IR ja EXAFS menetelmällä (HZDR).

On tehty Np-237 batch sorptiokokeita Nanocor PGN montmorilloniittilla.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

O. Elo, K. Müller, A. Ikeda-Ohno, F. Bok, A. C. Scheinost, P. Hölttä and N. Huittinen: Batch sorption and spectroscopic speciation studies of neptunium uptake by montmorillonite and corundum. *Geochemica and Cosmochimica Acta*, saatu kommentit, jätetään uudelleen 3/2016.

P. Hölttä, M. Lahtinen, S. Niemiahö, O. Elo, V. Suorsa and J. Lehto: Injection grout Silica Sol as a source of stable silica colloids, Käsikirjoitus viimeistelyvaiheessa, jätetään arvioitavaksi keväällä 2016.

Opinnäytteet

Elina Honkaniemi: Radionuklidien sorptio/desorptio bentoniittiin partikkelikoon mukaan LuK- tutkielma 2015, Helsingin yliopisto.

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

Tuloksia on esitetty BELBaR seminaarissa Madridissa (suullinen esitys ja posterit), Clay konferenssissa Brysselissä (posterit) ja Migration 2015 konferenssissa Santa Fe:ssä (kolme posteria)

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Työpanos ja kustannukset ovat toteutuneet suunnitelman mukaisesti.

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

Pirkko Hölttä ja Outi Elo: 3rd Annual Workshop CP BELBaR, 5.-6.3.2015, Madrid, Espanja.

Pirkko Hölttä: Clays in natural and Engineered Barrier for Radioactive Waste Confinement, 23.-27.3.2015, Bryssel, Belgia.

Pirkko Hölttä, Outi Elo ja Valtteri Suorsa: Migration2015, 13.-18.9.2015, Santa Fe, NM, USA.

Outi Elo ja Valtteri Suorsa: CP BELBaR Training course, 14.-16.10.2015, Karlsruhe, Saksa.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyllyteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi: Bentoniitin paisumisaine		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Bentonite swelling pressure		
Tutkimuslaitos Itä-Suomen yliopisto, Kemian laitos	Vastuuhenkilö Tapani Pakkanen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisuusturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) KYT Ohjelma 2018		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Posiva	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Bentoniitin paisumisilmion syväallinen ymmärtäminen ja paisumisaineen ennustaminen erilaisille savikoostumuksille		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Mallintamismenetelmä	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Ydinjätteen loppusijoituksesta vastaavat tahot		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain: Hankkeessa on verifiointi molekyyliidynamiikkaan perustuva paisumismalli montmorillonitiille ja pyrofylliitille. Sitä on sovellettu beidelliitin ja rautaa sisältävän montmorillonitiin paisumiskäyttämisen ennustamiseen. Menetelmällä voidaan simuloida montmorillonitiin paisumisaineen käyttämistä ydinjätteen loppusijoituksen olosuhteissa. Tulokset on lähetetty julkaistavaksi kansainväliseen julkaisusarjaan. Ei poikkeamia suunnitelmaan		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset 2 Konferenssijulkaisut ja työraportit Opinnäytteet (väitöskirja työn alla)		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		
Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen) Työpanokset ja kustannukset ovat toteutuneet hanke-esityksen mukaisesti		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018)
Vuosiyltteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Experimentally verified model based predictions for the integrity of the copper overpack (PRECO)		
Tutkimuslaitos Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	Vastuuhenkilö Tarja Laitinen/Juhani Rantala	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus, 3.2.3 Kapselin toimintakyky		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa aikaisemmalle tutkimukselle samasta aihepiiristä		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Aalto yo	Ulkomaiset organisaatiot SSM (Ruotsi)	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Projekti tuottaa pitkiin koeaikoihin perustuvan kokeellisen näytön ja mallipohjaiset ennusteet viranomaisille tukemaan päätöksentekoa ydinjätteen loppusijoituksen kuparikapselin osalta. Projektin tuloksina saadaan laaja koetulosaineisto, kokeellisen toiminnan valmiudet ja asiantuntijaosaaminen vauriomekanismeista, mallinnuksesta, pitkän ajan elinikäennusteista sekä kokeelliseen näyttöön perustuva syvälinen ymmärrys kuparin käyttäytymisestä.		
Tuloskategoria Kokeellinen tulosaineisto, materiaaliominaisuudet, ennuste pitkäaikaiskestävyydestä	Julkaisujen lukumäärä --	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 väitöskirja J. Rantala käynnissä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä Tutkimus tuottaa puolueettoman arvion loppusijoitusmenetelmän luotettavuudesta kuparikapselin virumisen osalta. Erittäin hyödyllistä on myös verrata ruotsalaista ja VTT:n virumismallia keskenään relaxaation ennustamisessa. Tämä parantaa kapselin elinikäennusteen luotettavuutta merkittävästi.		

Sisällölliset tulokset osaprojekteittain	
Planned activities 2015	Results up to 10/2015
Task 1. Uniaxial creep testing of copper	Kokeet KYT2014 ohjelmasta jatkuvat. Pisin yksiakσιαallinen koe yli 110 000 tuntia.
Task 2. Relaxation behaviour of copper	Kokeet servohydraulisessa koneessa kärsivät epästabiilisuudesta. Kelvollisten kokeiden perusteella on tehty relaksaatiomalli, jota käytetään FE-laskennassa.
Task 3. Effect of multiaxiality	Kaksi koetta käynnissä KYT2014 ohjelmasta. Loppuvuodesta on alkanut kokeita CT-sauvoilla oksidipartikkelivöhykkeen testaamiseksi.
Task 4. Study of low temperature mechanism change	Ei selvää indikaatiota mekanismimuutoksesta. Ongelmana on julkaistun pitkäaikaisen koedatan puute. Pisimmät julkaistut kokeet perusaineelle ovat vain 26000 h ja FSW:lle 13000h.
Task 5. FE analysis of canister and defects	Relaksaatiomalli sovitettu uudestaan ja sitä on hyödynnetty kapselin FE analyysissa, jossa oletettiin nollalujus joint line hookingille ja oksidipartikkelivöhykkeelle. Analyysin mukaan mallinnettujen säröjen kärkeen syntyy voimakas jännityskeskittymä, joka kuitenkin relaksoituu nopeasti. Maksimivienymät ovat suuremmat kuin ilman oletettuja vikoja.
Task 6. Combined effect creep and corrosion	Koelaitteisto suunniteltu, mutta rakentaminen on siirtynyt vuodelle 2016.
Task 7. Training and development of resources	Nanoindentaatiota on kokeiltu kuparille. Small punch laitteisto on valmis ja sitä aiotaan soveltaa oksidipartikkelivöhykkeen testaamiseen 2016.
Julkaisut ja opinnäytetyöt	
1 väitöskirja J. Rantala työn alla	
Muu tutkimuksista tiedottaminen	
KYT loppuseminaari 18.3.2015 Kirjoitettu yleistajuinen artikkeli koordinoitun hankkeen tuloksista ATS Ydintekniikkalehteen nr. 4/2015	
Työpanos ja kustannukset	
Toteutuneet kustannukset 1/2016 ovat 103682€.	
Matkat	
Raportointi SSM:llä Tukholmassa 13.10.2015	

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyllyteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi Kuparikapselin mekaaninen lujuus		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Mechanical strength of copper canister (MECHACOP)		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto	Vastuuhenkilö Hannu Hänninen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus: kapselin toimintakyky		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa aiemmalle tutkimushankkeelle "Kuparisen ydinjättekapselin mekaaniset ominaisuudet"		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, Posiva	Ulkomaiset organisaatiot Kärnavfallsrådet, KTH ja SKB, Ruotsi; Tohoku University, Japan; MEFHI, Venäjä	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Selvittää kuparikapselin eri osien mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää sekä mikros- että makroskooppinen plastinen deformaatio kuparikapselin rakenteissa. Kuparin korroosiossa syntyvät oksidi- ja sulfidikalvot johtavat sekä vedyn että vakanssien siirtymisen kupariin, joilla on merkittävä vaikutus kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin sekä virumiseen että mahdolliseen jännityskorroosioalttiuteen. Nämä vaikutukset selvitetään tutkimuksessa perusteellisesti.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä 4	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Kuparikapselin mekaaniset ominaisuudet, sallittavan plastisen deformaation määrä sekä vikojen suuruus ja laatu ovat kapselin mekaanisen kestävyuden kannalta erittäin tärkeitä. Myös loppusijoitusympäristössä (mukaan lukien säteilyn vaikutus) tapahtuvassa korroosiossa (hapettuminen/sulfidoituminen) kupariin absorboituvan vedyn ja vakanssien vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin, virumiseen ja mahdolliseen jännityskorroosioon pitää tuntea.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta) Kuparin pinnalle syntyvän oksidikalvon merkitys on ratkaiseva jännityskorroosion ydintymisen ja kasvun mekanismeissa. Jännityskorroosioon liittyy vakanssien muodostuminen kupariin hapettumisreaktion seurauksena ja julkisussa /1/ on esitetty malli kuparin jännityskorroosion mekanismille nitriittiliuoksessa. Vuonna 2014 aloitettiin yhteistyö KTH:n kanssa tutkimalla vedyn absorptiota kupariin y säteilyn alaisena tapahtuvissa korroosiokekeissa, jotka jäljittelevät mahdollisimman hyvin kuparikapselin loppusijoitusolosuhteita ensimmäisen 1000 vuoden aikana. Julkaisussa /2/ osoitettiin että y säteily kiihdyttää merkittävästi sekä korroosiota että vedyn absorptiota kupariin loppusijoitusolosuhteissa. Lisäksi tutkimus on osoittanut, että y säteilyn alaisena kuparin pinnalle muodostuu kaksikerroksinen oksidikalvo, joka on samanlainen kuin julkaisussa /1, jossa sen todettiin edistävän jännityskorroosion ydintymistä. Optinen 3D venymämittausta perustuen digitaaliseen kuvakorrelaatioon (digital image correlation, DIC) otettiin käyttöön kuparihitsien makroskooppisen deformaation analysoinnissa. Uusi pintakuvio kehitettiin, jotta erotuskyky deformaation paikallistumisessa saadaan mahdollisimman suureksi ja		

mittaukset korotetuissa lämpötiloissa ovat myös mahdollisia. Julkaisussa /3/ on esitetty sekä EB-että FSW-hitsausliitoksille tehty laaja mekaanisen testauksen koesarja sekä ehjillä että aitoja hitsausvikoja sisältävillä EB- ja FSW-hitseillä. Tulokset osoittavat, että deformaation paikallistuminen hitsausliitoksissa tapahtuu nopeammin muodonmuutosnopeuden hidastuessa ja hitsausvirheet paikallistavat deformaation tehokkaasti erityisesti EB-hitseissä. Deformaation paikallistuminen johtaa nopeaan murtumiseen hitsausliitoksessa.

Vedyn vaikutusta plastisen deformaation paikallistumiseen kuparissa tutkittiin vetyvaratuilla erilliskidenäytteillä. Julkaisussa /4, 5/ osoitetaan, että vety vaikuttaa voimakkaasti plastisen deformaation mekanismeihin ja johtaa paksujen paikallisten liukunauhojen muodostumiseen. Positroniannihilaatiomittaukset osoittavat, että vety edistää vakanssien muodostusta kuparissa ja että vakanssit pyrkivät kasautumaan rykelmiksi ja synnyttävät nano-onkaloita kupariin. Nano-onkalot edistävät virumista ja murtumista.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

1. Aaltonen, P., Yagodzinskyy, Y., Saukkonen, T., Kilpeläinen, S., Tuomisto, F., Hänninen, H., (2015) Role of excessive vacancies in TGSCC of pure copper. Corrosion Reviews, 33(2015)6, 487-500. Article available online: <http://www.degruyter.com/printahead/j/corrrev>.
2. Lousada, C., Soroka, I., Yagodzinskyy, Y., Tarakina, N., Todoshchenko, O., Hänninen, H., Korzhaviy, P., Jonsson, M., Gamma radiation triggers hydrogen absorption in copper by water. Accepted to Nature.
3. Forsström, A., Luumi, L., Bossuyt, S., Hänninen, H., Effect of strain rate and welding defects on localization of plastic deformation in friction stir and electron beam welds of spent nuclear fuel copper canisters. Submitted to Science and Technology of Welding and Joining.
4. Yagodzinskyy Y., Malitckii E., Korhonen E., Tuomisto F., Hänninen H., Hydrogen-induced strain localization and free volume generation at the initial stage of plastic deformation of pure copper. Submitted to Scripta Materialia.

Konferenssijulkaisut ja työraportit

5. Yagodzinskyy Y., Malitckii E., Hänninen H., Hydrogen-induced strain localization in oxygen-free copper at the initial stage of plastic deformation. EUROMAT 2015, Warsaw, September 19.-24., 2015.

Opinnäytteet

-

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

-

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Projektin kustannukset 31.01.2016 mennessä ovat yhteensä 137256 € Kustannukset jakautuvat seuraavasti:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| - Palkka- ja yleiskustannukset | 43884 €(+HSK 24136 €+ YK 53055 €) |
| - Tarvikkeet ja laitteet | 9319 € |
| - Vieraat työt ja palvelut | 3401 € |
| - Matkakustannukset | 3461 € |
| - Yhteensä | 137256 € |

Projektin budjetti suunniteltu budjetti vuodelle 2015 oli 120000 €(KYT 93000 €ja Aalto-yliopisto 27000 €).

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

- Hannu Hänninen, International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems – Water Reactors, 7.8. – 15.8.2015, Ottawa, Kanada.
- Antti Forsström, KYT-loppuseminaari, 18.3.2015, Helsinki, Suomi

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyllyteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Reaktiotuotteiden vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen olosuhteissa (REPCOR)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
The effect of reaction product layers on copper corrosion in repository conditions		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Aalto-yliopisto, Materiaalitekniikan laitos		Dos. Jari Aromaa
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Jatkoa KYT2010-tutkimukselle kuparin korroosiosta höyryfaasissa ja KYT2014-tutkimukselle korroosiosta hapettomissa olosuhteissa.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT, Aalto ENG	-	-
Tutkimuksen tavoite		
Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparin pinnalle muodostuvien reaktiotuotekerrosten vaikutus kuparin korroosioon. Reaktiotuotekerroksilla uskotaan olevan vaikutus sekä yleisen korroosion nopeuteen että paikallisen korroosion eri muotoihin. Tutkimuksessa selvitetään reaktiotuotekerrosten muodostuminen ja niiden vaikutus kun kuparikapseli käy lävitse eri korroosiovaiheet kuivasta ilmastosta turpoamattoman bentoniitin hapellisten olosuhteiden kaasufaasiin ja nestefaasiin ja lopulta hapettomien olosuhteiden nestefaasiin.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellisia tuloksia korroosionopeudesta.	Alkuperäinen suunnitelma 5 artikkelia vuosina 2015-2018.	Alkuperäinen suunnitelma 1 väitöskirja 2018.
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tuloksia voivat hyödyntää yritykset ja viranomaistahot, jotka arvioivat kapselin pitkäaikaiskestävyyttä korroosion kannalta. Tutkimus voi tuoda lisäselvitystä sekä aikaisempien tutkimusten kymmenkertaisiin eroihin yleisen korroosion nopeudessa että paikallisen korroosion esiintymiseen.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
Vuoden 2015 tutkimus keskittyi ensimmäiseen osaprojektiin, eli menetelmiin muodostaa reaktiotuotekerroksia sähkösaostetun kuparin pinnalle kuivissa olosuhteissa kaasufaasissa, hapettavassa kosteassa kaasufaasissa ja hapettavassa upotusrasituksessa erilaisilla synteettisen pohjaveden koostumuksilla. Tutkimusten perusteella hapetus ilmassa 90 C lämpötilassa on antanut toistettavimmat tulokset upotuskokeiden jälkeen. Kattavaa mittaussarjaa oksidikerrosten paksuuksista ja eri kuparioksidien paksuuksista ei vielä ole, koska työt myöhästivät kvartsikidemittauksissa käytettyjen kiteiden osoittauduttua käyttökelvottomiksi. Koeohjelma päättyi kesken loppuvuodesta 2015 tutkija Vesa Lindroosin lähdettyä akateemisen maailman ulkopuolelle töihin. Samanaikaiset Aallon yt-neuvottelut eivät mahdollistaneet toisen henkilön palkkaamista. Tutkimusta on jatkettu 2016 Aallon rahoittamassa diplomityössä.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Rantala, Hänninen, Aromaa, Carpen, Rajala: Ydinjätteen kuparivaippa: kestääkö, syökö korroosio, murtaako vety? ATS Ydintekniikka 4/2015.		

