

KYT2018

KANSALLINEN YDINJÄTEHUOLLON  
TUTKIMUSOHJELMA  
2015-2018

Vuosisuunnitelma  
2017

Kari Rasilainen

## Sisällysluettelo

Esipuhe	3
1. Johdanto	4
2. Tutkimusohjelman tavoitteet	6
3. Tutkimushankkeet vuonna 2017	8
3.1 Ydinjätehuollon teknologiat	11
3.2 Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus	11
3.2.1 Turvallisuusperustelu	11
3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky	12
3.2.3 Kapselin toimintakyky	13
3.2.4 Mikrobiologian vaikutukset	15
3.2.5 Muut turvallisuustutkimukset	17
3.3 Ydinjätehuolto ja yhteiskunta	20
3.4 Ydinjätetutkimuksen infra	21
3.5 Muut tutkimusohjelman infrahankkeet	21
Viitteet	22
Liite 1 KYT2018 hankekohtaiset hakuyhteenvedot 2017	23
Liite 2 KYT2018 organisaatio 2017	71
Liite 3 KYT2018 hankeseuranta 2017	73

## **ESIPUHE**

Tämä on Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT2018) sisällöllinen vuosisuunnitelma vuodelle 2017. Vuosisuunnitelmassa kuvataan tutkimusohjelman sisältöä hanke-esityksissä esitettyjen suunnitelmien perusteella.

Vuosisuunnitelmassa käsitellään rahoituskysymyksiä vain yleisellä tasolla. KYT2018-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 Voima Oyj:n ja Fortum Power and Heat Oy:n yhdessä omistamalla Posiva Oy:llä on Suomen laajin ydinjätehuollon tutkimus- ja kehitystyön ohjelma.

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

### Kotimainen toimintaympäristö

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

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

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

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

VTT on käynnistänyt Ydinturvallisuustalo-rakennushankkeen vuoden 2014 alkupuolella. Rakennus otettiin suurimmalta osaltaan käyttöön vuoden 2016 loppuun mennessä. Ydinturvallisuustaloon rakennetaan ajanmukaiset kokeelliset tutkimustilat kuumakammiovalmiuksineen, joissa voidaan tutkia esimerkiksi aktivoituneita reaktorimateriaaleja, mutta ei käytettyä polttoainetta. Kuumakammiot valmistuvat luultavimmin vuoden 2017 aikana. Taloon on rakennettu myös laboratoriotilat ydinjätetutkimukselle sekä uudet radiokemian ja dosimetrian laboratoriot.

KYT2018-ohjelman kansainvälinen arvio on tarkoitus suorittaa toukokuussa 2017.

## **Kansainvälinen toimintaympäristö**

Ulkomaisen kehityksen arvioidaan olevan vilkasta ydinjätehuollon alalla. Esimerkiksi EU:n ydinjätedirektiivi vaikuttaa toimialan käytäntöihin ja suunnitelmiin. Ruotsissa saatetaan loppuun maaliskuussa 2011 viranomaisille jätetty käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittely. Ranskassa korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituslaitoksen rakentamisen lupahakemuksen käsittely alkoi vuonna 2015 ja loppusijoitus aikataulun mukaan vuonna 2025. USA:ssa nk. Blue Ribbon -komiteat ovat selvittäneet vaihtoehtoja Yucca Mountainiin kaavaillulle geologiselle loppusijoitukselle, josta luovuttiin vuonna 2010 poliittisella päätöksellä.

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

Euroopan unionin (EU) rahoitus ydinjätetutkimukselle on toteutettu Euratomin tutkimus- ja koulutusohjelmien kautta puiteohjelmina. Seitsemäs puiteohjelma on päättynyt ja Horizon 2020 - ohjelma vuosille 2014–2020 on käynnissä: ensimmäinen hankehaku vuosille 2014-2015 avautui keväällä 2014 ja toinen keväällä 2016. Vuonna 2009 perustettiin teknologiafoorumi IGD-TP (Implementing Geological Disposal - Technology Platform), jonka tehtävänä on koordinoida Euratomin piirissä tehtävää ydinjätehuollon tutkimusta. Suomesta IGD-TP:hen osallistuu aktiivisimmin Posiva. Posivan lisäksi ohjelmassa on mukana myös eräitä muita suomalaisia ydinjätealalla toimivia organisaatioita ja voimayhtiöitä. SNE TP- NUGENIA tutkimusohjelmassa on mukana laitosten purkamiseen ja laitosjätteen käsittelyyn liittyvää tutkimustoimintaa, mikä täydentää IGD-TP:n tavoitteita jätehuollon tutkimustarpeiden osalta.

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

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

Suomalaiset ydinjätehuollon toimijat osallistuvat aktiivisesti kansainvälisten suositusten ja eurooppalaisten turvallisuusvaatimusten valmisteluun. STUK vaikuttaa IAEA:n (International Atomic Energy Agency) ydinjätehuoltoa koskeviin vaatimuksiin erityisesti IAEA:n ydinjäteasioita käsittelevän komitean (Waste Safety Standards Committee, WASSC) kautta osallistumalla vaatimus- ja ohje-luonnosten valmisteluun ja toimimalla IAEA:n projekteissa (esim. International Intercomparison and Harmonisation Project On Demonstrating the Safety of Geological Disposal, GEOSAF). Ohjetyön lisäksi STUK toimii Suomen yhteysorganisaationa IAEA:n ylläpitämässä ydinenergia-alan tiedonvaihto-järjestelmissä (mm. ydinjätetietokanta IAEA Online Information Resource for Radioactive Waste Management, NEWMDB). STUK:n asiantuntijat osallistuvat myös muiden jäsenvaltioiden

vertaisarviointeihin IAEA:n arviointiryhmien jäsenenä. IAEA-yhteistyö antaa kokonaiskuvaa ydinjäteasioihin, vaikka ne eivät suoraan koskisikaan tutkimusta. STUK osallistuu myös WENRA:n (Western European Nuclear Regulators Association) ydinjäte- ja käytöstäpoistotyöryhmän (Working Group on Waste and Decommissioning, WGWD) työhön. WGWD:n tavoitteena on harmonisoida ydinjätteeseen ja käytöstäpoistoon liittyviä viranomaisvaatimuksia. Luvanhaltijat Fortum ja TVO osallistuvat puolestaan Foratomin alla toimivan ENISS-ryhmän kautta WENRA:n, IAEA:n ja Euroopan komission ohjeisto- ja säännöstötyön seurantaan ja kommentointiin.

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

## 2. Tutkimusohjelman tavoitteet

KYT2018-tutkimusohjelman lähtökohdat perustuvat ydinenergialakiin (990/1987, 53 b §), jonka mukaan tutkimustoiminnan tavoitteena on ”varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien arviointiin”.

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

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

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

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

Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) rahoittaa vuosittain ydinjätehuollon tutkimushankkeita työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) esityksen perusteella. TEM:n esitys perustuu KYT-johtoryhmän rahoitussuosituksen. Vuosittain jaettava rahamäärä perustuu jätehuoltovelvollisten vastuumääriin. Tutkimuskaudella 2016–2018 on tutkimukseen, tutkimusinfrastruktuurin kehittämiseen ja

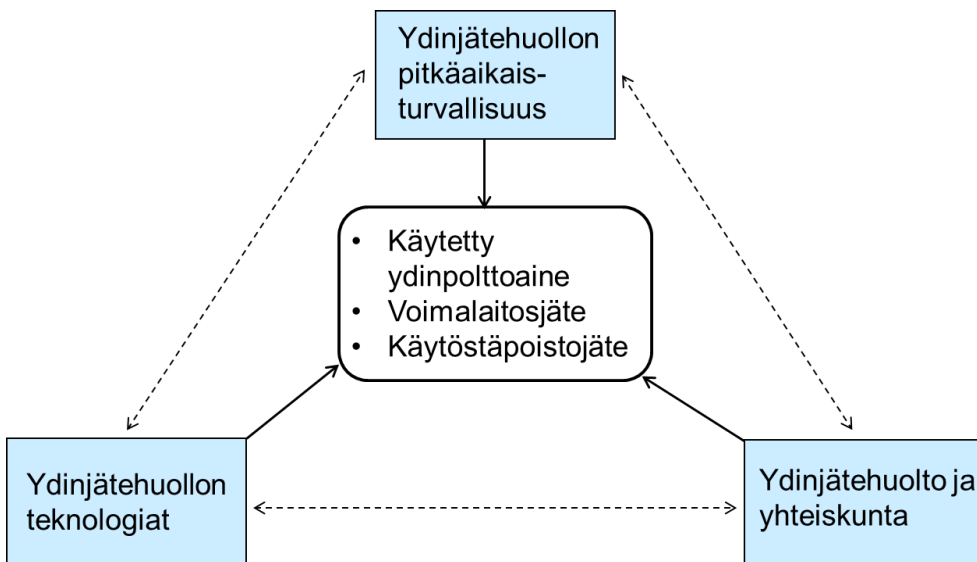
täydennyskoulutustoimintaan osoitettavissa noin 3,3 miljoonaa euroa. Tämä jakautuu kaikille avoimeen hakuun, jonka osuus on noin 1,8 miljoonaa euroa vuosittain, sekä vain VTT Oy:lle suunnattuun, Ydinturvallisuustalon tutkimusinfrastruktuurin kehittämiseen tarkoitettuun osaan.

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

KYT2018-ohjelma pyrkii osaltaan varmistamaan olennaisen kansallisen asiantuntemuksen jatkuvan saatavuuden, edistämään tieteellistä ja korkeatasoista osaamista sekä lisäämään yleistä tietämystä ydinjätehuollon alalla. Tämä toteutuu mm. edistämällä uuden asiantuntijapolven kouluttamista alalle. KYT2018-ohjelma voi tarjota osarahoitusta väitöskirjatyölle, mikäli esitetty työ täyttää tutkimusohjelman sisältö- ja laatuksiteerit.

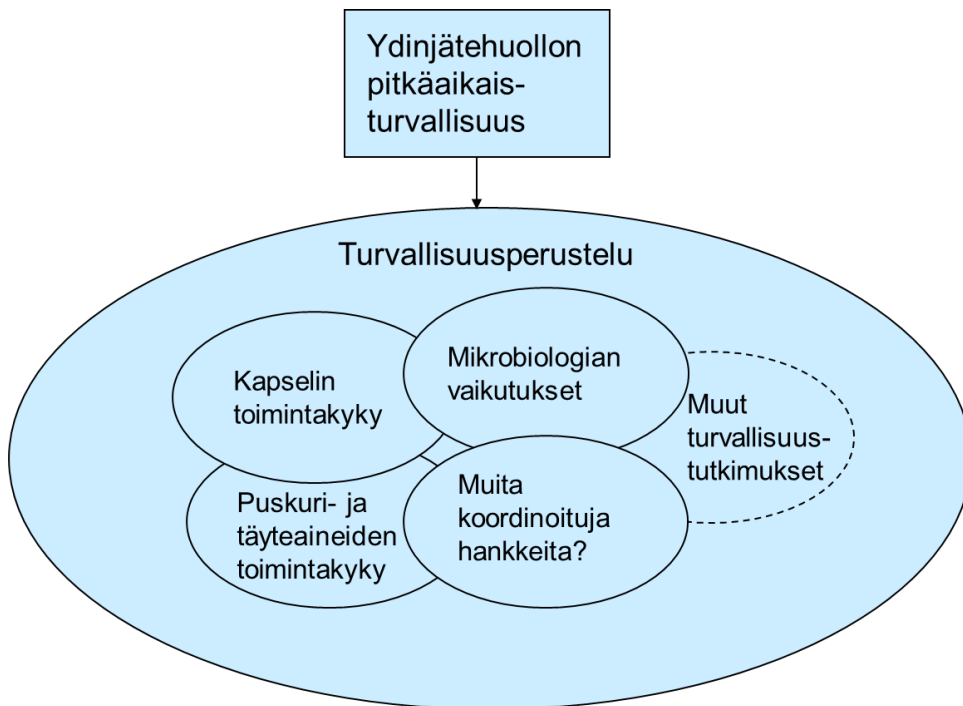
KYT2018-ohjelman tutkimussisältöön, raportointiin ja tiedonvälitykseen liittyvät tavoitteet on esitetty tarkemmin KYT:n puiteohjelmassa (TEM 2014). Tutkimusohjelman sisäinen työnjako on kuvattu toimintaohjeessa (<http://kyt2018.vtt.fi/>).

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



Kuva 1. KYT2018-tutkimusohjelman aihepiirit.

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



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

### 3. Tutkimushankkeet vuonna 2017

Vuoden 2017 hankehaku oli 3-osainen, joista yhdessä muodostuu vuoden 2017 ydinenenergialain tarkoittama hankekokonaisuus. 3-osainen hankehaku liittyy VTT:n Ydinturvallisuustalon rahoitusjärjestelyyn Valtion ydinjätehuoltorahaston (VYR) kautta. Ensimmäinen osa oli tutkimus- ja infrastruktuurihankehaku, joka oli kaikille avoin. Toisena osana oli vain VTT Oy:lle suunnattu haku Ydinturvallisuustalon laboratorio-osan toimitilakustannuksista. Kolmantena osana oli vain VTT Oy:lle suunnattu haku Ydinturvallisuustalon laboratorio-osan investointikustannuksista. Kaikki tähän hankehakuun osallistuneet infrahankkeet hakivat (ja saivat) osarahoitusta myös SAFIR2018 ohjelmasta.

