

KYT2014

KANSALLINEN YDINJÄTEHUOLLON
TUTKIMUSOHJELMA
2011-2014

Vuosisuunnitelma
2013

Kari Rasilainen

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
1. Johdanto	4
2. Tutkimusohjelman tavoitteet	5
3. Tutkimushankkeet vuonna 2013	6
3.1 Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat	8
3.2 Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus	9
3.2.1 Turvallisuusperustelu	9
3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky	10
3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys	10
3.2.4 Muut turvallisuustutkimukset	12
3.3 Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus	16
Viitteet	17
Liite 1 KYT2014 hankekohtaiset tutkimusyhteenvedot 2013	18
Liite 2 KYT2014 organisaatio 2013	52
Liite 3 KYT2014 hankeseuranta 2013	54

ESIPUHE

Tämä on Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT2014) sisällöllinen vuosisuunnitelma vuodelle 2013. Vuosisuunnitelmassa kuvataan tutkimusohjelman sisältöä hanke-esityksissä esitettyjen suunnitelmien perusteella.

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

Tutkimussuunnitelma on tutkimusohjelman koordinaattorin kokoama, mutta siten, että Liitteen 1 hankekohtaiset tutkimusyhteenvedot ovat yksittäisten tutkimushankkeiden vastuuhenkilöiden laatimia.

1 Johdanto

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

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

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

Tutkimusohjelmakauteen ajoittuu myös useita muita ydinjätehuoltoon suoraan ja välillisesti liittyviä päätöksentekomenettelyjä. Ohjelmakauden aikana on ollut tarkoitus ottaa nyt rakenteilla oleva ydinvoimalaitosyksikkö (Olkiluoto 3) käyttöön, mutta rakentamisaikataulu venyy ohjelmakauden yli. Ohjelmakauden aikana on tarkoitus käsitellä uusien ydinvoimalaitosten (Olkiluoto 4, Fennovoima 1) rakentamislupahakemukset. Otaniemen tutkimusreaktorin (FiR1) käyttöluupa uusittiin v. 2011 vuoden 2023 loppuun asti. VTT päätti 2012 sulkea tutkimusreaktorin ja sen seurauksena käynnistetään reaktorin käytöstäpoistospelvitykset. VTT on käynnistämässä uusien ydintekniikan tilojen ja niihin liittyvien laitteistojen rakentamista Otaniemeen. Uudet tilat edistävät myös ydinjätehuollon ja radiokemian tutkimuksia.

Ruotsissa saatetaan loppuun käytetyn ydinpolttoaineen kapselointilaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittely. Hakemus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilojen rakentamislupaa varten jätettiin viranomaisille vuoden 2011 maaliskuussa. USA:ssa nk. Blue Ribbon -komitea on raportoinut (BRC 2012) vaihtoehtoja Yucca Mountainiin kaavaillulle geologiselle loppusijoitukselle, josta luovuttiin v. 2010 poliittisella päätöksellä. Blue Ribbon –komitean työn pohjalta on USA:ssa 2013 muotoiltu päivitetty ydinjätehuollon strategia (DOE 2013).

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

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

2. Tutkimusohjelman tavoitteet

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

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

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

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

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

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

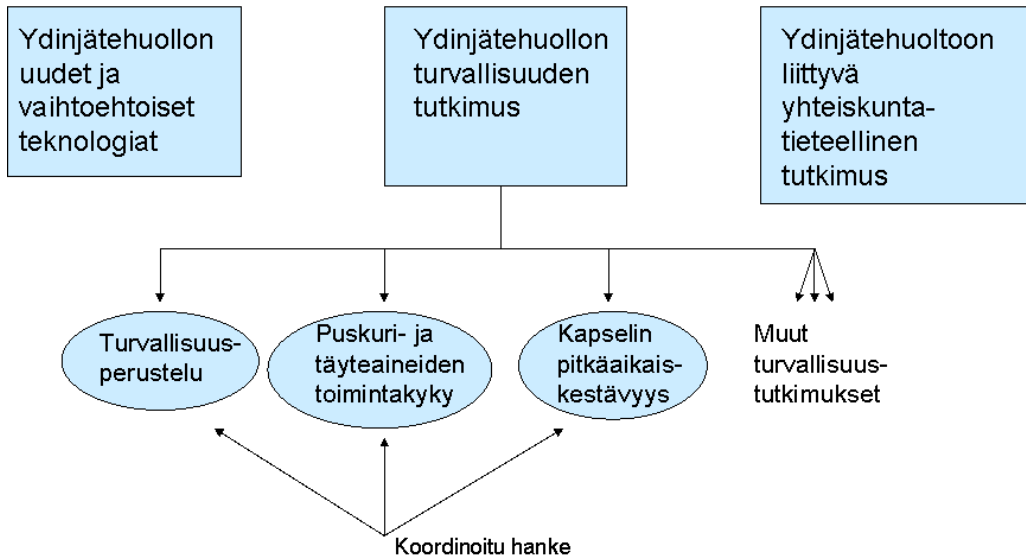
KYT2014-ohjelma pyrkii osaltaan varmistamaan olennaisen kansallisen asiantuntemuksen jatkuvan saatavuuden, edistämään tieteellistä ja korkeatasoista osaamista sekä lisäämään yleistä tietämystä ydinjätehuollon alalla. Tämä toteutuu mm. edistämällä uuden asiantuntijapolven kouluttamista alalle. KYT2014-ohjelma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

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

Vuonna 2013 ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksissa on pyritty laajoihin useampivuotisiin koordinoituihin hankkeisiin turvallisuusperusteluissa, puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyssä sekä kapselin pitkäaikaiskestävyydessä. Lisäksi kannustettiin arvioimaan poikkitieteellisesti loppusijoitustilan vapautumisesteiden vuorovaikutuksen vaikutusta pitkäaikaisturvallisuuteen. Tuotiin esille, että käytetyn

polttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittelyn alkaminen tarjoaa mahdollisuuksia ajankohtaiselle yhteiskuntatieteelliselle tutkimukselle.

Kuvassa 1 on esitetty KYT2014-ohjelman tutkimusaihepiirit.



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

3. Tutkimushankkeet vuonna 2013

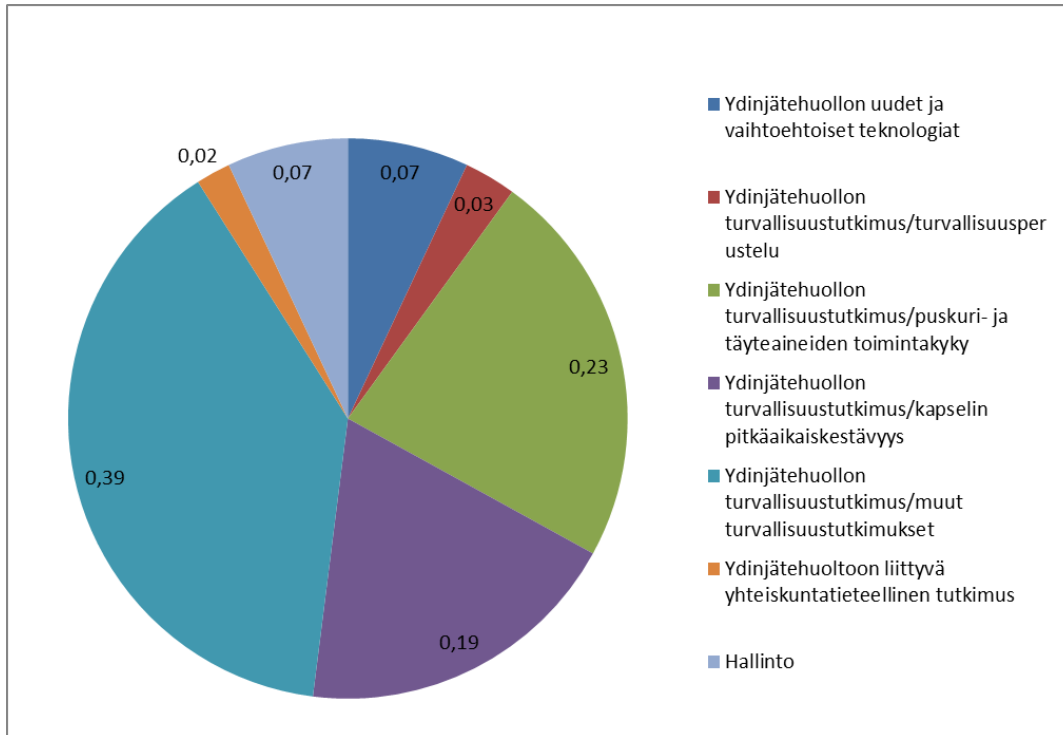
Vuoden 2013 hankehakuun lähetettiin yhteensä 38 hanke-esitystä ja yhteenlaskettuna VYR-rahoitusta haettiin 2,7 M€ Hanke-esitykset arvioitiin sisällöllisesti tukiryhmissä ja arvioinnissa kiinnitettiin huomiota seuraaviin kriteereihin, jotka myös ilmoitettiin jo hankehaun kutsukirjeessä:

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

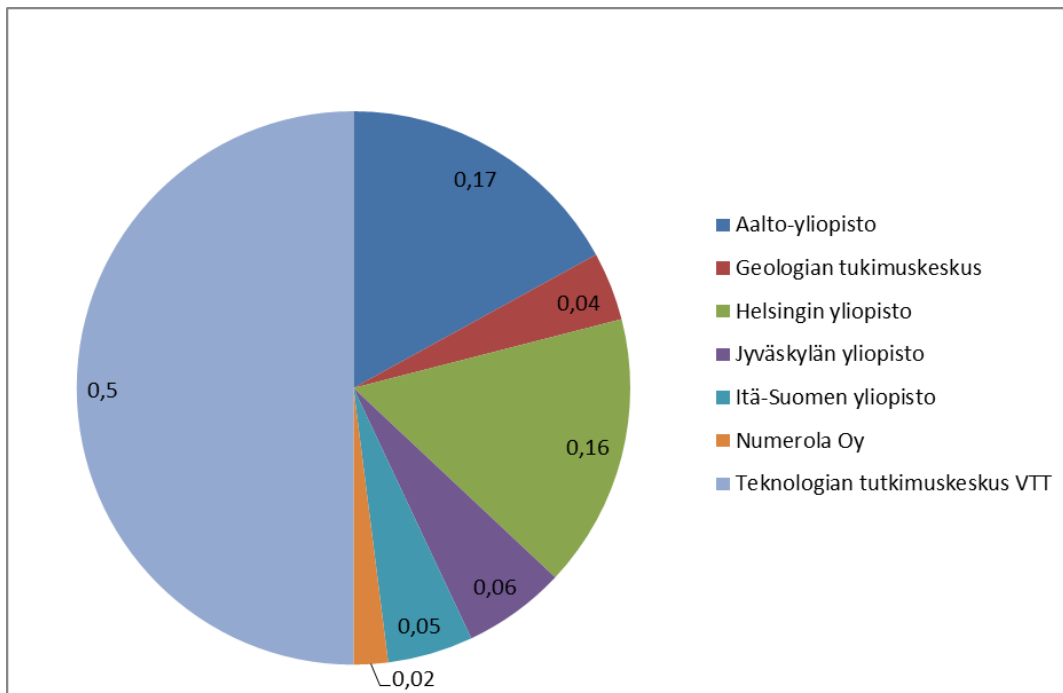
Tutkimusohjelman johtoryhmä laati tukiryhmien hankearvioiden pohjalta rahoitusesityksen ja kokosi tukiryhmien työn pohjalta hanke-esityksille sisällöllisen palautteen. Hankekohtaiset palautteet saatiin hanke-esitysten tekijöiden tietoon. Useimpia rahoitettuja hankkeita jouduttiin leikkaamaan, koska hanke-esitysten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

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) teki johtoryhmän esityksen pohjalta rahoitusesityksen, johon pyysi lausunnon STUKilta. Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) teki lopullisen rahoituspäätöksen 12.3.2013. Vuonna 2013 KYT2014-ohjelmassa hankekokonaisuudelle myönnetty rahoitus on n. 1,8 M€ Kaikkiaan tutkimusohjelmassa myönnettiin VYR-rahoitusta 32 tutkimushankkeelle ja hallintohankkeelle. Mainituista tutkimushankkeista kolme toimii VTT:n koordinoitun hankkeen LS-TUPER alihankkijoina (alkuperäisissä hanke-esityksissä ne olivat itsenäisinä osahankkeina). VYR-rahoituksen jakautuminen eri aihepiireihin on esitetty Kuvassa 2 ja eri tutkimuslaitoksille Kuvassa 3.

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



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



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

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

Seuraavassa esitellään lyhyt yhteenveto vuoden 2013 hankekokonaisuuden sisällöstä. Hankekohtaiset kuvaukset ovat peräisin hanke-esityksistä. Liitteessä 1 on esitetty yksityiskohtaisemmat hankekohtaiset tutkimusyhteenvedot. Liitteessä 2 on kuvattu tutkimusohjelman organisaatio ja Liitteessä 3 tutkimushankkeiden seuranta vuonna 2013.

Vuonna 2013 hankekokonaisuus koostuu etupäässä ydinjätehuollon teknologioita ja turvallisuutta käsittelevistä tutkimushankkeista. Yhteiskuntatieteellisiä tutkimushankkeita on mukana yksi.

3.1 Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat

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

Taulukko 1. Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat.

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

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

Kehittyneet polttoainekierron - Uudet erotustekniikat

Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle erikoisalana epäorgaaniset ioninvaihtomateriaalit. Tohtorikoulutukseen liittyvän tutkimustyön tavoitteena on uusien nanohuokoisien metallioksidioninvaihtimien tutkimus ja kehittäminen aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta tai uusien nesteuuttomenetelmien synnyttämistä sekundäärijäteliuoksista. Lisäksi tavoitteena on kehittyneiden polttoainekiertojen kansainvälisen tutkimuksen seuranta ja tiedonvälitys koskien uusia erikoistekniikoita. Hanke toteutetaan rinnakkaishankkeena VTT:n kanssa.