<p>Opinnäytteet Diplomityö Lindroos, Vesa, Corrosion of copper in synthetic oxygen-free ground water. Aalto-yliopisto, Kemian tekniikan korkeakoulu 2015, 73 s.</p>
<p>Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Vesa P Lindroos, Review on Critical Properties of Copper Overpack Material in Nuclear Waste Package. Aallon kurssi Kon-67.5100 Postgraduate Seminar on Engineering Materials Materials Science and Technology – Nuclear Materials, Advanced Course. https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/19323 Vesa Lindroos oli mukana haastateltavana YLE:n Kvanthopp-ohjelman suorassa lähetyksessä 12.11.2015. Esimerkkinä korroosiotutkimuksesta kandidaatti- ja maisteritason kurseissa. Kuparikapseli on haasteellinen tutkimuskohde kun verrataan lyhyttä koe- tai testausaikaa ja pitkää käyttöaikaa.</p>
<p>Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen) Vuoden 2015 budjettia supistettiin alkuperäisestä hakemuksesta 51%. Alkuperäiseen tutkimussuunnitelmaan verrattuna samoja tutkimuskokonaisuuksia on toteutettu, eli oksidifilmien muodostaminen, korroosiokeet ja karakterisointi, mutta ei suunnitellussa laajuudessa. Budjetista oli käytetty 31.1.2016 mennessä 86%. Budjettia ei saatu käytettyä tutkijan lähdön ja Aallon yt-neuvottelujen takia.</p>
<p>Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat) Ei matkoja.</p>

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyllyteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Mikrobiologisen toiminnan vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen hapettomissa olosuhteissa (BASUCA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
The effect of microbial activity on corrosion of copper in anoxic state of repository (BASUCA)		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	Leena Carpén	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus (Kapselin pitkäaikaiskestävyys)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke hyödyntää KYT2014 kaudella vuonna 2013 alkaneessa MICCU projektissa saatuja tuloksia ja laitteistoja. Hankkeen on suunniteltu jatkuvan koko KYT2018 ohjelmakauden ajan. Projekti on osa koordinoitua Kapseli-kokonaisuutta.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Oulun Yliopisto (BioSer), Aalto-Yliopisto		
Tutkimuksen tavoite		
Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin käyttäytymiseen loppusijoituksen hapettomassa vaiheessa.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellinen menetelmä uutta tietoa	5 kansainvälistä julkaisua	1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tuloksia hyödynnetään ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus- aihepiirissä kapselin toimintakyky-painoalueella arvioitaessa hapettomassa vaiheessa korroosionopeuksia ja korroosiovaikutusten arvioimiseksi tehtyjen mallien oikeellisuutta. Tulosten perusteella voidaan arvioida loppusijoitus-kapselin mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Hankkeessa kehitettyjä menetelmiä voidaan soveltaa laajasti muihinkin sovellutuskohteisiin. Hankkeessa koulutetaan useita osaajia ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle. Projektissa tehtyjä julkaisuja tullaan käyttämään osana väitöskirjatyötä ja lisäksi projektin myöhemmässä vaiheessa pyritään teettämään myös di-/gradutyö.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
Tehtävä 1. Koejärjestelyn suunnittelu ja edelleen kehittäminen <i>Tehtävän tuloksena ovat koejärjestelyt, joiden avulla voidaan tutkia kuparin mikrobiologista korroosiota sekä metallipinnoille kerääntyvän biofilmin ominaisuuksia loppusijoituksen hapettomassa vaiheessa eri lämpötiloissa.</i> Koejärjestelyjen kehittäminen ja rakentaminen on toteutunut suunnitellusti. Koejärjestelyjä modifioitiin hapettomuuden varmistamiseksi koko kokeen ajalle. Korkeammassa lämpötiloissa tehtäviä kokeita varten VTT:lle on hankittu ja asennettu lämpöhuone.		
Tehtävä 2. Kuparin mikrobiologinen korroosio <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida kuparin mikrobiologisen korroosion mekanismeja ja korroosionopeutta hapettomissa mikrobeja sisältävissä olosuhteissa.</i> Laboratoriokoesarja simuloidussa pohjavedessä (bentoniitin vaikutukset huomioitu koostumuksessa) käynnistettiin. Tässä koesarjassa tutkitaan sulfaattia pelkistävien bakteerien (SRB) ja metanogeenien yhteisvaikutusta kuparin korroosioikäyttyymiseen matalassa lämpötilassa (10 °C). Tuloksia verrataan edeltävässä MICCU-projektissa tehtyihin tuloksiin, joissa oli pelkääntään SRB-bakteerillisäys samanlaisessa simuloidussa pohjavedessä samassa lämpötilassa. Koelaitteistoa on parannettu hapettomuuden varmistamiseksi siten, että koeastiat sijaitsevat argonilmakehässä, jonka lisäksi pulloja huuhdotaan argonilla säännöllisesti. Simuloituun veteen lisättiin mikrobiymppejä (SRB ja metanogeenit), jotka on rikastettu Olkiluodon pohjavedestä		

420-450 m:n syvyydeltä. Vertailuna tehdään kokeet myös abioottisessa (steriili simuloitu vesi) ympäristössä. Koeajat ovat n. 4 kk ja 12 kk. Alustavien mittausten mukaan bioottisissa ympäristöissä olevien näytteiden lepopotentiaalit asettuvat matalammalle tasolle kuin abioottisessa ympäristössä olevien näytteiden. Tosin 4 kk:n bioottisen näytteen potentiaali alkoi kasvaa hitaasti kasvaa n. 30 vrk:n altistuksen jälkeen, pysyen kuitenkin n. 150 mV negatiisempaan kuin vastaavat abioottiset näytteet. Toisen bioottisen näytteen lepopotentiaali pysyi lähes 100 vuorokauden ajan hyvin alhaisissa (negatiivisissa) potentiaaleissa, mutta nousi sen jälkeen lähes samalle tasolle kuin edellä mainittu 4 kk:n näyte. Ensimmäinen koesarja (4 kk:n näytteet) lopetettiin tammikuussa 2016 139 ja 140 vrk:n kuluttua kokeen aloituksesta. Tämän kokeen tulokset on osittain analysoitu ja esitetään tarkemmin VTT:n tutkimusraportissa VTT-R-00867-16.

Vuodelle 2015 suunniteltu koesarja korkeammassa lämpötilassa jouduttiin siirtämään myöhempään ajankohtaan johtuen MICOR-projektin suunniteltua myöhemmästä aloituksesta. Tarkoitus oli käyttää samaa lämpökaappia MICOR-kokeen loppumisen jälkeen. Korkeammassa lämpötilassa tehdyn koesarjan aloituksen sijaan päädyttiin kahteen koeaikaan aloitetussa matalamman lämpötilan koesarjassa.

Tehtävä 3. Kuparin pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja vaikutus korroosioon

Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida kuparin mikrobiologisessa korroosiossa avainasemassa olevia mikrobiryhmiä ja niiden toimintaa kuparin pinnalla hapettomissa loppusijoitusolosuhteissa.

Mikrobiologiset analyysit kuparin pinnoilta runsaan 4kk:n koeajan jälkeen osoittivat, että bioottisissa olosuhteissa kuparin pinnoille oli muodostunut runsas biofilmi. Biofilmi koostui sekä bakteereista että arkeoneista. Koeympäristöihin oli lisätty SRB ja metanogeeni-ymppejä ja tulokset osoittivat että ympöpien lisäys oli onnistunut ja nämä mikrobit olivat hakeutuneet myös kuparin pinnoille kuten oletettiin.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset:

L. Carpén, P. Rajala, M. Bomberg. 2015. Microbially Induced Corrosion in Deep Bedrock. Advanced Materials Research Vol. 1130 (2015) pp 75-78.

P. Kinnunen, M. Bomberg, P. Rajala, L. Carpén. Industrial Views to Microbe-Metal Interactions in Sub-Arctic Conditions. 2015. Advanced Materials Research Vol. 1130 (2015) pp 114-117.

E. Huttunen-Saarivirta, P. Rajala, L. Carpén. Corrosion behaviour of copper under biotic and abiotic conditions in anoxic ground water: electrochemical study. Electrochimica Acta.

doi: 10.1016/j.electacta.2016.01.098

Konferenssijulkaisut ja työraportit:

E. Huttunen-Saarivirta, P. Rajala, L. Carpén. Corrosion behaviour of copper under biotic and abiotic conditions in anoxic ground water: electrochemical study EMCR 2015 Tróia, 24-29 May.

L. Carpén, P. Rajala, M. Bomberg. 2015. Microbially Induced Corrosion in Deep Bedrock. Presentation in IBS 2015 (International Biohydrometallurgy Symposium), Sanur, Bali 5-9.10.2015.

Opinnäytteet:

Tieteellisiä artikkeleita käytetään osana Pauliina Rajalan väitöskirjatyötä.

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

Posteresitys, The Annual Waste Management Conference 2015, March 15-19, Phoenix, Arizona, USA.

Posteresitys, Deep Life Community (DLC) International Science Meeting, 7-9 May 2015, in Lisbon Portugal.

Esitys, Microbially induced corrosion in deep geological repository. GeoRepNet meeting Edinburg, UK 12-14.10.2015.

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Työpanos ja kustannukset ovat toteutuneet esitetyn mukaisesti.

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

Oikiluoto, veden haku koetta varten

DLC International Science Meeting, 7-9 May 2015, Lissabon

EMCR 2015, 24-29.5.2015, Tróia

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyltteenveo 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Loppusijoituksen aerobisen vaiheen mikrobiologinen korroosio (MICOR)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Microbially induced corrosion during the oxic stage of repository (MICOR)		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	Pauliina Rajala	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimus (Kapselin pitkäaikaiskestävyys)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hankkeessa hyödynnettiin KYT2014 kaudella vuonna 2013 alkaneessa MICCU projektissa saatuja tuloksia ja laitteistoja. Hankkeen on suunniteltu jatkuvan koko KYT2018 ohjelmakauden ajan. Hanke on osa koordinoitua Kapseli-kokonaisuutta.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
BioSer		
Tutkimuksen tavoite		
Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosioikäyttyymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa hapellisessa lämpimässä vaiheessa.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellinen menetelmä uusi koelaitteistoa tietoa	1 esitys kansainvälisessä kokouksessa	1 (kesken)
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa loppusijoituskapselin mahdollisesta mikrobiologisesta korroosioista johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain		
Tehtävä 1. Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen		
Kaksi erillistä koejärjestelyä on suunniteltu ja rakennettu tämän tehtävän puitteissa. Ensimmäisessä koelaitteistossa tutkitaan kuparin sähkökemiallisia ominaisuuksia ja korroosiota sekä mikrobien läsnäollessa, että ilman mikrobeja 37°C lämpötilassa. Toisessa koelaitteistossa tutkitaan kuparin korroosioalttiuden muutoksia ja pinta-ilmioita sen jälkeen, kun koekappaleita on altistettu valituille mikrobiologisille prosesseille. Nämä kokeet tehdään huoneenlämpötilassa. VTT on hankkinut projektin käyttöön tutkimukset korkeammassa lämpötiloissa mahdollistavan lämpöhuoneen.		
Kokeiden aloittaminen viivästyi, sillä Onkalosta loppusijoitusyvytyeltä ei ollut mahdollista saada pohjavettä kokeisiin kairauksista johtuen. Ensimmäiselle vuodelle asetetut tavoitteet kuitenkin saavutettiin tutkimuskautena aikana.		
Tehtävä 2. Kuparin mikrobiologinen korroosio		
Ensimmäisenä vuonna projektissa on keskitytty erityisesti ammoniumia hapettavien mikrobien rooliin korroosion synnyssä. Kokeessa on osoitettu, että mikrobiologinen toiminta laskee kuparin lepopotentiaalia. Kuparin korroosionopeudet olivat hieman suuremmat mikrobien kanssa kuin ympäristössä, jossa biologinen toiminta oli estetty. Tulokset on kuvattu tarkemmin VTT Tutkimusraportissa VTT-R-00882-16.		
Tehtävä 3. Kuparin pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja vaikutus		
Biofilmin ominaisuuksia on tutkittu kahdessa eri koesarjassa, toisessa biofilmin muodostumisen alkuvaihetta ja korrelaatiota kuparin pintaominaisuuksiin ja toisessa sarjassa pitkäaikaisesti yhdessä reaaliaikaisen korroosiomonitoroinnin kanssa. Biofilmin kasvattaminen on onnistunut toivotusti molemmissa koesarjoissa. Pullokokeen ensimmäisen aikapisteen tulokset osoittavat, että ympäristöön lisäys koeympäristöihin on toiminut ja mikrobit ovat hakeutuneet kuparin pinnoille muodostaen biofilmiä kuten oletettiin. Tulokset on kuvattu tarkemmin VTT Tutkimusraportissa VTT-R-00882-16.		
Tehtävä 4. Aerobisen vaiheen merkitys		
Tulosten perusteella arvioidaan aerobisen vaiheen merkitystä pitkäaikaisturvallisuuteen koko projektin ajan.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Tuloksia käytetään osana väitöskirjatyötä.		

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

Esitys GeoRepNet-kokouksessa.

Työpanos ja kustannukset

Työpanos ja kustannukset ovat toteutuneet esityksen mukaisesti.

Matkat

Näyteveden haku Oikiluoto, GeoRepNet-kokous Edinburgh, 11.-15.10.2015

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyltteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksen mikrobiologia (MAKERI)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Microbiology related to geological disposal of low- and intermediate level waste		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy		Minna Vikman
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Jatkoa KYT2014 hankkeelle 'Mikrobilajistot Oikiluodon kaasun kehityskokeessa'		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
TVO, Fortum, GTK	IGD TP verkosto HZDR (Saksa)	EURATOM MIND tutkimushanke
Tutkimuksen tavoite		
Projektin päätavoitteena on arvioida matala- ja keskiaktiivisen jätteen geologiseen loppusijoitukseen liittyviä mikrobiologisia riskejä Suomen olosuhteissa.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
kokeellinen menetelmä	2 käsikirjoitusta 1 konferenssijulkaisua 1 tutkimusraportti 2 esitelmää	-
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Hankkeen tuloksia hyödynnetään muissa koordinoitujen MILORI-hankkeen osaprojekteissa. Tuloksia voivat hyödyntää sekä viranomaiset että voimalaitosjätteen loppusijoituksesta vastuussa oleva yritys jätteiden loppusijoituksen turvallisuustutkimuksessa sekä mallinnuksessa. Hankkeessa koulutetaan osaajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
<u>Osatehtävä1: Olosuhteiden vaikutus matala-aktiivisen huoltojätteen hajoamiseen ja vapautumiseiden toimintakykyyn simulaatiokokeissa</u>		
Loppusijoitustilan luolaston täyttöveden ominaisuudet voivat vaikuttaa merkittävästi mikrobiologiseen aktiivisuuteen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilassa. Tässä osatehtävässä verrattiin kahden erilaisen veden (suolainen pohjavesi, jokivesi) mikrobiologisia ominaisuuksia. Tulosten perusteella voitiin todeta että mikrobiaktiivisuus ja mikrobien kokonaismäärä oli jokivedessä korkeampi kuin pohjavedessä ja lisäksi mikrobiston koostumus oli qPCR-tulosten mukaan erilainen. Lisäksi tässä osatehtävässä arvioitiin kirjallisuuden perusteella säteilykertymän vaikutusta matala-aktiivisen jätteen ja erityisesti selluloosan mikrobiologiseen hajoamiseen. Osatehtävään kuuluvassa simulaatiokokeessa tullaan arvioimaan olosuhteiden vaikutusta huoltojätteen hajoamiseen. Simulaatiokoe tullaan käynnistämään hieman alkuperäistä aikataulua myöhemmin (maaliskuu 2016), koska koevalmistelut ovat vienneet ennakoitua enemmän aikaa.		
<u>Osatehtävä2: Mikrobiyhteisöjen toiminta ja vaikutukset matala-aktiivisen jätteen loppusijoituksessa.</u>		
VLJ-luolan kaasunkehityskokeesta on tehty näytteenotto lokakuussa 2015. Kaasunkehityskoe on		

pitkäaikainen vuonna 1997 käynnistetty koe, jossa simuloidaan huoltojätteen hajoamista Suomen loppusijoitusolosuhteissa. Mikrobiologisiin analyysihin kokeesta otettiin sekä vesinäytteitä että näytekapseleita, jotka sisälsivät teräslevyn sekä huoltojätettä. Samassa yhteydessä otettiin näytteitä myös kemiallisiin analyysihin (TVO). Mikrobiston koostumusta tutkittiin mikroskooppisesti (Dapi), molekyylibiologisilla menetelmillä (qPCR) sekä mittaamalla mikrobiston aktiivisuutta (ATP). Osatehtävässä optimoitiin menetelmiä mikrobiston DNA:n eristämiseksi huoltojätteestä ja tankkivedestä. Tankkivedestä eristettiin DNA:n lisäksi myös RNA, joka kertoo enemmän aktiivisesti mikrobipopulaatiosta.

Huoltojätteiden pinnalla mikrobisto kasvoi epätasaisesti ja tämä voitiin todeta sekä mikroskooppisissa analyysissä (FESEM) että DNA-pitoisuusmäärityksissä. Bakteereiden, arkeonien, sulfaatinpelkistäjien ja metanogeenien suhteelliset määrät (kopioita/DNA) olivat qPCR-tulosten perusteella hyvin samankaltaiset tankkivedessä ja huoltojätteessä.

Anaerobiprosessissa sulfaatinpelkistäjät kilpailevat metanogeenien kanssa ja voivat siten vaikuttaa vaikuttaa kaasun muodostumiseen. Sulfaatinpelkistäjien määrä oli kuitenkin qPCR-tulosten perusteella tankin vedessä ja huoltojätteiden pinnalla noin kymmenesosa metanogeenien määrästä, joten metanogeneesi näyttää olevan hallitseva mikrobiprosessi.

Teräslevyjen pinnalta eristetyn mikrobiston analysointi on käynnissä. Mikroskooppisissa tutkimuksissa (FESEM) todettiin yksittäisiä mikrobiryhmiä teräslevyjen pinnalla ja DNA:ta saatiin eristettyä.