Vuoden 2017 hankehakuun lähetettiin yhteensä 32 tutkimushanke-esitystä ja yhteenlaskettuna VYR-rahoitusta haettiin 3,785 M€, joista avoimen haun osuus oli 2,276 M€. Avoimen haun hanke-esitykset arvioitiin sisällöllisesti tukiryhmissä ja arvioinnissa kiinnitettiin huomiota seuraaviin kriteereihin, jotka myös ilmoitettiin jo hankehaun kutsukirjeessä (arviointikriteerit eivät ole muuttuneet vuodesta 2016):

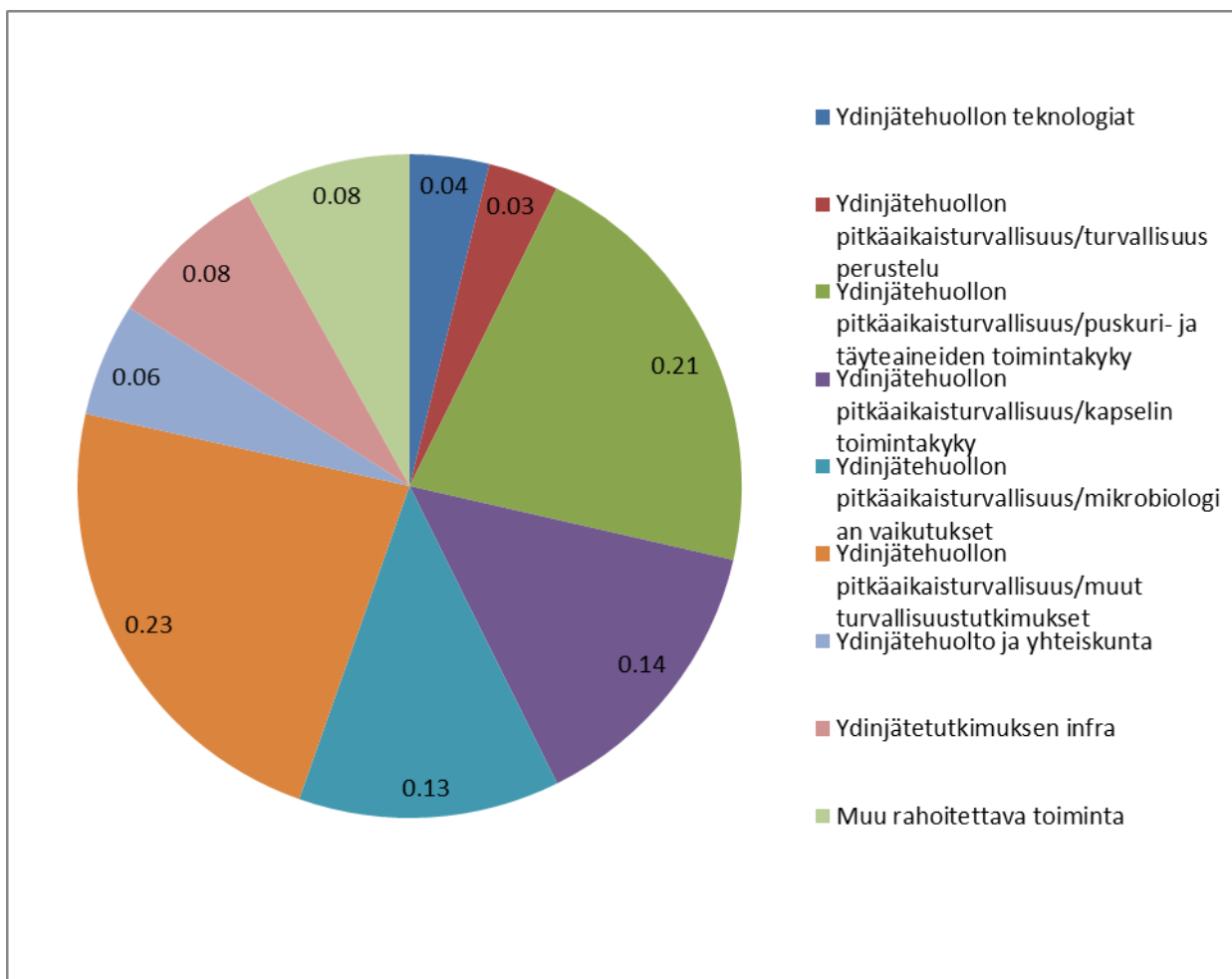
- merkittävyyttä ja hyödynnettävyyttä arvioidaan tutkimustarpeiden kannalta
- verkottuminen alan toimijoiden kesken tarkoittaa, että haetaan koottuja yhteisiä hankkeita ja ehyitä kokonaisuuksia
- koulutusvaikutus ja hanke-esityksen tieteelliset ansiot
  - uusien asiantuntijoiden kouluttaminen
  - uuden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



Tutkimusohjelman johtoryhmä laati tukiryhmien hankearvioiden pohjalta rahoitussuosituksen ja kokosi tukiryhmien työn pohjalta hanke-esityksille sisällöllisen palautteen. Hankekohtaiset palautteet saatiin hanke-esitysten tekijöiden tietoon. Kolme hanke-esitystä jouduttiin jättämään rahoittamatta ja joitakin rahoitettuja hankkeita jouduttiin leikkaamaan, koska avoimen haun hanke-esitysten yhteenlaskettu haettu VYR-rahoitus oli noin 480 k€ suurempi kuin VYR-rahoitusvara.

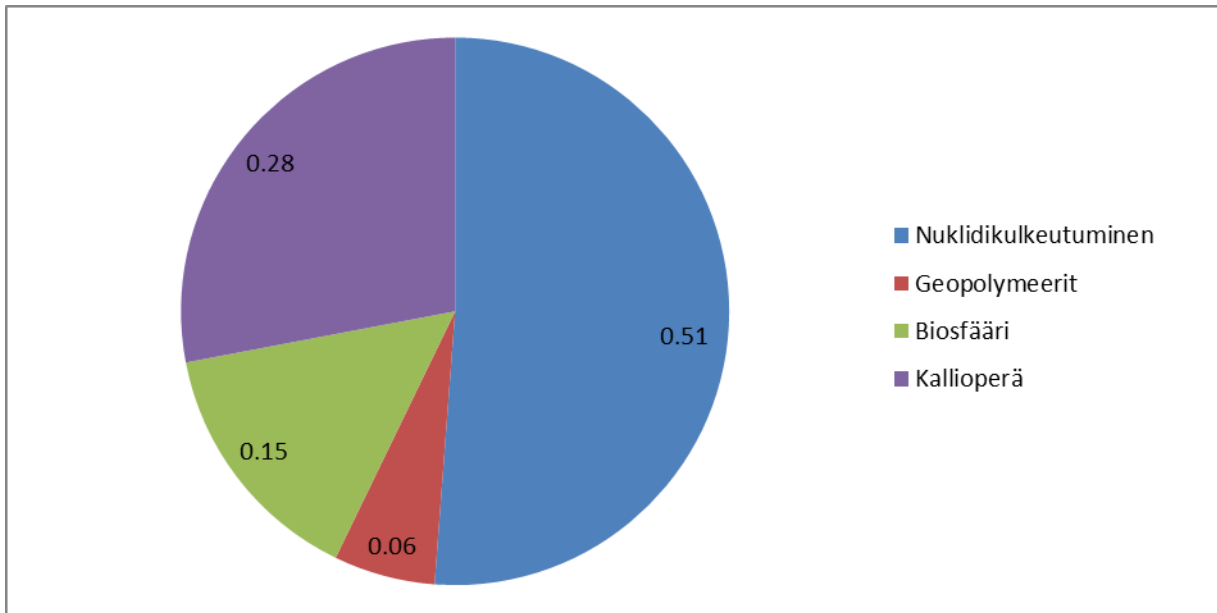
Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) teki johtoryhmän suosituksen pohjalta rahoitusesityksen, johon se pyysi lausunnon STUKilta. Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) teki lopullisen rahoituspäätöksen 8.3.2017. Vuonna 2017 KYT2018-ohjelmalle myönnetty kokonaisrahoitus on n. 3,3 M€, josta kaikille avoimen tutkimus- ja infrastruktuurihankehaun rahoitus on 1,8 M€. Kaikkiaan tutkimusohjelmassa myönnettiin VYR-rahoitusta 31 tutkimus- ja infrastruktuurihankkeelle, joista kolme koski Ydinturvallisuustaltoa. Tutkimushankkeiden lisäksi vuonna 2017 VYR:n varoista rahoitetaan tutkimusohjelman hallintohanke. VYR-rahoituksen jakautuminen avoimessa haussa eri tutkimusaihepiireihin on esitetty kuvissa 3 ja 4 ja eri tutkimuslaitoksille kuvassa 5.

Kaikille avoimien tutkimus- ja infrastruktuurihankkeiden kokonaisrahoitus, mukaan lukien hallintohanke, on vuonna 2017 3,16 M€, josta valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) rahoittaa 1,809 M€; loppu rahoituksesta tulee lähinnä tutkimuslaitoksilta. Tutkimus- ja infrastruktuurihankkeiden kokonaislaajuus on 25,5 henkilötyövuotta<sup>1</sup>.

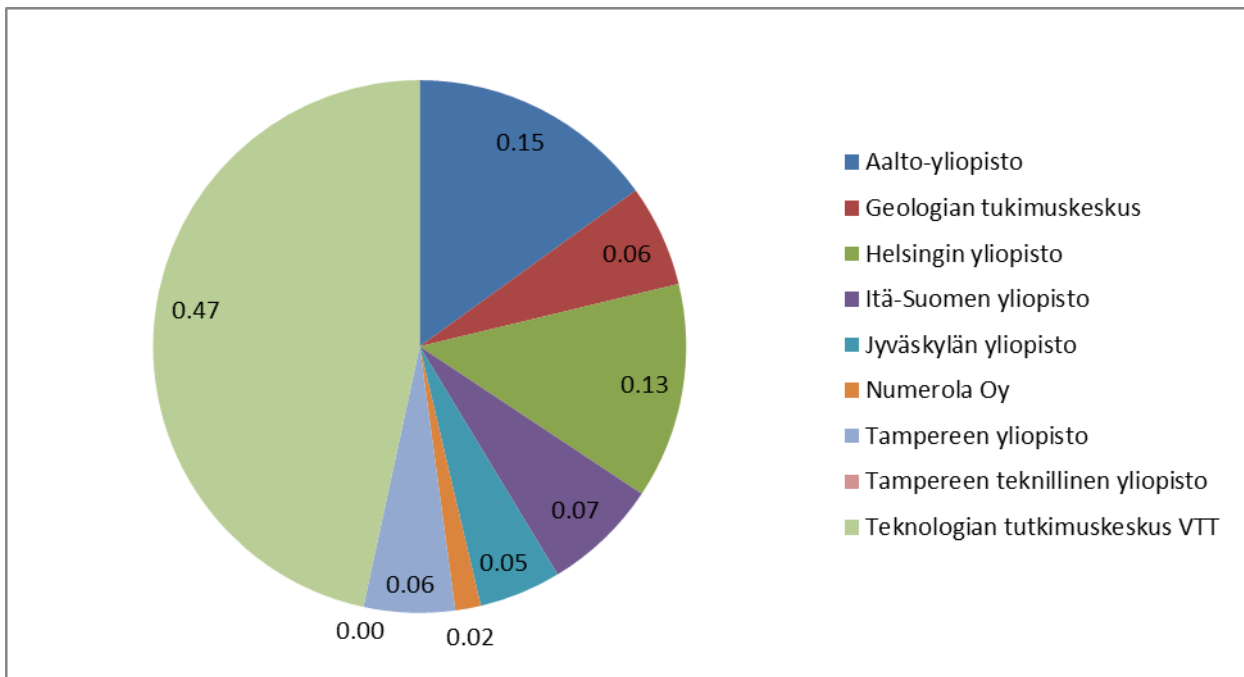


Kuva 3. KYT2018: VYR-tutkimus- ja infrarahoituksen avoimen hankehaun rahoituksen osuuden eli 1809,3 k€ jakautuminen tutkimusaihepiireittäin vuonna 2017. Kuvassa ei ole huomioitu hankehaun toista eikä kolmatta osaa.

<sup>1</sup> Oletettu, että 1 henkilötyövuosi vastaa 10,5 henkilötyökuukautta.



Kuva 4. KYT2018: Tutkimusaihepiirin Muut turvallisuustutkimukset suhteelliset VYR-rahoitusosuudet vuonna 2017.



Kuva 5. KYT2018: VYR- tutkimus- ja infrarahoituksen avoimen hankehaun rahoituksen osuuden eli 1809,3 k€ jakautuminen tutkimuslaitoksittain vuonna 2017.

Seuraavassa esitellään lyhyt yhteenveto vuoden 2017 hankekokonaisuuden sisällöstä. Hankekohtaiset kuvaukset ovat peräisin hanke-esityksistä. Liitteessä 1 on esitetty yksityiskohtaisemmat hankekohtaiset hakuyhteenvedot. Liitteessä 2 on kuvattu tutkimusohjelman organisaatio ja liitteessä 3 tutkimushankkeiden seuranta vuonna 2017.

Vuonna 2017 hankekokonaisuus koostuu etupäässä ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuutta käsittelevistä tutkimushankkeista. Ydinjätehuollon teknologioita käsitteleviä tutkimushankkeita on kaksi,

yhteiskuntatieteellisiä tutkimushankkeita yksi ja infrahankkeita yksi. Lisäksi tutkimusohjelmaan kuuluu hankehaun toisen ja kolmannen osan VTT:n Ydinturvallisuustaltoa koskevat infrahankkeet.

### 3.1 Ydinjätehuollon teknologiat

Vuonna 2017 ydinjätehuollon teknologiat –aihepiiri koostuu kahdesta hankkeesta (Taulukko 1).

Taulukko 1. Ydinjätehuollon teknologiat –aihepiirin hankkeet.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
Kehittyneet polttoainekierron - Uudet säädettävät erotusmateriaalit (SERMAT)	Risto Koivula, HYRL
Kehittyneet polttoainekierron – Skenaario- ja inventaarilaskenta	Silja Häkkinen, VTT

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

#### Kehittyneet polttoainekierron - Uudet säädettävät erotusmateriaalit (SERMAT)

Hankkeen tavoitteena on asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle erikoisalana epäorgaaniset ioninvaihtomateriaalit. Tohtorikoulutukseen liittyvän tutkimustyön tavoitteena on uusien nanohuokoisien zirkoniumfosfaatti-ioninvaihtimien tutkimus ja kehittäminen aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta tai uusien nesteuttomenetelmien synnyttämistä sekundaarijäteliuoksista. Lisäksi tavoitteena on kehittyneiden polttoainekiertojen kansainvälisen tutkimuksen seuranta ja tiedonvälitys koskien uusia erikoistekniikoita. Hanke toteutetaan rinnakkaishankkeena VTT:n hankkeen ”Kehittyneet polttoainekierron – Skenaario- ja inventaarilaskenta” kanssa. Tavoitteena väitöskirja kesällä 2017.

#### Kehittyneet polttoainekierron – Skenaario- ja inventaarilaskenta

Kehittyneillä polttoainekierronilla tarkoitetaan ydinpolttoainekierronratkaisuja, joissa käytettyä ydinpolttoainetta jatkokäsittelmällä pyritään vähentämään loppusijoitettavan ydinjätteen määrää ja vaarallisuutta. Hankkeen tavoitteena on hankkia ja ylläpitää kotimaista kehittyneiden polttoainekiertojen mallinnusosaamista sekä seurata alan kansainvälistä kehitystä ja tutkimusta. Pitkän ajan tavoitteena on myös päästä mukaan EU:n rahoittamaan tutkimusyhteistyöhön. Reaktoritason mallinnusohjelmilla (mm. MCNP, Serpent, CASMO-SIMULATE) voidaan seurata polttoaineen nukliidi-inventaarin muuttumista erilaisissa reaktoreissa. Skenaariomallinnusohjelmilla (mm. COS16, SITON) puolestaan tutkitaan polttoainekierronratkaisuja suuremmassa mittakaavassa. Ohjelmavalikoimalla kyetään analysoimaan sekä nopeita että termisiä reaktoreita, arvioimaan transmutaatiolaitosten tehokkuutta ja simuloimaan polttoainekiertojen materiaalivirtoja. Tuloksia voidaan hyödyntää kehitettäessä tekniikoita, joiden avulla ydinjätteen pitkäikäisten isotooppien määrää ja siten myös loppusijoituksen vaatimaa aikaa lyhennetään merkittävästi. Projekti lisää suomalaista ydinenergiaosaamista, ja sen puitteissa koulutetaan nuoria tutkijoita alalle

### 3.2 Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus

#### 3.2.1 Turvallisuusperustelu

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelu -aihepiiri koostuu kahdesta hankkeesta, jotka yhdessä muodostavat koordinoitua hankkeen Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi, TURMET (Taulukko 2). Tässä koordinoitussa hankkeessa tutkimusryhmä on laatinut yhteisen

työsuunnitelman, kokonaisbudjetin ja tutkimusyhteenvedon. Kumpikin osahanke on kuitenkin jättänyt itsenäisen hanke-esityksen.