Kehittyneet polttoainekierron - Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi

Hankkeen tavoitteena on sellaisen osaamisen ja laskentaympäristön hankkiminen, jolla voidaan tehokkaasti mallintaa erilaisia polttoainekierron ratkaisuja tähtäimenä ydinjätteen määrän ja aktiivisuuden huomattava vähentäminen. Pitkän aikavälin tavoitteena on päästä mukaan EU:n rahoittamaan tutkimusyhteistyöhön. Hankkeessa kehitetään transmutaatiolaitosten laskentakykyä ja ydinpolttoainekiertojen analysointivalmiutta Suomessa. Tämä toteutetaan eri tarkoituksiin soveltuvien reaktorifysiikan mallintamisohjelmien (MCNP, Serpent, ERANOS ja CASMO-SIMULATE) sekä CEA:n kehittämän polttoainekiertoanalysointiohjelman COSI6 avulla. Lisäksi seurataan alan kansainvälistä kehitystä ja tutkimusta. Ohjelmavalikoimalla kyetään analysoimaan sekä alikriittisiä että kriittisiä nopeita ja termisiä reaktoreita, arvioimaan transmutaatiolaitosten tehokkuutta ja simuloimaan polttoainekiertojen materiaalivirtoja. Lisäksi pystytään mm. arvioimaan, miten nopeasti uudenlaisia ratkaisuja tarvitaan, jos ydinenergian käyttö kasvaa nopeasti. Tuloksia voidaan hyödyntää kehitettäessä tekniikoita, joiden avulla ydinjätteen pitkäikäisten isotooppien määrää ja siten myös loppusijoituksen vaatimaa aikaa lyhennetään merkittävästi. Lyhyelläkin aikavälillä projekti lisää suomalaista ydinenergiaosaamista, ja sen puitteissa koulutetaan nuoria tutkijoita alalle.

Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA)

Hankkeessa lasketaan tapauskohtaiset arviot ydinjätteen hävittämisestä lyijyjäähdytteisessä kiihdytinpohjaisessa reaktorissa. Hankkeen tavoitteena on transmutaatiotekniikoiden kriittinen arviointi sekä kehittää reaktorianalyysimenetelmiä ja niiden tarkkuutta suuren palaman polttoaineiden nuklidikonsentraatioiden laskemiseksi. Tarkka hajoamasketjujen kuvaaminen on edellytys harvinaisten, mutta mahdollisesti merkityksellisten nuklidien löytämiseksi. Hanke toteutetaan FLUKA Monte Carlo koodilla käyttämällä Myrrha-kooreaktorin geometriaa ja laskemalla käytetty suuripalamainen polttoaine CASMO-koodilla ja/tai Serpentiin sovelletulla tarkalla nuklidimäärityksellä. Laskenta suoritetaan useassa polttoaine- ja transmutaatiokonfiguraatiossa sisältäen kriittisen ja alikriittisen latauksen. Tuloksena saadaan omakohtainen arvio transmutaatiomenetelmän käyttökelpoisuudesta ja näin voidaan realistisesti verrata hankalimpien ydinjätenuklidien hävittämismahdollisuutta. Hanke myös selvittää suuren palaman aiheuttamaa problematiikkaa

3.2 Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus

3.2.1 Turvallisuusperustelu

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

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

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

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

* VTT:n hankkeen alihankkija

Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)

Koordinoitussa hankkeessa VTT:n, HYRL:n, GTK:n ja Tmi Pawel Simbierowiczin kesken jatketaan vuonna 2011-12 aloitettua työtä, joka tähtää kokonaisvaltaisen turvallisuusperustelun laatimiseen KBS-3-tyyppiselle loppusijoitusratkaisulle omakohtaisen työn kautta. Hankkeessa opitaan tuntemaan turvallisuusperustelun skenaarioihin perustuva ajattelutapa ja skenaarioiden koostaminen, tiedon hankinnan ja yleistämisen menetelmät, vaihtoehtoisten käsitteellisten mallien ja tulkintojen muodostaminen, analyysien käytännön suorittaminen erilaisilla laskentamalleilla sekä tulosten luotettavuuden ja epävarmuuksien arviointimenetelmät. Hanke tuottaa Suomeen uusia asiantuntijoita turvallisuusperustelun laatimis- ja arviointityön tarpeisiin sekä kehittää uusia tarkastelutapoja. Tulokset selkiyttävät turvallisuusperustelun käsitettä aiempaa laajemmille piireille. Lisäksi helppokäyttöisen laskennallisen turvallisuusanalyysimallin kehittämisen kautta analyysivalmiudet tulevat entistä helpommin kaikkien ulottuville. Vuoden 2013 ohjelma toteutetaan supistettuna. Viimeinen osahanke, Radionuklidien kulkeutumis malli adaptiivisella puumoniverkkomenetelmällä, on LS-TUPER-hankkeessa

(ja myös KYT2014-ohjelmassa) uusi hanke, joka korvaa koordinoitun hankkeen aiemman kulkeutumismallin kehittämishankkeen.

3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky –aihepiiri koostuu seitsemästä hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitun hankkeen (Taulukko 3). Tässä koordinoitussa hankkeessa tutkimusryhmä on laatinut yhteisen työsuunnitelman, kokonaisbudjetin ja tutkimusyhteenvedon. Jokainen osahanke on kuitenkin jättänyt itsenäisen hanke-esityksen. Koordinoitu hanke käynnistyi v. 2011.

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

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

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

Bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi (BOA)

Suomessa on selkeä kansallinen tarve bentoniitin käyttäytymisen entistä parempaan ymmärtämiseen loppusijoitus-olosuhteissa. Prosessi- ja mikrorakenneosaaminen luo tieteellisesti perustellun pohjan tutkia kvantitatiivisesti turvallisuuden kannalta keskeisinä pidettyjä selvityskohteita (esim. eroosioilmiöt tai montmorilloniitin muuntuminen). BOA-hankkeen konsortio-osapuolet (VTT, GTK, Jyväskylän, Helsingin ja Aalto yliopistot, ja Numerola Oy) muodostavat bentoniittitutkimuksen osaamiskeskuksen, jolla on pitkäaikaista kokemusta bentoniitista, käytössään monipuoliset menetelmät vaatimaan kokeelliseen tutkimukseen, ja kyky mallintaa vaadittavia kytkettyjä ja monimutkaisia ongelmia. KBS-3-konseptin puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyn luotettava arviointi ratkaisee pitkälti koko turvallisuusperustelun luotettavuuden, jota varten viranomaisten käytettävissä on oltava korkeatasoista osaamista näiden aineiden toiminta-kyvystä ja sen vaikutuksesta pitkäaikaisturvallisuuteen.

3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys

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

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

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

VTT=Teknologia­n tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Seuraavassa esitetään koordinoitu hanke L-TICO osahankkeittain.

Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)

Tavoitteena on kapselikuparin pitkäaikaiskestävyyden määrittäminen ja eliniän ennustaminen. Painopiste on kapselin virumisanalyysissä ja hitsatun OFP-kuparin pitkäaikaiskokeissa, joita täydennetään kokeilla eri lämpötiloissa. Erityisesti selvitetään moniaksiaalisuuden vaikutus elinikään; ilmiön vaikutuksesta ei ole yksimielisyyttä. Kapselin virumisanalyysia kehitetään edelleen keskittyen hitsisauman ympäristöön. Keskeisinä koemenetelminä ovat moniaksiaaliko­keet CT-sauvoilla ja lovetuilla yksiaksiaalisilla koesauvoilla. Vertailumateriaalina on hapeton puhdas kupari (OFHC), jota käytetään vertailuun suhteellisen hauraan raerajamurtuman (teoreettisen ääritilan) suhteen. Hanke toteutetaan yhteistyönä VTT:n ja Aalto-yliopiston kesken KYT- ohjelman ja SSM:n tuella. Tuloksena saadaan realistinen elinikäennuste, joka perustuu pitkäaikaisimpaan käytettävissä olevaan koetulos­pohjaan ja uusimpiin materiaali- ja mekanismimalleihin kuormitus- ja olosuhdeyhdistelmillä, joilla saadaan lyhin realistinen kuparivaipan elinikäennuste. Tuloksia hyödynnetään kuparivaipan suojaus­kykyyn liittyvässä viranomaisten päätöksenteossa.

Kuparisen ydinjäte­kapselin mekaaniset ominaisuudet

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparikapselin eri osien (perusmateriaalit ja hitsit) mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää makroskooppinen ja mikroskooppinen plastinen deformaatio sen epähomogeenisissä rakenteissa. Tuntamalla kuparikapselin eri osien deformaatiomekanismit voidaan ennustaa kapselin deformaatio ja mahdollinen säröily pitkäaikaisessa käytössä ja mallintaa sen käyttäytyminen luotettavasti. Tutkimuksessa selvitetään myös vedyn absorptiota ja sen vaikutusta kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin. Tuloksena saadaan selville kuparikapselin epä­jatkuvuuskohtien (viat ja geometriset epäjatkuvuudet) ja epähomogeenisen mikrorakenteen (rae- ja muokkaus­rakenne) vaikutukset deformaation paikallistumiseen ja säröilyyn. Tuloksia voidaan hyödyntää meneillään olevassa virumis- ja jännityskorroosiotutkimuksessa. Tutkimus on erittäin tärkeä kapselin valmistuksessa sen laadulle asetettavien vaatimusten määrittelyssä, epäjatkuvuuskohtien kriittisyyden arvioinnissa (sallitut poikkeamat ja vikakoot sekä niiden hyväksymiskriteerit), ja erityisesti kapselin ja koko loppusijoituksen turvallisuus­analyysissä.

Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen (CUHA)

Edeltävässä projektissa 2009-2010 todettiin uusi kuparin mahdolliseen haurastumiseen/jännityskorroosioon johtava mekanismi, jonka aiheuttaa rikin diffuusio pohjavedestä kuparin sisään raerajoja pitkin. Hankkeen tavoitteena on määrittää kuparin sisään diffundoituvan rikin määrän riippuvuus pohjaveden sulfidipitoisuudesta, ajasta ja kuparin jännitystilasta, sekä mikä vaikutus raerajoille keskittyvällä rikillä on kuparin mekaaniseen kestävyys­teen. Hanke toteutetaan hyödyntäen

edeltäneessä projektissa rakennettua kokeellista valmiutta. Tuloksena saadaan kokeellisesti varmistettu perusta uuden kuparin haurastumismekanismien aiheuttaman riskin arvioimiseen. Tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa pohjaveden sulfidien ja sulfideja pelkistävien mikrobien toiminnan vaikutusta kuparikapselien pitkäaikaiskestävyyteen.

Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kuparikapselin eri korroosimuotoihin (MICCU)

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

Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosioikäytymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa. Tutkimuksia tehdään laboratoriossa koeolosuhteissa, jotka vastaavat mahdollisimman tarkasti loppusijoitusolosuhteita sekä myös kenttäolosuhteissa. Tuloksia hyödynnetään kuparin pitkäaikaiskestävyys-painoalueella arvioitaessa korroosionopeuksia ja korroosiovaikutusten arvioimiseksi tehtyjen mallien oikeellisuutta. Hankkeessa otetaan käyttöön online-mittausmenetelmä kuparin korroosion tutkimiseksi ja uusia, entistä tarkempia molekyylibiologisia mikrobimääritysmenetelmiä. Näitä menetelmiä voidaan soveltaa ja hyödyntää laajasti erilaisissa sovellutusympäristöissä. Hankkeessa koulutetaan osaajaa/osaajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle.

Kuparin korroosio hapettomassa vedessä

V. 2011-2012 on kokeissa, joissa kupari on ollut ultrapuhtaassa vedessä, havaittu osassa kokeita pieniä määriä vetyä, mutta osassa ei. Tämän jatkohankkeen tavoite varmistaa, missä olosuhteissa kuparin korroosioreaktioissa hapettomassa vedessä kehittyä vetyä. Hanke toteutetaan pääosin samalla konsortiolla kuin vuosina 2009-2012 siten, että Aalto-yliopisto ja VTT toteuttavat tutkimuksensa pääosin KYT-rahoituksella ja Studsvik Nuclear AB itse hankkimallaan rahoituksella. 2013 kokeita tehdään simuloidussa pohjavedessä sekä puhtaassa vedessä. Koekenno on tehty kuparista, jotta voidaan estää ruostumattoman teräksen mahdolliset vetyä tuottavat reaktiot. Kuparikennossa mitataan on-line-mittauksena liuoksen redox-potentiaali ja kuparin korroosio potentiaali, joilla saadaan lisätietoa vedyn muodostumisen termodynaamisista tekijöistä. Tutkimuksessa arvioidaan, loppusijoituksessa syntyvän vedyn vaikutus kuparikapselin korroosionkestoon ja vedyn mahdollisesti aiheuttamat riskit.

3.2.4 Muut turvallisuustutkimukset

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

Taulukko 5. Muut turvallisuustutkimukset.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen	Mikko Voutilainen, JYFL
C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)	Kaija Ollila, VTT
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä	Jukka Lehto, HYRL
Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (GEOMIKRO)	Merja Itävaara, VTT
Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)	Lasse Ahonen, GTK
Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)	Juho Rousu, Aalto

Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa	Leena Carpén, VTT
Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa	Merja Itävaara, VTT
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 1	Jari Puttonen, Aalto
Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojekti 2	Eila Lehmus, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa	Jukka Juutilainen, UEF

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

Kallion in situ tutkimukset

Hankkeen tavoitteena on kehittää menetelmiä alkuaineiden ja radionuklidien kulkeutumisen tutkimiseen kallion in situ olosuhteissa. Aineiden matriisidiffuusio vettä johtavasta raosta, kloorin anionieksklusio ja redoxherkkien radioaktiivisten aineiden kemiallinen olomuoto ovat ne kysymykset, joihin vastaaminen on tämän hankkeen päätavoite. Työssä selvitetään vaikuttavatko kemiallisten ja/tai fysikaalisten olosuhteiden muutokset in situ ja laboratoriokokeiden välillä niihin parametreihin, joita käytämme arvioitaessa aineiden kulkeutumista kalliiossa. Hanke toteutetaan osana kansainvälistä tutkimusohjelmaa Grimselin vuorilaboratoriossa Sveitsissä. Vuoden 2013 tutkimukset painottuvat seleenin kemiallisten olomuotojen tutkimiseen, sen pidättymiseen ja kulkeutumiseen Grimselin kivessä tukena syyskuussa 2012 aloitetulle in situ kokeelle, jossa merkkiaineet ovat HTO, Cl-36, Se-79, Ba-133, Cs-134, Na-22. Projektissa kehitettävät menetelmät ja tietotaito ovat siirrettävissä eri loppusijoituspaikoille. Tuloksena saamme turvallisuus-relevanttia tietoa aineiden kulkeutumisesta ja vuorovaikutuksesta saturoidussa kalliiossa. Tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia. Päämääränä on kouluttaa uusia ydinjätehuollon asiantuntijoita, jotka kansainvälisessä verkostossa toimiessaan saavat opetusta eri tieteenaloilta.

Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen

Hanke on uusi KYT2014 ohjelmassa, mutta se jatkaa JYFLin aiemman samaa aihepiiriä tutkineen hankkeen työtä. Hankkeen tavoitteena on mallintaa tiukan kiven huokosrakennetta hyödyntäen nanotomografialla, elektronimikroskopiolla ja 14CPMMA -menetelmällä saatavaa informaatiota. Lisäksi tavoitteena on hyödyntää saatua informaatiota simuloitaessa diffuusiota hila-Boltzmann-menetelmällä, johon on implementoitu kemiallisia ja fysikaalisia vuorovaikutuksia. Tutkimus tehdään Grimselin vuorilaboratoriosta ja Olkiluodosta saatavilla näytteillä. Hanke on tehdään tiiviissä yhteistyössä HYRL:n kanssa, ja se toteutetaan kaksivuotisena projektina Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella. Yhteistyössä ovat lisäksi mukana GTK ja Grimselin vuorilaboratorio. Hankkeen tuloksena saadaan ensiarvoisen tärkeää tietoa kiven huokosrakenteesta ja radionuklidien kulkeutumisesta maaperässä. Lisäksi kehitettävillä työkaluilla pystytään arvioimaan ja tulkitsemaan meneillään olevien in situ -kokeiden tuloksia. Hankkeesta saatava tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia ja ydinjätetoimijoiden tekemää turvallisuusanalyysiä.

C-14 vapautuminen loppusijoituksessa

Hankkeen tavoitteena on selvittää voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen aktiivisissa metallikomponenteissa olevan C-14 isotoopin vapautumista pohjaveteen loppusijoitustilaolosuhteissa, veteen syntyviä liuenneita ja kaasumaisia hiilen kemiallisia olomuotoja, erityisesti niiden jakautumista orgaanisiin ja epäorgaanisiin muotoihin. Hanke suunniteltiin alun perin toteutettavaksi kolmivuotisena projektina. Vuonna 2013 tehdään vielä kokeita säteilyttämättömällä teräksellä ja rautakarbidiilla.

Säteilytetyn teräksen kokeet aloitetaan vuonna 2014. Tehdään kirjallisuustutkimus 'C-14 kulkeutuminen ja spesiaatio loppusijoitusolosuhteissa'. Sen erityistavoitteena on perehdyttää nuori tutkija aihepiiriin. Hankkeeseen liittyen on tekeillä EU-projekti ehdotus, CAST (CARbon-14 Source Term). EU-hankeehdotuksessa VYR on kotimainen rahoittaja VTT:n lisäksi. EU-hankeehdotuksessa VYR:in rahoitusosuus/v olisi puolet tässä KYT-hankeehdotuksessa olevasta VYR:in kokonaisrahoitusosuudesta. Loppuosa olisi kansallista projektia. Tutkimus tähtää C-14 vapautumisen realistisempaan mallintamiseen loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa. Tuloksia voidaan hyödyntää myös KYT2014-ohjelmaan ehdotetussa 'Loppusijoituksen turvallisuusperustelu' hankkeessa.

Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä

Hanke on uusi KYT2014-ohjelmassa. Hankkeessa tutkitaan radiohiilen, joka liikkuvuutensa ja mahdollisen ihmisille aiheutuvan säteilyannoksen kannalta kuuluu tärkeimpään prioriteetti-alueeseen, kemiallisia muotoja ja pidättymistä kallioperän mineraalien pinnoille. Tutkimusaihe on Suomessa uusi ja myös muualla maailmassa aihetta on tutkittu hyvin vähän. Hanke on neljävuotinen, kestää vuodet 2013-2016 ja päättyy tohtorin väitöskirjaan. Vuonna 2013 jatketaan tänä vuonna pro gradu -työnä aloitettua karbonaattimuotoisen radiohiilen isotooppisen vaihdon tutkimusta kalsiittimineraaliin, joka on yleinen kallioperän rakomineraali. Samoin ensi vuonna hankitaan kokeellinen valmius ja tietous radiohiilen kemiallisten muotojen (metaani, korkeammat hiilivedyt, bikarbonaatti, hiilidioksidi) ja niiden muutosten määrittämiseen loppusijoituksen kannalta relevanteissa olosuhteissa. Hankkeessa tuotetaan tärkeää tietoa ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin, erityisesti turvallisuusperusteluun. Käyttäjinä ovat ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuutta valvovat viranomaiset, loppusijoituksesta vastaavat organisaatiot Suomessa ja muualla maailmassa sekä tiedeyhteisö. Hankkeen välittöminä tuotteina ovat tieteelliset julkaisut korkeatasoisissa kansavälisissä aikakauslehdissä, konferenssipaperit, väitöskirja ja muutama pro gradu -työ. Hankkeessa tuotetaan siten ydinjätealalle yksi uusi tohtoritason asiantuntija.

Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus (GEOMIKRO)

Hankkeen tavoitteena on tuottaa tietoa syvien kalliopohjavesien mikrobilajistoista ja niiden toiminnasta. Toisaalta tavoitteena on tuottaa sellaista tietoa, jota voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyysien tukena. Tuloksena saadaan tietoa syvien kalliopohjavesien mikrobiyhteisöistä ja niiden toiminnasta sekä merkittävistä korroosioriskeistä kuten anaerobisen metaanin hapettumisen esiintymisestä pohjavesiolosuhteissa, sekä sulfaattia pelkistävistä mikrobeista ja kineettisen sulfaatin pelkistymisen toimivuudesta pohjavesien sulfaatin pelkistyspotentiaalın arvioinnissa. Lisäksi tietoa saadaan syvien biosfäärien mikrobilajistoista ja niiden toiminnasta ja aineenvaihduntareiteistä. Hanke toteutetaan yhteistyössä GTK:n SALAMI ja Aalto-yliopiston GEOBIOINFO projektin kanssa. Tuloksia voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyysiin. Tutkimusmenetelmät antavat uudenlaisia näkökulmia mikrobiologisiin analyysiin. Projekti liittyy myös BOA-tutkimuskonsortion hankkeeseen Mikrobit bentoniitissa ja Leena Carpenin johtamaan projektiin Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa.

Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)

GTK:n SALAMI hanke 2011-2014 tutkii suolaisten kalliopohjavesien, kaasujen ja mikrobien välisiä yhteyksiä, jotka vaikuttavat loppusijoitussysteemin lähialueen (erit. bentoniitti ja kapseli) toimintaan ja pysyvyyteen. Hanke on kiinteässä yhteistyössä mikrobiologista tutkimusta ja bioinformatiikkaa tekevien VTT:n GEOMIKRO-hankkeen ja Aalto-yliopiston GEOBIOINFO-hankkeen kanssa. GFZ-Potsdamin (Saksa) kanssa tehdään yhteistyötä erityisesti jalokaasujen tutkimuksessa. Hankkeiden yhteisenä tavoitteena on selvittää syvän biosfäärin makroskooppisesti ja mikrobiologisesti havaittavat biogeokemialliset prosessit. SALAMI:ssa keskitytään fluidien ja kaasujen kemiallisen ja isotooppikoostumuksen tutkimukseen. Outokummun syväreikää käytetään tutkimuskohteena,

loppusijoituspaikan analogiana ja syvälaboratoriona. Suolaisten fluidien viipymäaikojen tutkimusta tehdään jalokaasujen avulla. Mikrobin in situ -viljelyyn kehitetään biofilmiansoja, joiden avulla simuloidaan loppusijoituksen kaltaisia olosuhteita yhteistyössä muiden KYT2014-hankkeiden kanssa. Kallioperän biosfäärin diversiteetin kartoitus aloitetaan käyttäen loppusijoituksen entisten ehdokaspaikkojen syviä kairareikiä. Syvän biosfäärin energiataarkasteluissa tutkitaan radiolyyttisen vedyn roolia energialähteenä. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa, loppusijoituksen puskuri- ja täyteaineiden käyttäytymisen mallintamisessa, ja kapselien pitkäaikaiskestävyyteen ja korroosioon liittyvien prosessien tutkimuksessa. Tutkimus tuottaa myös tietoa, jota voidaan soveltaa selvitetessä syvien reikien käyttöä loppusijoitukseen.

Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)

GEOBIOINFO-hanke kehittää ja soveltaa bioinformatiikan menetelmiä ja työkaluja kallioperän mikrobiyhteisöjen toiminnan ymmärtämiseksi. Hankkeessa rekonstruoidaan syväreikänäytteistä saadun mikrobiyhteisön genomien perusteella mikrobiyhteisön aineenvaihduntaverkkoja ja analysoidaan aineenvaihduntareittien aktiivisuutta hyödyntäen geokemiallista dataa. Bioinformatiikan menetelmät ovat välttämättömiä aineiston massiivisuuden ja aineenvaihduntaverkostojen monimutkaisuuden vuoksi. Tutkimus tuottaa uusia bioinformatiikan työkaluja, joilla voidaan tutkia kalliopohjavesien mikrobitoiminnan vaikutuksia ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyysien tarpeisiin. Hankkeen koulutuksellisenä tavoitteena on synnyttää uutta asiantuntemusta metagenomiyhteisöjen aineenvaihdunnan mallinnusmenetelmien kehittämiseen ja niiden soveltamiseen

Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa (REMIC)

Hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmien muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujättemateriaalit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa. Tutkimukset suoritetaan sekä projektin aikana luotavassa koeympäristössä laboratoriossa että loppusijoitusalueella tehtävillä kenttäkokeilla. Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa purkujättemetallien mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Hankkeessa otetaan käyttöön uusia sähkökemiallisia mittausten menetelmiä paikallisen korroosion tutkimiseen ja uusia, entistä tarkempia, molekyylibiologisia mikrobimääritysmenetelmiä. Menetelmiä voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa sovellutusympäristöissä. Hankkeessa koulutetaan osajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osa-alueelle.

Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa

Hanke on uusi KYT2014-ohjelmassa. Kaasunkehityskoe käynnistettiin Olkiluodon VLJ-luolassa 15 vuotta sitten tavoitteena tutkia huoltojätteen mikrobiologisessa hajoamisessa muodostuvan kaasun muodostumisnopeutta riskien arvioimiseksi. Tässä hankkeessa on tavoitteena evaluoida huoltojätteen hajoamisaste sekä karakterisoida kokeessa rikastuneita mikrobilajistoja käyttäen monipuolisesti eri tutkimusmenetelmiä. Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää turvallisuusanalyseissa arvioitaessa huoltojätteen säilytyksen mikrobiologisia riskejä.

Betonisten vapautumisesteiden säilyvyys voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Osaprojektit 1 ja 2

Tutkimuksen tavoitteena on parantaa olemassa olevaa tietoa betonisten vapautumisesteiden säilymisestä loppusijoitusolosuhteissa ja hankkia valmiudet arvioida vapautumisesteiden käyttöikä. Yhtenä keskeisenä tavoitteena on holistisen betonimallin kehitystyö. Toisena tavoitteena on selvittää ja dokumentoida 13 vuotta kemiallisissa liuoksissa olleiden betonikoekappaleiden tämän hetkinen kunto ja arvioida koetulosten perusteella betonin turmeltumismekanismia sekä käyttää koetuloksia esitetyn mallin kehitykseen. Hanke toteutetaan Aalto-yliopiston (Osaprojekti 1) ja VTT:n (Osaprojekti 2) yhteistyönä.

Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittämisen empiirisen aineiston valossa

Hankkeen tavoitteena on empiirisen tiedon valossa tarkentaa suomalaiseseen metsäekosysteemiin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Hankkeessa mallinnetaan valittujen alkuaineiden siirtymistä maaperästä kasveihin perustuen tähänastisessa työssä määritettyihin epälineaarisiin yhtälöihin, pyrkien selvittämään kuinka paljon radioekologisten mallien ennusteet muuttuvat ja tarkentuvat perinteisiin lineaarisuusoletukseen perustuviin malleihin verrattuna. Siirtymistä eläimiin tarkastellaan kokeellisesti ja tämän kokeen yhteydessä saadaan lisätietoa myös siirtymisestä kasveihin. Tutkimuksen odotetaan tuottavan entistä kehittyneempää, empiirisen tiedon avulla tarkennettua biosfäärimallinnusta käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen riskien arviointiin. Lisäksi saatuja tietoja voidaan hyödyntää uraanimalmin etsinnän ja Suomeen mahdollisesti perustettavien uraanikaivosten ympäristövaikutusten arvioinnissa, yleisesti radioekologisten mallien kehittämisessä sekä muiden ympäristöön joutuneiden haitta-aineiden (raskasmetallien) riskien arvioinnissa.

3.3 Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus

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

Taulukko 6. Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus.

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

JY=Jyväskylän yliopisto

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

Tutkimuksessa paneudutaan siihen, kuinka käytetyn ydinpolttoaineen riskinhallintaa edistetään Posivan ja STUK:n turvallisuus- ja riskivuoropuheluna. Projektin tavoitteena on analysoida: 1) millaisista, lähinnä kuparikorroosioon liittyvistä, turvallisuushaasteista on keskusteltu Posivan loppusijoituslaitoksen esirakentamislupahakemuksessa ja kuinka STUK on arvioinut Posivan hakemusta; 2) kuinka kuparikorroosiota on käsitelty Posivan esirakentamislupahakemuksessa; 3) millaista riskivuoropuhelua on käyty ennen rakentamislupaprosessia (Posivan TKS-raporteissa ja STUK:n arviointiraporteissa). Empiirinen aineisto käsittää Posivan TKS-raportteja, STUK:n arviointiläusuntoja, Posivan esirakentamislupahakemuksen ja liitteet sekä Posivan rakentamislupahakemuksen ja turvallisuusperustelut. Teoreettisesti projektissa hyödynnetään riskinhallintaa ja riskikommunikaatiota käsittelevää tutkimuskirjallisuutta ja edistetään tätä keskustelua. Tutkimushanke on jatkoa Jyväskylän yliopiston vuoden 2012 tutkimushankkeelle. FiNSOTEC-hankkeen tutkimustehtävä liittyy KYT2014 tutkimusohjelman kolmesta keskeisestä teemasta kahteen: turvallisuus ja sosiologinen tutkimus. Tutkimus tuottaa korkealaatuista tutkimusta, jota Suomen viranomaiset voivat osaltaan käyttää arvioidessaan Posivan rakentamislupahakemusta ja valmistellessaan rakentamislupahakemuksesta päättämistä. Hankkeen tuloksena tulee tieteellisiä artikkeleita kansainvälisiin tiedejournaaleihin.