Osatehtävä3: Kirjallisuuskatsaus keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksesta ja siihen mahdollisesti liittyvistä mikrobiologisista riskeistä Suomen olosuhteissa

Kirjallisuuskatsaus on viimeistelyvaiheessa ja se julkaistaan VTT:n julkaisusarjassa_

Osatehtävä 4: Olosuhteiden vaikutus keskiaktiivisen jätteen biohajoavuuteen ja vapautumisesteiden toimivuuteen

Toukokuussa 2015 tutustuttiin Fortumin Loviisan ydinvoimalan ja tammikuussa 2016 TVO:n Olkiluodon ydinvoimalan matala- ja keskiaktiivisen jätteen käsittelyyn ja loppusijoitukseen. Lisäksi suunniteltiin vuonna 2016 aloitettavaa simulointikoetta keskiaktiivisella jätteellä. Tätä osatehtävää joudutaan supistamaan johtuen budjettileikkauksesta ja kokeet ovat suunniteltua suppeampia ja niistä tehdään vähemmän analyyskejä.

Osatehtävä 5: Mikrobien aineenvaihduntatuotteiden ja entsyymien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksessa

Tämä osatehtävä käynnistyy vasta 2017.

Osatehtävä 6: Raportointi

Edistymisraportit tehty ohjeiden mukaisesti. Tuloksista on kirjoitettu yksityiskohtaisempi tutkimusraportti, joka toimitetaan vuosiyhteenvedon liitteenä helmikuun 2016 lopussa. Kaisa Marjamaa esitti hemiselluloosaa hajottavien mikrobien eristämistä käsittelevän posterin '11th Carbohydrate Bioengineering Meeting-kokouksessa', joka järjestettiin toukokuussa 2015 Helsingissä.

Osatehtävä 7: Koordinointi

Järjestetty MILORI-konsortion tutkijoiden välinen kokous 20.8.2015.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

- Marjamaa, Isolation and characterization of (hemi)cellulolytic bacteria from Gas Generation Experiment mimicking low level radioactive waste repository, 2015, käsikirjoitus
- Vikman, Marjamaa, Sauramo, Itävaara, 2015. Biodegradation of low level radioactive waste in geological repository conditions, käsikirjoitus

Konferenssijulkaisut ja työraportit

- Marjamaa, Vikman, Storgårds, Salavirta, Itävaara 2015. Genome and in-lab analysis of cold-tolerant *Paenibacillus* spp isolated from low level radioactive waste repository, 11th Carbohydrate Bioengineering Meeting, poster-esitys.

- Microbial diversity during biodegradation of low level radioactive waste, IGDTP Geodisposal 2014 , Manchester, UK, 24th – 26th June, poster-esitys.
- Tutkimusraportti VTT-R-00694-16 vuoden aikana tehdystä työstä.

Opinnäytteet

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

- Vikman, 2015. Biodegradation of low-level radioactive waste in geological disposal. 5.2.2015 HZDR, Dresden, Germany, Esitelmä.
- Itävaara, Geodisposal of radioactive wastes - VTT research activities on deep subsurface microbes, 5.2.2015 HZDR, Dresden, Germany, Esitelmä.

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Työpanokset ja kustannukset ovat toteutuneet pääosiltaan suunnitelman mukaisesti. Poikkeamia budjettiin aiheutuu siitä, että osa alihankinnoiksi suunnitelluista töistä on pystytty toteuttamaan VTT:llä. Myös tutkijoiden työpanosten kohdentumisessa henkilöittäin on tapahtunut jonkin verran muutoksia.

Työpanokset (htkk) 31.1.2016 mennessä:

Kustannukset (k€) 31.1.2016 mennessä:

	budjetoitu	toteutunut		budjetoitu	toteutunut
Minna Vikman, Erikoistutkija	3	3	Palkkakustannukset:		
Merja Itävaara, Johtava tutkija	1	1	tehdyn työajan palkat	25	25,3
Kaisa Marjamaa, Erikoistutkija	1	0,2	muut henkilökust.	16,5	16,7
Tekninen avustaja, NN	1	1,9	yleiskustannukset	34	34,6
Tutkija, NN (Miettinen, Tsitko, Carpen)	0	0,6	Koneet ja laitteet	0	0
Total	6	6,7	Tarvikkeet	3,7	2,2
			Vieraat työt ja palvelut	3,9	1,0
			Matkakustannukset	4,5	3,5
			Muut kustannukset	12,3	17,0
			Yhteensä (k€)	100	100,2

Muut kulut: Tutkimusympäristömaksut, osallistuminen kansalliselle YJH-kurssille

; Vieraat työt ja palvelut:

Mikroskooppien käyttökustannus

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

Vierailu HZDR:ssä (Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf), Dresdenissä, Saksassa, 5.2.2015.

- Minna Vikman ja Merja Itävaara pitivät esitelmän KYT-hankkeista (katso kohta muu tutkimuksista tiedottaminen)
- Keskustelua yhteistyömahdollisuuksista liittyen mikrobiologisiin riskeihin loppusijoituksessa

Näytteenotto Oikiluodon VLJ-luolassa 13-14.10.2015

Osallistuminen IGD-TP 6th Exchange Forum kokoukseen marraskuussa 2015, Lontoossa.

Vierailut Fortumin (13.5.2015) ja TVO:n (19.1.2016) jätteenkäsittelylaitokselle.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyllyteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Matala- ja keskiaktiivisen jätteen mikrobiologinen korroosio (CORLINE)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Microbially induced corrosion of low and intermediate level radioactive waste (CORLINE)		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
VTT	Leena Carpén	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimus (Mikrobiologian vaikutukset)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke hyödyntää KYT2014 kaudella REMIC-projektissa saatuja tuloksia ja laitteistoja. Hanke on suunniteltu jatkuvan koko KYT2018 ohjelmakauden ajan. Hanke on osa koordinoitua Ydinjätteen loppusijoituksen mikrobiologiset riskit (MILORI)-kokonaisuutta.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Oulu University (BioSer)		
Tutkimuksen tavoite		
Hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmien muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujättemateriaalit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa, sekä monitoroida korroosion ja vesikemian muutosten yhteyttä in situ.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellinen menetelmä uutta tietoa	6 kansainvälistä julkaisua	1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa purkujättemetallien mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista (Turvallisuusarvio, pitkäaikaisturvallisuus). Hankkeessa otetaan käyttöön uusia mikrosensoreihin perustuvia menetelmiä biofilmi-korroosio-kerroksen tutkimiseksi sekä kehitetään laitteisto korroosion ja vesikemian monitoroimiseksi kallioperässä. Menetelmiä voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa sovellutusympäristöissä. Hankkeessa koulutetaan osajaa/osaajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
Tehtävä 1. Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen		
<i>Tehtävän tuloksena ovat koejärjestelyt, joiden avulla voidaan monitoroida purkujätteiden mikrobiologista korroosiota ja vesikemiaa reaaliaikaisesti in situ olosuhteissa.</i>		
Edeltävässä REMIC-projektissa kehitettyjä ja rakennettuja koejärjestelyjä on edelleen parannettu varmistamaan kokeen hapettomana pysyminen koko koejakson ajan. Koelaitteistoa on tarkoitus myöhemmin myös modifioida niin, että kokeessa muodostuvien kaasujen analysointi on mahdollista. Nyt ensimmäisessä vaiheessa kaasujen muodostumista tutkitaan erillisessä kokeessa, josta muodostuvat kaasut analysoidaan kokeen lopussa. Kairanreikämittauksia varten on tehty antureiden suunnittelua ja tilattu vesinäytekeräimet (Osmosampler) sekä pakkeritulpat.		
Tehtävä 2. Purkujättemetallien mikrobiologinen korroosio		
<i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida purkujätteiden mikrobiologisen korroosion mekanismeja ja korroosionopeutta.</i>		
Ennen pitkäaikaisen laboratoriokokeen aloitusta tehtiin painohäviökoe biosidien korroosiovaikutusten selvittämiseksi. Aiemmissa koesarjoissa (REMIC-projekti) oli käytetty abiottisen ympäristön aikaan-		

saamiseksi kahta biosidiä: Methylisothiazolinone (MIT) ja Glutaraldehydi (GTA). Abioottisessa ympäristössä oli todettu hiiliteräksen korroosiota ja sen vuoksi haluttiin varmistaa, oliko korroosion syyinä käytetyt biosidit. Aiemmassa projektissa oli toteutettu synteettisessä vedessä (kloridi- ja sulfaattipitoisuudet vastaavat kuin käytetyssä pohjavedessä) tehty painohäviökoe, jossa todettiin, että molempia biosidejä käytettäessä korroosionopeus oli n. kymmenkertainen verrattuna pelkässä kloridisulfaattiliuoksessa tehtyyn kokeeseen, jossa korroosiota ei käytännössä todettu lainkaan (korroosionopeus 0,2 µm/a). Nyt haluttiin varmistua, oliko molemmat vai vain toinen käytetyistä biosideistä hiiliterästä syövyttävää ja tehtiin vastaavanlainen koe molemmilla biosideillä erikseen. Tulosten perusteella selvisi, että molemmat biosidit aikaansaavat jonkin verran hiiliteräksen korroosiota, mutta MIT on selvästi syövyttävämpi ja sen vaikutus on vielä suurempi, jos sitä käytetään yksinään. Niinpä tämän kokeen perusteella seuraavissa kokeissa tullaan käyttämään biosidina pelkästään glutaraldehydiä.

Laboratoriokoesarja, jossa on mukana hiiliteräs ja kaksi ruostumatonta terästä (EN 1.4301 ja EN 1.4432) abioottisessa (VLJ-luolan pohjavesi + biosidi) ja bioottisessa (VLJ-luolan pohjavesi + bakteeriympäristö) on aloitettu 16.9.2015. Ensimmäisten alustavien tulosten mukaan nähdään, että hiiliterästen lepopotentiaalit laskivat melko nopeasti alun n. -400 mV:sta (SHE) n. -600 mV:iin riippumatta bakteeri- tai biosidilisäyksestä. Sen sijaan ruostumattomien terästen lepopotentiaalit olivat aluksi huomattavasti korkeammalla tasolla, mutta bioottisessa ympäristössä olevien laskivat viikossa n. -300 mV:iin. Abioottisessa ympäristössä olleiden ruostumattomien terästen lepopotentiaalit laskivat selvästi vähemmän, lähelle 0 mV:a ja kohosivat siitä sitten n. 100- 200 mV:n paikkeille 40- 60 vrk:n altistuksen jälkeen. Ensimmäisissä sähkökemiallisissa mittauksissa nähdään, että bakteeriympäristö, joka sisältää sekä sulfaattia pelkistäviä bakteereita että metanogeenijä, näyttää saavan aikaan suurempaa hiiliteräksen korroosiota kuin abioottinen ympäristö tai natiivi vesi, johon on lisätty pelkästään metanogeenijä. Koe on edelleen käynnissä ja lopulliset tulokset saadaan, kun koe lopetetaan vuoden 2016 syksyllä. Näitä alustavia tuloksia on tarkemmin raportoitu VTT:n tutkimusraportissa VTT-R-00868-16.

Tehtävä 3. Purkujättemetallien pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet

Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida purkujätteiden pinnoilla muodostuvan biofilmin ominaisuuksia ja toiminnallisuutta.

Laboratoriokoesarjaan tarvittavat mikrobit rikastettiin Oikiluodon VLJ-kairanreiästä KR-9 noudetusta vedestä kesän 2015 aikana. Muilta osin tätä tehtävää voidaan tehdä vasta, kun koesarja lopetetaan.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

- L. Carpén, P. Rajala, M. Bomberg. 2015. Microbially Induced Corrosion in Deep Bedrock. Advanced Materials Research Vol. 1130 (2015) pp 75-78.*
- P. Kinnunen, M. Bomberg, P. Rajala, L. Carpén. Industrial Views to Microbe-Metal Interactions in Sub-Arctic Conditions. 2015. Advanced Materials Research Vol. 1130 (2015) pp 114-117.*
- P. Rajala, L. Carpén, M. Vepsäläinen, M. Raulio, E. Sohlberg, M. Bomberg. 2015. Microbially induced corrosion of carbon steel in deep groundwater environment: Frontiers. Frontiers in Microbiology, Vol. 6, pp. Article number 647.*
- P. Rajala, L. Carpén, M. Vepsäläinen, M. Raulio, E. Huttunen-Saarivirta, M. Bomberg. Influence of carbon sources and concrete on microbially induced corrosion of carbon steel in subterranean groundwater environment. Submitted.*

Konferenssijulkaisut ja työraportit

- Carpén, Leena; Rajala, Pauliina; Bomberg, Malin. 2015. Real-Time Electrochemical Measurements of Carbon Steel in Ground Water with Sulfate Reducing Bacteria Enrichment. Proceedings, vol. 15604. The Annual Waste Management Conference 2015, WM Proceedings, 15 - 19 March 2015, Phoenix, Arizona, USA*
- M. Raunio, P. Rajala, L. Carpén. 2015. Corrosion of stainless steel in low oxygen groundwater environment. 16th Nordic Corrosion Congress. 20-22nd May 2015, Stavanger, Norway*
- L. Carpén, P. Rajala, M. Bomberg. 2015. Microbially Induced Corrosion in Deep Bedrock. Presentation in IBS 2015 (International Biohydrometallurgy Symposium), Sanur, Bali 5-9.10.2015.*

<p>Opinnäytteet Tieteellisiä artikkeleita käytetään osana Pauliina Rajalan väitöskirjatyötä.</p>
<p>Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Deep Life Community (DLC) International Science Meeting, 7-9 May 2015, Lisbon Portugal (P.Rajala) GeoRepNet-kokous Edinburgh, 11.-15.10.2015, Esitys (P. Rajala)</p>
<p>Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen) Työpanos ja kustannukset ovat toteutuneet suunnitelmien mukaisesti.</p>
<p>Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat) The Annual Waste Management Conference 2015, 15 - 19 March 2015, Phoenix, Arizona, USA (L. Carpén) 16th Nordic Corrosion Congress. 20-22nd May 2015, Stavanger, Norway (M. Raunio) Näytteen- ja vedenhakumatkat, Olkiluoto IBS 2015 (International Biohydrometallurgy Symposium), Sanur, Bali 5-9.10.2015 (L. Carpén).</p>

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyltteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Mikrobiyhteisöjen rikkimetabolialoppusijoitusolosuhteissa, Geobiokierto		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Microbial sulphur cycle in final nuclear waste repository conditions, Geobiocycle		
Tutkimuslaitos	Vastuhenkilö	
Teknologian tutkimuskeskus, VTT Oy	Hanna Miettinen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Tutkimus on jatkumoa KYT2014 hankkeelle Geomikro. Geobiokierto-hanke on suunniteltu koko KYT2018 tutkimusohjelman ajaksi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat
Posiva, TVO, Fortum	IGD-TP verkosto	EURATOM Mind
Tutkimuksen tavoite		
<p>Hankkeen päätavoitteena on selvittää mikrobiyhteisöjen vaikutuksia rikinkierto-olosuhteiden kalliopohjavedessä. Kehitetään leimattuun rikkiin perustuva analysointimenetelmä rikin kierron analysointiin ja sovelletaan sitä puhdasviljelmille ja kalliopohjavesille. Analysoidaan loppusijoitustilojen pohjaveden sulfidin muodostumisnopeutta ja relevanttien elektronin luovuttajien ja vastaanottajien vaikutuksia siihen. Aloitetaan kalliopohjavesien mikrobien metaboliatuotteiden vaikutusten arviointi bentoniittipuskurin fysikaaliseen rakenteeseen ja toimintakykyyn.</p>		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellinen laboratoriotyö	1	0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
<p>Tutkimus tuottaa tietoa menetelmistä, joita voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoitustilojen pohjavesien sulfidien muodostumisen monitoroinnissa. Tutkimus tuottaa tietoa ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyysiin korrodoivien yhdisteiden muodostumisesta pohjavedessä. Viranomaiset ja yritykset voivat hyödyntää KYTissä tuotettua tietoa ja tutkimuksia omissa hankkeissaan. Tutkimuksen tulokset on tarkoitettu eri ydinjättesektorin toimijoiden hyödynnettäviksi.</p>		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain vuonna 2015		
<p>Tehtävä 1: Laaditaan kirjallisuuskatsaus VTT:n julkaisusarjaan rikin kierrosta ja sen analysoinnista hyödyntäen leimattuja rikkiyhdisteitä.</p> <p>Toteutus: Tehty kirjallisuuskatsaus on julkaistu VTT Technology sarjassa. http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T249.pdf</p> <p>Tehtävä 2: Pystytetään leimattuihin rikkiyhdisteisiin (³⁵S) perustuva määritysmenetelmä analysoimaan mikrobiologista sulfaatinpelkistymisnopeutta puhdasviljelmillä vedessä.</p> <p>Toteutus: Leimatun sulfaatin menetelmä mikrobiologisen sulfaatinpelkistysnopeuden määrittämiseksi on sisään ajettu sulfaatinpelkistäjä <i>Desulfovibrio desulfuricans</i> laboratorioskannalle.</p> <p>Tehtävä 3: Selvitetään bentoniitin fysikaaliseen rakenteeseen ja toimintakykyyn vaikuttavia tekijöitä, kun bentoniittiin lisätään syvien pohjavesien mikrobeja niille suotuisissa olosuhteissa.</p> <p>Toteutus: Yhteistyössä THEBES ja GTK:n RENGAS-tutkijoiden kanssa on suunniteltu bentoniittikokeen olosuhteita. Kokeelle on tehty työsuunnitelma ja Posivan kanssa on sovittu tarvittavien materiaalien saamisesta kevään 2016 aikana.</p>		
Julkaisut ja opinnäytetyö 2015		
Tieteelliset artikkelit:		
<p>Jatkumona KYT2014 tutkimusohjelmalle, tässä hankkeessa on julkaistu aiemman tutkimusohjelman Geomikro-hankkeen aikana saadut tulokset Pyhäsalmen kaivoksesta yhteistyössä GTK:n ja Pyhäsalmen kaivoksen kanssa: Miettinen, H., Kietäväinen, R., Sohlberg, E., Numminen, M., Ahonen,</p>		

L., and Itävaara, M. (2015). Microbiome composition and geochemical characteristics of deep subsurface high-pressure environment, Pyhäsalmi mine Finland. *Front. Microbiol.* doi: 10.3389/fmicb.2015.01203

Kirjallisuuskatsaus:

³⁵S-tracer method for analyzing microbial sulfur compound cycling in oligotrophic anoxic groundwater habitat. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T249.pdf>

Konferenssijulkaisu:

Miettinen, H., Vikman, M., and Itävaara, M. The sulfur cycling and sulfide formation in deep groundwater bedrock. EMBO Workshop on Microbial Sulfur Metabolism, Helsingör 12-15.4.2015.