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

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

Aalto=Aalto-yliopisto; VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT

### **TURMET - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi**

Hankkeen tavoitteena on perehtyä ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusperustelun metodiikkaan erityisesti skenaarioanalyysin näkökulmasta. Hankkeen tieteellisenä tavoitteena on arvioida epävarmuuksien huomioon otton vaikutuksia turvallisuusanalyysin menetelmiin ja kehittää epävarmuuksien arviointiin teknisiä työkaluja, esimerkiksi skenaarioanalyysin avulla. Osahanke 1 (koordinoitihanke) on VTT:n vastuulla ja osahanke 2 Aalto-yliopiston vastuulla. Osahankkeessa 2 kehitetään ja sovelletaan skenaarioanalyysiin ja todennäköisyyspohjaiseen riskianalyysiin (PRA) perustuvia menetelmiä ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperusteiden arvioinnin tukena. Hankkeessa koulutetaan uusia asiantuntijoita alalle sekä VTT:llä että Aalto-yliopistossa. Hankkeelle on perustettu oma verkkosivusto <http://www.vtt.fi/sites/turmet>. Koordinoidun hankkeen koordinoitutyö sisältyy VTT:n osahankkeeseen.

### **3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky**

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

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

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

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

## **THEBES – Paisuvasavisten vapautumisesteiden käyttäytyminen**

Hankkeen tavoitteena on kehittää, todentaa ja testata kytketty termo-hydro-mekaanis-kemiallinen laskentamalli bentoniitille. Malli toteutetaan numeerisena ohjelmistona ja sillä simuloidaan käytännön tarkasteluissa tärkeitä tapauksia. Lisäksi hankkeessa koulutetaan uusia asiantuntijoita ja kehitetään uutta osaamista hyvän kansallisen ja kansainvälisen yhteistyöverkoston kautta. Tutkimus keskittyy kytketyn elasto-plastisen konstitutiivisen mallin luomiseen. Väliaineen käyttäytymistä mallinnetaan ottamalla huomioon muutokset mikrorakenteessa monimutkaisen huokosvesivuorovaikutuksen seurauksena. Tutkimuksen tuloksia julkaistaan savialan laatulehdissä ja tieteellisissä konferensseissa. Kehitettyä osaamista levitetään vuotuisten workshoppien avulla. Viranomaiset voivat käyttää tuloksia arvioidessaan ydinjätteiden loppusijoituksen lupahakemuksia. Tuloksia voidaan myös hyödyntää arvioitaessa bentoniittipuskurin ja täyteaineen käyttäytymistä alkuvaiheen vettymisvaiheessa. Tuloksia voidaan edelleen hyödyntää tutkimuskonsortion sisällä sekä koottaessa tutkimustietoa paisuvan savien käyttäytymisestä Suomessa ja ulkomailla. Hankkeelle aiemmin perustetut verkkosivut on siirretty uuteen osoitteeseen Aalto-yliopiston alustalla (<http://civileng.aalto.fi/en/research/projects/thebes/>). Koordinoidun hankkeen koordinoitutyö sisältyy Aalto-yliopiston osahankkeeseen.

## **Bentoniitin eroosio ja radionuklidien vuorovaikutus**

Hankkeen yleisenä tavoitteena on tutkia bentoniittipuskurin toimintakykyä sekä radionuklidien ja bentoniittikolloidien ja/tai mineraalien välisiä vuorovaikutuksia, soveltaa eri menetelmiä ja kouluttaa alalle uusia osajia. Teknisenä tavoitteena on tutkia 1) bentoniitin eroosion mekanismeista ja kinetiikkaa, välivaiheena syntyneen geelifaasin ominaisuuksia, massan hävikkiä kolloidisessa muodossa sekä kolloidien ominaisuuksia ja stabiilisuutta eri pohjavesiolosuhteissa, 2) selvittää radionuklidien, erityisesti aktinidien sorptiota/desorptiota soveltamalla eri menetelmiä ja molekyyllimallinnusta radionuklidien, erityisesti aktinidin ja mineraalin välisen sidoksen luonteen ja sorption pysyvyyden tunnistamiseksi. Tuloksena saadaan tietoa bentoniitin rapautumismekanismeista ja -kinetiikasta, pohjavesiolosuhteiden vaikutuksesta kolloidien liikkuvuuteen sekä aktinidien sorptiomekanismeista. Lisäksi saadaan määritysmenetelmiä sekä parametreja ja testitapauksia kokeellisen työn ja mallinnuksen yhdistämistä varten.

## **Bentoniitin paisumisaine**

Hankkeen tavoitteena on selvittää bentoniitin paisumisilmion atomitasoisen fysikaaliskemiallinen perusta. Siinä tuotetaan käytännön työväline täyteaineen makroskooppisen paisumisen ennustamiseen bentoniitin koostumuksen ja ympäristötekijöiden funktiona. Työn keskeinen konkreettinen kohde on bentoniitin paisumisaineen ennustaminen. Hankkeen perimmäisenä tavoitteena on kehittää uusi fysiikan ja kemian lakeihin perustuva menetelmä, jota voidaan hyödyntää ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuden arviointiin. Hankkeen ensimmäisinä vuosina on demonstroitu menetelmän toimivuus yleisimmille bentoniittisysteemeille. Hankkeen kolmantena vuonna tutkitaan paisumisilmion riippuvuutta bentoniitin ympäristötekijöistä. Hankkeen tulevina vuosina konsepti laajennetaan kattamaan systemaattisesti paisuvat savisysteemit. Hanke toteutetaan yhteistyössä kokeellista bentoniittitutkimusta tekevien tutkimusryhmien kanssa.

### **3.2.3 Kapselin toimintakyky**

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

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

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

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

Seuraavassa esitetään koordinoitu hanke KAPSELI osahankkeittain.

### **Kokeellisesti todennetut malliennusteet kuparikapselin eheydelle (PRECO)**

Hankkeen tavoitteena on tuottaa arvio kuparikapselin venymä- ja jännitys jakaumasta sekä elinikäarvio perustuen kokeellisesti verifioidun virumis- ja relaksaatiomallin käyttöön elementtinenetelmämallinnuksessa. Kapselin ulkoinen paine muokkaa kuparivaipan kiinni sisäosaan, jolloin etenkin kannen hitsin alueelle tulee jännitys- ja venymäkeskittyviä. FE-mallinnuksessa otetaan huomioon hitsin paikallisesti heikentyneet vyöhykkeet: joint line hooking ja oksidipartikkelivyöhyke. Vuonna 2017 testataan kuparin jännityshistoriariippuvuutta yhteistyössä Aallon kanssa. Kuparin relaksaation ja moniaksiaalisuuden sekä korroosion ja virumisen yhteisvaikutuksen testaaminen jatkuu. Uusien osajien koulutusta tehdään erityisesti EBSD-mikroskopian ja miniatyyrimenetelmien osalta. Tulokset julkaistaan paitsi vuosiraporteissa myös kansainvälisissä konferensseissa ja tieteellisissä julkaisuissa. Koordinoitun hankkeen koordinoitavuus sisältyy VTT:n osahankkeeseen PRECO.

### **Kuparikapselin mekaaninen lujuus (MECHACOP)**

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparikapselin eri osien (perusmateriaalit ja hitsit) mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää makroskooppinen ja mikroskooppinen plastinen deformaatio sen epähomogeenisissä rakenteissa. Tuntemalla kuparikapselin eri osien deformaatiomekanismit voidaan ennustaa kapselin deformaatio ja mahdollinen murtuminen pitkäaikaisessa käytössä ja mallintaa sen käyttäytyminen luotettavasti. Tutkimuksessa selvitetään myös vedyn absorptio ja sen vaikutus kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin sekä kuparin jännityskorroosion mekanismi. Tuloksena saadaan selville kuparikapselin epäjatkuvuuskohtien (viat ja geometriset epäjatkuvuudet) ja epähomogeenisen mikrorakenteen (rae- ja muokkaus rakenne) vaikutukset deformaation paikallistumiseen ja murtumiseen. Tuloksia voidaan hyödyntää meneillään olevassa virumistutkimuksessa. Tutkimus on erittäin tärkeä kapselin valmistuksessa sen laadulle asetettävien vaatimusten määrittelyssä, epäjatkuvuuskohtien kriittisyyden arvioinnissa (sallitut poikkeamat ja vikakoot sekä niiden hyväksymiskriteerit), ja erityisesti kapselin ja koko loppusijoituksen turvallisuusanalyysissä.

### **Reaktiotuotteiden vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen olosuhteissa (REPCOR)**

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparin pinnalle muodostuvien reaktiotuotekerrosten vaikutus kuparin korroosioon. Reaktiotuotekerroksilla uskotaan olevan vaikutus sekä yleisen korroosion nopeuteen että paikallisen korroosion eri muotoihin. Tutkimuksessa selvitetään reaktiotuotekerrosten muodostuminen ja niiden vaikutus, kun kuparikapseli käy lävitse eri korroosiovaiheet kuivasta ilmastosta turpoamattoman bentoniitin hapellisten olosuhteiden kaasufaasiin ja nestefaasiin ja lopulta hapettomien olosuhteiden nestefaasiin. Tuloksia voivat hyödyntää yritykset ja viranomaiset, jotka arvioivat kapselin pitkäaikaiskestävyyttä korroosion kannalta. Tutkimus voi tuoda lisäselvitystä sekä aikaisempien tutkimusten kymmenkertaisiin eroihin yleisen korroosion nopeudessa että paikallisen korroosion esiintymiseen. Tutkimusaiheet ovat: menetelmä toistettavien reaktiotuotekerrosten muodostamiseen sekä kaasu- että nestefaasissa ja niiden karakterisointi (2015), reaktiotuotekerrosten vaikutus korroosioon hapettavissa olosuhteissa sekä kaasu- että nestefaasissa (2016-2017) ja reaktiotuotekerrosten vaikutus korroosioon hapettomissa olosuhteissa nestefaasissa (2017-2018).

### **Mikrobiologisen toiminnan vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen hapettomissa olosuhteissa (BASUCA)**

Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin käyttäytymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa, erityisesti hapettomassa vaiheessa. Tulosten perusteella voidaan arvioida loppusijoituskapselin mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Hankkeessa kehitetään koejärjestely, jonka avulla kuparin korroosiota voidaan tutkia myös korkeissa lämpötiloissa hapettomassa ympäristössä mikrobien läsnä ollessa. Hankkeessa käytetään on-line -mittausmenetelmiä kuparin korroosion tutkimiseen ja molekyylibiologisia mikrobimääritysmenetelmiä. Projektissa kehitettyjä menetelmiä voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa sovellutusympäristöissä. Hankkeessa toteutetaan opinnäytetyö yhteistyönä koordinoitun MILORI (Ydinjätteen loppusijoituksen mikrobiologiset riskit) konsortion hankkeiden kanssa.

### **Loppusijoituksen aerobisen vaiheen mikrobiologinen korroosio (MICOR)**

Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosioikäytymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa hapellisessa lämpimässä vaiheessa. Tutkimukset suoritetaan laboratoriossa koeolosuhteissa, joissa simuloidaan mahdollisimman tarkasti loppusijoitusolosuhteita loppusijoituksen lämpimässä hapellisessa vaiheessa. Hankkeessa kehitetään ja otetaan käyttöön online-mittausmenetelmä kuparin korroosion tutkimiseksi ja uusia menetelmiä mikrobien toiminnan tutkimiseksi kuparin pinnalla sekä selvitetään mikrobien vaikutusta jännityskorroosioon. Lisäksi hankkeen ensimmäisenä vuonna kehitettiin menetelmä, jota hyödynnetään kuparin korroosioalttiuden ja pintailmiöiden tutkimiseen biofilmin kehittyessä pinoille. Näitä menetelmiä voidaan soveltaa ja hyödyntää laajasti erilaisissa sovellutusympäristöissä. Hankkeessa koulutetaan osaajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle. Tuloksia hyödynnetään ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuusaihepiirissä kapselin toimintakyky-painoalueella arvioitaessa hapellisessa vaiheessa korroosionopeuksia ja korroosiovaikutusten arvioimiseksi tehtyjen mallien oikeellisuutta.

#### **3.2.4 Mikrobiologian vaikutukset**

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden mikrobiologian vaikutukset –aihepiiri koostuu neljästä hankkeesta, joista kolme muodostavat koordinoitun hankkeen Ydinjätteen loppusijoituksen mikrobiologiset riskit MILORI ja yksi on itsenäinen hanke (Taulukko 5). Koordinoitussa hankkeessa ei ole varsinaista yhteistä työohjelmaa samalla tavalla kuin edellä kuvatuissa koordinoituissa hankkeissa

TURMET ja THEBES. Jokainen osahanke on laatinut omaa osuuttaan koskevan työsuunnitelman ja tutkimusyhteenvedon omassa hanke-esityksessään.

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

<b>Tutkimushanke</b>	<b>Hankepäällikkö</b>
MILORI: Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksen mikrobiologia (MAKERI)	<b>Minna Vikman, VTT</b>
MILORI: Matala- ja keskiaktiivisen metallijätteen mikrobiologinen korroosio (CORLINE)	Leena Carpen, VTT
MILORI: Mikrobiyhteisöjen rikkimetabolialoppusijoitusolosuhteissa (GEOBIOKIERTO)	Hanna Miettinen, VTT
Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS)	Riikka Kietäväinen, GTK

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; GTK=Geologian tutkimuskeskus

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

MAKERI-osaprojekti kuuluu koordinoituun hankkeeseen MILORI (Ydinjätteen loppusijoituksen mikrobiologiset riskit). Projektin päätavoitteena on arvioida matala- ja keskiaktiivisen jätteen geologiseen loppusijoitukseen liittyviä mikrobiologisia riskejä, jotka voivat pahimmassa tapauksessa johtaa vapautumisesteiden toimintakyvyn heikkenemiseen, kaasun vapautumiseen ja radionuklidien kulkeutumiseen loppusijoitustilasta biosfääriin. Hankkeen tuloksena saadaan tietoa olosuhteiden vaikutuksesta voimalaitosjätteen hajoamiseen, kaasun muodostumiseen ja mikrobitoimintaan. Lisäksi tutkitaan mikrobitoiminnan aiheuttamia muutoksia huoltojätteen ja vapautumisesteiden (metalli) pinnoilla. Tutkimuskohteina hankkeessa on Olkiluodon VLJ-luolassa käynnissä oleva vuonna 1997 käynnistetty koe matala-aktiivisella jätteellä. Lisäksi hankkeessa tehdään simulaatiokokeita laboratoriomittakaavassa. Koordinoidun hankkeen koordinoitutyö sisältyy osahankkeeseen MAKERI.