Viitteet

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

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

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

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

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

Liite 1 KYT2014 hankekohtaiset tutkimusyhteenvedot 2013

Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat

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

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

Ydinjätehuollon turvallisuustutkimus

Turvallisuusperustelu (koordinoitu hanke LS-TUPER, hankekoordinaattori lihavoituna)

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

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

* VTT:n hankkeen alihankkija

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

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

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

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

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

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Muut turvallisuustutkimukset

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

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

Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus

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

JY=Jyväskylän yliopisto

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Kehittyneet polttoainekierrat – uudet erotustekniikat		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Advanced nuclear fuel cycles – new separation technologies		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopisto, kemian laitos, radiokemian laitos	Vastuhenkilö FT Risto Harjula, dosentti	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) 3.1. Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat/nuklidierotus ja transmutaatio		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa vuonna 2011 alkaneelle projektille		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, Itä-Suomen yliopisto,	Ulkomaiset organisaatiot COST EUFEN	Muut tutkimusohjelmat, tms. Kansallinen ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma (YTERA)
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Hankkeeseen sisältyy tutkimusprojekti, joka edistää alan asiantuntijuuden saatavuutta ja tieteellisen osaamisen kehittymistä Suomessa ja edesauttaa suomalaisten tutkimuslaitosten ja teollisuuden pääsyä mukaan kansainvälisiin P&T-tutkimushankkeisiin. HYRL:in osalta on pyrkimyksenä päästä mukaan EU:n 7. tai ainakin 8. puiteohjelman (2013-) kv. hankkeisiin esimerkiksi Fortumin ja VTT:n kanssa. Hankkeeseen sisältyvä kehittyneiden polttoainekierrätustekniikoiden tutkimuksen seuranta antaa tutkimuslaitoksille, viranomaisille ja voimayhtiöille ajantasaista tietoa käytetyn ydinpolttoaineen suoran loppusijoituksen yhdestä vaihtoehdosta.		
Tuloskategoria Uusia testattuja ja karakterisoituja aktinidien erotusmateriaaleja 10-15 kpl	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 LuK työ tai Pro Gradututkielma
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle. Tohtorikoulutukseen liittyvän tutkimustyön tavoitteena on uusien nanohuokoisien metallifosfaatti-ioninvaihtimien tutkimus ja kehittäminen aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta tai uusien nesteuttomenetelmien synnyttämisestä sekundäärijäteliuoksista. Lisäksi tavoitteena on kehittyneiden polttoainekiertojen kansainvälisen tutkimuksen seuranta ja tiedonvälitys koskien uusia erikoistekniikoita		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain 1. Kehittyneiden polttoainekiertojen uusimman tutkimuksen seuranta - seurantaraportti yhdessä VTT:n projektin kanssa 2. TUTKIMUSTYÖ 2.1. Metallisekametallifosfaattien syntetisointi. 10-15 eri tuotetta 2.2. Alustava testaus (Am- ja Eu-sorptiokyky typpihaposta) 2.3. Sekametallifosfaattien karakterisointi (FeSEM, XRD) 2.4. Eluutiokokeet (Am:n ja Eu:n erottaminen toisistaan) - Tieteellinen artikkelikäsikirjoitus		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Julkaisut ks. Edellinen kohta, opinnäytetyöt: LuK-tutkielma/tutkimusprojekti		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Tiedottaminen GEN4FIN-seminaarissa, COST EUFEN-seminaarissa		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Kehittyneet polttoainekierrat – Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Advanced Fuel Cycles – Computational Fuel Cycle Analysis		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuuhenkilö Tuomas Viitanen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on nelivuotinen ja jatkoa vuoden 2011 samannimiselle projektille. Kokonaisuudessaan hanke on jatkoa aiemmalle projektille KYT2010-ohjelmassa: "Suomalainen erotus- ja transmutaatiotekniikan tutkimus"		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Helsingin Yliopiston Radiokemian Laboratorio HYRL	Ulkomaiset organisaatiot CEA, Tarton yliopisto	Muut tutkimusohjelmat, tms. SAFIR2014, SA/NUMPS
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Projektissa tutkitaan erilaisten laskentatyökalujen avulla edistyksellisiä polttoainekierron ratkaisuja, joiden avulla vähennetään käytetyn polttoaineen jälkilämpöä ja pitkäikäisten isotooppien määrää. Tämä pienentää loppusijoituksen tarvitsemää tilaa ja merkittävästi vähentää ydinjätteen loppusijoituksen vaatimaa aikaa.		
Tuloskategoria Tietokoneohjelmistot, kansallisen osaamisen kehittäminen	Julkaisujen lukumäärä 3 tutkimusraporttia tai 2 tutkimusraporttia ja 1 konferenssijulkaisu	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tutkimuksen tavoite Sellaisen osaamisen ja laskentaohjelmiston hankkiminen, jolla voidaan tehokkaasti mallintaa erilaisia polttoainekierron ratkaisuja tähtäimenä ydinjätteen määrän ja aktiivisuuden huomattava vähentäminen. Pitkän tähtäimen tavoitteena on EU:n rahoittamaan tutkimusyhteistyöhön osallistuminen.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain		
2.1 Ydinpolttoainekiertojen analysointivalmiuden kehittäminen Saavuttaa sellainen osaamisen taso ja hankkia sellainen laskentaohjelmisto, jolla pystytään analysoimaan monipuolisesti erilaisia polttoainekierroratkaisuja mukaan lukien kevytvesireaktoreiden sekä alikriittisten ja kriittisten nopeiden reaktoreiden polttoainekierrat. Vuonna 2013 tutkitaan erotus- ja transmutaatiotekniikoiden vaikutusta Posivan loppusijoituslaitoksen kapasiteettiin ja mallinnetaan sivuaktinidien palamista kiehumisvesireaktorin yläosan nopeassa neutronispektrissä.		
2.2 Tiedonvälitys ja alan kehityksen seuranta Kansainvälisen ydinpolttoainekiertotekniikan tutkimuksen seuranta ja valmius tiedottaa alan kehityksen tilasta muulle tiedeyhteisölle ja viranomaisille.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		

Tutkimusraportti tai GLOBAL2013-konferenssijulkaisu erotus- ja transmutaatiotekniikoiden vaikutuksesta Posivan Onkalo-loppusijoituslaitoksen kapasiteettiin.

Tutkimusraportti sivuaktinidien polttamisesta kevytvesireaktorin yläosassa

Yhteenvetoraportti OECD/NEA:n työryhmien toiminnasta

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

Järjestetään tapaamisia yhteistyökumppanin HYRL:n kanssa.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Ydinjätteen transmutointi ADS-reaktorissa (FLUTRA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Transmutation of nuclear waste with ADS (FLUTRA)		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu Teknillisen fysiikan laitos	Vastuuhenkilö Prof. Rainer Salomaa	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa samannimiselle hankkeelle vuosilta 2011 ja 2012, jatkohankkeet 2013 ja eteenpäin		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, Posiva, HYRL, JYU	Ulkomaiset organisaatiot SCK•GEN, CERN	Muut tutkimusohjelmat, tms. YTERA, Nordic-Gen4, SNE-TP, ESNII, OECD-NEA
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Yksityiskohtainen ADS tutkimus luo kriittisen kuvan erottelun ja transmutaation mahdollisuuksista. Ydinjätenuklidien tarkka arviointi mahdollistaa merkkiainenuklidien löytämisen sekä mahdolliset säteilytekniikan menetelmät safeguards-tehtäviin. Työssä osallistutaan YTERA tohtorikoulutusohjelmaan.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) FLUKA, CASMO, MCNP ja Serpent sovellukset sekä koodinkehitys	Julkaisujen lukumäärä Raportti, 1 julkaisu	Opinnäytetöiden lukumäärä 2
Tutkimuksen tavoite Lyijyvismuttijähdytteen Myrrha-koereaktorin neutroniikan tarkka Monte Carlo mallintaminen ja siinä tapahtuva ydinjätteen transmutointi ottaen huomioon reaktortyyppin tekniset haasteet.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Suuripalamaisen polttoaineen säteilytys eri jälleenkäsittelyoletuksilla		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Konferenssi/julkaisu, kandidaatintyö/erikoistyö		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT-seminaari, Nordic-Gen4 kokous, ATS, EURADWASTE '13		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Loppusijoituksen turvallisuusperustelu (LS-TUPER)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Safety case for final disposal		
Tutkimuslaitos Teknologian tutkimuskeskus VTT (koko hankkeen koordinaattori)	Vastuuhenkilö Markus Olin	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus; Turvallisuusperustelu		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Nelivuotiseksi kaavailun koordinoitun hankkeen kolmas vuosi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms. KYT2014 BOA EU CROCK, EU BELBaR
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Koordinoitussa hankkeessa VTT:n, HYRL:n, GTK:n ja Tmi Pawel Simbierowiczin (PaSi) kesken tehdään työtä, joka tähtää kokonaisvaltaisen turvallisuusperustelun laatimiseen KBS-3-tyyppiselle loppusijoitusratkaisulle omakohtaisen työn kautta. KYT-ohjelmassa asetettujen tavoitteiden mukaisesti hankkeessa opitaan tuntemaan turvallisuusperustelun skenaarioihin perustuva ajattelutapa ja skenaarioiden koostaminen, tiedon hankinnan ja yleistämisen menetelmät, vaihtoehtoisten käsitteellisten mallien ja tulkintojen muodostaminen, analyysien käytännön suorittaminen erilaisilla laskentamalleilla sekä tulosten luotettavuuden ja epävarmuuksien arviointimenetelmät.		
Tuloskategoria Asiantuntemuksen kehittäminen; tietokoneohjelma	Julkaisujen lukumäärä Kansainvälinen esitelmä. Työraportti organisaatioiden julkaisusarjoissa ja KYT-ohjelman kotisivulla	Opinnäytetöiden lukumäärä Osa diplomityöstä, Karita Kajanto
Tutkimuksen tavoite Hanke vastaa tarpeeseen tuottaa Suomeen uusia asiantuntijoita turvallisuusperustelun laatimis- ja arviointityön tarpeisiin sekä kehittää uusia tarkastelutapoja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin. Hankkeen tulokset ovat hyödynnettävissä viranomaisarviointin tukena. Ne myös selkiyttävät turvallisuusperustelun käsitettä aiempaa laajemmille piireille. Lisäksi helppokäyttöisen ja edullisen laskennallisen turvallisuusanalyysimallin kehittämisen kautta analyysivalmiudet tulevat entistä helpommin kaikkien ulottuville.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Hanke koostuu koordinointi- ja kahdeksasta teknisestä tehtävästä, joiden sisällölliset kuvaukset esitetään seuraavassa (pääasiallinen suoritusorganisaatio suluisissa): 1. <u>Koordinointi (VTT)</u> Koordinointi mahdollistaa projektin sisäisen yhteistyön ja hoitaa projektin sisäistä, kotimaista ja ulkomaista verkottumista. 2. <u>Turvallisuusperustelun metodiikka ja esitystavat (VTT)</u> Tehtävässä sovelletaan uusimpia menetelmiä turvallisuusperustelun laadinnassa mukaan lukien raskaan numeerisen mallinnuksen. Tehtävän laajuuden takia työ kohdistetaan mielenkiintoiseen osaalueeseen. 3. <u>Vaihtoehtoiset käsitteelliset mallit ja tulkinnat (HYRL)</u> Ei käynnissä vuonna 2013.		

4. Skenaarioiden koostaminen (VTT)

Ei käynnissä vuonna 2013.

5. Laskennallisen analyysimallin kehittäminen (PaSi)

Tehtävä menee vuonna 2013 kokonaan uusiksi, kun laskentamalli laaditaan adaptiivisen puumoniverkkomenetelmän pohjalle. Pikaisen aikataulun takia ohjelman laajuutta joudutaan pienentämään, mutta menetelmä pyritään saattamaan niiltä osin kuntoon kuin tarvitaan tehtävien 2 ja 4 toteuttamisessa vuonna 2014.

6. Epävarmuusanalyysimenetelmien kehittäminen (VTT)

Ei käynnissä vuonna 2013.

7. Täydentävät tarkastelut (GTK, HYRL)

Tehtävässä selvitetään, miten ja minkälaisia täydentäviä tarkasteluja voidaan hyödyntää KBS-3-loppusijoituskonseptin turvallisuusperustelussa. Työn toisessa vaiheessa 2013 keskitytään hankkeen kannalta muutamiiin tärkeimpiin hyödyntämiskohteisiin.

8. Mentorointi (VTT)

Osana koordinoitihanketta.

9. Synteesi (VTT)

Ei käynnissä vuonna 2013.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Jokaisen tehtävän tulokset julkaistaan osallistuvien organisaatioiden työraporttina tai -raportteina KYT2014-ohjelman kotisivulla. Lisäksi pidetään kansainvälisiä esityksiä ja postereita.

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

Turvallisuusperusteluaiheinen workshop tullaan ehkä järjestämään. Mukaan kutsutaan mahdollisuuksien mukaan ulkomaisia osallistujia..