Työraportti:

VTT:n tutkimusraportti VTT-R-00387-16.

Opinnäytteet: -

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

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

KUSTANNUSARVIO (1000€)	Työpanos (htkk)	Palkkaus (*)	Koneet ja laitteet	Tarvikkeet	Vieraat palvelut ja osallistumismaksut	Matkat	Muut kulut	Yhteensä
2015	4	45.3		3.4	0.8	4.4	10.4	64.3
Toteutunut	4.1	46.6		4.3	0.8	0.5	12.1	64.3

Hanke on toteutunut suunnitellusti.

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

EMBO Workshop on Microbial Sulfur Metabolism, Helsingör 12-15.4.2015, Hanna Miettinen.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Nutrients, energy and gases in bedrock biosphere		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Geologian tutkimuskeskus		Lasse Ahonen
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
(GEOMOL) → KABIO → SALAMI → RENGAS (työsuunnitelma vuoteen 2018)		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Jyväskylän Yliopisto, VTT, HYRL	GFZ Potsdam, ICDP, DCO, COSC (Uppsala/Lund), INGV Rooma, U. Waterloo	Horizon2020 (MIND)
Tutkimuksen tavoite		
Tutkia biogeokemiallisesti tärkeiden alkuaineiden reaktioita ja liikkumista kalliopohjavesissä, syvän biosfäärin energialähteitä ja energian siirtymistä mikrobien katalysoimissa redox-reaktioissa.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Mittaus- ja analyysitulokset, johtopäätökset ja mallit	6	1 pro gradu (Nina Heikkinen) 1 väitöskirja valmistumassa (RK) + ohjaus (Janne Lempinen), ennakkotark. (Elina Sahlstedt/geol), arviointi (Merja Lusa /HYRL)
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä		
Loppusijoituksen turvallisuusperustelu: mikrobiologisten prosessien turvallisuusmerkityksen määrittely perustuen mikrobien elintoimintojen vaatimien ravinne- ja energialähteiden saatavuuteen.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain		
<p>1. Syväreikä tutkimuksen menetelmät ja infrastruktuurit Kehitettiin letkunäytteenottomenetelmää korvaamalla väliventtiilit puristimilla ja toteuttamalla kaasunäytteenotto suoraan letkun läpi injektoimalla fluidi vakumoituu head space – pulloon. Uusi menetelmä vähentää selvästi näytteenottimen jumiutumiseen ja näytteiden kontaminaatioon (ilma, metallit) liittyviä riskejä. Uutta letkunäytteenottomenetelmää käyttäen toteutettiin kaksi näytteenottoa (Pori ja COSC-1).</p> <p>2. Kallioperän suoloisten fluidien viipymääjän ja alkuperän tutkimus Pyhäsalmen kaivoksen suolaisista fluideista valmistui julkaisu yhdessä VTT:n mikrobiologien kanssa (Miettinen et al. 2015). Näytteenotto COSC-1 syväreikästä korvasi Pyhäsalmen kaivokseen suunnitellun näytteenoton, joten osatehtävän toteutus siirtyy jalokaasujen isotooppianalyysien osalta vuoteen 2016. Kaasujen liukoisuudesta kiteisessä kallioperässä valmistui Nina Heikkisen pro gradu – tutkielma, jonka tulokset tukevat kaasujen liikkeisiin kallioperässä liittyvää tutkimusta. Heikkinen toteaa kaasun kuplinnan alkavan Outokummussa noin 150 metrin syvyydellä. Julkaisu kivi-vesi vuorovaikutuksesta Cl- ja Br-isotooppien avulla on tekeillä.</p> <p>3. Rikin olomuodot ja biogeokemiallinen merkitys kallioperässä Rikki erotettiin isotooppianalyysiä varten erikseen veden kokonaisrikistä, sulfidista ja sulfaatista. Testattiin kahta eri tapaa erottaa sulfidi suolaisista vesinäytteistä, ja todettiin sinkkiasetaattisaostus paremmaksi verrattuna hopeanitraattisaostukseen (kuplitus puskuroituun liuokseen) sekä</p>		

yksinkertaisuutensa, että sakan helpomman liukenevuuden vuoksi. Ensimmäiset näytteet (Pori) on analysointu MC-ICP-MS:llä. Kehitystyötä jatketaan koenäytteiden tulosten pohjalta.

4. **Hiilen olomuodot ja esiintyminen kiteisessä kallioperässä**

Tehtiin kirjallisuuskatsaus metaanin esiintymisestä Suomen kallioperässä, ja todettiin metaanirikkaimpien pohjavesien sijoittuvan kiilleliuskevaltaisille, erityisesti grafiitti-pitoisille alueille. Termodynaamisen tarkastelun perusteella metaanin muodostus grafiitista ja vedystä todettiin mahdolliseksi Outokummun syväreiän olosuhteissa. Outokummun syväreiän ja Pyhäsalmen kaivoksen hiilivetyjen, liunneen epäorgaanisen hiilen, rakokalsiittien ja vedyn isotooppitulosten tulkintaa jatkettiin, ja käsikirjoitus on tarjottu julkaistavaksi *Geochimica et Cosmochimica Acta*an. Metaanivuota mitattiin Juuan Miihkalin kairareistä sekä Pohjois-Karjalan ja Kainuun serpentiinialueiden lähteistä yhteistyössä Giuseppe Etiopen (INGV, Rooma) kanssa. Kairareistä oli mitattavissa selvä metaanivuo, mutta purkautumista kallioperästä sedimenttikerrosten läpi lähdeveteen ja ilmakehään ei havaittu.

5. **Loppusijoituksen turvallisuuden biogeokemialliset tekijät**

Metaanin alkuperään ja kiertoon liittyvää tutkimustietoa koottiin Review-artikkeliksi, joka julkaistiin *Frontiers in Microbiology*:ssa. Aineisto tukee loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvää biogeokemiallista synteesiä kokoamalla kiteisen kallioperän metaanin liittyvän uusimman tiedon helposti löydettävään muotoon. Tarkastelun perusteella hahmottui myös globaaleja piirteitä mikrobien esiintymisessä siten, että hydrogenotrofiset metaanintuottajat ovat yleisempiä kallioperän syvemmissä osissa, kun taas asetiklastiset metanogeenit ovat tyypillisempiä ylempänä. Metanotrofian havaittiin rajoittuvan pääosin alle 1 km syvyyteen. Metaanin isotooppikoostumuksen ja eri mikrobiyhteisöjen välillä ei havaittu selvää yhteyttä, mikä korostaa tarvetta käyttää eri tutkimusmenetelmiä ja monitieteistä lähestymistapaa kokonaiskuvan saavuttamiseksi.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

- Bomberg, M. & Ahonen, L. (Topic editors) (2015) Geomicrobes: life in terrestrial deep subsurface. *Frontiers in Microbiology* 6.
- Kieft, T.L., T.C. Onstott, L. Ahonen, V. Aloisi, F.S. Colwell, B. Engelen, S. Fendrihan, E. Gaidos, U. Harms, I. Head, J. Kallmeyer, B. Kiel Reese, L.-H. Lin, P.E. Long, D.P. Moser, H. Mills, P. Sar, D. Schulze-Makuch, H. Stan-Lotter, D. Wagner, P.-L. Wang, F. Westall, and M.J. Wilkins (2015) Workshop to develop deep-life continental scientific drilling projects. *Scientific Drilling* 3, 1-11.
- Kietäväinen R. & Purkamo L. (2015) The origin, source and cycling of methane in deep crystalline rock biosphere. *Frontiers in Microbiology* 6, 725.
- Miettinen H., Kietäväinen R., Sohlberg E., Numminen M., Ahonen L. & Itävaara M. (2015) Microbiome composition and geochemical characteristics of deep subsurface high-pressure environment, Pyhäsalmi mine Finland (2015) *Frontiers in Microbiology* 6, 1203.
- Purkamo L., Bomberg M., Nyssönen M., Kukkonen I., Ahonen L. & Itävaara M. (2015) Heterotrophic communities supplied by ancient organic carbon predominate in deep Fennoscandian bedrock fluids. *Microbial Ecology* 69, 319-332.
- Purkamo L., Bomberg M., Kietäväinen R., Salavirta H., Nyssönen M., Nuppenen-Puputti M., Ahonen L., Kukkonen I. & Itävaara M. (2015) The keystone species of Precambrian deep bedrock biosphere belong to *Burkholderiales* and *Clostridiales*. *Biogeosciences Discussions* 12, 18103-18150.
- Rajala, P., Bomberg, M. Kietäväinen, R., Kukkonen, I., Ahonen, L., Nyssönen, M. & Itävaara, M., (2015) Rapid reactivation of deep subsurface microbes in the presence of C-1 compounds. *Microorganisms* 3, 17-33.

Konferenssijulkaisut ja työraportit

- Kietäväinen R., Etiope G., Ahonen L. & Kukkonen I.T. (2015) Crustal methane in Finland – an oddity or commonplace? Toim. Kultti S., Rämö O.T., Koivisto E. & Luoto M.: 2nd Finnish National Colloquium of Geosciences 3.-5-3.2015 Program and Abstracts, Unigrafia, Helsinki, s. 23.
- Ahonen, L., Kietäväinen, R. & Ruskeeniemi, T. 2015. Estimating the past from deep groundwaters in Finland. In: Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Raukas, A. & Bauert, H. (eds.). 2015. 4th Annual Meeting of G@GPS IGCP 618 Project, Estonia, 5-9 July 2015. Abstracts and Field guide. Tallinn University of Technology, Tallinn, s. 7.
- Kietäväinen R., Ahonen L., Hendriksson N., Kukkonen I.T., Niedermann S. & Wiersberg T. (2016) Deep groundwater evolution in Outokumpu, eastern Finland –from meteoric water to saline gas rich fluid. *Bulletin of the Geological Society of Finland, Special volume: Abstracts of the 32nd Nordic Geological Winter Meeting, 13- 15th January 2016, Helsinki, Finland, s. 93*
- Purkamo L., Bomberg M., Kietäväinen R., Salavirta H., Nyssönen M., Nuppenen-Puputti M., Ahonen L., Kukkonen I. & Itävaara M., (2016) Ancient ecosystems in crystalline bedrock fractures. *Bulletin of the Geological Society of Finland, Special volume: Abstracts of the 32nd Nordic Geological Winter Meeting, 13- 15th January 2016, Helsinki, Finland, s. 200.*

- Tsang C.-F., Rosberg J.-E., Ahonen L. & Juhlin C. (2016) Hydrogeological testing and sampling at the COSC-1 borehole. Bulletin of the Geological Society of Finland, Special volume: Abstracts of the 32nd Nordic Geological Winter Meeting, 13- 15th January 2016, Helsinki, Finland, s. 148.

Opinnäytteet

- Heikkinen N., pro gradu – tutkielma "Kaasujen liukoisuus Outokummun syväkairareian suolaisessa pohjavedessä"

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

- "Ryyppy Suomen syvimmästä reiästä – tältä maistuu 30 miljoonaa vuotta vanha vesi", Helsingin Sanomat 13.10.2015 s. B8-B9, toimittaja A. Mutanen (nettijulkaisu sisältää myös videon)
- Deep Carbon Observatory News Feature " Carbon cycling in the deep biosphere"
<https://deepcarbon.net/feature/carbon-cycling-deep-biosphere#.VsGQBfI97AU> 23.10.2015

Työpanos ja kustannukset

Hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen esitetty lomakkeella KYT2018_Rengas Laskutuslomake_2015.xls

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

Kokousmatkat:

- G@GPS workshop, Tallinna, Viro 5.-8.7.2015, esitelmä "Estimating the past from deep groundwaters in Finland" (L. Ahonen)
- DCO Early Career Scientist Workshop, Ponta Delgada, Azorit, 31.8.-5.9.2015, esitelmä ja posterit "Crustal methane in Finland" (R. Kietäväinen, rahoitus pääosin DCO:lta)
- ISEB22 Symposium, Piran, Slovenia 27.9.-2.10.2015, esitelmä "Thermodynamic constraints on methane production and consumption in deep crystalline rock biosphere" (R. Kietäväinen)
- COSC-2: Scientific drilling through the basal Caledonian décollement and into the basement of the Fennoscandian Shield. Swedish Scientific Drilling Program (SSDP), planning workshop, esitelmä "hydrogeology" (Chin-Fu Tsang & L. Ahonen)

Näytteenottomatkat:

- 27.-30.7.2015 Pori: letkunäytteenotto 440 m syvyyteen (L. Ahonen, R. Kietäväinen & A. Pullinen)
- 10.-14.8.2015 Outokumpu, Kaavi, Juuka, Paltamo: metaanivuon mittausta lähteistä ja kairareistä (L. Ahonen, R. Kietäväinen & G. Etiope, pääosin GTK:n huippututkimus-rahoituksella)
- 13.-19.9. Åre, Ruotsi: letkunäytteenotto COSC-1 kairareistä 2450 m syvyyteen (L. Ahonen & R. Kietäväinen)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiraportti 2015

Tutkimushankkeen nimi Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; in situ tutkimukset		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Behaviour of radionuclides in the geosphere; in situ studies		
Tutkimuslaitos Radiokemian laboratorio, kemian laitos, Helsingin yliopisto	Vastuuhenkilö Marja Siitari-Kauppi	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus / muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo Tutkimus jatkuu KYT2014-ohjelmasta ja on suunniteltu KYT2018-ohjelman pituiseksi.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot GTK, JYFL, Geologian ja maantieteen laitos (HY)	Ulkomaiset organisaatiot Nagra, JAEA, NRI, IDAE-CSIC, Poitiersin yliopisto	Muut tutkimusohjelmat, tms. Ytera
Tutkimuksen tavoite Tavoitteena on yhdistää kallion rakovirtaus radionuklidien pidättymiseen ja matriisidiffuusion ottaen huomioon realistinen heterogeeninen kiviaines ja radionuklidien kemialliset prosessit.		
Tuloskategoria analyysi- ja mallinnusmenetelmät, K_d , D_e ja kiven huokoisuus arvojen validointi	Julkaisujen lukumäärä 5	Opinnäytetöiden lukumäärä 2
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä Hankkeessa saatuja tuloksia (in situ K_d , D_e ja kiviaineksen huokoisuus) voidaan käyttää ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuusanalyysin lähtötietoina tarkentamaan pitkäaikaisturvallisuuden konseptia. Tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia. Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää kulkeutumiskonseptien arvioinnissa.		
Sisällölliset tavoitteet 1. Bariumin jakaantumiskertoimia on määritetty Grimselin granodioriitin, juonigneissin ja pegmatiitin kivimurskeisiin eräkokein. Isotermit käytettiin PhreeqC mallinnuksen lähtötietoina ja arvioitiin kyseisten radionuklidien sorptiomekanismeja eri kivi-vesi-vuorovaikutusolosuhteissa. 2. Viisi-kolme vuotta kestäneet seleenin diffuusiokokeet kiviblokeissa lopetettiin ja seleenille määritettiin D_e - ja K_d -arvot. 3. Kiven rakenteen ja mineraalien heterogeenisuuden huomioonottavat kulkeutumissimulaatiot Grimselin granodioriitissa saatettiin loppuun ja määritettiin mineraalispesifiset cesiumin K_d -arvot.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset: Sardini, P.; Caner, L.; Mossler, P.; Mazurier, A.; Hellmuth, K-H.; Graham, R.C.; Rossi, A.M.; Siitari-Kauppi, M. Calibration of digital autoradiograph technique for quantifying rock porosity using ^{14}C -PMMA method, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 303(1), 2015, 11-23. Soler, J. M.; Landa, J.; Havlova, V.; Tachi, Y.; Ebina, T.; Sardini, P.; Siitari-Kauppi, M.; Eikenberg, J.; Martin, A. J. Comparative modeling of an in-situ diffusion experiment in granite at the Grimsel Test Site, Journal of Contaminant Hydrology 179, 2015, 89-101. J Ikonen et al. Selenium diffusion and sorption speciation in crystalline rock. To be published. Eveliina Muuri, Jussi Ikonen, Minja Matara-aho, Antero Lindberg, Stellan Holgersson, Mikko Voutilainen, Marja Siitari-Kauppi and Andrew Martin. Behavior of Cs in Grimsel granodiorite: Sorption on main minerals and crushed rock. Accepted in Radiochimica Acta. M Voutilainen et al. Cs diffusion in heterogeneous rock matrix. To be published.		

Opinnäytteet:

Pro Gradu: Eveliina Muuri. The sorption and diffusion of ^{133}Ba in granitic rock.