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

Hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmien muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujättemetallit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa sekä monitoroida korroosion ja vesikemian muutosten yhteyttä reaaliaikaisesti in situ. Tutkimukset suoritetaan simuloituissa koeympäristöissä laboratoriossa sekä loppusijoitusalueella tehtävillä kenttäkokeilla (in situ monitorointi, laitekehitys). Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa purkujättemetallien mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Hankkeessa otetaan käyttöön uusia sähkökemiallisia mittausten menetelmiä paikallisen korroosion tutkimiseen ja kehitetään laitteisto, joka mahdollistaa korroosion ja vesikemian reaaliaikaisen seurannan loppusijoitusympäristössä. Menetelmiä voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa sovellutusympäristöissä. Hankkeessa koulutetaan osaajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osa-alueelle. Hankkeessa syntyviä julkaisuja käytetään osana Pauliina Rajalan väitöskirjatyötä. Hankkeessa toteutetaan gradu-/di-työ yhdessä MILORI konsortion hankkeiden ja BASUCA projektin kanssa.

### **MILORI: Mikrobiyhteisöjen rikkimetabolialoppusijoitusolosuhteissa (GEOBIOKIERTO)**

Hankkeen päätavoitteena on selvittää loppusijoitustilojen pohjavesien mikrobiyhteisöjen vaikutusta rikin kiertoon sekä rikkiyhdisteiden muodostumisnopeuteen eri olosuhteissa. Tutkimuksessa käytetään leimattua sulfaattia rikinkierron analysoinnissa ja sulfidin muodostumisnopeuden määrittämisessä. Lisäksi arvioidaan pohjavesien mikrobien ja niiden metaboliatuotteiden vaikutuksia bentoniittipuskurin fysikaaliselle rakenteelle ja toimintakyvylle. Pitkäaikainen koe toteutetaan mikrobeille suotuisissa



olosuhteissa, jolloin mikrobien mahdolliset vaikutukset bentoniitin rakenteelle voidaan todeta mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Hanke toteutetaan monivuotisena hankkeena pääosin VTT:llä. Hankkeessa tehdään yhteistyötä MILORI-konsortion hankkeiden, THEBES-konsortion tutkijoiden kanssa sekä EURATOM MIND hankkeessa. Tutkimuksen tuloksena saadaan tietoa korrodoivien sulfidiyhdisteiden muodostumisnopeudesta pohjavedessä sekä mikrobien vaikutuksista bentoniittipuskurin rakenteelle, joilla molemmilla voi olla merkittävää vaikutusta kuparikapselin pitkäaikaisturvallisuudelle. Tuloksia voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyseissa.

### **Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS)**

Hankkeessa tutkitaan biogeokemiallisesti tärkeiden alkuaineiden esiintymistä ja liikkumista kalliopohjavesissä, syvän biosfäärin energialähteitä ja energian siirtymistä mikrobien katalysoimissa hapetus-pelkistysreaktioissa. Hankkeessa tehdään omaa näytteenotto-, analyysi- ja mallinnustyötä. Hankkeen toteutuksessa hyödynnetään sekä KYT2018- ohjelman sisäistä että kansainvälistä yhteistyöverkostoa ja kansainvälisten syväreikätkimusten tilannetta ja näytteenottomahdollisuuksia seurataan. Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa geologisten pidätysesteiden ja syvän biosfäärin välisiä kytkentöjä ja prosesseja sekä niiden merkitystä ydinjätteiden geologisen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden kannalta. Keskeisiä tarkastelun kohteita ovat aineiden olomuoto, kulkeutuminen ja viipymäaika. Hankkeen tulokset esitetään kansainvälisissä julkaisusarjoissa.

### **3.2.5 Muut turvallisuustutkimukset**

Muut turvallisuustutkimukset –aihepiiri koostuu 8 hankkeesta (taulukko 6).

Taulukko 6. Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden muut turvallisuustutkimukset –aihepiirin hankkeet.

<b>Tutkimushanke</b>	<b>Hankepäällikkö</b>
Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
C-14 vapautuminen metallijätteestä	Tiina Heikola, VTT
Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann menetelmällä	Keijo Mattila, JYFL
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä	Jukka Lehto, HYRL
Applicability of Geopolymers in Nuclear Waste Management (GeoP-NWM)	Tarja Laitinen, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemeissä	Jukka Juutilainen, UEF
KARMO II – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet	Mikael Rinne, Aalto
ROSA: Rakosimulaattori, joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus- ja suuntajakaumia	Eevaliisa Laine, GTK

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

### **Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset**

Hankkeen tavoitteena on määrittää radionuklidien pidättymistä ja kulkeutumista kiteisessä kivessä. Työssä selvitetään vaikuttavatko kemiallisten/fysikaalisten olosuhteiden muutokset laboratoriokokeista in situ kokeisiin mentäessä niihin parametreihin, joita käytämme arvioitaessa radionuklidien

kulkeutumista kalliiossa. In situ ja laboratoriokokeiden tulosten tulkintaan kehitetään reaktiivisia kulkeutumismalleja, joissa otetaan huomioon kiven mineraalien ja rakenteen heterogeenisuus. Grimselin vuorilaboratoriossa Sveitsissä käynnissä oleva 3-vuotinen in situ koe lopetetaan keväällä 2017. Tämän jälkeen koalueelta kairatuista kivinäytteistä tutkitaan radionuklidien tunkeutumissyvyyydet kiveen aiemmin HYRL:ssä kehitetyin radiometrisin menetelmin. In situ kokeessa käytettävät radioaktiiviset merkkiaineet ovat HTO, Cl-36, Ba-133 (Ra-226 analogi), Cs-134, Na-22 ja I-131 (analogi I-129) sekä stabiili Se (Se-79 analogi). Vuonna 2017 tehdään laboratoriokokeita radiumin jakaantumiskertoimien määrittämiseksi ja tulkitaan PHREEQC-ohjelmalla bariumin ja radiumin tuloksia sorptiomekanismien selvittämiseksi. Päättäjän väitöskirjatyön puitteissa tehdään 4 kuukauden mittainen tutkijavierailu Amphos21:een saamaan oppia ja kehittämään reaktiivista kulkeutumismallia yhdistäen PHREEQC ja Comsol Multiphysics mallinnustyökalut. Geologian tutkimuskeskus osallistuu hankkeeseen asiantuntijana. Tuloksena saamme turvallisuusrelevanttia tietoa radionuklidien kulkeutumisesta ja vuorovaikutuksista saturoidussa kalliiossa. Tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia. Päämääränä on kouluttaa uusia ydinjätehuollon asiantuntijoita, jotka kansainvälisessä verkostossa toimiessaan saavat opetusta eri tieteenaloilta ja koulutautuvat monitieteisiksi ydinjätteiden loppusijoituksen asiantuntijoiksi. KYT2018 ohjelmassa geokemian mallinnus nostetaan painopisteeksi kuin myös geokemistin kouluttaminen.

#### **C-14 vapautuminen metallijätteestä**

Hankkeen tavoitteena on selvittää voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen aktiivisissa metallikomponenteissa olevan C-14 isotoopin vapautumista pohjaveteen loppusijoitusolosuhteissa, vapautumisnopeutta sekä veteen muodostuvia liuenneita ja kaasumaisia hiilen kemiallisia olomuotoja. Erityisesti jakautuminen orgaanisiin ja epäorgaanisiin kemiallisiin olomuotoihin on tärkeää kulkeutumisen kannalta. Hanke on osa EU-projektia: CAST (CARbon-14 Source Term, WP: Steels), joka alkoi 1.10.2013. Kesto on 4,5 vuotta. Hanke ehdotetaan toteutuvaksi kahdessa osassa kuten aiempina vuosina: CAST osuus (osaprojektit 1 ja 2) ja kansallinen projekti (osaprojekti 3). CAST-osassa tehdään loppuun Loviisan terästä simuloivan säteilyttämättömän teräsjauheen ja rautakarbidin eluutiokokeet. Niissä tutkitaan vapautuneen hiilen spesiaatiota simuloidussa pohjavedessä, kun hiilen olomuoto kiinteässä faasissa tunnetaan. Hiilen olomuoto jäljittelee säteilytetyn teräksen C-14 olomuotoa. Vuonna 2016 käynnistettiin säteilytetyn teräksen eluutiokokeet simuloidussa pohjavedessä. Teräsnäytteet (2 kpl) leikattiin Loviisan säteilytysnäytekapselin kuoresta, joka on ruostumatonta terästä. Kansallinen projekti tukee kansallisia valmiuksia tehdä C-14 tutkimuksia meillä käytössä olevilla menetelmillä. KYT raportointi tehdään kansallisessa projektissa. Tuloksia voidaan hyödyntää mallinnettaessa C-14 vapautumista loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa.

#### **Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann menetelmällä**

Hankkeen tavoitteena on mallintaa radionuklidien kulkeutumista kallioperän raoissa ja kulkeutumisen viivästymistä matriisidiffuusion ja sorption vaikutuksesta hyödyntäen hila-Boltzmann- ja Time-Domain Random Walk (TDRW) menetelmiä. Hanke on osa radionuklidien kaukokulkeutumisen tutkimusverkostoa ja se toteutetaan neljävuotisena projektina Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella. Hankkeen tuloksena saadaan ensiarvoisen tärkeää tietoa radionuklidien kulkeutumisesta realistisessa ympäristössä, jossa otetaan huomioon todellinen rakogeometria, kiven mineraali- ja huokosrakenne sekä radionuklidien kemiallisia ominaisuuksia. Hankkeesta saatava tieto edistää viranomaisen pitkäaikaisturvallisuuden arviointivalmiuksia ja ydinjätetoimijoiden tekemää turvallisuusanalyysia.

#### **Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä**

Hankkeessa selvitetään ydinpolttoaineesta peräisin olevan radiohiilen kemiallisia muotoja ja näiden muutoksia sen kulkeutuessa kallioperän kautta biosfääriin sekä karbonaattimuotoisen hiilen sorptiota rakomineraaleihin, joita ovat kalsiitti ja rautamineraalit hematiitti ja götiitti. Hankkeessa yhdistyvät

uudenlaiset kokeelliset menetelmät ja tulosten tarkastelu geokemiallisen mallinnuksen valossa. Tutkimus on erittäin tärkeää, koska radiohiili kuuluu tärkeimpään radionuklidiluokkaan tarkasteltaessa ihmisille tulevaisuudessa mahdollisesti kertyviä säteilyannoksia ja koska tietämys radiohiilen käyttäytymisestä kallio- ja maaperässä on erittäin vähäistä. Tässä hankkeessa esitetyn kaltaista tutkimusta Suomessa ei ole aiemmin tehty. Hankkeessa tuotetaan radiohiilen kulkeutumisesta uutta, ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden arvioimista tukevaa tieteellistä tietoa. Lisäksi hanke kouluttaa alalle yhden uuden, tohtoritasoisen asiantuntijan.

### **Geopolymeerien käytettävyys ydinjätehuollossa (GeoP-NWM)**

Tutkimuksen tavoitteena on arvioida etuja, joita saavutetaan käyttämällä geopolymeeri-perustaisia matriiseja ja niistä tehtyjen komposiittien) ydinjätehuollon rakenteissa. Nämä materiaalit tarjoavat räätälöityjä mahdollisuuksia jätteen kiinteytykseen ja kapselointiin. Ongelmallisten radioisotooppien, kuten Cs-137 sitominen matriisin hilarakenteeseen ja hyvä kestävyys liukenemista vastaan antaa uusia mahdollisuuksia. Sementtipohjaisessa orgaanisen jätteen kiinteytyksessä on niiden kemiasta johtuen yhteensopivuusongelmia sementin hydrataation häiriintymisen takia. Lisäksi sementtipohjainen kiinteytyys perustuu lähinnä fysikaaliseen kapseloitumiseen. Tässä tutkimuksessa keskitytään geopolymeerien käyttöön kiinteytyksessä ja kapseloinnissa. Erityisesti keskitytään orgaanisen materiaalin vaikutuksiin mikro- ja makrotason rakenteellisiin muutoksiin sijoitusolosuhteissa. Hyvä radioisotooppien ja muiden haitallisten aineiden sitoutuminen ja hyvä säilyvyys tullaan verifioimaan tässä hankkeessa. Tämä luo uusia turvallisempia ja ympäristövaikutuksiltaan parempia mahdollisuuksia jätehuoltoon, ja siis potentiaalisia taloudellisia etuja.

### **Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemissä**

Hankkeen tavoitteena on kehittää boreaaliseen ekosysteemiin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Hanke toteutetaan kahtena osahankkeena. Ensimmäisessä osahankkeessa kerätään kenttätutkimuksin empiiristä tietoa ydinjätteiden riskien kannalta relevanttien alkuaineiden siirtymisestä makean veden ravintoketjuissa, ja kehitetään herkkiä menetelmiä, joilla voidaan saada tietoa pienten säteilyannosten vaikutuksista luonnon eliöihin. Toisessa osahankkeessa kehitetään radioekologista mallintamista tässä ja aiemmissa hankkeissa saadun empiirisen tiedon pohjalta. Tutkimuksen odotetaan tuottavan entistä kehittyneempää, pohjoiseen ympäristöön soveltuvaa ja empiirisen tiedon avulla tarkennettua biosfäärimallinnusta. Tuloksena syntyy myös kansainvälisiä julkaisuja (odotettu määrä 6) ja kaksi väitöskirjaa (joista 1 valmistuu hankkeen aikana). Tuloksia voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoituksen ja muiden ydinjätteiden riskien arviointiin.

### **KARMO II – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet**

Hankkeen tavoitteena on kehittää menetelmä kallion rakopintojen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi numeerista mallinnusta varten laboratoriomittakaavan koesarjan avulla. Hanke toteutetaan väitöskirjavetoisena ja opinnäytetöiden avulla. Hankkeessa kehitetään fotogrammetrinen replikaatiomenetelmä, määritetään sen tarkkuus ja annetaan suositukset lähtöaineistolle sekä kehitetään rakojen numeerista mallintamista hyödyntäen hankkeen tuottamaa parametrisointimenetelmää. Tulokset todennetaan isojen (2 m x 1 m sekä 0,5 m x 0,25 m) rakopintojen leikkauskokeiden avulla. Tulokset tulevat tutkijoiden ja viranomaisen käyttöön ja niitä voidaan käyttää arvioitaessa erilaisten raon hyväksymiskriteerien ja rakojen siirtymäanalyysin mallinnuksen hyväksyttävyyttä. Valtaosaa tuloksista käytetään numeerisen mallinnuksen lähtötietoina, kun mallinnetaan rakojen mekaanista vastetta tai siirtymää. Hankkeessa tehdään kansainvälistä yhteistyötä ruotsalaisten ja kanadalaisten tutkijoiden kanssa. Hankkeen tulokset ja tausta-aineistot julkaistaan avoimesti.