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Bentoniitin ominaisuuksien arviointi (BOA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Assessment of bentonite characteristics		
Tutkimuslaitos Teknologian tutkimuskeskus VTT (koordinaattori)	Vastuuhenkilö Markus Olin	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa vuosien 2009 ja 2010 PUSKURI-hankkeille, vuoden 2010 MOPO ja KULKE-hankkeille. Hankkeeseen on saatu rahoitusta vuosiksi 2011-12, joten kyse on jatkorahoituksesta.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Tiedonvaihtoyhteistyö: B+Tech, Itä-Suomen yliopiston molekyyliidynamiikka	Ulkomaiset organisaatiot BELBaR EU-hankkeen kanssa tehtävä yhteistyö: ClayTech, KTH, KIT	Muut tutkimusohjelmat, tms. KYT2014: LS-TUPER, LS-TICO EU BELBaR, Nagra/CFM
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Suomessa on selkeä kansallinen tarve bentoniitin käyttäytymisen entistä parempaan ymmärtämiseen loppusijoitusolosuhteissa. Prosessi- ja mikrorakenneseosaamista tarvitaan, kun halutaan tutkia tieteellisesti ja kvantitatiivisesti loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeisinä pidettyjä selvityskohteita (esim. eroosioilmiöt, sementoituminen tai montmorilloniitin muuntuminen). KBS-3-konseptin puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyn luotettava arviointi ratkaisee pitkälti koko turvallisuusperustelun luotettavuuden, ja tämä arviointi voidaan lopulta perustaa vain mallinnukseen. Mallinnusta ei kuitenkaan voi kehittää ilman kokeellista toimintaa, joka itsessään kasvattaa aihepiirin ymmärrystä. Tutkimuksen tuloksena syntyvää ketjua tai toimintamallia, bentoniitin karakterisoinnista teoreettisiin malleihin kokeellisen toiminnan kautta, soveltamalla voidaan parantaa ja tehostaa bentoniittimateriaaleihin liittyvää tutkimusta Suomessa.		
Tuloskategoria Kokeelliset menetelmät, karakterisointitekniikat ja tietokonemallit	Julkaisujen lukumäärä 2-4 tieteellistä artikkelia 4-8 konferenssijulkaisua lisäksi raportteja	Opinnäytetöiden lukumäärä maisteritason tutkintoja ja 3-5 väitöskirjaa tekeillä, joista joku voi valmistua vuonna 2013
Tutkimuksen tavoite Hankkeessa kehitettävä bentoniitin prosessi- ja mikrorakenneseosaaminen luo tieteellisesti perustellun pohjan tutkia kvantitatiivisesti loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeisinä pidettyjä selvityskohteita (esim. eroosioilmiöt tai montmorilloniitin muuntuminen). BOA-hankkeen konsortiosapuolet (VTT, Jyväskylän, Helsingin ja Aalto yliopistot, GTK, Numerola Oy) muodostavat bentoniittitutkimuksen osaamiskeskuksen, jolla on pitkäaikaista kokemusta bentoniitista, käytössään monipuoliset menetelmät vaativaan kokeelliseen tutkimukseen, ja kyky mallintaa vaadittavia kytkettyjä ja monimutkaisia ongelmia. Osaamiskeskus on sinällään verkosto, mutta samalla kriittisen massan ylittävä toimija, jolla on erinomaiset mahdollisuudet kansainväliseen verkottumiseen. Lisäksi hanke toimii uusien tutkijoiden kasvattajana ja on päärahoituslähde 3-5 väitöskirjatyölle.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Hanke alkaa tuottaa vuonna 2013 merkittäviä tuloksia bentoniittitutkimuksessa. Vuoteen 2014 osaamisen nousu on merkittävää ja pääosin hankkeen tuloksena lienee valmistunut 3-5 väitöskirjaa aihepiiristä. Erityinen osaamisen nousu tapahtuu bentoniitin karakterisointimenetelmissä, jotka ovat iso tieteellinenkin haaste. Mallinnuksessa päästään sellaiseen osaamistasoon, että bentoniittia voidaan numeerisesti simuloida ydinjätteiden turvallisuuden kannalta merkittävässä selvityskohteissa. Alla hanke esitellään suomeksi työsuunnitelman englanninkielisten otsikoiden mukaan – otsikko on käännetty heti alussa.		

1 Coordination (VTT)

Koordinaatio on neljästä tehtävästä ainoa, jonka tavoitteet eivät ole suoraan tieteellisiä. Tavoitteena on tukea kolmen tieteellisen tehtävän saavuttamista. Koordinaatio jakautuu kolmeen osatehtävään: sisäinen koordinointi, verkottuminen ja mallinnus-kokeellisen työn rajapintaan.

1.1 Internal coordination

Sisäinen koordinaatio hoitaa koko koordinoitun hankkeen hallinnon. Tavoitteena teknisten tehtävien onnistuminen

1.2 Internal, domestic and international networking

Sisäisen, kotimaisen ja kv-verkottumisen tavoitteena on jakaa tietoa ajantasaisesti kaikille osapuolille ja lisäksi yhteydenpito kv-tiedeyhteisöön.

1.3. Enhancement of communication between experimentalists and modellers

Mallintajien ja kokeellisen toiminnan koordinoinnin tavoitteena on riittävä tiedonvaihto

2 THM and structure

THM ja rakenne -tehtävän tavoitteena on bentoniitin mekaanisen käyttäytymisen ja rakenteen ymmärryksen kasvattaminen. Olennainen asia esim. eroosioilmiöiden ymmärtämisessä.

2.1 Application of tomography (JyU)

Tomografian soveltaminen tähtää tomografian kehittämiseen bentoniitin mekaanisten tutkimusten hyväksi välineeksi. Skaala yli mikrometrin tason rakenteet. Tuottaa sinällään tärkeää tietoa mallinnuksen tueksi, mutta mahdollista myös prosessikokeiden tarkan ajallisen ja paikallisen kehityksen seurannan.

2.2 Application of XRD and SAXs (HYFL)

NMR, XRD ja SAXS menetelmiä sovelletaan bentoniitin nanorakenteen selvittämiseen (1 – 30 nm). Olennainen merkitys bentoniitin huokosvesikemian ymmärtämisessä ja esim. sorptio- ja liukoisuusreaktioiden ja ilmiöiden mallintamisessa.

2.3 Mineralogy of bentonite (GTK)

Bentoniitin mineralogisen tutkimuksen tavoitteena on täydentää käsitystä bentoniitin koostumuksesta ja tukea hankkeen muita kokeellisia tutkijoita.

2.4 Shear block experiments (Aalto)

Shear block -kokeet tukevat bentoniitin mekaanisen käyttäytymisen ymmärtämistä täydessä mittakaavassa.

3 THC, colloids and biology

THC-, kolloidi- ja biologiotehtävän tavoitteena on bentoniitin kemian ja sitä muokkaavan mikrobiologisen toiminnan ja kolloidien merkityksen ymmärtäminen.

3.1 Cation exchange and diffusion experiments (VTT)

Kationinvaihto- ja diffuusiokokeissa selvitetään muun muassa bentoniitin kationinvaihdon lämpötila- ja tiheysriippuvuutta. Asioita tarvitaan pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvässä mallinnuksessa ja arviointityössä.

3.2 Ion selective electrodes (VTT)

Ioni selektiivisten elektrodien avulla pyritään tutkimaan suoraan bentoniitin huokosveden pitoisuuksia, mikä kompaktoidulle bentoniitille on harvoja mahdollisia menetelmiä. Huokosveden koostumus ja sen riippuvuudet ovat olennainen osa bentoniittipuskurin pitkäaikaiskäyttämisen arvioinnissa.

3.3 Solubility of montmorillonite (VTT)

Montmorillonitiin liukoisuustutkimusten tavoitteena on liukoisuuden, liukoisuusnopeuden ja niihin vaikuttavien tekijöiden selvittäminen. Suuri vaikutus pitkäaikaisturvallisuuteen.

3.4 Colloid formation and their relevance in radionuclide transport (HYRL)

Kolloidien muodostuminen ja niiden osuus radionuklidien kuljettajina on tärkeä tutkimuskohde pitkäaikaisturvallisuuden kannalta.

3.5 Microbial activity in bentonite (VTT)

Mikrobitoiminnan tutkimisen tavoite on selvittää mikrobien esiintymistä ja toimintaa rajoittavia tekijöitä bentoniitissa. Mikrobit voivat muokata kemiallisia ja vaikuttaa sekä montmorillonitiin että etenkin kuparin liukoisuuteen.

3.6 THC modelling

THC-mallinnuksessa yritetään sekä tukea kokeellista toimintaa että kehittää malleja pitkäaikaisturvallisuuden arviointia varten.

4 THMCB – putting all together

THMCB tarkoittaa koko bentoniittiin vaikuttavan kytketyn ilmiömaailman yhdistämistä.

4.1 Microstructure of bentonite (VTT)

Mikrorakenne-osatehtävän tavoite on koota BOAn havaintoja konsistentiksi mikrorakennemalliksi, jonka päälle moni muu tärkeä turvallisuusasia rakentuu.

4.2 THMCB-modelling (Numerola, VTT, JyU)

THMCB-mallinnuksen tavoitteena on yhdistää BOAn tulokset ja kirjallisuustietoa numeeriseksi malliksi, jolla voidaan analysoida kytkettyä bentoniittisysteemiä. Näitä analyysyjä voidaan soveltaa bentoniitin lyhyt- ja pitkäaikaiskehittämiseen.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tavoitteena on julkaista kaikki tulokset kansainvälisissä tiedejulkaisuissa tai konferensseissa. Alustavia tuloksia julkaistaan myös osallistuvien organisaatioiden julkaisusarjoissa. Hankkeessa on meneillään 3-5 väitöstyötä, joista yhden voi olettaa valmistuvan vuonna 2013. Lisäksi tehdään maisteriopintoja.

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

Hankkeen tavoitteena on järjestää esim. bentoniitti-aiheinen Workshop, joka olisi avoin myös muille alan tutkijoille. Paikaksi on kaavailtu Jyväskylää, jossa PUSKURI- ja BOA-hankkeilla on ollut pienimuotoisia työpajoja aiempina kesinä.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi KYT/BOA osahanke: Kolloidien vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen (KOLORA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi The effect of colloids on radionuclide migration		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Radiokemian laboratorio	Vastuuhenkilö Pirkko Hölttä	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuus: Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa 2011 alkaneelle hankkeelle, suunnitelma on tehty koko KYT2014 kaudeksi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, JYFL, GTK, Posiva, B ⁺ Tech	Ulkomaiset organisaatiot EU, NAGRA, KIT, KTH	Muut tutkimusohjelmat, tms. EU/BELBaR, GTS/CFM
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Tuloksia hyödynnetään käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa lähialueella arvioidessa bentoniitin ja tunnelin täyteaineiden toimintakykyä sekä arvioidessa radionuklidien pääsyä kolloidien mukana loppusijoitustilasta lähialueelle ja kaukoalueen kautta biosfääriin. Tuloksena saadaan tietoa bentoniittipuskurin kolloidisessa muodossa tapahtuvasta eroosiosta, pohjaveden suolaisuuden vaikutuksesta kolloidien liikkuvuuteen ja aktinidien sorption pysyvyydestä. Lisäksi saadaan menetelmät määrittää kolloidien ominaisuuksia ja lähtödataa/testitapauksia mallinnusta varten. Mallittajien kanssa suunniteltujen safety case relevanttien kokeiden tuloksia voidaan käyttää parametreina mallien kehittämisessä ja testaamisessa. Tuloksia hyödynnetään bentoniittiaiheisessa EU/BELBaR projektissa, jossa toteutetaan KOLORA hankkeeseen alun perin suunnitellut radionuklidien/kolloidien kulkeutumiskokeet. Kokeelliset tulokset ovat myös käytettävissä NAGRAN GTS:n Colloid Formation and Migration (CFM) projektissa. Näistä yhteistyöprojekteista saadaan vastavuoroisesti arvokasta tietoa ja kokemusta kolloidien ominaisuuksista ja merkityksestä radionuklidien kuljettajina.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Kokeelliset menetelmät, karakterisointitekniikat ja parametrit mallien testaamiseen	Julkaisujen lukumäärä 1-2 tieteellistä artikkelia tai vertaisarvioitua konferenssijulkaisua	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 (FM/FL)
Tutkimuksen tavoite Tavoitteena on selvittää kolloidien muodostumista loppusijoitustilan materiaaleista sekä mikä on niiden merkitys radionuklidien kuljettajina erilaisissa pohjavesiolosuhteissa. Tavoitteena on myös saada tietoa bentoniittipuskurin rapautumismekanismeista ja –kinetiikasta. Koko hankkeen tavoitteena on yhdistää kokeellinen työ ja mallinnus. Yleisenä teknisenä tavoitteena on kehittää kotimaista osaamista kolloidien vaikutuksesta ja mallinnuksesta sekä kouluttaa uusia asiantuntijoita.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Hanke on osa VTT:n koordinoimaa hanketta: Bentoniitin ominaisuuksien arviointi (BOA). <u>Kolloidien muodostuminen loppusijoitustilan materiaaleista</u> Tavoitteena on selvittää kolloidien irtautumista bentoniitista, arvioida muodostuvien kolloidien määriä ja ominaisuuksia sekä stabiilisuutta eri pohjavesiolosuhteissa aiemmin tehdyillä näytesarjoilla. Tavoitteena on myös tutkia kompaktoidun bentoniitin eroosiota staattisissa ja virtausolosuhteissa. Tavoitteena on edelleen kehittää ja soveltaa rinnakkaisia ja toisiaan täydentäviä analyysi- ja karakterisointimenetelmiä bentoniittikolloidien monimuotoisen rakenteen selvittämiseksi ja tulosten tulkintaa varten. Erityisenä tavoitteena on selvittää bentoniittipuskurin kolloidisessa		

muodossa tapahtuvaa massan hävikkiä, hajoamismekanismeja ja –kinetiikkaa.

Tuloksena saadaan tietoa muodostuneiden kolloidien partikkelikokojakaumasta, määrästä, stabiilisudesta ja muodoista sekä määrittämenetelmiä. Tulosten avulla saadaan BOA hankkeessa kehitettäviä kytkettyjä malleja varten kokeellista tietoa bentoniittipuskurin kemiallisesta eroosiosta.

Radionuklidien sorptio kolloideihin ja niiden kulkeutuminen

Tavoitteena on kehittää dynaamisia koejärjestelyjä sorption reversiibeliyden selvittämistä varten. Tavoitteena on jatkaa batch kokeilla radionuklidien jakaantumiskertoimien (K_d) määrittämistä ionivahvuuden, pH:n ja partikkelikoon funktiona jauhemaiselle (MX-80) bentoniitille ja siitä kokeen aikana irronneille kolloideille sekä suoraan kolloideihin. Merkkiaineina käytetään ioninvaihdolla pidättyvää Sr-85:a ja Cs-134:a sekä kolmen arvoisten aktinidien (Am) sorptiokäyttäytymistä kuvaavaa Eu-152:a ennen voimakkaasti sorboituvilla aktinideilla tehtäviä kokeita. Tavoitteena on aloittaa myös sorption reversiibeliys/irreversiibeliys tutkimus dynaamisilla sorptiokokeilla.

Tuloksena saadaan tietoa radionuklidien kiinnittymismekanismeista kolloideihin ja varsinkin aktinidien sorption pysyvyydestä. Lisäksi saadaan tietoa loppusijoitustilassa muodostuneiden kolloidien merkityksestä radionuklidien kuljettajina loppusijoitustilasta (bentoniittipuskurista) virtaavan pohjaveden mukana lähialueen kautta kallioperään. Tuloksena saadaan myös määrittämenetelmiä ja lähtödataa mallinnusta varten.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit ja konferenssipaperit (2/vuosi), FM/FL tutkinnot

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

Tuloksia esitellään aiheeseen liittyvissä kotimaisissa ja kansainvälisissä seminaareissa (KYT2014, EU/BELBaR, Nagra/CFM).