Kandidaattityö: Minja Matara-aho. $^{134}\text{Cesiumin}$ konsentraatioisotermien määrittäminen kiteisen kiven päämineraaleille

Muu tutkimuksista tiedottaminen

Esityksiä KYT2014-loppuseminaarissa

M Voutilainen: Nuklidikulkeutuminen HYRL

Eveliina Muuri, Mikko Voutilainen, Jussi Ikonen ja Marja Siitari-Kauppi. Behaviour of Cs in Grimsel granodiorite: Sorption on main minerals and crushed rock

Esitys Migration2015-konferenssissa

E. Muuri, L. Qian, M. Siitari-Kauppi, M. Matara-aho, J. Ikonen, A. Lindberg, S. Holgersson and L. Koskinen. Caesium sorption on main minerals of crystalline rock; Olkiluoto case study.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
C-14 vapautuminen metallijätteestä		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
C-14 release from metallic waste		
Tutkimuslaitos		Vastuuhenkilö
Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy		Kaija Ollila
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Tutkimus on osa EU-hanketta CAST (Carbon-14 Source Term, WP2 Steels), joka alkoi 1.10.2013. Hanke jakautui vuonna 2014 ja 2015 EU-hankkeeseen ja kansalliseen hankkeeseen johtuen EU-projektin rajoituksista. EU-projektin kesto on 4,5 v.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT Material Modeling and ecodesign (Tomi Suhonen) VTT Expert Services Oy (Juha Kokkonen)	CAST-projektin osallistujat	
Tutkimuksen tavoite		
Tutkimuksessa saadaan tietoa ¹⁴ C:n käyttäytymisestä loppusijoitusolosuhteissa turvallisuustarkasteluja varten. ¹⁴ C on säteilyvaikutuksiltaan merkittävä voimalaitos- ja purkujätteessä ja myös käytetyissä polttoainepiipissa. Orgaanisen ¹⁴ C:n osuus on kulkeutumisen arvioinnin kannalta tärkeää.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeellinen menetelmä		
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tuloksia hyödyntävät voimalaitos- ja purkujätteen loppusijoituksen turvallisuusanalyysien tekijät. CAST-projektissa WP3 (Zircaloy) tutkii ¹⁴ C:n vapautumista polttoaineen suojakuoresta, josta saadaan myös tietoa.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
<p><u>Osatehtävä 1:</u> Hiilen eluutio teräs- ja rautajauheista: Teräsjauheen (hiili välitila-atomina) valmistus kaasuaatomisointimenetelmällä varten saatettiin päätökseen. Toinen kiinteä faasi on Fe₃C-jauhe, jossa hiili on suurimmaksi osaksi karbidina (92,4%). Tarkennetut eluutiokokeet käynnistettiin näillä jauheilla simuloiduissa pohjavesissä (pH 8,5 ja 12,5). Kiinteän aineen ja vesifaasin suhdetta vaihdeltiin: 1/2, 1/4 ja 1/10. Orgaanisen hiilen pitoisuudet (TOC) laskivat selvästi verrattuna esikokeiden tuloksiin. Tämä vahvistaa käsitystä, että kontaminaatio oli vaikuttanut esikokeiden tuloksiin. Toisessa näytteenotossa tehtiin orgaanisen hiilen spesiaatioanalyysia yhteistyössä VTT Expert Services'in kanssa. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä tutkittiin kaasukromatografialla (HS-GC-FID). Alkoholeja havaittiin liuoksessa, osassa näytteitä tulokset olivat alle määrittämissä. Nestekromatografia-analyysien (LC-MS) mukaan liuoksesta löytyi hiilen yhdisteitä, joiden molekyylipaino oli n. 100 Da. Seuraavaksi analysoidaan karboksyylihappoja ionikromatografialla tai kapillaarielektroforeesimenetelmällä. Uusia analyyseja tehdään, kun pitoisuudet ovat kasvaneet TOC-analyysien mukaan.</p> <p><u>Osatehtävä 2</u> (Kansallinen projekti), Spesiaatioanalyysien testaus: Tiina Lavonen teki yhteenvedon käytetyistä spesiaatioanalyysimenetelmistä perustuen CAST-</p>		

<p>projektissa tehtyyn kirjallisuustutkimukseen ja sen viitteisiin. Yhteistyössä Juha Kokkosen (VTT Expert Services) kanssa valittiin mahdollisia menetelmiä ja aloitettiin analyysit Osatehtävä 1:en kokeiden näytteillä. KYT-raportointi on hoidettu kansallisessa projektissa.</p> <p><u>Osatehtävä 3</u> Säteilytettyjen teräsnäytteiden kokeisiin valittiin näytteet, jotka leikataan Loviisan säteilytysnäyttekapselien (surveillance capsules) kuoresta, joka on ruostumatonta terästä. Kapselit saapuivat VTT'lle tutkittavaksi 'Nuclear Reactor Materials'-ryhmään tammikuussa 2016. Kapselien säteilytyshistoria tunnetaan, koska kapseleissa oli reaktorissa mukana dosimetrianäytteet. Kapselikuoret ovat varastossa Otakaari 3:n hot cell-tiloissa. Ensimmäisiä kokeita varten on leikattu ja muotoiltu kaksi näytettä. Aktiivisuusmittaukset ja -laskut ovat meneillään. Näytteet laitetaan veteen huhti-toukokuun aikana.</p>
<p>Julkaisut ja opinnäytetyöt</p> <p>Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset</p> <p>Konferenssijulkaisut ja työraportit</p> <p>Lavonen, T. & Ollila, K. C-12 release during corrosion of unirradiated steels in simulated groundwaters (in: CAST – First Annual Report). VTT Research Report, VTT-R-00596-15.2015. CAST WP2 Annual Progress Report – Year 1, Milbus et al. 2015. CAST WP2 Annual Progress Report – Year 2, Milbus et al. 2016 KYT 2018 ohjelma; Vuosiraportti 2014.</p> <p>Opinnäytteet</p>
<p>Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)</p> <p>Esitykset CAST'in kokouksissa, ks matkat.</p>
<p>Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)</p> <p>Suunnitelman mukaisesti.</p>
<p>Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)</p> <p>Tiina Lavonen ja Tiina Heikola osallistuivat toukokuussa CAST-projektikokoukseen ja sen yhteydessä pidettyyn seminaariin Sveitsissä. Tiina Heikola piti esityksen VTT:n säteilyttämättömän teräsjauheen ja Fe₃C:n kokeiden tuloksista.</p> <p>Tiina Heikola osallistui CAST-projektin toiseen vuosikokoukseen Bukarestissa Romaniassa ja piti esityksen VTT:n kokeista.</p>

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann -menetelmällä		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Modelling fracture flow, matrix diffusion and sorption using the lattice-Boltzmann method		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Fysiikan laitos, Jyväskylä yliopisto	Jussi Timonen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo		
Neljävuotisen hankkeen ensimmäinen vuosi, joka on jatkoa 2013–2014 toteutetulle hankkeelle "Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen"		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Helsingin yliopisto (Radiokemian laboratorio, Geologian ja maantieteen laitos), Geologian tutkimuskeskus, Itä-Suomen yliopisto (ympäristötieteen laitos)	Nagra, Sveitsi	SIMPHONY EU-projekti, Grimsel, LTD Phase II
Tutkimuksen tavoite		
Tutkimuksen tavoitteena on mallintaa radionuklidien kulkeutumista vettä johtavassa raossa sekä sitä ympäröivässä kivimatriisissa käyttäen hila-Boltzmann menetelmää.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Kokeelliset mentelmät, analyysimenetelmät	3	1
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä		
Tuloksia voidaan soveltaa arvioitaessa ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisvaikutuksia, radionuklidien kulkeutumista vettä johtavissa raoissa ja loppusijoitustilaa ympäröivän kivimatriisin pidätysominaisuuksia. Niitä voivat hyödyntää sekä viranomaiset että ydinjätetoimijat.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain		
Jukka Kuva väitteli tohtoriksi 20.1.2016. Vuoden aikana viimeisteltiin ja lähetettiin julkaistavaksi kolme väitöskirjatyöhön sisältyvää artikkelia, joista kaksi on jo hyväksytty. Lisäksi Jukka Kuva kirjoitti väitöskirjansa yhteenvedon.		
Edellisen projektin Cs-kulkeutumiskoetta on saatettu loppuun analysoimalla otettuja tomografiakuvia ja kuvaamalla kahta näytettä pyyhkäisyelektronimikroskoopilla, jonka tulosten hyödyntämiseksi on toinen näistä näytteistä kuvattu vielä kerran tomografialla. Työn kokeellinen osuus on nyt suoritettu loppuun ja tuloksista koottavan tieteellisen artikkelin kirjoittaminen on aloitettu.		
Mittausgeometrioita on luotu hila-Boltzmann mallinnusta varten. Hila-Boltzmann - menetelmää on kehitetty tämän projektin tarpeita vastaavaksi, mutta päädytty lopulta käyttämään time domain diffusion (TDD) – menetelmää. TDD – menetelmään on onnistuneesti lisätty advektio-ominaisuus ja menetelmää on testattu yksinkertaisissa rakogeometrioissa.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
J. Kuva, M. Voutilainen, A. Lindberg, J. Parkkonen, M. Siitari-Kauppi, J. Timonen, Pore and mineral structure of rock using nano-tomographic imaging, MRS Proceedings Vol. 1744, 2015		

P. Sardini, J. Kuva, M. Siitari-Kauppi, K.-H. Hellmuth, A simplified simulation approach for estimating crack apertures using 14-C-PMMA method, Journal of Coupled Systems and Multiscale Dynamics 2(4), 244-255, 2014

J. Kuva, K.-H. Hellmuth, P. Sardini, M. Siitari-Kauppi, Verification of a simulation approach for estimating crack apertures using 14-C-PMMA method, Journal of Coupled Systems and Multiscale Dynamics 3(4), 2015

J. Kuva, M. Voutilainen, J. Parkkonen, T. Turpeinen, J. Sammaljärvi, M. Lehtonen, M. Siitari-Kauppi, J. Timonen, Tomographic investigation of caesium migration in Olkiluoto veined gneiss and Grimsel granodiorite, being written

J. Kuva, Tracer migration in crystalline rock - Application to geological barriers of nuclear waste storage, väitöskirja, tarkastettu julkisesti 20.1.2016

Muu tutkimuksista tiedottaminen

Osallistuminen Fysiikan päiville 2015.

J. Kuva, M. Voutilainen, J. Parkkonen, T. Turpeinen, M. Siitari-Kauppi, J. Timonen, Tomographic investigation of cesium migration in Olkiluoto veined gneiss and Grimsel granodiorite, suullinen esitys Fysiikan päivillä 2015

Osallistuminen KYT2014 - päätösseminaariin.

Sorptiokokous HYRL:ssä 26.5.

Osallistuminen Migration2015 - seminaariin Santa Fe:ssä syyskuussa.

J. Kuva, J. Parkkonen, T. Turpeinen, J. Timonen, M. Voutilainen, M. Siitari-Kauppi, J. Sammaljärvi, M. Lehtonen, Tomographic investigation of caesium migration in Olkiluoto veined gneiss and Grimsel granodiorite, posteresitys Migration2015 - konferenssissa

Työpanos ja kustannukset

Työpanokset ja kustannukset olivat kustannussuunnitelman mukaiset.

Matkat

8.1. GTK-palaveri HYRL:ssä

12.5. GTK-palaveri HYRL:ssä

7.9. Projektipalaveri Jyväskylässä (J. Kuva, M. Voutilainen, K. Mattila, J. Timonen, J. Parkkonen)

11.-19.9. Migration2015 Santa Fe:ssä (J. Kuva)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyltteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä (C14ROCK)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Chemical forms and sorption of radiocarbon in geosphere		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
HYRL	prof. Jukka Lehto	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke on alkanut KYT2014 –ohjelmassa vuonna 2013 ja kestää KYT2018-kauden loppuun		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
VTT, GTK		
Tutkimuksen tavoite		
Tutkimuksen tavoitteena on selvittää radiohiilen kemiallisia muotoja ja niiden muutoksia kallioperässä sekä karbonaattimuotoisen radiohiilen sorptiota rakomineraaleihin.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
	2	
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
Karbonaattimuotoisen radiohiilen on havaittu pidättyvän pohjavedestä kalsiittiin hiili-isotooppivaihdon myötä. Rautamineraaleista on tähän mennessä todettu radiohiilen pidättyvän jossain määrin hematittiin.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset		
J. Lempinen & J. Lehto, <i>Rate of Radiocarbon Retention onto Calcite by Isotope Exchange</i> , Radiochimica Acta (vertaisarvioinnissa)		
Konferenssijulkaisut ja työraportit		
J. Lempinen, D. Apter & J. Lehto, <i>Retention of Radiocarbon by Isotope Exchange between Groundwater and Calcite</i> , posteriesitys, Migration 2015, Santa Fe, NM, Yhdysvallat, 13.-18.9.2015		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		
Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten		

toteutuminen)

Hankkeen kokonaiskustannukset olivat 102.172 EUR, josta VYR:n rahoitusosuus oli 58.000 €.

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

YTERA vuosiseminaari, Porvoo, 17-19.5.2015

CHEMS (Kemian ja molekyyli­tieteiden tohtoriohjelma) seminaari, Porvoo, 4.-5.6.2015

Migration 2015, Santa Fe, NM, Yhdysvallat, 13.-18.9.2015

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Applicability of Geopolymers to Nuclear Waste Management, GeoP-NWM		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Applicability of Geopolymers to Nuclear Waste Management, GeoP-NWM		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	Eila Lehmus	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Ensimmäinen vuosi hankkeelle. Uusi aihe.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
	University of Sheffield, United Kingdom	
Tutkimuksen tavoite		
<p>Tutkimuksen tavoitteena on arvioida etuja, joita saavutetaan geopolymeeri-perustaisia matriiseja (ja niistä tehtyjen komposiittien) ydinjätehuollon rakenteissa. Nämä materiaalit tarjoavat räätälöityjä mahdollisuuksia jätteen kiinteytykseen ja kapselointiin. Ongelmallisten radioisotooppien, kuten ¹³⁷Cs sitominen matriisiin hilarakenteeseen ja hyvä kestävyys liukenemista vastaan antaa uusia mahdollisuuksia. Sementtipohjaisessa orgaanisen jätteen kiinteytyksessä on niiden kemiasta johtuen yhteensopivuusongelmia sementin hydrataation häiriintymisen takia. Lisäksi sementtipohjainen kiinteytyks perustuu lähinnä fysikaaliseen kapselointumiseen. Tässä tutkimuksessa keskitytään geopolymeerien käyttöön kiinteytyksessä ja kapseloinnissa. Erityisesti keskitytään orgaanisen materiaalin vaikutuksiin mikro- ja makrotason rakenteellisiin muutoksiin sijoitusolosuhteissa. Hyvä radioisotooppien ja muiden haitallisten aineiden sitoutuminen ja hyvä säilyvyys tullaan verifioimaan tässä hankkeessa. Tämä luo uusia turvallisempia ja ympäristövaikutuksiltaan parempia mahdollisuuksia jätehuoltoon, ja siis potentiaalisia taloudellisia etuja.</p>		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
	1	
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
<p>Tutkimuksen tulokset ovat voimalaitosten (TVO, Fortum, Fennovoima) käytössä, kun he suunnittelevat uusia turvallisia matalan ja keskiaktiivisen jätteen kiinteytyksiä ja sijoittamista. Tuloksista saadaan varmempaa tietoa pitkäaikaistoiminnasta sekä lujuuden, säilyvyyden että radionuklidien kulkeutumisen osalta. Myös viranomaiset saavat tiedon arvioidakseen geopolymeerien turvallisuutta vaihtoehtona jätehuollon rakenteissa.</p>		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
<p>Vuoden 2015 aikana, tutkimussuunnitelman mukaan, pätehtäviä ovat kirjallisuusselvitykset ja työpaja. Ensimmäinen kirjallisuusselvitys, Introduction to Geopolymers, on valmis. Materiaali en valinnat ja reseptuurin valinta ovat hyvässä vaiheessa suunnitelman mukaisesti. Työpaja johon osallistuu professori John Provis University of Sheffield, UK on päätetty pitää 4.12.2015. Työpajassa käsitellään geopolymeerien yleisten ominaisuuksien lisäksi erityisesti ydinjätehuollon kysymyksiin.</p>		

Julkaisut ja opinnäytetyöt Vehmas, T., Introduction to Geopolymers. Research Report VTT-R-04953-15, 21 p
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT 2018 johtoryhmälle esitelty 25.8.2015 ja KYT2018 Seurantaryhmä 4:lle esitelty 20.10.2015
Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen) Hanke-esityksessä esitetyt työpanokset ja kustannukset näyttävät toteutuvan suunnitellusti.
Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat) Hankkeeseen liittyen, mutta ei hankkeen kustannuksella tri. E. Holt osallistui 14th International Cement Chemistry Congress (ICCC2015), Beijing, China. Lokakuu 12-16, 2015. Yksi merkittävä aihe konferenssissa oli geopolymeerit ja niiden käyttö.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemissä (YRMA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Risk assessment of radioactive waste: development of radioecological modelling for terrestrial and aquatic ecosystems		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Ympäristö- ja biotieteiden laitos, Itä-Suomen yliopisto	Jukka Juutilainen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus, muut turvallisuustutkimukset, biosfääritutkimukset loppusijoituksen turvallisuuden kannalta		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Hanke on jatkoa KYT2010-ohjelman hankkeelle "Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen ekologinen riskinarviointi metsäekosysteemissä" ja KYT2014-ohjelman hankkeelle "Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa". Hankkeen suunnitellaan jatkuvan tammikuuhun 2019 saakka.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite		
Hankkeen yleisenä tavoitteena on tarkentaa suomalaisiin metsä- ja vesiekosysteemeihin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Erytynen huomio keskittyy radionuklidien siirtymiseen sellaisiin boreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen avainlajeihin, joista on vähän aiempaa tietoa. Tavoitteena on myös kehittää radioekologisia malleja siten, että ne perustuvat entistä parempaan teoreettiseen ja empiiriseen ymmärrykseen alkuaineiden siirtymisestä eliöihin.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
	2	0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen turvallisuusanalyysiin liittyvässä biosfäärimallinnuksessa tarvitaan tietoa radionuklidien siirtymisestä maaperästä ja vedestä eliöihin. Suomalaisiin ympäristöolosuhteisiin tarkennettu tieto ja kehittyneempi radioekologinen mallintaminen parantavat arvioiden luotettavuutta. Potentiaalisia hyödyntäjiä ovat kaikki ne tahot, jotka tarvitsevat ydinjätteiden mahdollisten riskien arviointiin liittyvää biosfäärimallinnusta.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
Osaprojekti 1: Vesiekosysteemitutkimukset		
<ul style="list-style-type: none"> • Tutkimuksiin soveltuvat näytteenottoaikat kahdesta lammesta ja yhdestä purosta on valittu • Vesi, sedimentti ja vesieläinnäytteet on otettu ja vesi- ja sedimenttinäytteet on analysoitu tammikuussa 2016 		
Osaprojekti 2: Radioekologisen mallintamisen kehittäminen		
<ul style="list-style-type: none"> • Kaksi tieteellistä artikkelia on valmistunut edellisen hankkeen aineistosta ja yhden suunnitellun artikkelin valmistuminen on siirtynyt vuodelle 2016 • Väitöskirja valmistuu loppuvuodesta 2016 		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset		
1. Tuovinen ym.: Non-linear transfer of elements from soil to plants: impacts on radioecological modelling. Lähetetty Radiation and Environmental Biophysics -lehteen.		