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

Hankkeen tavoitteena on luoda rakosimulaatio-tietokoneohjelma ja jakaa se alan tieteellisten julkaisujen kautta käyttäjille. Hanke toteutetaan Geologian tutkimuskeskuksen Kalliorakentaminen ja sijoituspaikat - yksikön (GTK) ja Aalto-yliopiston Georakentamisen yksikön (GR) yhteistyönä. Tuloksena saadaan lisäarvoa ydinjätetutkimukseen KYT-puiteohjelman mukaisen muissa turvallisuustutkimuksissa määritetyn "kallioperätutkimukset loppusijoituksen turvallisuuden kannalta" kautta. Hankkeesta lopputuloksena saatavaa tietokoneohjelmaa hyödyntämällä voidaan parantaa pohjaveden virtauksen ja radionuklidien kulkeutumismalleja sekä kivimassan kalliomekaanista käyttäytymistä mallinnettaessa. Tuloksia voidaan hyödyntää tuleville kalliorakennushankkeille Suomessa ja Suomen kaltaisilla kallioperäalueilla.

### **3.3 Ydinjätehuolto ja yhteiskunta**

Vuonna 2017 ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus –aihepiiri koostuu yhdestä hankkeesta (taulukko 7).

Taulukko 7. Ydinjätehuolto ja yhteiskunta –aihepiirin hanke.

<b>Tutkimushanke</b>	<b>Hankepäällikkö</b>
Governing Safety in Finnish and Swedish Nuclear Waste Regimes (SAFER)	Matti Kojo, TY

TY=Tampereen yliopisto

### **Turvallisuuden hallinta Suomen ja Ruotsin ydinjäteregeimeissä**

Hankkeessa tarkastellaan turvallisuuden hallintaa Suomen ja Ruotsin ydinjäteregeimeiden näkökulmasta. Tavoitteena on lisätä ymmärrystä Suomen ydinjäteregeimistä ja erityisesti sen jatkuvuudesta ja joustavuudesta muuttuvassa yhteiskunnallisessa ja sosio-tekniisessä kontekstissa. Vuosina 2015–2018 hankkeessa tarkastellaan seuraavia aiheita: (1) Kansalaisyhteiskunnan rooli, (2) printtimedian huomioon käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen, (3) printtimediassa esiin nousseet loppusijoitukseen liittyvät eettiset kysymykset, (4) laitosten sijoituskuntien asukkaiden eettiset näkemykset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta ja (5) johtopäätökset. Tutkimusaineistona on julkisia asiakirjoja, sanomalehtiaineistoa ja kyselyaineistoja. Kirjallisuuskatsaukset ja tutkimusryhmän kontaktit auttavat lisäämään kansainvälistä näkökulmaa aiheisiin. Hanke parantaa suomalaisen ydinenergiatutkimuksen laatua julkaisemalla vertaisarvioituja artikkeleita ja lisää osallistumista kansainvälisiin tutkimusympäristöihin (ydinenergia-alan tutkimusstrategian suositukset 2 ja 3). Hanke (1) tarjoaa mahdollisuuden arvioida suomalaisen hallintatavan nykyisiä käytäntöjä ja periaatteita, (2) auttaa ennakoimaan uusia yhteiskunnallisia huolia ja haasteita ja (3) tuottaa taustatietoa päätöksentekoon vaiheessa, jossa loppusijoitushanke etenee kohti käyttöönottoa.

### 3.4 Ydinjätetutkimuksen infra

Vuonna 2017 ydinjätetutkimuksen infra –aihepiiri koostuu yhdestä hankkeesta (taulukko 8). KYT2018-ohjelmassa ei ennen vuotta 2016 ole ollut erillisiä infrahankkeita. Hanke toteutetaan yhteistyössä SAFIR2018-tutkimusohjelman kanssa, koska infrahankkeita on siellä ollut aiemminkin ja siellä on organisoitu oma tukiryhmänsä infrahankkeita varten. Tämä hanke aloitti SAFIR2018 ohjelmassa jo vuonna 2015.

Sisällöllisesti hanke edistää VTT:n vuonna 2017 käyttöön otettavan Ydinturvallisuustalon kokeellisia tutkimusvalmiuksia ja sitä kautta myös ydinjätetutkimuksen kokeelliset valmiudet paranevat.

Taulukko 8. Ydinjätetutkimuksen infra –aihepiirin hanke.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
RADLAB (Radiological Laboratory Commissioning)	Wade Karlsen, VTT

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT

#### **RADLAB (Radiological Laboratory Commissioning)**

VTT Ydinturvallisuustalo ja sen radiologian laboratorio ovat osa kansallista tutkimusinfrastruktuuria, joka tekee tärkeää tutkimustyötä, jonka tarkoitus on varmistaa ydinjätteen turvallinen käsittely. KYT2018 tutkimusohjelman kolmantena vuonna valmistuvat B- ja C-luokan tilat ja toimintamenetelmiä kehitetään, parannetaan ja vakiinnutetaan niin, että ydinjätteen tutkimus voidaan toteuttaa turvallisesti ja tehokkaasti uusissa tiloissa. Ydinjätteen tutkimusta tehdään neljällä alueella: laboratoriolaitteisto-hankinnat ja nuklearisointi; tutkimuksen muut laitehankinnat, materiaalinkäsittely ja säilytys, ja korkean resoluution massa spektrometrilaitteen osaamisen kehittäminen. Infrastruktuurin ja lisätoimintojen käyttöönotto toteutetaan RADINFRA ja RADCNS -projekteissa ja Työ- ja elinkeinoministeriön KYT2018 tutkimusohjelman hankepäätöstä (TEM/1403/08.09.02/2016) ja Lakia ydinenergialain muuttamisesta (HE320/2014) noudattaen.

### 3.5 Muut tutkimusohjelman infrahankkeet

Vuonna 2017 tutkimusohjelmaan kuuluu myös kaksi muuta VTT:n Ydinturvallisuustaloon liittyvää infrahanketta.

Taulukko 9. Muut tutkimusohjelman infrahankkeet.

Tutkimushanke	Hankepäällikkö
RADCNS (Radiological laboratory facility costs of the Centre for Nuclear Safety)	Wade Karlsen, VTT
RADINFRA (Radiological laboratory equipment infrastructure investments)	Wade Karlsen, VTT

### **RADCNS (Radiological laboratory facility costs of the Centre for Nuclear Safety)**

KYT-2018 –tutkimusohjelma rahoittaa VTT:n Ydinturvallisuustalon laboratorio-osan toimitilakustannuksia vuonna 2017. Kustannukset sisältävät vuokran lisäksi myös sähkön ja tilojen huollon. Kustannukset on jaettu KYT- ja SAFIR-ohjelmien kesken suhteessa 24 % ja 76 %. Kustannusten suuruus on 2,7 milj. euroa vuosittain kymmenen vuoden ajan. Vuoden 2017 kustannus on KYT-tutkimusohjelman osalta arviolta vain 650 k€, sillä VTT muutti Ydinturvallisuustaloon kesken vuotta.

### **RADINFRA (Radiological laboratory equipment infrastructure investments)**

KYT-2018 –tutkimusohjelma rahoittaa VTT:n Ydinturvallisuustalon kuumakammio-investointeja päälaitteineen. Kustannukset on jaettu KYT- ja SAFIR-ohjelmien kesken suhteessa 24 % ja 76 %. Kustannusten suuruus on yhteensä enintään 18 milj. euroa ja se jakautuu vuosille 2016–2020. Vuoden 2017 kustannus on arviolta 860 k€.

### **Viitteet**

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

## Liite 1 KYT2018 hankekohtaiset hakuyhteenvedot 2017

### Ydinjätehuollon teknologiat

Ydinjätehuollon teknologiat –aihepiirin hankkeet.

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

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

### Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus

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

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

Aalto=Aalto-yliopisto; VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT

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

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

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

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

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

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; Aalto=Aalto-yliopisto

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

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

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT; GTK=Geologian tutkimuskeskus

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden muut turvallisuustutkimukset –aihepiirin hankkeet.

<b>Tutkimushanke</b>	<b>Hankepäällikkö</b>
Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset	Marja Siitari-Kauppi, HYRL
C-14 vapautuminen metallijätteestä	Tiina Heikola, VTT
Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann menetelmällä	Keijo Mattila, JYFL
Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä	Jukka Lehto, HYRL
Applicability of Geopolymers in Nuclear Waste Management (GeoP-NWM)	Tarja Laitinen, VTT
Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemeissä	Jukka Juutilainen, UEF
KARMO II – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet	Mikael Rinne, Aalto
ROSA: Rakosimulaattori, joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus- ja suuntajakaumia	Eevaliisa Laine, GTK

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

## Ydinjätehuolto ja yhteiskunta

Ydinjätehuolto ja yhteiskunta –aihepiirin hanke.

<b>Tutkimushanke</b>	<b>Hankepäällikkö</b>
Governing Safety in Finnish and Swedish Nuclear Waste Regimes (SAFER)	Matti Kojo, TY

TY=Tampereen yliopisto

## Ydinjätetutkimuksen infra

Ydinjätetutkimuksen infra –aihepiirin hanke.

<b>Tutkimushanke</b>	<b>Hankepäällikkö</b>
RADLAB (Radiological Laboratory Commissioning)	Wade Karlsen, VTT

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT



### Muut tutkimusohjelman infrahankkeet

<b>Tutkimushanke</b>	<b>Hankepäällikkö</b>
RADCNS (Radiological laboratory facility costs of the Centre for Nuclear Safety)	Wade Karlsen, VTT
RADINFRA (Radiological laboratory equipment infrastructure investments)	Wade Karlsen, VTT

VTT=Teknologian tutkimuskeskus VTT

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Kehittyneet polttoainekierrat – Uudet säädettävät erotusmateriaalit (SERMAT)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Advanced fuel cycle – New adjustable separation materials		
<b>Tutkimuslaitos</b> Helsingin yliopisto / Radiokemian laboratorio	<b>Vastuhenkilö</b> FT Risto Koivula (dos.)	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon teknologiat / nuklidierotus ja transmutaatio		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimushanke alkoi 2015 ja kestää koko KYT2018 ohjelman ajan, ja on jatkoa vuosien 2011-2014 "Kehittyneet polttoainekierrat – uudet erotustekniikat" –KYT-hankkeelle		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> VTT, Fortum, HY Fysikaalinen kemia, Epäorgaaninen kemia	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> COST EUFEN	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> YTERA-tohtoriohjelma CHEMS-tohtoriohjelma
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Asiantuntijan (radiokemian tohtorin) kouluttaminen P&T-erotustekniikan alalle erikoisalana epäorgaaniset ioninvaihtomateriaalit. Kehittää materiaali ja menetelmä aktinidien erotukseen käytetystä ydinpolttoaineesta. Lisäksi tavoitteena on kehittyneiden polttoainekiertojen kansainvälisen tutkimuksen seuranta ja tiedonvälitys koskien uusia erotustekniikoita.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) -Uusia Zr-fosfaattimateriaaleja An/Ln -erotuksiin -Tietoa materiaalien ominaisuuksista, etenkin -Tietoa materiaalien sorptiomekanismista An, Ln -analyysiteille	<b>Julkaisujen lukumäärä</b>  4-6  Vuonna 2017 A1-ref. julkaisuja 3+	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>  Väitöskirja 2017
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Hankkeeseen sisältyy tutkimusprojekti, joka edistää alan asiantuntijuuden saatavuutta ja tieteellisen osaamisen kehittymistä Suomessa ja edesauttaa suomalaisten tutkimuslaitosten ja teollisuuden pääsyä mukaan kansainvälisiin P&T-tutkimushankkeisiin. Hankkeeseen sisältyvä kehittyneiden polttoainekiertotekniikoiden tutkimuksen seuranta antaa tutkimuslaitoksille, viranomaisille ja voimayhtiöille ajantasaista tietoa käytetyn ydinpolttoaineen suoran loppusijoituksen yhdestä vaihtoehdosta.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)  Vuonna 2017 - ZrP-materiaalien synteesiolosuhdekartoituksen täydentäminen uusilla muuttujilla (synteesiolosuhteet vs. materiaalin ominaisuudet; happamuus, kiteisyys, kidefasojen ja tunnelien koot; PXRD, FTIR, FESEM, DSC, LIF (TRLFS, laserfluoresenssispektroskopia)		

- LIF-laitteiston käyttöönotto (Laitteistopanos: HY Fysikaalinen kemia) ja menetelmän kehitystyö jatkuu 2017
- Ymmärrys materiaalin happamuuden/kiteisyyden vaikutuksesta sen ioninvaihtoselektiivisyyteen, sorptiomekanismien selvittäminen ja -mallinnus ioninvaihtoisotermi- ja LIF-määritysten perusteella
- Kolonnierotuskokeet loppuvuodesta 2017: tässä vaiheessa tutkimusta voidaan valita/syntetisoida An/Ln erotuksen kannalta optimaalinen materiaali, jolla erotetaan amerikium lantanideista (mukaan otetaan mahdollisuuksien mukaan europiumin lisäksi muita käyttötarkoituksemme kannalta merkittäviä nuklideja)
- Tohtoriopiskelijan tavoite väitellä kesällä 2017

### **Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

- Tavoite julkaista vähintään 3 A1-referoitua tieteellistä artikkelia vuonna 2017, epäorgaanisen (materiaali)kemian lehdissä kuten ChemSelect tai EurJIC, tai radiokemian lehdissä kuten Radiochimica Acta.

Konferenssijulkaisut ja työraportit

- Konferenssimatka ja -paperi vuonna 2017 alan konferenssissa

Opinnäytteet

- Väitöskirja

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

HYRL-seminaari 2017, 40-45 hlö

CHEMS-tohtoriohjelman seminaari 2017, 30-60 hlö

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Kehittyneet polttoainekierrat – Skenaario- ja inventaarilaskenta		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Advanced Fuel Cycles – Scenario and Inventory Analysis		
<b>Tutkimuslaitos</b> Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	<b>Vastuhenkilö</b> Silja Häkkinen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon teknologiat		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa KYT2014 ohjelmakauden projektille Kehittyneet polttoainekierrat – Laskennallinen polttoainekiertoanalyysi		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> HYRL Aalto-yliopisto	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> Centre for Energy Research Hungarian Academy of Sciences, Budapest University of Technology and Economics, CEA	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> SAFIR2018
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Tutkimuksen tavoitteena on kehittää ja ylläpitää kotimaista polttoainekierto- ja transmutaatiotekniikoiden mallinnusosaamista sekä laskentatyökaluja. Hankkeessa tutkittavat kehittyneet polttoainekierto- ja transmutaatiotekniikat vähentävät ydinjätteen kokonaismäärää, lämmöntuottoa sekä loppusijoitukseen liittyviä riskejä polttoaineen jälleenkäsittelyn ja erilaisten transmutaatiotekniikoiden avulla (mm. nopeat reaktorit).  Tavoitteena on myös kansainväliseen yhteistyöhön kuten EU-projekteihin ja OECD/NEA:n työryhmissä tapahtuvaan laskentaan osallistuminen.		
<b>Tuloskategoria</b> tietokoneohjelmistot, kansallisen osaamisen kehittäminen	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1 / (2)	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 0
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Hankkeessa tuotetaan ydinvoimayhtiöille, viranomaisille ja muille päättäjille tietoa ydinjätteen suoran loppusijoituksen mahdollisista vaihtoehdoista. Pidemmällä tähtäimellä tulokset auttavat ydinvoiman ekologisen jalanjäljen minimoinnissa sekä kotimaassa että maailmanlaajuisesti.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)		
<b>2.1 Ydinpolttoainekiertojen analysointivalmiuden kehittäminen</b>  Vuonna 2017 jatketaan ydinpolttoainekierron mallinnukseen perehtymistä. Päätehtävänä on tutkia tärkeimpien aktinidien transmutaatioreaktioiden vaikutusalojen riippuvuutta polttoaineen lähtökoostumuksesta ja palamasta. Tämä on tärkeää erityisesti kehittyneissä suljettua kiertoa soveltavissa polttoainekierto- ja transmutaatiotekniikoissa, jolloin reaktoriin ladattavan polttoaineen lähtökoostumus vaihtelee. Ajan riittäessä aloitetaan SITON-ohjelman lähdekoodiin ja laskentamenetelmiin perehtyminen.  NEA:n työryhmässä AFCS tehtyä vertailulaskua gamma-annosnopeudesta käytetystä polttoainepinosta jatketaan. Vuonna 2017 validoidaan laskut vertaamalla tuloksia mittauksiin. Tätä varten laskut tehdään uudelleen käyttäen mitatun polttoainepinun säteilytyshistoriaa ja muita parametreja. Jos tämä laskenta toteutuu jo tammikuun 2017 aikana, niin vaihtoehtoisesti		

osallistutaan gamma-annosnopeuslaskuista laadittavan NEA:n raportin ja mahdollisen konferenssijulkaisun kirjoittamiseen.