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Hitsatun kuparivaipan pitkäaikaiskestävyys (MICO)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Material Integrity of Welded Copper Overpack		
Tutkimuslaitos Teknologian tutkimuskeskus VTT	Vastuuhenkilö P. Kauppinen / J.Rantala	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) 3.2.3 Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Samanniminen projekti 2011-12; osa koordinoitua hanketta vuodesta 2012		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Aalto Yliopisto	Ulkomaiset organisaatiot SSM (Ruotsi)	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Projekti tuottaa pitkiin koeaikoihin perustuvan kokeellisen näytön ja mallipohjaiset ennusteet viranomaisille tukemaan päätöksentekoa ydinjätteen loppusijoituksen kulkeutumisesteen osalta. Projektin tuloksina saadaan laaja koetulosaineisto, kokeellisen toiminnan valmiudet ja asiantuntijaosaaminen vauriomekanismeista, mallinnuksesta, pitkän ajan elinikäennusteista sekä kokeelliseen näyttöön perustuva syvälinen ymmärrys kuparin käyttäytymisestä.		
Tuloskategoria Kokeellinen tulosaineisto, materiaaliominaisuudet, ennuste pitkäaikaiskestävyydestä	Julkaisujen lukumäärä 2 (2013)	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite - laskea ja verifioida kapselissa vaikuttavat jännitykset elementtimenetelmällä ja kehittyneellä virumismallilla ja ennustaa rasitetuimpien kohtien elinikä - selvittää moniaksaalisuuden vaikutus kuparin elinikään, myös oletettujen vikojen osalta - ennustaa minimielinikä myös vikoja sisältävälle kapselikuparille		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain - laskennallisen kapselin jännitys- ja venymäanalyysin riippumaton verifiointi ja elinikäennuste - pisimpien virumiskokeiden jatkaminen yli 90 000 h mallien tueksi ja vaurion varalta - pisimpien moniaksaalivirumiskokeiden jatkaminen yli 50 000 h - vertailumateriaalin (OFHC) CT-kokeet vauriomekanismien arviointia varten - vauriomekanismitutkimus ja elektronimikroskopia (Aalto Yliopisto)		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Julkaisut kv. konferensseissa ja alan lehdissä Kaksi väitöskirjaa valmisteilla seuraavilta aloilta: - moniaksaalisuuden vaikutus (J. Rantala, VTT) - mikrorakenneanalyysi (T. Saukkonen, Aalto)		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Vuositittaiset KYT-seminaarit, Baltica-konferenssi kesäkuussa 2013		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Kuparisen ydinjättekapselin mekaaniset ominaisuudet		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Mechanical properties of copper canisters for nuclear waste		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto	Vastuhenkilö Hannu Hänninen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa vuonna 2007 alkaneelle tutkimukselle		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, Posiva	Ulkomaiset organisaatiot SKB, Ruotsi; JRC Petten; Tohoku University, Sendai, Japan	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Kuparikapselin eri osien mekaaniset ominaisuudet, sallittavan plastisen deformaation määrä sekä vikojen suuruus ja laatu pitää tuntea.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä 4	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite Selvittää kuparikapselin eri osien mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää mikroskooppinen ja makroskooppinen plastinen deformaatio kuparikapselin rakenteissa.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparikapselin eri osien (perusmateriaalit ja hitsit) mekaaniset ominaisuudet sekä plastisen deformaation mekanismit kvantitatiivisesti mikroskooppisella ja makroskooppisella tasolla. Tutkimuksessa on kolme osatehtävää: 1. Kuparikapselin eri osien (perusmateriaalien ja hitsien) mekaanisten ominaisuuksien selvittäminen optisella venymämittaustalaitteistolla lämpötilan ja muodonmuutosnopeuden funktiona sekä mikro- ja nanokovuusmittausten avulla. 2. Deformaatiomekanismien selvittäminen in situ -aineenkoetuksella FE-SEM/EBSD/EDS-laitteistolla. 3. Vedyn absorptio kupariin loppusijoitusolosuhteissa ja vedyn vaikutus kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin ja virumiseen.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt 3 tieteellistä lehtijulkaisua ja yksi konferenssijulkaisu.		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT2014-tutkimusohjelman seminaarit ja alan kansainväliset konferenssit.		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Sulfidien aiheuttama kuparin haurastuminen (CUHA)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Sulphide-induced embrittlement of CuOFP		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuhenkilö Timo Saario	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tämä projekti on jatkoa hankkeelle Sulfidien aiheuttama kuparin jännityskorroosio (KYT2010 / 2009-2010), jossa on todettu rikin mahdollisesti menevän kupariin sisään raerajoja pitkin sulfidipitoisesta pohjavedestä. Projekti alkoi v. 2011.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot SSM, Ruotsi	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Tulosten perusteella tarkennetaan arviota pohjavedessä olevan sulfidin aiheuttamasta kuparikapselien haurastumisriskistä.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Perusta riskiarviolle	Julkaisujen lukumäärä 1 kansainvälinen julkaisu	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 diplomityö
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on arvioida sulfidin aiheuttamaa kuparikapselin haurastumisriskiä.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain <ol style="list-style-type: none"> 1. Altistaa CuOFP-näytteet Olkiluodon tyyppisessä pohjavedessä sulfidipitoisuudella 200 mg/l kahdessa viiden viikon jaksossa yhteensä 10 viikon ajan. <i>Tuloksena saadaan altistetut koekappaleet mekaanisten ominaisuuksien koestusta varten.</i> 2. Selvittää altistuksen aikaisella hidasvetokokeella CuOFP:n alttiutta jännityskorroosiolle dynaamisen kuormituksen alaisena raerajoille. <i>Tuloksena saadaan varmennettua aiheuttaako sulfidi/rikki CuOFP-materiaalissa jännityskorroosiota dynaamisen kuormituksen alaisena.</i> 3. Määrittää vetokokein sulfidialtistuksen keston vaikutus CuOFP-materiaalin myötö- ja murtolujuuteen sekä murtovenymään. <i>Tuloksena saadaan arvio sulfidin/rikin vaikutuksesta CuOFP-materiaalin mekaaniseen kestävyysasteeseen.</i> 4. Määrittää virumiskokein sulfidialtistuksen keston vaikutus CuOFP-materiaalin virumiskestävyysasteeseen. <i>Tuloksena saadaan arvio sulfidin/rikin vaikutuksesta CuOFP-materiaalin virumislujuuteen ja virumissitkeyteen.</i> 		
Julkaisut ja opinnäytetyöt 1 kansainvälinen julkaisu, 1 diplomityö (tekn yo Konsta Sipilä)		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) - Esitelmä KYT2014 – seminaarissa		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset kupari-kapselin eri korroosionmuotoihin (MICCU)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Effect of microbial action on different corrosion processes of the copper canister		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuuhenkilö Leena Carpén	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus (Kapselin pitkäaikaiskestävyys)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tämä projekti ei ole jatkoa aiemmille hankkeille. Projektin jatko on mahdollinen, mikäli se on tulosten mukaan hyödyllistä.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa loppusijoituskapselin mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista.		
Tuloskategoria kokeellinen menetelmä uutta tietoa	Julkaisujen lukumäärä 2 kansainvälistä julkaisua	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosioikäntymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain		
<p>1. Kehittää osaamista ja luotettava koejärjestely kuparin mikrobiologisen korroosion arvioimiseksi Suomen loppusijoitusolosuhteissa. <i>Tehtävän tuloksena ovat koejärjestelyt, joiden avulla voidaan tutkia kuparin mikrobiologista korroosiota ja metallipinnoille kerääntyvän biofilmin ominaisuuksia. Lisäksi valmistuu suppea kirjallisuuskatsaus, jota voidaan hyödyntää koejärjestelyiden kehittämisessä.</i></p> <p>2. Määrittää mikrobiologisen toiminnan vaikutus kuparin korroosionopeuteen ja korroosiomekanismeihin Suomen loppusijoitusolosuhteissa. <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida kuparin mikrobiologisen korroosion mekanismeja ja korroosionopeutta.</i></p> <p>3. Selvittää kuparin pinnalle tarttuvat mikrobit ja ajan kuluessa muodostuvan biofilmin ominaisuudet kenttä- ja laboratorio-olosuhteissa. <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida kuparin mikrobiologisessa korroosiossa avainasemassa olevia mikrobiryhmiä ja niiden toimintaa kuparin pinnalla.</i></p> <p>4. Määrittää potentiaalisten jännityskorroosiota kiihdyttäviä aineita tuottavien mikrobiryhmien aineenvaihduntaa ja selviytymistä Suomen loppusijoitusolosuhteissa siten, että tulosten perusteella on mahdollista arvioida mikrobimallin (CCM-MIC) luotettavuutta. <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida potentiaalisten jännityskorroosiota kiihdyttäviä aineita tuottavien mikrobiryhmien aineenvaihduntaa ja selviytymistä Suomen loppusijoitusolosuhteissa ja tulosten sopivuutta mikrobimalliin.</i></p>		
Julkaisut ja opinnäytetyöt 2 kansainvälistä julkaisua ja yksi opinnäytetyö.		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Osallistuminen kansainvälisiin konferensseihin ja KYT vuosiseminaareihin. Kirjallisuuskatsauksen julkaiseminen VTT:n julkaisusarjassa.		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Kuparin korroosio hapettomassa vedessä		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Corrosion of copper by water under oxygen free conditions		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto	Vastuhenkilö Jari Aromaa	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Kapselin pitkäaikaiskestävyys		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimuksella on KYT-rahoitus vuosille 2010-2012		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT	Ulkomaiset organisaatiot SSM, Studsvik Nuclear AB	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Tutkimuksen tuloksena saadaan puolueeton tieto siitä, voiko loppusijoituskapselin kupari syöpyä hapettomassa vedessä.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) kokeellinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
<ul style="list-style-type: none"> - Tutkimuksen tavoitesaada puolueeton tieto siitä, onko kuparin korroosio vetyä kehittäen mahdollista hapettomassa puhtaassa vedessä - saada tieto siitä, onko em. reaktio mahdollista simuloidussa pohjavedessä - arvioida tämän mahdollisen korroosion todennäköisyys ja mahdolliset seuraukset todellisessa loppusijoituksessa 		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain		
<ul style="list-style-type: none"> - selvittää ruostumattoman teräksen mahdollinen rooli vedyn kehityksessä tekemällä kokeet kuparista valmistetussa koelaitteistossa, joka on varustettu redox- ja korroosipotentialin seurannalla - tutkia muodostuuko kuparin korroosiosta vetyä myös simuloidussa pohjavedessä - koko 4 vuoden tutkimustulosten käsittely ja raportointi 		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Eurocorr 2012: esitelmä; lehtiartikkeli referoidussa lehdessä (2013) DI Simo Lehmusmiehen liseniaatintyö		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT-ohjelman tiedotuskanavat		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Kallion in situ tutkimukset		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi In situ long term diffusion experiments in Grimsel		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopiston kemian laitos, radiokemian laboratorio (HYRL)	Vastuuhenkilö Marja Siitari-Kauppi	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus Kallioperä ja pohjavesi ja Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä		
Tutkimusjatkumo Hanke on tutkimuskokonaisuus kansainvälisessä yhteistyöprojektissa Grimsel Test Site –Phase IV: Long Term Diffusion (LTD), Phase II suunniteltu päättyväksi 2013		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot JYFL, GTK, VTT	Ulkomaiset organisaatiot Nagra, JAEA, NRI, Rawra, Poitiersin yliopisto	Muut tutkimusohjelmat, tms. EU projekti: Marie Curie IAPP Posinam Ytera
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Työssä kehitettyjä menetelmiä voidaan käyttää kallion rakenteen, alkuaineiden matriisidiffuusion, anioniekskluusion ja spesiaation selvittämiseksi graniittisessa kivessä. Tietotaitoa voidaan hyödyntää tulevaisuudessa in situ tutkimuksissa Suomessa. Tulokset ovat käytettävissä viranomaisvalvonnassa radioaktiivisten aineiden kallioperäkulkeutumisen arvioinnissa ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuutta punnittaessa.		
Tuloskategoria -menetelmäkehitys -kansainvälinen yhteistyö -uuden tutkijapolven kasvattaminen alalle	Julkaisujen lukumäärä 1	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite Ydinjätehuollon toimijat voivat käyttää kehitettyjä in situ kulkeutumistutkimusmenetelmiä paikkatutkimuksissaan. Tavoitteena on kouluttaa alan asiantuntijoita kasvavaan tarpeeseen. Tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Vuoden 2013 tutkimukset HYRL:ssä painottuvat seleenin kemiallisten olomuotojen tutkimiseen, sen pidäytymiseen ja kulkeutumiseen Grimselin kivessä tukena syyskuussa 2012 Grimselin vuorilaboratoriossa aloitetulle in situ kokeelle, jossa merkkiaineet ovat HTO, Cl-36, Se-79, Ba-133, Cs-134, Na-22. TDD mallinnusta jatketaan; C-14-PMMA tekniikalla saatujen heterogeenisten huokos- ja mineraaliekarttojen avulla kehitetään työkalua, joka ottaa huomioon kemiallisia prosesseja fyysikaalisen diffuusion ohella.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Lalli Jokelainen osajulkaisut väitöskirjaan: Radionuklidien kulkeutuminen kiteisessä kalliiossa Jussi Ikonen osajulkaisut lisensointityöhön: Aineiden kulkeutuminen geologisessa matriisissa		
Muu tutkimuksista tiedottaminen Alan konferenssit esim. Migraatio 2013, kotimaiset seminaarit esitelmät muissa tutkimusorganisaatioissa, yhteydet alan teollisiin toimijoihin		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Pore structure characterization of rock with nanotomography combined with matrix diffusion modeling		
Tutkimuslaitos Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos	Vastuhenkilö Mikko Voutilainen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Kaksivuotisen hankkeen ensimmäinen vuosi, joka on jatkoa 2009-2010 toteutetulle hankkeelle "Kiven heterogeenisen huokosrakenteen yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen "		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio	Ulkomaiset organisaatiot Nagra, Sveitsi	Muut tutkimusohjelmat, tms. Grimsel, LTD Phase II CRESTA
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Tuloksia voidaan soveltaa arvioitaessa ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisvaikutuksia, radionuklidien kulkeutumista biosfääriin ja loppusijoitustilaa ympäröivän kivimatriisin pädätysominaisuuksia. Niitä voivat hyödyntää sekä viranomaiset että ydinjätetoimijat.		
Tuloskategoria Sekä kokeellisia menetelmiä että numeerisia simuloitteja	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite Tutkimuksen tavoitteena on karakterisoida kiven rakennetta nanotomografialla ja mallintaa matriisidiffuusiota realistisessa rakenteellis-kemiallisesti heterogeenisessä kivessä ja tuottaa analysointityökalu in situ – kokeiden tulkitarpeisiin.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Valittujen näytteiden huokostilan kuvantaminen nanotomografialla ja huokostilaa karakterisoivien suureiden määrittäminen. Tuotetun tiedon hyödyntäminen advektio–matriisidiffuusio – mallinnuksessa käyttäen hila-Boltzmann- simulointimenetelmää. Tuloksena saadun informaation analysointi aiemmin kehitetyillä analyttis-numeerisella mallinnustyökaluilla ja vertailu TDD-menetelmällä tuotettuihin tuloksiin.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Referoituja artikkeleita alan kansainvälisissä julkaisuissa, yksi väitöskirja.		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Alan konferenssit, kotimaiset (mm. KYT-) seminaarit, esitelmät muissa tutkimusorganisaatioissa, yhteydet alan teollisiin toimijoihin.		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi C-14 vapautuminen loppusijoituksessa (HIILI-14)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Release of ¹⁴C (Carbon-14)		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuuhenkilö Kaija Ollila	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on suunniteltu kolme vuotiseksi, 2011-2013. Ehdotetaan jatkoa. VTT on mukana EU-hanke-endotuksessa: CAST (Carbon-14 Source Term), jätetään 13.11.2012.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Helsingin Yliopiston Radiokemian laitos	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Tulokset antavat tärkeitä tietoja ydinjätteiden loppusijoituksen realistisempia turvallisuustarkasteluja varten. ¹⁴ C on osoittautunut säteilyvaikutukseltaan merkittäväksi isotoopiksi voimalaitos- ja purkujätteessä (sekä käytetyissä polttoainepuissa). Tuloksia voidaan hyödyntää myös KYT2014-ohjelman ehdotetussa 'Loppusijoituksen turvallisuusperustelu' hankkeessa.		
Tuloskategoria Kokeellinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 1	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on selvittää voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen aktiivisissa metallikomponenteissa olevan ¹⁴ C- isotoopin vapautumista pohjaveteen loppusijoitustilaolosuhteissa, veteen syntyviä liuenneita ja kaasumaisia hiilen kemiallisia olomuotoja, erityisesti niiden jakautumista orgaanisiin ja epäorgaanisiin muotoihin. Orgaanisen hiilen osuus on erittäin tärkeä, koska orgaaniset hiilispesieket ovat helposti kulkeutuvia ja siten merkittäviä turvallisuustarkastelujen kannalta.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Säteilyttämättömän teräs- ja rautamateriaalin kokeet jatkuvat. Tavoitteena on selvittää reaktioaikoja ja koe- sekä analyysimenetelmiä. Säteilyttämättömän materiaalin kokeiden tulokset ovat pohjana suunniteltaessa säteilytetyn materiaalin kokeita tuleville vuosille.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Vuorinen U. ¹⁴ C aktivoituneessa metallijätteessä – kirjallisuusselvitys. Tutkimusraportti VTT-R-05446-12. 2012		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT-seminaarit		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Chemical forms and sorption of radiocarbon in the geosphere		
Tutkimuslaitos Helsingin yliopiston kemian laitos, Radiokemian laboratorio (HYRL)	Vastuhenkilö Prof. Jukka Lehto	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus		
Tutkimusjatkumo Hanke on uusi, joskin siihen tehtiin KYT-rahoituksella pienimuotoista alustavaa tutkimusta vuonna 2012		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, HY:n Kemian laitoksen Analyyttisen kemian laboratorio	Ulkomaiset organisaatiot Vuonna 2013 hankkeeseen etsitään ulkomainen kumppani	Muut tutkimusohjelmat, tms. Ytera
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Hankkeessa saavutettujen tulosten avulla saadaan tärkeää tietoa yhden merkittävimmän radionuklidin, ¹⁴ C:n, kemiallisesta käyttäytymisestä ja kulkeutumisesta kallioperässä. Tuloksia voidaan soveltaa turvallisuusanalyysissä ja sen viranomaisarviointissa. Koska tutkimus on ensimmäinen laatuaan Suomessa, saadaan sen avulla tietoa, jonka avulla epävarmuuksia radiohiilen käyttäytymisestä voidaan pienentää.		
Tuloskategoria - uuden tietämyksen tuottaminen - uusien menetelmien kehittäminen - uuden asiantuntijan kouluttaminen	Julkaisujen lukumäärä - 4-5 tieteellistä aikakauslehtiartikkeliä - 3-4 konferenssipaperia	Opinnäytetöiden lukumäärä - 2-3 pro gradu -tutkielmaa - 1 väitöskirja
Tutkimuksen tavoite Tutkimuksen tavoitteena on selvittää radiohiilen kemiallisia muotoja ja niiden muutoksia kallioperässä sekä karbonaattimuotoisen radiohiilen sorptiota rakomineraaleihin.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Vuonna 2013 saatetaan loppuun tutkimus karbonaattimuodossa olevan radiohiilen sorptiosta kalsiittiin. Toinen osa-alue on kokeellisten menetelmien kehittäminen radiohiilen kemiallisten muotojen, metaani ja karbonaatti, määrittämiseksi kokeissa, joissa simuloidaan mahdollisimman tarkasti Olkiluodon kallioperässä vallitsevia oloja redox-potentiaalini ja kemiallisen koostumuksen suhteen.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Vuonna 2013 kirjoitetaan tieteellinen aikakauslehtiartikkeli karbonaattimuotoisen radiohiilen sorptiosta kalsiittiin. Vuoden 2013 alkupuolella valmistuu aiheesta pro gradu -tutkielma		
Muu tutkimuksista tiedottaminen Karbonaattimuotoisen radiohiilen sorptiosta kalsiittiin tehdään tiedonanto Migration konferenssiin syyskuussa Brightonissa, Englannissa.		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Syvien kalliopohjavesien mikrobiologinen kartoitus, GEOMIKRO		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Microbiological characterization of deep subsurface groundwaters		
Tutkimuslaitos VTT Technical research centre of Finland	Vastuuhenkilö Dos. Merja Itävaara	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa GEOMIKRO hankkeelle, sekä edellisen tutkimusohjelman GEOMOL hankkeelle		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Geologian tutkimuskeskus, GTK ja Helsingin Yliopisto (HY)	Ulkomaiset organisaatiot Deep carbon observatory (DCO) ja ICDP International Continental Scientific drilling program (ICDP)	Muut tutkimusohjelmat, tms. Deep Life projekti (Suomen akatemia)(2010-2014) Deep metapathway (Suomen akatemia) (2012-2016)
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Tutkimuksessa kehitettyä osaamista ja tietämystä on hyödynnetty luottamuksellisissa teollisuuden toimeksiannoissa, joissa on karakterisoitu loppusijoitusalueen mikrobilajistoja suhteessa geokemiaan. Ydinjätteiden loppusijoitusalueen hydrogeologinen ja geokemiallinen karakterisointi edellyttää myös mikrobiologisten riskien arviointia. Tässä projektissa kehitetään uusia menetelmiä ja tuotetaan uutta tietoa maankuoren mikrobien toimintaan erityisesti hiilenkiertoon ja kuparin biokorroosioon liittyen. GEOMIKRO projekti on erillishanke, joka toimii tiiviissä yhteistyössä SALAMi ja GEOBIOINFO hankkeen kanssa. Tuloksia voidaan hyödyntää loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Tietoa mikrobiologisista prosesseista ja niiden vaikutuksista loppusijoitusolosuhteisiin ja turvallisuusriskeistä	Julkaisujen lukumäärä Tuloksista kirjoitetaan tieteellisiä artikkeleita ja raportteja 4 kpl.	Opinnäytetöiden lukumäärä 2 väitöskirjaa muilla rahoituksilla liittyvät tutkimukseen.
Tutkimuksen tavoite Kokonaisuudessaan, nelivuotinen tutkimushanke tuottaa tietoa syväbiosfäärin mikrobiyhteisöjen kokoonpanosta sekä niiden potentiaalisesta toiminnasta kun ravinneolosuhteet muuttuvat, sekä tunnistetaan metaboliareittejä ja vuorovaikutuksia eri mikrobiryhmien välillä.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain <ul style="list-style-type: none"> - Kartoittaa syvien kalliopohjavesien mikrobidiversiteettiä,. Kesällä 2012 näytteenotto oli Kuhmossa, kesällä 2013 Pyhäsalmen kaivoksessa. Mikrobidiversiteetti ja metabolia tutkimukset käynnissä - Tutkia anaerobisen metaanin hapettumisen yleisyyttä kalliopohjavesissä ja sulfaatin pelkistymistä prosesseissa. Yksisoluerottelut Bigelow laboratoriossa ja genomi sekvenssoinnit Joint Genome Insituutissa. - Hyödyntää uuden sukupolven sekvensointitekniikoita mikrobiyhteisöjen ja niiden metaboliareittien karakterisoinnissa. Liittyy myös uuteen Akatemia hankkeeseen Deep metapathway. - Analysoida mikrobiologisia tuloksia yhteistyössä GTK:n tutkijoiden ja HY Bioinformatiikan tutkijoiden kesken. Geokemia/mikrobiologia tilastollinen yhteys 		