2. Tuovinen ym.: 2016. Transfer of elements relevant to nuclear fuel cycle from soil to plants and animals in experimental meso- and microcosms. *Science of the Total Environment* 539: 252-61.
3. Kasurinen ym. Soil N level effects on the transfer of elements relevant to nuclear fuel cycle in soil-downy birch (*Betula pubescens*)-copse snails (*Arianta arbostorum*) system. Käsikirjoitus valmistuu vuonna 2016.

Opinnäytteet

Tuovinen T. Transfer of Radioecologically relevant elements - Evaluation of Linearity on Boreal Forest Ecosystems. Väitöskirja valmistuu loppuvuodesta 2016.

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

KYT2018 johto- ja seurantaryhmän kokoukset

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Hankkeen KYT2018-ohjelmasta myönnetty rahoitus ja laskutettavat kustannukset ovat 65 000e. Hankkeen suunniteltu omarahoitusta oli 69000e, mutta käytännössä omarahoituksen osuus oli 87 500e sisältäen rahallista panostusta 17 000e ja omalla budjettirahoituksella hankkeessa työskennelleiden työpanoksen (4 htkk).

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

Näytteenkeräysmatka tutkimusalueelle Paukkajanvaaraan ja KYT2018 johto- ja seurantaryhmän kokoukset Helsingissä

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Biosfäärimallinnuksen vaihtoehtoiset menetelmät ja niiden arviointi (VABIA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Alternative methods for biosphere modelling and their evaluation		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Tampereen teknillinen yliopisto, Porin laitos	Tarmo Lipping	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus, muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
Tutkimus on jatkoa TTY:n Porin laitoksessa aiemmin tehdylle biosfääritutkimukselle. VABIA-2015 oli ensimmäinen KYT ohjelmassa rahoitettu hanke. Parhaillaan haettava VABIA-2016 on KYT2018-ohjelman nelivuotisen suunnitelman toinen (2016) vuosi.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
EnviroCase Oy		
Tutkimuksen tavoite		
Vuoden 2015 tavoitteena oli pystyttää tutkimusinfrastruktuuri ja testata radionuklidien kulkeutumismallinnusta pienillä osamalleilla sekä julkaista mallit avoimesti muiden käyttöön. Mallinnuksen lähtökohtana oli skenaario, jonka mukaan radionuklidit vapautuvat järveen ja järvestä otettavan käyttöveden mukana kulkeutuvat ihmiseen joko suoraan, kasteluveden ja kasvien kautta, tai eläinten juomaveden ja liharuuan kautta. Lisäksi vuosien 2015-2016 taitteessa tutkittiin savisedimenttien vaikutusta radionuklidien leviämiseen järven pohjan läpi sekä kasvien ryhmittelyä suuremmiksi kokonaisuuksiksi kokonaisparametrimäärän vähentämiseksi.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Simulaatiomalli, tietokone	v2015 1 lehtiartikkeli lähetetty + 1 konf. paperi ja 1 lehtiartikkeli vuoden 2015 materiaalista tulossa	-
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tutkimusyhteisöt, tutkijat ja viranomaiset voivat hyödyntää VABIA - projektissa saatavia tuloksia. VABIA – projektin tuloksena syntyneet simulaatiomallit ovat vapaasti saatavilla Facilia AB:n verkkosivuilla (ks. alla).		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
<p>Hanke käynnistyi huhtikuussa 2015 kun saatiin myönteinen rahoituspäätös. Tutkimusinfrastruktuuri pystytettiin huhti-toukokuussa 2015. Pohjautuen aikaisempiin tutkimustuloksiin maankohoamismallinnuksesta valittiin kulkeutumismallin järveksi Olkiluodon edustalle n. 3000 vuoden päästä muodostuva järvi ja sen tilastolliset parametrit (pinta-ala, tilavuus).</p> <p>Kulkeutumismallia testattiin 7 eri radionuklidilla laskemalla vastaavat annosmuunnoskertoimet, jotka kuvaavat 1 Bq säteilylähteen vaikutusta ihmiseen (yksikkönä Sv/Bq). Tässä yhteydessä selvitettiin mallin eri parametrien (järven parametrit, radionuklidien siirtokertoimet, ruokavali) vaikutusta annosmuunnoskertoimiin. Skenaarion merkittävimmät ominaisuudet vaihtelivat hieman eri nuklideilla. Nuklideilla ¹³⁵Cs, ²³⁷Np ja ²³⁸U järven tilavuus osoittautui merkittävimmäksi tekijäksi, kun taas nuklideilla ³⁶Cl ja ¹²⁹I järven ulosvirtaama on merkittävin tekijä. Nuklideilla ⁹⁰Sr ja ⁹⁹Tc siirtokertoimella maaperästä kasveihin on suurin vaikutus annosmuunnoskertoimiin.</p> <p>Järven ulosvirtaaman suhde tilavuuteen osoittautui merkittäväksi tekijäksi annosmuunnoskertoimien laskennassa kaikkien radionuklidien osalta. Miesten ja naisten kokonaisannosmäärät ovat melkein samoja, mutta eri ruokavaliosta johtuen miehet saavat annosmäärän lihatuotteista kun taas naiset</p>		

saavat ne kasvistuotteista (julkaisu). Kyseiset mallit on saatavilla <http://ecolego.facilia.se/models> sivustolla, tekijänä on Jari Pohjola.

Järvimallia käytettiin vuosien 2015-2016 taitteessa ruoka-aineiden ryhmittelyn tutkimiseen sekä järven savipohjan läpi järviveteen kulkeutuvien radionuklidien tarkasteluun. Tuloksista kirjoitetaan parhaillaan vertaisarvioitua konferenssijulkaisua työnimellä "The influence of grouping food ingredients on radiation doses to humans" (*9th International Conference on Nuclear and Radiochemistry*, Helsinki, elo-syyskuu 2016). Tulokset radionuklidien kulkeutumisen mallinnuksesta järviveteen savisedimenttirakenteen läpi on tarkoitus julkaista tieteellisessä lehdessä myöhemmin v. 2016.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Jari Pohjola, Jari Turunen, Tarmo Lipping, Ari Ikonen, 2016. Probabilistic assessment of the influence of lake properties in long-term radionuclide doses to humans. Submitted to Journal of Environmental Radioactivity.

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

KYT-seminaari, Espoo, 21.10.2015.

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Toteutuneet kustannukset:

Envirocase Oy (konsultaatio)	5.000 €
Ecolego-ohjelmisto	2.015 €
Jari Pohjolan palkkakustannukset	70.428 € (15.4-31.12.2015)
Jari Turusen palkkakustannukset	1.024 € (15.4-31.12.2015)
Yhteensä	78.467 €

Arvioidut kustannukset (2015)

Yhteensä 78.600 €

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

Hankkeen puitteissa ei ole tehty matkoja.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyllyteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
KARMO II – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
KARMO II – Mechanical Properties of Rock Joints		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Aalto-yliopisto	Mikael Rinne	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
KARMO I 2014 -> KARMO II 2015-2016 -> KARMO III 2017-2018		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat
Aalto-yliopisto	KTH Royal Institute of Technology	
Tutkimuksen tavoite		
KARMO:n tavoitteena on kehittää menetelmä kallion rakopintojen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi numeerista mallinnusta varten laboratoriomittakaavan replikakoesarjan avulla.		
Tuloskategoria	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
1. mittausaineisto ja 3D-mallit 2. metriikka digitaalisen tarkkuuden mittaamiseksi	1 konferenssijulkaisu 1 työraportti	1 diplomityö 2 kandityötä (+2 käänöstä)
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Tulokset tulevat tutkijoiden ja viranomaisten käyttöön ja niitä voidaan käyttää arvioitaessa erilaisten raon hyväksymiskriteerien ja rakojen siirtymäanalyysin mallinnuksen hyväksyttävyyttä. Valtaosaa tutkimushankkeen tuloksista käytetään numeerisen mallinnuksen lähtötietoina, kun mallinnetaan rakojen mekaanista vastetta tai siirtymää.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain		
<p>1 Fotogrammetrisen menetelmän kehitystehtävä: Replikänäytesarjan valumuotit ja koestettut näytteet kuvattiin kandityönä fotogrammetrisia mittauksia varten. Referenssimallinnus toteutettiin käsikeilaimella Artec Eva. Aineisto mallinnettiin ja analysoitiin diplomityönä, jossa selvitettiin lähtötietojen vaikutusta replikointi tulosten luotettavuuteen. Työssä kehitettiin metriikka digitaalisen tarkkuuden mittaamiseksi. Työn tulokset raportoitiin diplomityön lisäksi konferenssijulkaisuna.</p> <p>2 Replikaatioprosessin todennus- ja kehitystehtävä: Menetelmään soveltuvaa itsetiivistyvää betonireseptiä selvitettiin kaupallisten valmistajien tilalle kokeellisella kandidittutkimuksella. Jäljennöspinnat koestettiin painokalvoilla rakojen kohdakkaisuuden mittaamiseksi.</p> <p>3 Kallistuspöytäkoeket ja menetelmäkuvaus: KARMO I –vaiheessa kehitetty menetelmäkuvaus esitettiin ISRM 2015 –konferenssissa Montrealissa, Kanadassa. Nykyinen kallistuspöytä (0,5 m x 0,25 m) kunnostettiin, ja kallistuspöydän käyttämistä kalliorakojen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseen selvitettiin osana Daniil Iakovlevin diplomityötä.</p>		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Rakopinnan karkeuden mittaaminen fotogrammetrisesti</i> (kandityö ja englanninkielinen käänös) - <i>Itsetiivistyvä betoninen jäljennysmateriaali rakopinnoille</i> (kandityö ja englanninkielinen käänös) - <i>Requirements for initial data in photogrammetric replication of rock joint surfaces</i> (diplomityö ja konferenssijulkaisu) - <i>Raportti SR-koevaluista</i> (työraportti) 		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		
KYT-seminaareihin osallistuminen, Aallon ja yhteistyökumppanien tiedotuskanavat sekä KARMO-tutkimushankkeen verkkosivu, jossa julkaisut ja opinnäytetyöt ovat vapaasti kaikkien ladattavissa.		
Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)		

Työpanokset ja kustannukset ovat toteutuneet likimain hanke-esityksen mukaisesti. Erikoistyö jäi pois tarpeettomana (kallistuspöydän kunnostus toteutui osana Daniil Iakovlevin diplomityötä).

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

Uotinen et al. 2015. A method to downscale joint surface roughness and to create replica series using 3D printed molds. *ISRM Congress 2015*, May 10-13, Montréal, Kanada.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyhteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi ROSA: Rakosimulaattori joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus- ja suuntajakaumia		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi ROSA: Fracture simulator which respects the measured fracture length and orientation distributions		
Tutkimuslaitos Geologian tutkimuskeskus, Kalliorakentaminen ja sijoituspaikat -yksikkö	Vastuuhenkilö Eevaliisa Laine	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa aiemmalle Kalliolaatu-hankkeelle (KYT2015). Hanke on suunniteltu 4-vuotiseksi. 2015 oli tutkimuksen 1. vuosi.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Aalto-yliopisto, CSC, Posiva	Ulkomaiset organisaatiot Nancyn yliopisto, NGU	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Tutkimuksen tavoite Tavoitteena on luoda rakosimulaattori ja sille käyttöliittymä rakosimulaattorin käyttämiseen ja tulosten validointiin. Tulokset jaetaan tieteellisten julkaisujen kautta käyttäjille.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Tietokoneohjelma	Julkaisujen lukumäärä 3	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla) Lyhyellä tähtäimellä ONKALOn suunnittelijat. Pitkällä tähtäimellä kalliorakentajat, lämpökaivosuunnittelijat, pohjaveden virtauksen ja radionuklidien kulkeutumismalleja sekä kivimassan kalliomekaanista käyttäytymistä mallintaessa.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta) Osaprojekti 1: Eevaliisa Laine perehtyi rakosimulointikoodeihin, josta tuloksena Rakosimulointikoodien kuvaus (kirjallisuustyö). Mira Markovaara-Koivisto perehtyi C-ohjelmointiin CSC:n tietokoneilla. Osaprojekti 2: Eevaliisa Laine ja Mira Markovaara-koivisto tekivät laajennetun abstraktin IAMG2015-kokoukseen Freibergissa. Laine piti kokouksessa esitelmän aiheesta. Palmotun aineistoa käytettiin 'multiple-point statistics' -rakosimuloinnista. Tästä työstä tehtiin lyhyt julkaisukäsikirjoitus. Joulukuussa 2015 järjestettiin KYT seminaari kallion rikkonaisuuden mallinnuksesta GTK:ssa (järjestäjinä Laine, Markovaara-Koivisto ja KYT:n puolesta Kari Rasilainen (VTT)).		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset: Laine, E. ja Markovaara-Koivisto, 2015. 3D visualization and analysis of fracturing in the Precambrian bedrock characterized by complicated structures, two case studies from southern		

Finland. (laajennettu abstrakti 10 s.) IAMG2015, Freiberg.

Laine E and Markovaara-Koivisto M. New 3D modeling approaches in the study of Palmottu fracture patterns. Bulletin of The Geological Society of Finland, Special Volume. Abstracts of the 32nd Nordic Geological Winter Meeting 13th-15th January 2016, Helsinki, Finland. pp. 94.

Laine ja Markovaara-Koivisto 2015, Rakoverkkomallinnus. KYT2018-seminaari, Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus Suomessa. Esitelmä. http://kyt2018.vtt.fi/seminaari_03122015/Laine.pdf

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

Järjestettiin yhdessä Kari Rasilaisen (VTT) kanssa kallion rakoilua käsittelevä KYT2018-seminaari 3.12.2015: Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus Suomessa. Osallistujia oli noin 30 eri organisaatioista: Aalto-yliopistolta, VTT:ltä, POSIVALta, Helsingin yliopistolta, Turun yliopistolta, Fortumilta ja GTK:lta.