## **2.2 Tiedonvälitys ja alan kehityksen seuranta**

Tavoitteena on kansainvälisen ydinpolttoainekierto-tekniikan tutkimuksen seuranta ja valmius tiedottaa alan kehityksen tilasta muulle tiedeyhteisölle ja viranomaisille.

Vuonna 2017 osallistutaan OECD/NEA:n alaisten WPFC ja AFCS-työryhmien toimintaan.

## **Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Tärkeimpien aktinidien transmutaatioreaktioiden vaikutusalojen riippuvuudesta polttoaineen lähtökoostumuksesta ja palamasta kirjoitetaan VTT-raportti.

Gamma-annosnopeuslaskuista kirjoitetaan NEA:n raportti. Raportin lopullinen valmistumisaikataulu riippuu AFCS asiantuntijaryhmästä. Kirjoitus alkanee vuonna 2017.

NEA:n työryhmän WPFC ja asiantuntijaryhmän AFCS kokouksista kirjoitetaan matkaraportteja.

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

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> TURMET - Turvallisuusperustelun metodiikan systematisointi		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> <b>TURMET - Systematization of the Safety Case Methodology</b>		
<b>Tutkimuslaitos</b> VTT	<b>Vastuuhenkilö</b> Suvi Karvonen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus; Turvallisuusperustelu		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) TURMET 2015-2018, suunniteltu nelivuotiseksi		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Aalto-yliopisto	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Projektissa perehdytään ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusperustelun metodiikkaan erityisesti skenaarioanalyysin näkökulmasta. Hankkeen tieteellisenä tavoitteena on arvioida epävarmuuksien huomioon otton vaikutusta turvallisuusanalyysin menetelmiin ja kehittää epävarmuuksien arviointiin teknisiä työkaluja, esimerkiksi skenaarioanalyysin avulla.  Tuloksina nelivuotisesta projektista syntyy kirjallisuusselvityksiä turvallisuusperusteluun ja skenaarioanalyysiin liittyen, julkaisuja sekä väitöskirja skenaarioanalyysin osalta aallon puolelta. Projektissa laaditaan myös internet -sivusto materiaalin julkaisua varten sekä kehitetään työkalut skenaarioiden laadintaa ja laskentaa varten.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Asiantuntemuksen kehittäminen; tietokoneohjelma	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1-2 vuodelta 2017	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1 väitöskirja projektin lopussa
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Projektissa kehitetään osaamista turvallisuusperustelun laatimista varten. Tutkimustuloksia voidaan soveltaa turvallisuusperustelun valmistelussa tai arvioinnissa. Ilmeinen hyödyntäjä on STUK, sekä mahdollisesti Posiva ja voimayhtiöt. Tuloksia voidaan hyödyntää heti projektin loputtua tulosten julkaisun jälkeen. Tarkoituksena on myös laatia internetsivu projektin materiaaleille helpompaa hyödyntämistä varten.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)		
Osaprojekti 1 – 3 htkk <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lähialuemallinnus skenaarioanalyysin tukemiseksi</li> <li>• Fysikaalisten mallien kehittäminen skenaariomallin vuorovaikutusten mallintamiseksi</li> </ul>		
Osaprojekti 2 - 11,5 htkk <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skenaariomallin kehittäminen ja alustavien tulosten saaminen</li> <li>• Laskennallisten työkalujen kehittäminen</li> <li>• Työkalujen kehittäminen tulosten visualisointiin ja analysointiin</li> </ul>		

**Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Vuonna 2017 aikana valmistuu projektin kolmas tieteellinen julkaisu skenaarioanalyysistä.

Nelivuotisen projektin lopussa valmistuu Edoardo Tosonin skenaarioanalyysiä käsittelevä väitöskirja.

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

Internetsivusto: <http://www.vtt.fi/sites/turmet>

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> THEBES - THMC Behaviour of the Swelling Clay Barriers		
<b>Tutkimuslaitos:</b> Aalto University	<b>Vastuuhenkilö</b> Wojciech Sołowski	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Long-term safety of spent nuclear fuel disposal: performance of buffer and backfill materials. (Finnish: Puskuri ja täyteaineiden toimintakyky)		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) The project continues the collaboration began in KYT2014 project BOA and KYT2010 project PUSKURI.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b>  Aalto University Jyväskylän University VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. Numerola Oy	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>  Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech (UPC), Barcelona (Spain), École des Ponts, Laboratoire Navier Paris Tech (France), Georgia Institute of Technology (USA) Texas A&M University (USA) Université de Pau et des Pays de l'Adour (France)	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>  EU FP7 project BELBaR (Bentonite Erosion: effects on the Long term performance of the engineered Barrier and Radionuclide transport, finished 2016) EU Horizon BEACON project (applied) EU Horizon 2020 Mind (Microbiology in Nuclear Waste Disposal) EU Horizon 2020 Modern KYT2018 GEOBIOKIERTO YTERA doctoral programme
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Project THEBES investigates the behaviour of swelling clay barriers. In particular, the project characterises bentonite which is going to be used in spent nuclear fuel repositories in Finland. The experimental investigations are connected to THMC constitutive modelling of this material as well as simulation of practical cases useful in risk assessment and design of such repositories. The simulations aim especially at modelling the material in unsaturated conditions before reaching the required saturation and achieving all safety functions.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Experimental methods, theoretical developments, computer methods	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> During the 4 years the project should yield more than 13 quality journal papers and more than 12 conference publications.	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> At least 2 PhD theses should be completed during 4 years of the project. Some related MSc theses are likely
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) The produced results will have use in further research, will give insights on practical design of nuclear waste repositories and can be utilised in the evaluation of the performance of buffer/backfill material especially before target values for swelling pressure is reached. The project will increase the Finnish and international expertise on the subject.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)		



Project THEBES investigates the behaviour of swelling clay barriers.  
During the four years the project will:

1. Characterise bentonite which is going to be used in spent nuclear fuel repositories in Finland

The behaviour of bentonite will be investigated at micro- and nanoscale by VTT. The studies will include measurement of elasto-plastic behaviour of bentonite with different chemical compositions at various densities and water contents, investigation of water transport and chemical evolution of unsaturated bentonite in selected chemical environments as well as microstructural studies of bentonite at the conditions set by the hydro-mechanical and chemical experiments.

The micro-behaviour of bentonite will also be investigated by Jyväskylä University with very accurate x-ray tomography which allows for capturing water transport and swelling deformation of the bentonite. This research will build on long-standing expertise and world-class equipment available at Jyväskylä University (see e.g. Hyväluoma et al. 2007, Koivu et al. 2010b, Harjupatana et al. 2015).

These results will feed into the constitutive modelling effort at Aalto, Jyväskylä and VTT.

2. Develop and validate a constitutive model or models which will allow precise reproduction of the complex behaviour of bentonite.

An elasto-plastic constitutive model which will take into account complex thermo-hydro-mechanical-chemical (THMC) coupling will be developed by the groups at Aalto, Jyväskylä and VTT. The constitutive model will combine the existing know-how at the consortium partners as well as at international partners. (e.g. Alonso et al. 1999, Sánchez et al. 2005, Sołowski et al. 2008, Cui et al. 2008, Arson & Gatmiri 2012, Sołowski & Sloan 2012, Cui & Tang 2013).

3. Implement the developed constitutive model into numerical software and simulate practical case studies giving insights into performance of nuclear waste repositories.

The developed constitutive model or models will be implemented into Numerrin software (see e.g. Sołowski & Gallipoli 2010a, 2010b and Itälä et al. 2014). The software will be used for simulation of laboratory experiments, as well as available field studies (e.g. Sánchez et al. 2011, 2012) to fully validate the implementation and constitutive model developed. Subsequently, the project will simulate some practically important case studies, useful for design and evaluation of nuclear waste repositories performance which may, e.g. estimate hydration time of the barrier and pressures induced on the canisters by swelling bentonite.

**Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

During 4 years the project should yield more than 13 quality journal papers. Note that some publications related to the project may appear in print after the formal end of the project.

Konferenssijulkaisut ja työraportit

The project will lead to at least 12 conference publications. Additionally, the project research may be presented at conferences and workshops where no formal publication will be made.

Opinnäytteen

The project will fund 2 doctoral students who will finish their thesis during the project or shortly afterwards as well as some Master degree theses.

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

The project will organise yearly workshop open to public. The workshops will be advertised on both national and international levels. One important aim of the workshop is to aid the transfer the project developments into practice.

The project old webpage is:

[http://civil.aalto.fi/fi/research/geoengineering/soil/numerical/thebes\\_project/](http://civil.aalto.fi/fi/research/geoengineering/soil/numerical/thebes_project/)

The new address should be: <http://civileng.aalto.fi/en/research/projects/thebes/>

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Bentoniitin eroosio ja radionuklidien vuorovaikutus (BENTO)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Bentonite erosion and radionuclide interaction processes		
<b>Tutkimuslaitos</b> Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Radiokemian yksikkö	<b>Vastuuhenkilö</b> Pirkko Hölttä	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus: Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, muut turvallisuustutkimukset		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa KYT2014/BOA:n KOLORA osahankkeelle, työ on jatkoa 2015 alkaneelle projektille, jonka tutkimussuunnitelma on tehty koko KYT2018 kaudeksi		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Aalto, VTT, JYFL, GTK, Posiva, B+Tech	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> HZDR, KIT, NAGRA, KTH	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> KYT2018/THEBES, Nagra/CFM
<b>Tutkimuksen tavoite</b> <p>Hankkeen päätavoitteena on lisätä ymmärrystä prosesseista, jotka vaikuttavat bentoniitin eroosioon, syntyneiden bentoniittikolloidien muodostumiseen ja stabiiliuteen ja kykyyn kuljettaa radionuklideja loppusijoitustilaa mahdollisimman hyvin kuvaavissa olosuhteissa. Yleisinä tavoitteina on myös soveltaa eri menetelmiä eroosion seurauksena syntyneen geelifaasin ja kolloidien karakterisoinniseksi sekä eroosio- ja sorptiomekanismien tunnistamiseksi. Koko hankkeen tavoitteena on yhdistää kokeellinen työ ja mallinnus suunnitteleamalla yhdessä mallittajien kanssa turvallisuusperusteluita hyödyntäviä kokeita. Yleisenä tavoitteena on myös ylläpitää ja kehittää kotimaista osaamista sekä kouluttaa radiokemian, erityisesti loppusijoituksen alalle uusia asiantuntijoita (pro gradut ja väitöskirja).</p> <p>"Bentoniitin eroosio" osaprojektin tavoitteena on tutkia bentoniitin eroosiomekanismeja ja kinetiikkaa, välvaiheena syntyneen geelifaasin ominaisuuksia sekä bentoniitin massan hävikkiä aiheuttavien kolloidien muodostumista ja stabiiliisuutta eri pohjavesiolosuhteissa. "Radionuklidien vuorovaikutus" osaprojektin tavoitteena on selvittää radionuklidien, erityisesti aktinidien sorptiota/desorptiota perinteisillä ravistelukokeilla ja soveltamalla spektroskooppisia menetelmiä aktinidin ja mineraalin välisen sidoksen luonteen tunnistamiseksi ja sorption pysyvyyden arvioimiseksi kokeellisesti sekä mallituksen avulla. Kolonni- ja blokkikokeiden tavoitteena on tutkia kolloidien mobiilisuutta ja niiden vaikutusta radionuklidien kulkeutumiseen.</p>		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Kokeelliset menetelmät, analyysitekniikat ja parametrit mallien testaamiseen	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1-2 tieteellistä artikkelia tai vertaisarvioitua konferenssi-julkaisua	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1 FM 1 LuK 1 FT (koko kauden aikana)
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Bentoniitin kemiallisen eroosion seurauksena puskurin massaa häviää mikä voi vaikuttaa heikentävästi puskurin ominaisuuksiin suojata kanisteria ja nopeuttaa radionuklidien kulkeutumista pois lähialueelta. Bentoniitista irtautuneet stabiilit ja mobiilit savipartikkelit eli kolloidit pidättävät radionuklideja ja voivat toimia niiden kuljettajina kallioperässä. Tutkimustuloksia sovelletaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuustarkasteluissa lähialueella arvioitaessa bentoniitin ja tunnelin täyteaineiden toimintakykyä sekä arvioitaessa radionuklidien pääsyä bentoniitin eroosion seurauksena muodostuneiden kolloidien mukana loppusijoitustilasta lähialueelle ja kaukoalueen kautta biosfääriin. Lisäksi saadaan tietoa ja kokemusta määrittämenetelmistä ja lähtödataa sekä testitapauksia mallinnusta varten. Mallittajien kanssa suunniteltujen		

turvallisuusperustelujen kannalta relevanttien kokeiden tuloksia voidaan mahdollisesti tulevaisuudessa käyttää parametreina mallien kehittämisessä ja testaamisessa esim. KYT2018/THEBES hankkeessa. Tuloksia hyödynnetään myös Grimselin CFM projektissa. Kaikki tulokset ovat välittömästi kaikkien käytettävissä, erityisesti tukiryhmän, joka siirtää tiedon viranomaisten sekä Posivan ja voimayhtiöiden käyttöön.

**Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain** (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)

”Bentoniitin eroosio” osaprojektissa saadaan tietoa kemiallisen eroosion kinetiikasta, bentoniitin massan hävikistä, syntyneen geelifaasin ja irtautuneiden kolloidien koostumuksesta ja rakenteesta sekä pitkän aikavälin tietoa kolloidien muodostumisesta ja stabiiliudesta eri pohjavesiolosuhteissa. Jatketaan ja täydennetään edellisellä kaudella aloitettuja batch tyyppisiä pitkäkestoisia eroosiokokeita. Aloitetaan uudet kokeet, joilla selvitetään sementin liukenemisen aiheuttaman emäksisen ”sementtiveden” vaikutusta bentoniitin eroosioon ja rakenteeseen. Tavoitteena on myös käynnistää uudet kokeet, joissa seurataan bentoniitin eroosiota keinotekoisessa rakosysteemissä.