Julkaisut ja opinnäytetyöt 2013

1. Purkamo L, Bomberg M, Nyysönen M, Kukkonen I, Ahonen L, Kietäväinen R, Itävaara M. Retrieval of authentic microbial population from deep crystalline bedrock fracture fluids: evaluation of packer method and sampling timing. – FEMS Microbiology in press.

2. Kietäväinen, R., Ahonen, L-, Kukkonen, I.T., Hendriksson, N., Nyysönen, M. Itävaara, M. 2013. Characterisation and isotopic evolution of saline waters of the Outokumpu Deep Drill Hole, Finland – implications for water origin and deep terrestrial biosphere. – Applied Geochemistry in press. doi.org/10.1016 j.apgeochem.22012.10.013

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

Tuloksia esitellään 2 konferenssissa.

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Kallioperän suolaiset fluidit, kaasut ja mikrobit (SALAMI)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Saline fluids, gases and microbes in crystalline bedrock (SALAMI)		
Tutkimuslaitos Geologian tutkimuskeskus	Vastuuhenkilö Tutk.prof. Ilmo Kukkonen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) KYT-SALAMI-hankkeen 2011-2014 kolmas toimintavuosi		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT/Biotekniikka Helsingin yliopisto/Tietojenkäsittelytieteen laitos Helsingin yliopisto/Geotieteiden ja maantieteen laitos ja Fysiikan laitos	Ulkomaiset organisaatiot GeoForschungsZentrum Potsdam (Saksa) ICDP-ohjelma University of Waterloo, Kanada Leibnitz Institut für Angewandte Geophysik, Saksa	Muut tutkimusohjelmat, tms. KYT2014 bentoniitti ja Cu-korroosiohankkeet
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? SALAMI-hankkeen tutkimustuloksia voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa, loppusijoituksen puskuri- ja täyteaineiden käyttäytymisen mallintamisessa, ja kapselin pitkäaikaiskestävyyteen ja korroosioon liittyvien prosessien tutkimuksessa. Tutkimus tuottaa myös tietoa, jota voidaan soveltaa selvitetessä syvien reikien käyttöä loppusijoitukseen		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Kokeellinen tutkimus	Julkaisujen lukumäärä 2011: 4 julkaisua vertaisarvioituissa sarjoissa, 2 konferenssiesitelmää 2012: 1 julkaisu vertaisarvioituissa sarjoissa 2013-2014: 2 julkaisua vertaisarvioituissa sarjoissa	Opinnäytetöiden lukumäärä 1 käynnissä oleva pro gradu 1 käynnissä oleva väitöskirja
Tutkimuksen tavoite SALAMI-, GEOMIKRO- ja GEOBIOINFO-hankkeiden yhteisenä tavoitteena on selvittää syvän biosfäärin makroskooppisesti ja mikrobiologisesti havaittavat biogeokemialliset prosessit.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain 1. Outokummun syväreian fluidi- ja kaasututkimus ja tutkimusmetodiikan kehitys: Fluidi- ja kaasunäytteenotto, analyysit ja alustava tulkinta (2011-2013) 2. Kallioperän suolaisten fluidien viipymääjan ja alkuperän tutkimus: Jalokaasujen käyttö viipymääjan selvityksessä (2011-2013) 3. Kallioperän syvän biosfäärin diversiteetin kartoitus: Olemassa olevien kairareikien käyttö näytteenottoon (2013 näytteenotto Pyhäsalmen kaivoksella) 4. Outokummun syväreian käyttö loppusijoituskohteen analogiana: Biofilmiansat ja loppusijoituksen simulointi (2011-2013 tehtävät in situ -kokeet) 5. Syvän biosfäärin energiatarkastelut: Radiolyttisen vedyn rooli mikrobien energialähteenä, vedyn läsnäolo tai puuttuminen Outokummun vesistä (2011-2014)		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Pro gradu: "Syvien pohjavesien sisältämien kaasujen geokemia ja liukoisuus", geol.yo Nina		

Heikkinen, 2012-2013

Osajulkaisu FT-tutkintoon: Riikka Kietäväinen et al.; Outokummun syväreian veden stabiilit isotopit (julkaisu 2012, tutkinto 2013)

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

Merkittävien tutkimustulosten valmistuessa annetaan lehdistötiedotteita; Yleisille tiedotusvälineille annetaan haastatteluja