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Molemmat toteutuivat

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

Laine: IAMG2015-kokous (The 17th annual conference of the International Association for Mathematical Geosciences, September 5-13, 2015, Freiberg (Saxony) Germany) Freibergissa.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Vuosiyllyteenveto 2015

Tutkimushankkeen nimi		
Turvallisuuden hallinta Suomen ja Ruotsin ydinjäteregimeissä		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi		
Governing Safety in Finnish and Swedish Nuclear Waste Regimes (SAFER)		
Tutkimuslaitos	Vastuuhenkilö	
Tampereen yliopisto, johtamiskorkeakoulu	YTT Matti Kojo	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Ydinjätehuolto ja yhteiskunta, Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?)		
SAFER on jatkumoa vuonna 2014 rahoitetulle FInSOTEC-tutkimushankkeelle. SAFER-hankkeelle on haettu rahoitusta vuodelle 2016. Jatkoa on suunniteltu vuosille 2017–2018. SAFER jatkaa Jyväskylän ja Tampereen yliopistojen monivuotista KYT-tutkimusyhteistyötä. Taustalla on tutkimusryhmän KYT2010-ohjelmakauden aikainen tutkimus mm. EURATOMin FP7 InSOTEC-hankkeessa.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Jyväskylän yliopisto	Michigan Technological University, Norwegian University of Science and Technology	Suomen Akatemian “Societal-Institutional Regulation of Nuclear Fuel Cycle in Finland and Sweden” -projekti, Suomen akatemian “Social License to Operate” -projekti, SAFIR2018 Management principles and safety culture in complex projects –hankkeen WP2 Nuclear specific requirements for complex projects / VTT
Tutkimuksen tavoite		
Parantaa ymmärrystä suomalaisesta ydinjäteregimistä ja erityisesti sen jatkuvuudesta, muutoksista ja joustavuudesta muuttuvassa yhteiskunnallisessa ja sosio-tekniisessä kontekstissa.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
	2 artikkelia (arvioitavana) 1 työraportti	0
Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä (mikä taho ja millä tavalla)		
Hanke tarjoaa mahdollisuuden nykyisen hallinnallisen lähestymistavan, toimintamallien ja periaatteiden tarkasteluun ja auttaa ennakoimaan loppusijoitukseen liittyviä huolenaiheita ja haasteita, sekä tuottaa tietoa tulevaa päätöksentekoa varten.		
Sisällölliset tulokset osaprojekteittain (Tiivis yhteenveto; tarvittaessa selvitys mahdollisista olennaisista poikkeamista tutkimussuunnitelmasta)		
<u>Osatehtävä 1</u> Suomen ja Ruotsin ydinjäteregimien vertailu erityisesti kansalaisjärjestöjen osallistumisen näkökulmasta		
Osaprojektissa tarkasteltiin ydinjäteregulaation institutionaalisia puitteita, itse luvitusprosessia		

sekä erityisesti kansalaisjärjestöjen osallistumismahdollisuuksia. Vertailu osoitti ydinjäteregulaation eroavan Suomessa ja Ruotsissa siinä määrin toisistaan, ettei voida puhua samankaltaisesta ydinjäteregimistä tai regulatiivisesta mallista siitä huolimatta, että projektien eteneminen Suomessa ja Ruotsissa näyttää pintapuolisesti katsottuna etenevän varsin yhteneväisesti.

Institutionaalisissa puitteissa oli paljon yhteneväisyyksiä, mutta selkeinä eroina esille nousivat Suomesta puuttuva riippumaton valvova elin (Ruotsissa Kärnavfallsrådet), ydinjäterahastojen varojen allokointi (Ruotsissa myös järjestöille ja kunnille rahoitusta), veto-oikeuden erot (Ruotsissa kumottavissa ilman lainmuutosta) sekä eroavaisuudet kompensatiokäytännöissä (sekä tasossa että jakotavassa). Luvitusprosessin suhteen Suomessa malli on yksiraiteinen ja vaiheittainen siten, että projektin hyväksyttävyydestä annetaan periaatepäätös (jolloin kunta voi käyttää veto-oikeuttaan) prosessin alussa ennen varsinaisten suunnitelmien esittelyä, prosessin läpikäynnin jälkeen luvan myöntää hallitus. Ruotsissa malli on kaksiraiteinen edeten sekä ympäristöoikeudessa että säteilyturvaelimestä. Suomen periaatepäätöstä vastaava päätös hyväksyttävyydestä ja siihen liittyvä kunnan veto-oikeus ajoittuvat näissä tehtyjen arviointien jälkeen. Ympäristöoikeus ja säteilyturvaviranomainen myöntävät prosessin lopuksi luvat ehtoineen.

Kansalaisjärjestöjen mahdollisuudet ovat regiimeissä selkeästi erilaiset. Suomessa hyväksyttävyyttä katsotaan käytännössä käsitellyksi periaatepäätöksessä ja sen jälkeen on keskitytty tekniseen toteutukseen. Riippumaton elin, johon järjestöt voisivat nostaa tärkeiksi koettuja aiheita, puuttuu ja rahoitusta ei ole saatavissa samalla tavoin kuin Ruotsissa. Lisäksi järjestöt ovat raportoineet hankaluuksista saada ääntä kuuluviin mediassa. Sen jälkeen kun Ruotsissa 2000-luvun alussa herättiin kansalaisosallistumisen mahdollisuuksien puutteisiin, on kansalaisjärjestöjen osallistumista prosessiin helpotettu monella tavalla. Kansalaisjärjestöt ovat kuitenkin tuoneet Ruotsissakin vielä esille muutamia huolenaiheita painottaen muun muassa, että mahdollisuus osallistua ei ole sama, kuin mahdollisuus vaikuttaa, kansalaisosallistumiseen liittyvät prosessit tuntuvat enemmänkin tukahduttavan kuin tukevan dialogia, ja että varsinainen loppusijoitus-konsepti otetaan annettuna niin että sitä on lähes mahdotonta kyseenalaistaa.

Osatehtävä 2

Vertailu Suomen ja Ruotsin sanomalehdistössä käydystä julkisesta keskustelusta rakentamislupa-prosesseista

Osaprojektissa kerättiin neljästä johtavasta sanomalehdestä (Helsingin Sanomat, Aamulehti, Dagens Nyheter, Svenska Dagbladet) yhteensä 896 ydinjätettä koskevaa juttua ajanjaksolta 1.1.2008-31.12.2014. Aineistosta karsittiin pois jutut, jotka eivät olleet relevantteja aiheen kannalta. Tarkempaan analysointiin valittiin juttutyypeistä sanomalehtien uutiset ja mielipidekirjoitukset (n=306).

Tutkimuksessa analysointiin ydinjäteregimin toimijaryhmien näkyvyyttä em. juttu-tyypeissä. Suomen ja Ruotsin välinen vertailu osoitti, että molemmissa maissa teollisuus oli uutisissa useimmiten viitattu tai referoitu toimijaryhmä. Sen sijaan asiantuntijoihin ja kansalaisjärjestöihin viitattiin selvästi useammin ruotsalaisessa kuin suomalaisessa uutisjutuissa. Suomessa puolestaan poliitikot olivat useammin äänensä kuin Ruotsissa. Mielipidekirjoituksissa suomalainen yleisö oli selvästi aktiivisempi toimijaryhmä. Ruotsissa teollisuus, viranomaiset ja asiantuntijat olivat suhteellisesti aktiivisempia mielipidekirjoituksissa kuin vastaavat toimijaryhmät Suomessa.

Jutuista eriteltiin kolme temaattista pääluokkaa, jotka jakautuivat edelleen yhteensä yhdeksään alaluokkaan. Kiinnostavin huomio kohdistui turvallisuuteen ja riskeihin. Yleisellä tasolla loppusijoituksen turvallisuutta ja riskejä käsittelevä teema esiintyi useammin suomalaisissa kuin ruotsalaisissa uutisjutuissa. Sen sijaan taas ruotsalaisissa jutuissa esiintyi selvästi useammin kuin suomalaisissa jutuissa teema, jossa käsiteltiin yksityiskohtaisemmin loppusijoituksen ongelmia ja riskejä.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

- Litmanen, T., Kari, M., Kojo, M. & Solomon, B.: Regulation of Final Disposal of Spent Nuclear Fuel: Comparison of the Roles of Civil Society Organisations in Finland and

Sweden, Energy Research and Social Science (in review).

- Litmanen, T., Kojo, M., Kari, M. & Vesalainen, J.: The role of regulatory culture behind the Finnish nuclear waste miracle. Analyzing dyadic risk dialogue in the case of scientific dispute over copper corrosion, submitted to review for the book proposal (Lehtonen, M., Joly, P-B., & Aparicio, L., eds.) Dealing with uncertainties in socioeconomic evaluation of megaprojects, Routledge (in review).

Konferenssijulkaisut ja työraportit

- Kari, M. "Civil Regulation of Final Disposal of Spent Nuclear Fuel. Comparison of Finnish and Swedish Risk Regulation Regimes", Oral presentation, Seminar on Governance of Nuclear Safety and Nuclear Risks, University of Jyväskylä, Finland, 8 May 2015.

- Kari, M. "Civil Regulation of Final Disposal of Spent Nuclear Fuel. Comparison of Finnish and Swedish Risk Regulation Regimes", Oral presentation, 12th Conference of the European Sociology Association (ESA) 2015 Prague, Czech Republic 25–28 August 2015.

- Kojo, M. "Print media attention to licensing procedures for spent nuclear fuel repositories in Finland and Sweden", Oral presentation, SENIX conference, Stockholm, Sweden, 25–27 May 2015.

- Kojo, M. "Print media attention to licensing procedures for spent nuclear fuel repositories in Finland and Sweden", Oral presentation, Seminar on Governance of Nuclear Safety and Nuclear Risks, University of Jyväskylä, Finland, 8 May 2015.

- Litmanen, T. "Socio-technical risk governance through dyadic risk dialogue: Copper corrosion as a safety challenge in the geological disposal of spent nuclear fuel", Oral presentation, Seminar on Governance of Nuclear Safety and Nuclear Risks, University of Jyväskylä, Finland, 8 May 2015.

- Syrjämäki, E., Kojo, M. & Litmanen, T. (2015) Muuttunut hanke: Fennovoiman ydinvoimalahankkeen YVA-yleisötilaisuudet Pyhäjoella vuosina 2013-2014. YFI julkaisuja 2. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-6246-3>

Opinnäytteet

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

- Seminar on Governance of Nuclear Safety and Nuclear Risks, University of Jyväskylä, Finland, 8 May 2015, yhteistyössä YTT Marja Ylösen kanssa
- Seminaari "Evaluation of Megaprojects", Jyväskylän yliopisto, 14.12.2015

Työpanos ja kustannukset (hanke-esityksessä arvioitujen työpanosten ja kustannusten toteutuminen)

Sanomalehtiaineiston analysointi (luokitusten kehittäminen ja itse analysointi) vaati huomattavasti enemmän resursseja (työaika) kuin etukäteen oli arvioitu. Hanke on silti pysynyt budjetissa, koska työtä tehtiin omalla ajalla. Artikkelit on käsikirjoitusvaiheessa.

Matkat (hankkeessa tehdyt koti- ja ulkomaan matkat)

18.3.2015, Helsinki, KYT2014-loppuseminaari

8.5.2015 Jyväskylä, Seminar on Governance of Nuclear Safety and Nuclear Risks –seminaari

25.-27.5.2015, Tukholma, SENIX-konferenssi (SENIX Conference - The Role of Social Sciences in a Low-Carbon Energy Mix)

8.9.2015, Helsinki, NEA RWMC Regulators' Forum

5.11.2015, Espoo, KYT2018 johtoryhmän kokous

14.12.2015, Jyväskylä, seminaari "Evaluation of Megaprojects"

Liite 2 KYT2014 julkaisut ja opinnäytteet 2015

Arvojulkaisut²

Aaltonen, P., Yagodzinsky, Y., Saukkonen, T., Kilpeläinen, S., Tuomisto, F., & Hänninen, H. 2015. Role of excessive vacancies in TGSCC of pure copper. *Corrosion Reviews*, 33(2015)6, 487-500. Article available online: <http://www.degruyter.com/printahead/j/corrrev>

Bomberg, M., Lamminmäki, T., & Itävaara, M. 2015. Estimation of microbial metabolism and co-occurrence patterns in fracture groundwaters of deep crystalline bedrock at Olkiluoto, Finland – *Biogeosciences Discuss.*, 12, 13819-13857, doi:10.5194/bgd-12-13819-2015, 2015.

Carpén, L., Rajala, P., & Bomberg, M. 2015. Microbially Induced Corrosion in Deep Bedrock. *Advanced Materials Research Vol. 1130*, pp 75-78.

Kietäväinen, R., Purkamo, L. 2015. The origin, source and cycling of methane in deep crystalline rock biosphere. *Frontiers in Microbiology* 6, 725.

Kinnunen, P., Bomberg, M., Rajala, P., & Carpén, L. 2015. Industrial Views to Microbe-Metal Interactions in Sub-Arctic Conditions. 2015. *Advanced Materials Research Vol. 1130*, pp 114-117.

Harjupatana, T., Alaraudanjoki, J., & Kataja, M. 2015. X-ray tomographic method for measuring three-dimensional deformation and water content distribution in swelling clays, *Appl. Clay Sci.* 114, 386-394 (2015).

Lavikainen, L. P., Hirvi, J. T., Kasa, S., Schatz, T., & Pakkanen, T. A. 2015. Stability of Dioctahedral 2:1 Phyllosilicate Edge Structures Based on Pyrophyllite Models, *Theor. Chem. Acc.* 2015, 134, 112.

Miettinen, H., Kietäväinen, R., Sohlberg, E., Numminen, M., Ahonen, L., & Itävaara, M. 2015. Microbiome composition and geochemical characteristics of deep subsurface high-pressure environment, Pyhäsalmi mine Finland. *Frontiers in Microbiology* vol. 6, article 203, doi:10.3389/fmicb.2015.01203.

Purkamo, L., Bomberg, M., Kietäväinen, R., Salavirta, H., Nyysönen, M., Nuppunen-Puputti, M., Ahonen, L., Kukkonen, I. & Itävaara, M. 2015. The keystone species of Precambrian deep bedrock biosphere belong to Burkholderiales and Clostridiales. *Biogeosciences Discussions* 12, 18103-18150. www.biogeosciences-discuss.net/12/18103/2015/doi:10.5194/bgd-12-18103-2015

Purkamo, L., Bomberg, M., Nyysönen, M., Kukkonen, I., Ahonen, L. & Itävaara, M. 2015. Heterotrophic communities supplied by ancient organic carbon predominate in deep Fennoscandian bedrock fluids. *Microbial Ecology* 69, 319-332.

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

Rajala, P., Bomberg, M., Kietäväinen, R., Kukkonen, I., Ahonen, L., Nyssönen, M. & Itävaara, M. 2015. Rapid reactivation of deep subsurface microbes in the presence of C-1 compounds. *Microorganisms* 3, 17-33.

Rajala, P., Carpén, L., Vepsäläinen, M., Raulio, M., Sohlberg, E., & Bomberg, M. 2015. Microbially induced corrosion of carbon steel in deep groundwater environment: *Frontiers in Microbiology*, Vol. 6, pp. Article number 647.

Sardini, P., Caner, L., Mossler, P., Mazurier, A., Hellmuth, K-H., Graham, R.C., Rossi, A.M., & Siitari-Kauppi, M. 2015. Calibration of digital autoradiograph technique for quantifying rock porosity using ¹⁴C-PMMA method, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 303(1), 2015, 11-23.

Sohlberg, E., Bomberg, M., Miettinen, H., Nyssönen, M., Salavirta, H., Vikman, M, Pitkänen, P., Lamminmäki, T., & Itävaara, M. 2015. Revealing the unexplored fungal communities in deep groundwater of crystalline rock fracture zones in Olkiluoto, Finland, *Frontiers in Microbiology*. 6;573, doi 10:3389/fmicb.2015.00573.

Soler, J. M., Landa, J., Havlova, V., Tachi, Y., Ebina, T., Sardini, P., Siitari-Kauppi, M., Eikenberg, J., & Martin, A. J. 2015. Comparative modeling of an in-situ diffusion experiment in granite at the Grimsel Test Site, *Journal of Contaminant Hydrology* 179, 2015, 89-101.

Sun, L., Hirvi, J. T., Schatz, T., Kasa, S., & Pakkanen, T. A. 2015. Estimation of Montmorillonite Swelling Pressure: a Molecular Dynamics Approach, *J. Phys. Chem. C* 2015, 119, 19863.

Tuovinen, T., Kasurinen, A., Häikiö, E., Tervahauta, A., Makkonen, S., Holopainen, T., & Juutilainen, J. 2016. Transfer of elements relevant to nuclear fuel cycle from soil to plants and animals in experimental meso- and microcosms. *Science of the Total Environment* 539:252-61.

Uurtio, V., Bomberg, M., Nybo, K., Itävaara, M. & Rousu, J. 2015. Canonical Correlation Methods for Exploring Microbe-Environment Interactions in Deep Subsurface. - Conference: Discovery Science 2015, At Banff, Alberta, Canada DS-2015.

Konferenssijulkaisut ja työraportit

Ahonen, L., Kietäväinen, R. & Ruskeeniemi, T. 2015. Estimating the past from deep groundwaters in Finland. In: Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Raukas, A. & Bauert, H. (eds.). 2015. 4th Annual Meeting of G@GPS IGCP 618 Project, Estonia, 5-9 July 2015. Abstracts and Field guide. Tallinn University of Technology, Tallinn, s. 7.

Carpén, L., Rajala, P., & Bomberg, M. 2015. Microbially Induced Corrosion in Deep Bedrock. Presentation in IBS 2015 (International Biohydrometallurgy Symposium), Sanur, Bali 5-9.10.2015.