”Radionuklidien vuorovaikutus” osaprojektissa ravistelukokeiden tuloksena saadaan radionuklideille jakaantumiskertoimia ( $K_d$ ) ionivahvuuden, pH:n ja partikkelikoon funktiona. Desorptiokokeilla saadaan selvitettyä kuinka pysyvästi radionuklidi on kiinnittynyt mineraaliin. Viiden arvoisen  $^{237}\text{Np}$ :n pidentymistä montmorilloniitin 2:1 rakenteeseen tutkitaan väitöskirjatutkimuksena yhteistyössä Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf:n kanssa. Vuoden 2017 aikana tehdään perinteiset ravistelu sorptiokokeet aiempaa puhtaammalla montmorilloniittilla (Nanacor) ja selvitetään desorptiokokein sorption pysyvyyttä. Työssä käytettyjen spektroskooppisten menetelmien (In-situ ATR FT-IR, EXAFS) ja mallituksen avulla saadaan tunnistettua neptuniumin ja mineraalin välisen sidoksen luonne ja arvoitua sorption pysyvyyttä. Montmorilloniittikolloidien vaikutusta  $^{237}\text{Np}$ :n kulkeutumiseen selvitetään kolonnikokeilla, jotka tehdään sekä hapellisissa että hapettomissa ja hiilidioksittomissa olosuhteissa. Lisäksi jatketaan vuonna 2016 aloitettuja blokki skaalan kokeita, joilla tutkitaan bentoniittikolloidien mobiiliutta sekä niiden vaikutusta radionuklidien kulkeutumiseen graniittisen kiven vettä johtavassa luonnonraossa. Sorptiokokeita muilla radionuklideilla ( $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ) pyritään jatkamaan mahdollisuuksien mukaan opinnäytetöinä tutkimalla montmorilloniitin (Nanacor PGN) pitoisuuden vaikutusta sorptioon tutkitaan muuttamalla kiinteä/liuos suhdetta aina laimeista liuoksista aina tiheisiin suspensioihin asti.

**Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Tutkimuksen tulokset julkaistaan pääosin tieteellisissä lehdissä tavoitteena tehdä KYT2018 kauden tuloksista 3-4 artikkelia. Käsikirjoitusvaiheessa on kaksi artikkelia, jotka lähetetään arvioitavaksi vuoden 2017 aikana.

Konferenssijulkaisut ja työraportit

Tuloksia esitellään kansainvälisissä konferensseissa (Migration 2017, MRS Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Clays in Natural and Engineered Barrier for Radioactive Waste Confinement).

Opinnäytteet

Koko hankkeen aikana on tarkoitus valmistua 1 tohtorin tutkinto, 2-3 FM ja 3-5 LuK tutkintoa.

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

Tuloksia esitellään aiheeseen liittyvissä kotimaisissa ja kansainvälisissä seminaareissa (KYT2018, Nagra/CFM, CHEMS ja YTERA tohtoriohjelmat).

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi:</b> Bentoniitin paisumisipaine		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Bentonited swelling pressure		
<b>Tutkimuslaitos Itä-Suomen yliopisto, Kemian laitos</b>		<b>Vastuhenkilö</b> prof. Tapani Pakkanen
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisuusturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) KYT 2018 ohjelman kolmas hankevuosi		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Posiva	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Bentoniitin paisumisilmion syvälinen ymmärtäminen ja paisumisipaineen ennustaminen		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Simulointimenetelmä	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 2	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Ydinjätteen loppusijoituksesta vastaavat tahot		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) Hankkeessa selvitetään bentoniitin paisumisilmion syvälistä atomitason fysikaalis-kemiallista perustaa ja kehitetään käytännön työväline täyteaineen makroskooppisen paisumisen ennustamiseen bentoniitin koostumuksen ja ympäristötekijöiden funktiona. Hankkeen perimmäisenä tavoitteena on kehittää uusi fysiikan ja kemian lakeihin perustuva menetelmä jota voidaan hyödyntää ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuden arviointiin. Hankkeen kolmantena vuonna tutkitaan paisumisilmion riippuvuutta bentoniitin rakenteellisista ja ymāristömuuttujista. Hanke toteutetaan yhteistyössä kokeellista bentoniittitutkimusta tekevien tutkimusryhmien kanssa.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset 1  Konferenssijulkaisut ja työraportit 2  Opinnäytteet 1  <b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> (esim. seminaari, tiedote, tms.) Clay Conference Davos 2017		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> (esim. seminaari, tiedote, tms.) Clay Conference Davos 2017		

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b>		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Experimentally verified model based predictions for the integrity of the copper overpack (PRECO)		
<b>Tutkimuslaitos</b> Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	<b>Vastuuhenkilö</b> Juhani Rantala	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus, 3.2.3 Kapselin toimintakyky		
<b>Tutkimusjatkumo</b> Jatkoa aikaisemmalle tutkimukselle samasta aihepiiristä		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Aalto yo	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> Joint Research Centre, NL	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Projekti tuottaa pitkiin koeaikoihin perustuvan kokeellisen näytön ja mallipohjaiset ennusteet viranomaisille tukemaan päätöksentekoa ydinjätteen loppusijoituksen kuparikapselin osalta. Projektin tuloksina saadaan laaja koetulosaineisto, kokeellisen toiminnan valmiudet ja asiantuntijaosaaminen vauriomekanismeista, mallinnuksesta, pitkän ajan elinikäennusteista sekä kokeelliseen näyttöön perustuva syvälinen ymmärrys kuparin käyttäytymisestä.		
<b>Tuloskategoria</b> Kokeellinen tulosaineisto, materiaaliominaisuudet, ennuste pitkäaikaiskestävyydestä	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 2(2017)	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1 väitöskirja J. Rantala
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> Tutkimus tuottaa puolueettoman arvion loppusijoitusmenetelmän luotettavuudesta kuparikapselin virumisen osalta. Erittäin hyödyllistä on myös verrata ruotsalaista ja VTT:n virumismallia keskenään relaxaation ennustamisessa. Tämä parantaa kuparin elinikäennusteen luotettavuutta merkittävästi.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> - selvittää kuparin jännityshistoriariippuvuus - täydentää virumismallia relaxaation osalta ja verifioida ennusteet kokeellisesti - selvittää moniaksaalisuuden vaikutus kuparin elinikään, myös oletettujen vikojen osalta - testata "repeated relaxation"-ilmiön vaikutus kuparin elinikään - ennustaa minimielinikä kapselille huomioiden viat (joint line hooking ja oksidipartikkelit) - jatkaa virumisen ja korroosion yhteisvaikutuksen testaamista - tehdä EBSD-mikroskopia ja nanoindentatiomittaukset ja ottaa käyttöön muita uusia menetelmiä		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Julkaisut kv. konferensseissa ja alan lehdissä Opinnäytteet: väitöstyö J Rantala		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> KYT-seminaarit, virumisalan konferenssit, erityisesti ECCC konferenssi 2017		

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Kuparikapselin mekaaninen lujuus		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Mechanical strength of copper canister (MECHACOP)		
<b>Tutkimuslaitos</b> Aalto yliopisto	<b>Vastuuhenkilö</b> Hannu Hänninen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus: kapselin toimintakyky		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkoa aiemmalle tutkimushankkeelle "Kuparisen ydinjäte-kapselin mekaaniset ominaisuudet"		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> VTT, Posiva	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> SSM, Studsvik, KTH, SKB, Kärnavfallsrådet, Ruotsi; Tohoku University, Japani; MEPhI, Venäjä	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> IGD-TP platform, EU
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Selvittää kuparikapselin eri osien mekaaniset ominaisuudet sekä ymmärtää sekä mikros- että makroskooppinen plastinen deformaatio kuparikapselin rakenteissa. Kuparin korroosiossa syntyvät oksidi- ja sulfidikalvot johtavat sekä vedyn että vakanssien siirtymisen kupariin, joilla on merkittävä vaikutus kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin sekä virumiseen että mahdolliseen jännityskorroosioalttiuteen. Nämä vaikutukset selvitetään tutkimuksessa perusteellisesti.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 3	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Kuparikapselin mekaaniset ominaisuudet, sallittavan plastisen deformaation määrä sekä vikojen suuruus ja laatu ovat kapselin mekaanisen kestävyuden kannalta erittäin tärkeitä. Myös loppusijoitusympäristössä (mukaan lukien säteilyn vaikutus) tapahtuvassa korroosiossa (hapettuminen/sulfidoituminen) kupariin absorboituvan vedyn ja vakanssien vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin, virumiseen ja mahdolliseen jännityskorroosioon pitää tuntea.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)  Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparikapselin eri osien (perusmateriaalit ja hitsit) mekaaniset ominaisuudet sekä plastisen deformaation mekanismit kvantitatiivisesti sekä mikros- että makroskooppisella tasolla.  Tutkimuksessa on neljä osatehtävää: 1. Hitsausvirheiden valmistus kuparikapselin mekaanisiin ominaisuuksiin sallittavien turvallisten vikojen hyväksymiskriteerien määrittäystä varten. 2. Optisen venymämittauksen (digital image correlation, DIC) avulla selvitetään deformaation paikallistuminen kuparikapselin eri osien rakenteissa. 3. Vedyn absorptio kupariin loppusijoitusolosuhteissa myös $\gamma$ -säteilyn alaisena ja vedyn vaikutus kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin ja virumiseen. 4. Kuparin jännityskorroosio-mekanismien selvittäminen sulfidi- ja nitriittiliuoksessa perustuen itse kehitettyyn nk. oxidation-induced vacancy-creep malliin.		

**Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

3 tieteellistä julkaisua

Konferenssijulkaisut ja työraportit

Opinnäytteet

1 väitöskirjatutkimus tekeillä

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

KYT 2018 tutkimusohjelman seminaarit ja alan kansainväliset konferenssit sekä Kärnavfallrådetin

Kunskapsläges rapporter ja tilaisuudet

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Reaktiotuotteiden vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen olosuhteissa (REPCOR)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> The effect of reaction product layers on copper corrosion in repository conditions		
<b>Tutkimuslaitos</b> Aalto-yliopisto, Materiaalitekniikan laitos	<b>Vastuuhenkilö</b> Dos. Jari Aromaa	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa KYT2010-tutkimukselle kuparin korroosioista höyryfaasissa ja KYT2014-tutkimukselle korroosioista hapettomissa olosuhteissa.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> VTT, Aalto ENG	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> -	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> -
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuparin pinnalle muodostuvien reaktiotuotekerrosten vaikutus kuparin korroosioon. Reaktiotuotekerroksilla uskotaan olevan vaikutus sekä yleisen korroosion nopeuteen että paikallisen korroosion eri muotoihin. Tutkimuksessa selvitetään reaktiotuotekerrosten muodostuminen ja niiden vaikutus kun kuparikapseli käy lävitse eri korroosiovaiheet kuivasta ilmastosta turpoamattoman bentoniitin hapellisten olosuhteiden kaasufaasiin ja nestefaasiin ja lopulta hapettomien olosuhteiden nestefaasiin.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Kokeellisia tuloksia korroosionopeudesta.	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 4 artikkelia vuosina 2015-2018.	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1 diplomityö 2015, 1 diplomityö 2016.
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia voivat hyödyntää yritykset ja viranomaistahot, jotka arvioivat kapselin pitkäaikaiskestävyyttä korroosion kannalta. Tutkimus voi tuoda lisäselvitystä sekä aikaisempien tutkimusten kymmenkertaisiin eroihin yleisen korroosion nopeudessa että paikallisen korroosion esiintymiseen.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) Tutkimuksen osaprojektit ovat: <ul style="list-style-type: none"> <li>- menetelmä toistettavien reaktiotuotekerrosten muodostamiseen sekä kaasua- että nestefaasissa ja niiden karakterisointi (2015).</li> <li>- Reaktiotuotekerrosten vaikutus korroosioon hapettavissa olosuhteissa sekä kaasua- että nestefaasissa (2016-2017).</li> <li>- Reaktiotuotekerrosten vaikutus korroosioon hapettomissa olosuhteissa nestefaasissa (2017-2018).</li> </ul> Vuoden 2017 tutkimuskohde on muodostaa reaktiotuotekerroksia sähkösaostetun kuparin pinnalle hapettavassa upotusrasituksessa erilaisilla synteettisen pohjaveden koostumuksilla ja määrittää korroosionopeudet ja reaktiotuotekerrosten paksuus ja koostumus.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Julkaisusuunnitelma perustuu vuosina 2015 ja 2016 tehtäviin diplomitöihin ja jälkimmäisestä mahdollisesti jatkettavaan liseniaattityöhön. Vuosina 2016 ja 2017 tavoite on julkaista artikkelit reaktiotuotekerrosten vaikutuksesta korroosioon hapettavissa olosuhteissa liseniaattityötä varten.		



**Muu tutkimuksista tiedottaminen** (esim. seminaari, tiedote, tms.)  
Aallon jatkokoulutusseminaarit, mahdolliset KYT-ohjelman seminaarit.

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenvedo 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Mikrobiologisen toiminnan vaikutus kuparin korroosioon loppusijoituksen hapettomissa olosuhteissa (BASUCA)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> The effect of microbial activity on corrosion of copper in anoxic state of repository (BASUCA)		
<b>Tutkimuslaitos</b> Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	<b>Vastuuhenkilö</b> Leena Carpén	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus (Kapselin pitkäaikaiskestävyys)		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke hyödyntää KYT2014 kaudella vuonna 2013 alkaneessa MICCU projektissa saatuja tuloksia ja laitteistoja. Hanke on suunniteltu jatkuvan koko KYT2018 ohjelmakauden ajan.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Oulun yliopisto (BioSer), Aalto-Yliopisto	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin käyttäytymiseen loppusijoituksen hapettomassa vaiheessa.		
<b>Tuloskategoria</b> Kokeellinen menetelmä uutta tietoa	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1-2 kansainvälistä julkaisua, julkinen vuosiraportti	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia hyödynnetään ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus- aihepiirissä kapselin toimintakyky-painoalueella arvioitaessa hapettomassa vaiheessa korroosionopeuksia ja korroosiovaikutusten arvioimiseksi tehtyjen mallien oikeellisuutta. Tulosten perusteella voidaan arvioida loppusijoitus-kapselin mahdollisesta mikrobiologisesta korroosioista johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Hankkeessa kehitettyjä menetelmiä voidaan soveltaa laajasti muihinkin sovellutuskohteisiin. Hankkeessa koulutetaan useita osajia ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle. Hankkeessa toteutetaan opinnäytetyö yhteistyönä koordinoitun MILORI (Ydinjätteen loppusijoituksen mikrobiologiset riskit) konsortion hankkeiden kanssa.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenvedo suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) <u>Tehtävä 1. Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen</u> <i>Tehtävän tuloksena ovat koejärjestelyt, joiden avulla voidaan tutkia kuparin mikrobiologista korroosiota sekä metallipinnoille kerääntyvän biofilmin ominaisuuksia loppusijoituksen hapettomassa vaiheessa eri lämpötiloissa.</i> Tässä tehtävässä kehitetään laboratoriokoejärjestelyjä korkeammassa lämpötiloissa tehtäviä kokeita varten. Hankkeen hapettomia analyysivaiheita varten modifioidaan atmosfääri-kammio, ns. "hanska-kaappi". <u>Tehtävä 2. Kuparin mikrobiologinen korroosio</u> <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida kuparin mikrobiologisen korroosion mekanismeja ja korroosionopeutta hapettomissa olosuhteissa.</i> Kuparin mikrobiologista korroosiota tutkitaan korkeammassa lämpötilassa (+37°C) tehtävässä koesarjassa asetogeenisten ja sulfaattia pelkistävien mikrobien läsnä ollessa. Kokeet suoritetaan sekä simuloidussa pohjavedessä että loppusijoitusalueen oikeassa pohjavedessä. <u>Tehtävä 3. Kuparin pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja vaikutukset korroosioon</u> <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida kuparin mikrobiologisessa korroosiossa avainasemassa olevia mikrobiryhmiä ja niiden toimintaa kuparin pinnalla hapettomissa loppusijoitusolosuhteissa.</i> Pinnoille muodostuneen biofilmin ominaisuuksia molekyylibiologisilla menetelmillä ja mikroskopimalla. Mikrobien sulfidin muodostuskykyä mitataan opinnäytetyössä.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> 1-2 kansainvälistä julkaisua/konferenssijulkaisua		

Vuosittainen työraportti  
Opinnäytteet: 1 gradu/di-työ

**Muu tutkimuksista tiedottaminen** (esim. seminaari, tiedote, tms.)  
Osallistuminen kansainvälisiin konferensseihin ja KYT vuosiseminaareihin.