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Syvän kallioperän bioinformatiikka (GEOBIOINFO)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Deep bedrock bioinformatics		
Tutkimuslaitos Aalto-yliopisto	Vastuuhenkilö Prof. Juho Rousu	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2)		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa 2011-2012 käynnissä olleelle hankkeelle.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot VTT, GTK	Ulkomaiset organisaatiot Deep carbon observatory (DCO) ja ICDP International Continental Scientific drilling program (ICDP)	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Projektin tuloksena saadaan bioinformatiikan menetelmiä ja työkaluja, joilla voidaan selvittää syvän kallioperän mikrobiyhteisöjen toiminnan vaikutuksia ydinjätteen loppusijoittamisen turvallisuuteen.		
Tuloskategoria Tietokoneohjelma, laskennallinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite GEOBIOINFO-hankkeen tavoitteena on kehittää bioinformatiikan menetelmiä ja työkaluja syvien kalliopohjavesien mikrobipopulaatioiden aineenvaihduntareittien karakterisoimiseksi.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Vuoden 2013 sisällölliset tavoitteet ovat seuraavat: <ol style="list-style-type: none"> 1. Geokemian ja mikrobilajiston välisten assosiaatioiden etsimiseksi kehitetään tilastollisia menetelmiä, erityisesti SCCA-menetelmään perustuen. Menetelmää sovelletaan joukosta syväreikiä (Oikiluoto, Outokumpu, Palmottu) kerättyyn mittausaineistoon. Tavoitteena on löytää mikrobilajien joukkoja joiden esiintyminen korreloi syväreian geokemian kanssa. 2. Aineenvaihduntareittien rikastusanalyysiä tehdään Outokummun syväreistä mitatuille metagenomiikka-aineistoille. Tuloksena saadaan tietoa siitä millaiset aineenvaihduntareitit ovat vallitsevia mikrobipopulaatioissa. Analyysimenetelmiä kehitetään edelleen jotta rikastuneiden metaboliareittien esiintymistä eri mikrobilajeissa voidaan tutkia. 3. Integroidaan GEOVISION-ohjelmistoon projektissa kehitettävät aineenvaihduntareittien rikastusanalyysimenetelmät (kohta 2). Resurssien salliessa myös geokemiallisen analyysin menetelmät (kohta 1) integroidaan ohjelmistoon. 		
Julkaisut ja opinnäytetyöt Viimeisteltävänä on lehtiartikkeli syväreikien metaboliareittien analysoinnista Oikiluodosta peräisin olevista metagenomiikanäytteistä, lähetetään julkaistavaksi loppuvuodesta 2012, julkaistaneen alkuvuodesta 2013. Geokemian ja mikrobilajistojen tilastollisesta analysoinnista kirjoitetaan lehtiartikkeli 2013. Tekeillä on gradutyö (Nicole Althermeler) jossa selvitetään laskennallisesti metaboliareittien jakautumisesta eri mikrobilajien kesken, valmistuu keväällä 2013.		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) GEOBIOINFO-projektin tuloksia pyritään esittelemään sopivissa yhteyksissä (esim. vierailuesitelmät)		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Mikrobiologisen korroosion riskit Suomen loppusijoitusolosuhteissa (REMIC)		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Risks of microbiologically influenced corrosion in the Finnish nuclear waste repository		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuhenkilö Leena Carpén	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on suunniteltu 4-vuotiseksi ja tutkimustyö on alkanut vuonna 2011.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa purkujättemetallien mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Kokeellinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 1 kansainvälinen julkaisu ja julkinen vuosiraportti	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite Hankkeen tavoitteena on arvioida kokeellisten laboratorio- ja kenttäkokeiden avulla biofilmiä muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujättemetallit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain 1)Määrittää laboratorio- ja kenttäkokeiden avulla mikrobiologisen toiminnan vaikutus purkujättemetallien (hiilliteräs ja ruostumaton teräs) korroosionopeuteen ja korroosiomekanismeihin Suomen loppusijoitusolosuhteissa. Tuloksena saadaan luotettavampi arvio Suomen loppusijoitusolosuhteissa tapahtuvasta eri materiaalien korroosionmekanismeista ja –nopeuksista mikrobiologinen vaikutus mukaan lukien. Saadaan uusia tuloksia ruostumattoman teräksen mikrobiologisesta korroosiosta Suomen loppusijoitusolosuhteissa 2)Tutkia metallipinnoille laboratorio- ja kenttäolosuhteissa muodostuvan biofilmin ominaisuuksia ja rakennetta. Tuloksena saadaan tietoja bakteerilajistosta sekä esim. sulfidin muodostumisesta biofilmissä ja voidaan verifioida laboratoriokokeiden tuloksia.		
Julkaisut ja opinnäytetyöt 1 kansainvälinen julkaisu ja yksi opinnäytetyö (julkaisuja käytetään osana väitöskirjaa, julkinen vuosiraportti)		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.) Osallistuminen kansainvälisiin konferensseihin (NACE Corrosion, International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management tms.), KYT vuosiseminaarit. Lisäksi VLJ-luolassa tehtävistä kenttäkokeista raportoidaan vuosittain TVO:lle.		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Microbial communities in the Gas Generation experiment		
Tutkimuslaitos VTT	Vastuhenkilö Dos. Merja Itävaara	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Uusi hanke 2 vuotinen		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms.
<p>Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Ydinvoimalassa tuotetun matala- ja korkea-aktiivisen jätteen loppusijoittaminen vaatii turvallisuuksianalyysijä, jotka liittyvät radioaktiivisten aineiden vapautumiseen loppusijoitustilasta ympäristöön (Safety case analyysit, Posiva). Mikrobiyhteisöillä ja niiden toiminnalla voi olla ratkaiseva vaikutus jätteiden turvalliseen pitkäaikaiselle loppusijoitukselle.</p> <p>Matala-aktiivinen jäte koostuu pääasiassa huoltojätteestä, joka sisältää selluloosapohjaista materiaalia (paperi, pahvi), polymeerimateriaalia (muovit, kumi) sekä kangasjätettä (puuvilla, keinokuidut). Mikrobiologiset riskit liittyvät jättemateriaalien hajoamiseen, kaasun muodostumiseen ja radionukleotidien kulkeutumiseen. Mikrobiotoiminta liittyy myös radionuklidien hapetus/pelkistystilaan, joka vaikuttaa niiden liukoisuuteen ja kykyyn liikkua veden mukana. Mikrobien toiminnasta aiheutuva kaasun muodostus ja metallien biokorroosio ovat merkittävimmät kaasunkehitykseen vaikuttavat tekijät (Rodwell et al. 2003).</p>		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tutkimuksen tavoite		
<p>Tässä hankkeessa on tavoitteena evaluoida huoltojätteen hajoamisaste sekä karakterisoida kokeessa rikastuneita mikrobilajistoja käyttäen monipuolisesti eri tutkimusmenetelmiä. Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää turvallisuusanalyysissä arvioitaessa huoltojätteen säilytyksen mikrobiologisia riskejä.</p>		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain		
<p>Projektin tavoitteena on:</p> <ul style="list-style-type: none"> Selvittää huoltojätteen hajoamisaste ja hajoamisen vaihe kaasunkehityskokeessa käyttäen hyväksi saatavilla olevaa analyysitietoa. Karakterisoida kaasunkehityskokeen mikrobilajistoja molekyylibiologisilla (454 pyrosekvensointi) ja bioinformatiikan työkaluilla. 		
Julkaisut ja opinnäytetyöt		
Tavoitteena on kirjoittaa 1-2 julkaisua kaasunkehityskokeesta		
Muu tutkimuksista tiedottaminen (esim. seminaari, tiedote, tms.)		
Tuoksista tiedottaminen seminaareissa ja konferensseissa		

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

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

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenveto 2013

Tutkimushankkeen nimi Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi Use of empirical data to improve radioecological modelling applied to risk assessment of radioactive waste		
Tutkimuslaitos Ympäristötieteen laitos, Itä-Suomen yliopisto/ Kuopion kampus	Vastuuhenkilö Jukka Juutilainen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Muut turvallisuustutkimukset		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Helmikuussa 2011 alkanut hanke on jatkoa työryhmän aiemmalle KYT2010-ohjelman hankkeelle. Tämän hankkeen suunnitellaan jatkuvan vuoteen 2014 saakka.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot	Ulkomaiset organisaatiot	Muut tutkimusohjelmat, tms. ERAC
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen turvallisuusanalyysiin liittyvässä biosfäärimallinnuksessa tarvitaan tietoa radionuklidien siirtymisestä maaperästä kasvillisuuteen ja ravintoketjuun. Suomalaisiin ympäristöolosuhteisiin sovellettu tieto parantaa mallinnuksen luotettavuutta.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Kokeellinen menetelmä	Julkaisujen lukumäärä 2	Opinnäytetöiden lukumäärä 1
Tutkimuksen tavoite Hankkeen yleisenä tavoitteena on empiirisen tiedon valossa tarkentaa suomalaiseen metsäekosysteemiin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Erityinen huomio keskittyy alkuaineiden siirtymiseen maaperästä kasveihin ja eläimiin.		
Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain Osaprojekti 1: Siirtymisen epälineaarisuuden vaikutus biosfäärimallinnukseen <ul style="list-style-type: none"> tutkitaan kuinka paljon siirtymisen epälineaarisuuden huomioon ottaminen vaikuttaa radioekologisten mallien tuloksiin ja niiden tarkkuuteen, tarkastellaan siirtymistä sekä kasveihin että eläimiin tarvittaessa selvitetään epälineaarisuuden sisällyttämistä radioekologisiin mallintamistyökaluihin Osaprojekti 2: Kokeellinen ekosysteemi alkuaineiden siirtymisen simulointiin <ul style="list-style-type: none"> analysoidaan vuosina 2011–2012 kerätty aineisto alkuaineiden siirtymisestä ravintoketjuissa pohjoisessa ekosysteemissä aloitetaan uusi koe, jossa selvitetään miten maaperän ravinnetilanteen muutos vaikuttaa alkuaineiden siirtymiseen jatketaan selvitystä alkuaineiden (etenkin uraanin) siirtymisestä lehtokotiloihin Tutkijankoulutus: <ul style="list-style-type: none"> Tiina Tuovisen väitöskirjatyon eteneminen 		

Julkaisut ja opinnäytetyöt

Tieteelliset artikkelit (odotettavissa vuonna 2013):

- Tuovinen T ym. Artikkel, jossa tarkastellaan kuinka paljon lineaarisen siirtokertoimen vaihtaminen epälineaarisen siirtymismalliin vaikuttaa radioekologisten mallien antamiin ennusteisiin.
- Tuovinen T ym. Artikkel, jossa tarkastellaan siirtymistä maaperästä kasveihin ja eläimiin kokeellisessa systeemissä.

Opinnäytetyöt:

Hankkeeseen otetaan yksi opiskelija tekemään pro gradu-työtään.

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

Tuloksia raportoidaan mahdollisuuksien mukaan kansainvälisessä tieteellisessä kokouksessa (tarkkaa suunnitelmaa ei vielä ole)

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2014)
Tutkimusyhteenvedo 2013

Tutkimushankkeen nimi Käytetyn ydinpolttoaineen geologisen sijoituksen kansainväliset sosio-tekniset ja turvallisuus haasteet – Suomi ja EU – FINSOTEC 2012-2014		
Tutkimushankkeen nimi englanniksi International Socio-Technical and Safety Challenges for Implementing Geological Disposal of Spent Nuclear Fuel – Finland and EU – FInSOTEC -2012-2014		
Tutkimuslaitos Jyväskylän yliopisto, Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos	Vastuuhenkilö Tapio Litmanen	
Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu? (ks. puiteohjelma, Kuva 2) 3.2. Y.j. turvallisuustutkimukset, 3.3. Ydinjätehuollon liittyvä yhteiskuntat. tutkimus		
Tutkimusjatkumo (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa edellisellä KYT-ohjelmakaudella aloitetulle ydinjätetutkimukselle, joka mahdollisti EU-hankkeen nimeltä InSOTEC (13 partneria). Vuoden 2012 täydentävä rahoitus EU-hankkeelle mahdollisti kokonaisvaltaisen osallistumisen EU-hankkeeseen. Aiemmin projektissa työskennellyt Anna Nurmi siirtyi tutkijakoulurahoitukselle tekemään omaa väitöskirjaansa ydinjätehuollon turvallisuuskysymyksistä. Mika Kari valmisteleo väitöskirjaa KYT2010 tutkimusprojektin tutkimusaineistosta. Vuoden 2013 ja 2014 projekteissa palvellaan enemmän kotimaista tilannetta Suomen ydinjätehuollon kehittämisessä, koska tärkeimmät tutkimukselliset kontribuutiot EU-projektille tulevat tehtyä alkuvuodesta 2013 ja rahoitus siltä osin loppuu.		
Yhteistyökumppanit		
Kotimaiset organisaatiot Tampereen yliopisto Säteilyturvakeskus	Ulkomaiset organisaatiot 13 EU-tutkimuspartneria: etupäässä yliopistoja ja yksi kansalaisjärjestö	Muut tutkimusohjelmat, tms. EU's 7 th Framework Programme (Theme: Fission-2010-1.1.2; Research activities in support of implementation of geological disposal)
Miten tuloksien soveltaminen konkreettisesti liittyy Suomen ydinjätehuollon toteuttamiseen? Posivan rakentamislupahakemus tulee arvioitavaksi ja hallinnollis-poliittiseen käsittelyyn vuosina 2013-2014. Hakemuksen turvallisuusperustelut arvioi Säteilyturvakeskus. Tutkimusprojektin tulokset auttavat viranomaisia turvallisuusasioiden arvioinnissa.		
Tuloskategoria (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	Julkaisujen lukumäärä 1 kansainvälinen artikkeli 1 kansainvälisen artikkelin käsikirjoitus	Opinnäytetöiden lukumäärä
Tutkimuksen tavoite (englanniksi tutkimussuunnitelmassa:) The focus of this study is on how risk governance is advanced through safety and risk dialogue between experts and expert organizations in the case of geological disposal of spent nuclear fuel in Finland. The aim of the project is to analyse: 1) what kinds of copper corrosion safety challenges are discussed in Posiva's pre-license construction application and how STUK has reviewed Posiva's application; 2) how copper corrosion issues are discussed in Posiva's construction licence application; 3) what kind of a risk dialogue has taken place before the licence procedure (Posiva's RTD- reports and STUK's review reports). Empirical data consist of Posiva's RTD reports, STUK's review statements, Posiva's prelicense application & appendixes, Posiva's construction license application & safety case. Theoretically the project will exploit and contribute to recent risk governance and risk communication literature. This proposal is a continuation of JYU's 2012 project. The research task of		

FinSOTEC overlap with two (safety and sociological research) out of three of the main themes of the KYT2014. The project will produce high quality research results to be used by Finnish nuclear authorities, when assessing Posiva's construction license application and when preparing the decision making on construction license. Outcomes of the project are mostly scientific articles in international scientific journals.

Sisällölliset tavoitteet ja tulokset osaprojekteittain:

In order to understand more about the risk dialogue between Posiva and STUK we have chosen a theme of copper corrosion as a case to be studied more in depth. First empirical objective is study what kinds of copper corrosion safety challenges are discussed in Posiva's pre-license construction application and how STUK has reviewed Posiva's application; second empirical objective is to analyse how copper corrosion issues are discussed in Posiva's construction licence application. Third empirical objective is to relate the findings to the findings of earlier phase of the studies.

Julkaisut ja opinnäytetyöt

1 kansainvälinen artikkeli
1kansainvälisen artikkelin käsikirjoitus

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

Uusien julkaisujen ilmestyttyä tiedottaminen Jyväskylän yliopiston viestinnän avustuksella tiedotusvälineille.

EU-projektin yhteiset suunnitelmat seminaarista relevanteille eri osapuolille.

Liite 2 KYT2014 organisaatio 2013

KYT2014 Johtoryhmä

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

KYT2014 Tukiryhmä I: Puskuri, täyteaineet ja kapseli

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

KYT2014 Tukiryhmä II: Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot

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

KYT2014 Tukiryhmä III: Yhteiskunta ja ihminen

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

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

Liite 3 KYT2014 hankeseuranta 2013

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

Tukiryhmä I Puskuri, täyteaine ja kapseli (Marko Alenius)

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

Tukiryhmä II Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot (Petri Jussila)

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

Tukiryhmä III Yhteiskunta ja ihminen (Jaana Avolahti)

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