Carpén, L., Rajala, P., & Bomberg, M. 2015. Real-Time Electrochemical Measurements of Carbon Steel in Ground Water with Sulfate Reducing Bacteria Enrichment. *Proceedings*, vol. 15604. The Annual Waste Management Conference 2015, WM Proceedings, 15 - 19 March 2015, Phoenix, Arizona, USA

- Huttunen-Saarivirta, E., Rajala, P., & Carpén, L. 2015. Corrosion behaviour of copper under biotic and abiotic conditions in anoxic ground water: electrochemical study EMCR 2015 Tróia, 24-29 May.
- Häkkinen, S., Wiikinkoski, E. 2015. Kehittyneiden polttoainekiertojen tutkimus maailmalla, VTT-R-00431-15
- Itävaara, M. 2015. Characterization of microbial communities in deep groundwater. 71-73 – KYT2014 Finnish research program for nuclear waste management, Final Report
http://www.tem.fi/files/44329/TEMjul_60_2015_web_19112015.pdf, Publications of the Ministry of Employment and the Economy. Energy and the climate 60/2015.
- Juutilainen, P. 2016. SITON-polttoainekiertokoodin käyttöönotto. VTT tutkimusraportti, VTT-R-00903-16
- Kari, M. 2015. Civil Regulation of Final Disposal of Spent Nuclear Fuel. Comparison of Finnish and Swedish Risk Regulation Regimes, Seminar on Governance of Nuclear Safety and Nuclear Risks, University of Jyväskylä, Finland, 8 May 2015.
- Kari, M. 2015. Civil Regulation of Final Disposal of Spent Nuclear Fuel. Comparison of Finnish and Swedish Risk Regulation Regimes, ESA2015 Prague, Czech Republic 25–28 August 2015.
- Kataja, M., Lämsä, J. & Harjupatana, T. 2015. Measurement of water transport and swelling of bentonite clay using X-ray imaging. An update. BelBar Workshop, 12.-13.10.2015. Karlsruhe, Germany.
- Kietäväinen, R., Etiope, G., Ahonen, L. & Kukkonen, I.T. 2015. Crustal methane in Finland – an oddity or commonplace? In: Kultti S., Rämö O.T., Koivisto E. & Luoto M. (eds.), 2nd Finnish National Colloquium of Geosciences, Helsinki, Finland, 3.-5.3.2015, Program and Abstracts, Department of Geosciences and Geography C10, s.23 (suullinen esitys)
- Kietäväinen, R., Etiope, G., Ahonen, L., & Kukkonen, I.T. 2015. Crustal methane in Finland. 2nd DCO Early Career Scientist Workshop, Ponta Delgada, Azorit, 31.8.-5.9.2015 (suullinen esitys + poster)
- Kietäväinen, R., Ahonen, L. & Purkamo, L. 2015. Thermodynamic constraints on methane production and consumption in deep crystalline rock biosphere. ISEB22 Symposium, Piran, Slovenia, 27.9.-2.10.2015 (suullinen esitys)
- Kietäväinen, R., Ahonen, L., Hendriksson, N., Kukkonen, I.T., Niedermann, S. & Wiersberg, T. 2016. Deep groundwater evolution in Outokumpu, eastern Finland –from meteoric water to saline gas rich fluid. Bulletin of the Geological Society of Finland, Special volume: Abstracts of the 32nd Nordic Geological Winter Meeting, 13- 15th January 2016, Helsinki, Finland, s. 93
- Kojo, M. 2015. Print media attention to licensing procedures for spent nuclear fuel repositories in Finland and Sweden, Seminar on Governance of Nuclear Safety and Nuclear Risks, University of Jyväskylä, Finland, 8 May 2015.
- Kojo, M. 2015. Print media attention to licensing procedures for spent nuclear fuel repositories in Finland and Sweden, Oral presentation, SENIX conference, Stockholm, Sweden, 25–27 May 2015.

- Kuva, J., Voutilainen, M., Parkkonen, J., Turpeinen, T., Siitari-Kauppi, M., & Timonen, J. 2015. Tomographic investigation of cesium migration in Olkiluoto veined gneiss and Grimsel granodiorite, suullinen esitys Fysiikan päivillä.
- Kuva, J., Parkkonen, J., Turpeinen, T., Timonen, J., Voutilainen, M., Siitari-Kauppi, M., Sammaljärvi, & J., Lehtonen, M. 2015. Tomographic investigation of caesium migration in Olkiluoto veined gneiss and Grimsel granodiorite, posteresitys Migration2015–konferenssissa
- Laine, E., Markovaara-Koivisto, M. 2015. 3D visualization and analysis of fracturing in the Precambrian bedrock characterized by complicated structures, two case studies from southern Finland. (laajennettu abstrakti 10 s.) IAMG2015, Freiberg.
- Laine, E., Markovaara-Koivisto, M. 2016. New 3D modeling approaches in the study of Palmottu fracture patterns. Bulletin of The Geological Society of Finland, Special Volume. Abstracts of the 32nd Nordic Geological Winter Meeting 13th-15th January 2016, Helsinki, Finland. pp. 94.
- Laine, E., Markovaara-Koivisto, M. 2015. Rakoverkkomallinnus. KYT2018-seminaari, Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus Suomessa. Esitelmä. http://kyt2018.vtt.fi/seminaari_03122015/Laine.pdf
- Lavonen, T., Ollila, K. 2015. C-12 release during corrosion of unirradiated steels in simulated groundwaters (in: CAST – First Annual Report). VTT Research Report, VTT-R-00596-15. 2015.
- Lempinen, J., Apter, D. & Lehto, J. 2015. Retention of Radiocarbon by Isotope Exchange between Groundwater and Calcite, posteresitys, Migration 2015, Santa Fe, NM, Yhdysvallat, 13.-18.9.2015
- Litmanen, T. 2015. Socio-technical risk governance through dyadic risk dialogue: Copper corrosion as a safety challenge in the geological disposal of spent nuclear fuel, Oral presentation, Seminar on Governance of Nuclear Safety and Nuclear Risks, University of Jyväskylä, Finland, 8 May 2015.
- Marjamaa, K., Vikman, M., Storgårds, E., Salavirta, H., Itävaara, & M. 2015. Genome and in-lab analysis of cold-tolerant *Paenibacillus* spp isolated from low level radioactive waste repository, 11th Carbohydrate Bioengineering Meeting, posteri-esitys.
- Mibus, J., Swanton, S., Suzuki-Muresan, T., Rodriguez Alcalá, M., Leganés Nieto. J.L., Botomley, D., Herm, M., De Visser-Tynova, E., Cvetković, B.Z., Sakuragi, T., Jobbágy, V., & Lavonen, T. 2015. CARbon-14 Source Term (CAST) WP2 Annual Progress Report – Year 1 (D2.2).
- Miettinen, H., Vikman, M., & Itävaara, M. 2015. The sulfur cycling and sulfide formation in deep groundwater bedrock. EMBO Workshop on Microbial Sulfur Metabolism, Helsingör 12-15.4.2015. Posteresitys.
- Purkamo, L., Bomberg, M., Kietäväinen, R., Salavirta H., Nyyssönen, M., Nuppenen-Puputti, M., Ahonen L., Kukkonen I. & Itävaara M. 2016. Ancient ecosystems in crystalline bedrock fractures. Bulletin of the Geological Society of Finland, Special volume: Abstracts of the 32nd Nordic Geological Winter Meeting, 13- 15th January 2016, Helsinki, Finland, s. 200.

Rantala, J., Hänninen, H., Aromaa, J., Carpén, L., & Rajala, P. 2015. Ydinjätteen kuparivaippa: kestääkö, syökö korroosio, murtaako vety? ATS Ydintekniikka 4/2015.

Raunio, M., Rajala, P., & Carpén, L. 2015. Corrosion of stainless steel in low oxygen groundwater environment. 16th Nordic Corrosion Congress. 20-22nd May 2015, Stavanger, Norway

Räty, A. 2015. WPFC/AFCS Expert Group Benchmark on Dose Rate Calculations with Serpent, VTT Research Report VTT-R-05351-15.

Sirkkiä, J., Uotinen, L. & Rinne, M. 2015. Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet. KYT2018-seminaari, Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus Suomessa. Esitelmä.
http://kyt2018.vtt.fi/seminaari_03122015/Sirkia.pdf

Syrjämäki, E., Kojo, M. & Litmanen, T. 2015. Muuttunut hanke: Fennovoiman ydinvoimalahankkeen YVA-yleisötilaisuudet Pyhäjoella vuosina 2013-2014. YFI julkaisuja 2. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-6246-3>

Tsang, C.-F., Rosberg, J.-E., Ahonen, L. & Juhlin, C. 2016. Hydrogeological testing and sampling at the COSC-1 borehole. Bulletin of the Geological Society of Finland, Special volume: Abstracts of the 32nd Nordic Geological Winter Meeting, 13- 15th January 2016, Helsinki, Finland, s. 148.

Uotinen, L.K.T., Korpi, E., Hartikainen, A., Yorke, R., Antikainen, J., Johansson, F., & Rinne, M. 2015. A Method to Downscale Joint Surface Roughness and to Create Replica Series using 3D Printed Molds. In 13th ISRM International Congress of Rock Mechanics, Montréal, Quebec, Canada, 10-13 May 2015. International Society for Rock Mechanics. DOI: 10.13140/RG.2.1.4123.7848

Vehmas, T., 2015. Introduction to Geopolymers. Research Report VTT-R-04953-15, 21 p.

Vikman, M., Marjamaa, K., & Itävaara, M. 2016. Microbiological degradation of LLW under repository, Proceedings of MIND Project Annual Meeting, Granada, Spain, 3-4.5.2016.

Yagodzinsky, Y., Malitckii, E., & Hänninen, H. 2015. Hydrogen-induced strain localization in oxygen-free copper at the initial stage of plastic deformation. EUROMAT 2015, Warsaw, September 19.-24., 2015.

Opinnäytteet

Heikkinen, N. 2016. Kaasujen liukoisuus Outokummun syväkairareian suolaisessa pohjavedessä, Pro gradu – työ, Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos.

Honkaniemi, E.. 2015 Radionuklidien sorptio/desorptio bentoniittiin partikkelikoon mukaan. LuK-tutkielma, Helsingin yliopisto.

Iakovlev, D. 2015. Comparison of Barton-Bandis and Mohr-Coulomb models for use in discontinuity shear stability analysis. Vertailu Barton-Bandis- ja Mohr-Coulomb-mallien käytöstä rakostabiliteetin analyysiin. Diplomityö. 62 + 4 s. Aalto-yliopisto. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/18656>

- Kallio, P. 2015. Rakopinnan karkeuden mittaaminen fotogrammetrisesti. Kandidaatintyö, 31p. Aalto-yliopisto.
- Kääriäinen, T., 2015. Bentoniitin elastoplastisten ominaisuuksien määrittäminen, Pro gradu - työ, Jyväskylän yliopisto.
- Matara-aho, M. 2015. ¹³⁴Cesiumin konsentraatioisotermien määrittäminen kiteisen kiven päämineraaleille. Kandidaatintyö, Helsingin yliopisto.
- Muuri, E. 2015. The sorption and diffusion of ¹³³Ba in granitic rock. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, kemian laitos.
- Lämsä, J. 2015. Veden kulkeutumisen ja muodonmuutosten mittaaminen MX-80-tyyppisessä bentoniitissa röntgenmikrotomografisin menetelmin. Pro gradu-työ. Jyväskylän yliopisto.
- Lindroos, V. 2015. Corrosion of copper in synthetic oxygen-free ground water. Diplomityö, Aalto-yliopisto, Kemian tekniikan korkeakoulu. 73 s.
- Purkamo, L. 2015. Microbial ecology and functionality in deep Fennoscandian crystalline bedrock biosphere, Doctoral Thesis, VTT Science 116, 86 p. + app. 82 p.
- Sirkiä, J. 2015. Requirements for initial data in photogrammetric recording of rock joint surfaces. Vaatimukset lähtötiedoille kallion rakopintojen fotogrammetrisesta tallennusta varten. Diplomityö. 83+14 sivua. Aalto-Yliopisto.
- Tolvanen, L. 2015. Itsetiivistyvä betoninen jäljennysmateriaali rakopinnoille. Kandidaatintyö. 15 sivua. Aalto-yliopisto

Liite 3 KYT2018 organisaatio³ 2015
KYT2018 Johtoryhmä

Jäsen (varajäsen)	Organisaatio	Tehtävä
Jarkko Kyllönen (Kaisa-Leena Hutri)	STUK	pj.
Mikko Paunio (Jari Keinänen)	STM	
Miliza Malmelin (Magnus Nyström)	YM	
Sami Hautakangas (Kristiina Söderholm)	Fortum	
Marjut Vähänen (Lasse Koskinen)	Posiva	
Nina Paaso (Liisa Heikinheimo)	TVO	
Jaana Avolahti (Jorma Aurela)	TEM	varapj.
Mia Ylä-Mella (Hanna Virlander)	Fennovoima	asiantuntija

KYT2018 Tukiryhmä I: Puskuri, täyteaineet ja kapseli

Jäsen (varajäsen)	Organisaatio	Tehtävä
Marko Alenius	STUK	pj.
Rainer Laaksonen	STUK	varapj.
Jaakko Leino	STUK	
Ari Luukkonen	STUK	
Tuulikki Sillanpää	STUK	
Pasi Kelokaski	Fortum	
Seppo Kasa	Posiva	
Kari Koskinen	Posiva	
Tuire Haavisto (Maria Palomäki)	TVO	

KYT2018 Tukiryhmä II: Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot

Jäsen (varajäsen)	Organisaatio	Tehtävä
Kai Hämäläinen	STUK	
Arto Isolankila	STUK	
Petri Jussila	STUK	pj.
Jarmo Lehikoinen	STUK	
Paula Ruotsalainen	STUK	
Tapani Eurajoki (Karita Kajanto)	Fortum	
Anne Lehtinen	Posiva	
Marja Vuorio	Posiva	
Janne Vahero (Maria Palomäki)	TVO	

³ Henkilömuutokset ovat mahdollisia, tässä esitetyt listat perustuvat vuoden 2015 alun tilanteeseen.

KYT2018 Tukiryhmä III: Yhteiskunta ja ihminen

Jäsen	Organisaatio	Tehtävä
Jaana Avolahti	TEM	pj.
Juhani Tirkkonen	TEM	
Jarmo Lehtinen	STUK	
Timo Seppälä	Posiva	
Tiina Tigerstedt	Fennovoima	asiantuntija
Juha Poikola	TVO	
Miliza Malmelin	YM	
Anna-Maria Länsimies	Fortum	

Koordinaattori Kari Rasilainen (VTT) toimii johtoryhmän sihteerinä. Tarkempi kuvaus organisaation osien työnjaosta on toimintaohjeessa (<http://kyt2018.vtt.fi/>).

Liite 4 KYT2018 hankeseuranta 2015

KYT2018-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 2015 hankehaun yhteydessä. Käytännön seurantatyö tapahtuu muun muassa erityisissä seurantakokouksissa ja näitä kokouksia varten tukiryhmät I ja II ovat v. 2015 jakaneet rahoitusta saaneet tutkimushankkeet aihepiireittäin alla oleviin seurantaryhmiin.

Tukiryhmä I Puskuri, täyteaineet ja kapseli (Marko Alenius)

1. Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky

Koordinoitu hankekokonaisuus **THEBES** (hankekoordinaattori lihavoituna)

- THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers; **Wojciech Solowski, Aalto**
- THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers; Veli-Matti Pulkkanen, VTT
- THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers), X-ray tomography and modelling; Markku Kataja, JYFL
- THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers; Kai Hiltunen, Numerola

Muut hankkeet

- Bentonitiin eroosio ja radionuklidien vuorovaikutus; Pirkko Hölttä, HYRL
- Bentonite swelling pressure; Tapani Pakkanen, UEF

2. Kapselin toimintakyky

Koordinoitu hanke **KAPSELI** (hankekoordinaattori lihavoituna)

- Experimentally verified model based predictions for the integrity of the copper overpack (PRECO); **Juhani Rantala, VTT**
- Kuparikapselin mekaaninen lujuus (MECHACOP); Hannu Hänninen, Aalto
- Reaktiotuotteiden vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen olosuhteissa (REPCOR); Jari Aromaa, Aalto
- Mikrobiologisen toiminnan vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen hapettomissa olosuhteissa (BASUCA); Leena Carpén, VTT
- Loppusijoituksen aerobisen vaiheen mikrobiologinen korroosio (MICOR); Pauliina Rajala, VTT

3. Kallioperä

- KARMO II – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet, Mikael Rinne, Aalto
- ROSA: Rakosimulaattori, joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus- ja suuntajakaumia; Eevaliisa Laine, GTK

4. Matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoitus

- Applicability of Geopolymers in Nuclear Waste Management (GeoP-NWM); Eila Lehmus, VTT

Tukiryhmä II Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot (Petri Jussila)

5. Turvallisuusperustelu

Koordinoitu hankekokonaisuus **TURMET** (hankekoordinaattori lihavoituna)

- **TURMET** - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi osa 1; **Suvi Karvonen, VTT**
- Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi (TURMET) osa 2; Ahti Salo, Aalto

6. Nuklidikulkeutuminen

- Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset; Marja Siitari-Kauppi, HYRL
- C-14 vapautuminen metallijätteestä; Kaija Ollila, VTT
- Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann menetelmällä; Jussi Timonen, JYFL
- Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä; Jukka Lehto, HYRL

7. Mikrobiologian vaikutukset

Koordinoitu hanke **MILORI** (hankekoordinaattori lihavoituna)

- Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksen mikrobiologia (MAKERI); **Minna Vikman, VTT**
- Matala- ja keskiaktiivisen metallijätteen mikrobiologinen korroosio (CORLINE); Leena Carpen, VTT
- Mikrobiyhteisöjen rikkimetabolia loppusijoitusolosuhteissa (GEOBIOKIERTO); Hanna Miettinen, VTT

Muut hankkeet

- Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS); Lasse Ahonen, GTK

8. Biosfääri

- Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemissä; Jukka Juutilainen, UEF
- Biosfäärimallinnuksen vaihtoehtoiset menetelmät ja niiden arviointi (VABIA); Tarmo Lipping, TTY

9. Ydinjätehuollon teknologiat

- Kehittyneet polttoainekierrot - Uudet säädettävät erotusmateriaalit (SERMAT); Risto Koivula, HYRL
- Kehittyneet polttoainekierrot – Skenaario- ja inventaarilaskenta; Tuomas Viitanen, VTT

Tukiryhmä III Yhteiskunta ja ihminen (Jaana Avolahti)

10. Yhteiskuntatiede

- Governing Safety in Finnish and Swedish Nuclear Waste Regimes (SAFER); Matti Kojo TY