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Loppusijoituksen aerobisen vaiheen mikrobiologinen korroosio (MICOR)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Microbially induced corrosion during the oxic stage of repository (MICOR)		
<b>Tutkimuslaitos</b> Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	<b>Vastuuhenkilö</b> Pauliina Rajala	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimus (Kapselin pitkäaikaiskestävyys)		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on aloitettu 2015 ja se myös hyödyntää KYT2014 kaudella vuonna 2013 alkaneessa MICCU projektissa saatuja tuloksia ja laitteistoja. Hanke on suunniteltu jatkuvan koko KYT2018 ohjelmakauden ajan. Hanke on osa koordinoitua Kapseli-kokonaisuutta.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Oulun Yliopisto (BioSer)	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Hankkeen tavoitteena on arvioida mikrobiologisen toiminnan vaikutusta kuparikapselimateriaalin korroosikäyttäytymiseen Suomen loppusijoitusolosuhteissa hapellisen vaiheen aikana.		
<b>Tuloskategoria</b> Kokeellinen menetelmä uusi koelaitteisto uutta tietoa	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 2 kansainvälistä julkaisua	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa loppusijoituskapselin mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Hankkeessa kehitettyjä menetelmiä voidaan soveltaa laajasti muihinkin sovellutuskohteisiin. Hankkeessa koulutetaan osajia ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimuksen osa-alueelle.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) <b>Tehtävä 1. Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen</b> <i>Tehtävän tuloksena ovat koejärjestelyt, joiden avulla voidaan tutkia kuparin mikrobiologista korroosiota ja metallipinnoille kerääntyvän biofilmin ominaisuuksia ja biofilmin vaikutusta kuparin ominaisuuksiin hapellista loppusijoitusvaihetta simuloivissa olosuhteissa.</i> Vuonna 2017 kokeissa käytetään rikastettuja mikrobiviljelmiä simuloimaan kuparia korroosiolle altistavaa prosessia sekä jatketaan kokeissa tarvittavien lämpimässä ja hapellisessa alkuvaiheessa relevanttien mikrobiryhmien rikastamista koejärjestelyitä varten. Koeasetelmaa päivitetään soveltumaan 60°C:ssa suoritettavia mittauksia varten. <b>Tehtävä 2. Kuparin mikrobiologinen korroosio</b> <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida kuparin mikrobiologisen korroosion mekanismeja ja korroosionopeutta. Saadaan myös tietoja eri olosuhteissa muodostuvien korroosiotuotekerrosten koostumuksista.</i> Vuonna 2017 käynnistetään kaksi kuparin mikrobiologista korroosiota kartoittavaa koesarjaa. Kolmen kuukauden kestoinen koe korkeammassa lämpötilassa (60°C) sekä vuoden koeaikaan tähtäävä koe matalammassa lämpötilassa (24°C). Korroosion kehittymistä seurataan laboratorio-kokeiden aikana sähkökemiallisia seurantamenetelmiä hyödyntämällä, sekä kokeen jälkeen analysoimalla altistuskappaleita. <b>Tehtävä 3. Kuparin pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja vaikutus</b> <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida kuparin mikrobiologisessa korroosiossa avain- asemassa olevia mikrobiryhmien kiinnittymistä ja toimintaa kuparin pinnalla.</i> Vuoden 2017 aikana tutkitaan laboratorio-kokeista saaduista näytteistä pinnoille muodostuneen biofilmin ominaisuuksia molekyylibiologisilla menetelmillä. Kuparin pinnalle muodostunutta biofilmiä tutkitaan mikroskopoimalla.		

**Tehtävä 4. Aerobisen vaiheen merkitys**

*Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida aerobisen vaiheen merkitystä kuparin korroosiokestävyyteen pitkäaikaisturvallisuus näkökulmasta.*

**Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset: 1 tieteellinen artikkeli

Konferenssijulkaisut ja työraportit: 1 vuosittainen työraportti

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

Osallistuminen kansainvälisiin konferensseihin ja KYT vuosiseminaareihin

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksen mikrobiologia (MAKERI)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Microbiology related to geological disposal of low- and intermediate level waste		
<b>Tutkimuslaitos</b> Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	<b>Vastuuhenkilö</b> Minna Vikman	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Jatkoa KYT2014 hankkeelle ' Mikrobilajistot Olkiluodon kaasun kehityskokeessa'		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> TVO, Fortum	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> IGD TP verkosto	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> Euratom MIND-hanke
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Projektin päätavoitteena on arvioida matala- ja keskiaktiivisen jätteen geologiseen loppusijoitukseen liittyviä mikrobiologisia riskejä Suomen olosuhteissa.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) kokeellinen menetelmä	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1 tutkimusraportti 1 konferenssijulkaisu 2 referoitua artikkelia	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1 (MILORI-konsortio)
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Hankkeen tuloksia hyödynnetään muissa koordinoitujen MILORI-hankkeen osaprojekteissa. Tuloksia voivat hyödyntää sekä viranomaiset että voimalaitosjätteen loppusijoituksesta vastuussa oleva yritys jätteiden loppusijoituksen turvallisuustutkimuksessa sekä mallinnuksessa. Hankkeessa koulutetaan osaajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle (opinnäytetyöntekijä, mikrobiologian tutkijoiden koulutus ydinvoimasektorille).		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) Hankkeen tuloksena saadaan tietoa mikrobien ja olosuhteiden vaikutuksesta jätteen hajoamisnopeuteen, kaasun muodostumiseen ja vapautumisesteiden toimintakykyyn sekä matala-aktiivisen (tehtävät 1 ja 2) että keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksessa (tehtävä 4). Tutkimusympäristöinä on Olkiluodon VLJ-luolan Kaasunkehityskoe sekä laboratoriossa tehtävät simulaatiokokeet. Opinnäytetyön tuloksena saadaan tietoa sulfaattileimamenetelmän soveltuvuudesta muodostuvan sulfidin määrittämiseksi loppusijoitusolosuhteissa. Lisäksi hankkeessa arvioidaan mikrobien aineenvaihduntatuotteiden merkitystä radionuklidien kulkeutumisessa.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset - 2 tieteellistä artikkelia hyväksytty julkaistavaksi Konferenssijulkaisut ja työraportit - Tutkimusraportti tehdystä tutkimuksen tutkimusvuoden lopussa. - 1 konferenssijulkaisu Opinnäytteet - Opinnäytetyö yhteistyössä muiden MILORI-hankkeen osahankkeiden kanssa. Opinnäytetyössä sovelletaan sulfaattileimamenetelmää muodostuvan sulfidin määrittämiseksi eri ympäristöissä.		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT2018-tutkimusohjelman järjestämät seminaarit jne., Euratom MIND-hankkeen kokoukset. Tavoitteena järjestää mikrobiologian seminaari tutkimusohjelman loppuvaiheessa, jos resurssit sallivat.		

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Matala- ja keskiaktiivisen jätteen mikrobiologinen korroosio (CORLINE)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Microbially induced corrosion of low and intermediate level radioactive waste		
<b>Tutkimuslaitos</b> VTT	<b>Vastuuhenkilö</b> Leena Carpén	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimus (Mikrobiologian vaikutukset)		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke hyödyntää KYT2014-ohjelmassa mukana olleen REMIC-projektin tuloksia ja laitteistoja. Hankkeen on suunniteltu jatkuvan koko KYT2018 ohjelmakauden ajan.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Oulu University (BioSer)	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> DCO Stirling University	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmiä muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (purkujättemetallit) Suomen loppusijoitusolosuhteissa, sekä monitoroida korroosion ja vesikemian muutosten yhteyttä <i>in situ</i> .		
<b>Tuloskategoria</b> Kokeellisia menetelmiä Uutta tietoa	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1 tieteellinen artikkeli, 1 vuosi-raportti, 1 kansainvälinen konferenssiesitys	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 2
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia hyödynnetään arvioitaessa purkujättemetallien mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta johtuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista (Turvallisuusarvio, pitkäaikaisturvallisuus). Hankkeessa otetaan käyttöön uusia menetelmiä biofilmi-korroosio-kerroksen tutkimiseksi sekä kehitetään laitteisto korroosion ja vesikemian monitoroimiseksi kallioperässä. Menetelmiä voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa sovellusympäristöissä. Hankkeessa koulutetaan osajia ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksen osaamisalueelle.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) <u>Tehtävä 1. Koejärjestelyn suunnittelu ja rakentaminen</u> Tässä tehtävässä suunnitellaan ja rakennetaan koejärjestelyt, joiden avulla voidaan tutkia purkujätteiden mikrobiologista korroosiota pitkäaikaisesti kalliopohjavedessä. Laboratoriokoesarjaan rakennetaan koelaitteisto, jossa mikrobin elektronin siirtokykyä teräksen pinnalta voidaan tutkia hapettomissa olosuhteissa. <i>Tehtävän tuloksena ovat koejärjestelyt, joiden avulla voidaan monitoroida purkujätteiden mikrobiologista korroosiota ja vesikemiaa reaaliaikaisesti in situ olosuhteissa.</i> <u>Tehtävä 2. Purkujättemetallien mikrobiologinen korroosio</u> Laboratoriokokeessa simuloidaan eri mikrobien aiheuttamaa korroosiota lisäämällä kutakin mikrobiryhmää pohjavedestä rikastettuna ympäristönä koesarjaan. Korroosion kehittymistä tutkitaan sähkökemiallisilla menetelmillä sekä painohäviömäärityksillä. Korroosiotuotekerroksia analysoidaan erilaisilla pintatutkimusmenetelmillä. <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida purkujätteiden mikrobiologisen korroosion mekanismeja ja korroosionopeutta.</i> <u>Tehtävä 3. Purkujättemetallien pinnoille muodostuvan biofilmin ominaisuudet ja vaikutus korroosioon</u> Biofilmin määrää kartoitetaan kvantitatiivisen PCR menetelmän avulla ja lajiston koostumusta kartoitetaan tehokkailla sekvensointimenetelmillä <i>Tehtävän tulosten perusteella voidaan arvioida purkujätteiden pinnoilla muodostuvan biofilmin ominaisuuksia ja toiminnallisuutta.</i>		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset, 1-2 tieteellistä artikkelia (v.2017)		

Konferenssijulkaisut ja työraportit, 1-2 konferenssijulkaisua ja vuosiraportti (VTT Tutkimusraportti)

Opinnäytteet 2 (tieteellisiä julkaisuja käytetään osana väitöskirjatyötä, 1 gradu/di-työ)

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

Osallistutaan kansainvälisiin konferensseihin ja KYT vuosiseminaareihin



## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Mikrobiyhteisöjen rikkimetabolia loppusijoitusolosuhteissa, Geobiokierto		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Microbial sulphur cycle in final nuclear waste repository conditions, Geobiocycle		
<b>Tutkimuslaitos</b> Teknologian tutkimuskeskus, VTT Oy	<b>Vastuuhenkilö</b> Hanna Miettinen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on jatkumoa KYT2018 hankkeelle Geobiokierto, koko tutkimusohjelman ajaksi		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> GTK, Posiva, TVO, Fortum	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> IGD-TP verkosto	<b>Muut tutkimusohjelmat</b> EURATOM MIND
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Hankkeen päätavoitteena on selvittää mikrobiyhteisöjen vaikutuksia rikinkiertoon loppusijoitusolosuhteiden kalliopohjavedessä. Hankkeessa kehitetyllä leimattuun sulfaattiin perustuvalla menetelmällä analysoidaan loppusijoitustilojen pohjaveden sulfidin muodostumisnopeutta ja relevanttien elektronin luovuttajien ja vastaanottajien vaikutuksia siihen. Lisäksi hankkeen tavoitteena on selvittää kalliopohjavesien mikrobien metaboliatuotteiden vaikutuksia bentoniittipuskurin fysikaaliseen rakenteeseen ja toimintakykyyn pitkäaikaiskokeessa.		
<b>Tuloskategoria</b> Kokeellinen laboratoriotyö	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Hankkeen tuloksia voidaan soveltaa mikrobiologisen sulfidinmuodostuksen aiheuttaman korroosioriskin turvallisuusarvioinnissa kuparikapselin pitkäaikaisturvallisuudelle. Hankkeessa kehitettyä sulfaattileimamenetelmää voidaan hyödyntää ydinjätteiden loppusijoitusalueiden pohjavesien sulfidien muodostumisen monitoroinnissa. Hanke selvittää lisäksi mikrobien merkitystä bentoniittipuskurin rakenteen ja toimintakyvyn pysyvyydelle. Tutkimuksen tulokset on tarkoitettu heti käytettäviksi eri ydinjättesektorin toimijoiden hyödynnettäviksi.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) Tehtävä 1: Tutkitaan pohjavesinäytteiden rikinkiertoa ja kiertoon vaikuttavia elektronin luovuttajia ja vastaanottajia leimatun sulfaattimenetelmän avulla sekä pikamenetelmillä kuten ATP ja elävyyssvärjäykset. Tehtävä 2: Selvitetään, millaisia vaikutuksia mikrobeilla ja niiden aineenvaihduntatuotteilla on bentoniittipuskurin fysikaaliseen rakenteeseen ja toimintakykyyn mikrobeille suotuisissa olosuhteissa pitkäaikaiskokeessa.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset: Hankkeesta kirjoitetaan vuonna 2017 julkaisu kansainväliseen vertaisarvioituun tieteelliseen lehteen. Konferenssijulkaisut ja työraportit: Vuosittain kirjoitetaan VTT:n tutkimusraportti ja mahdollisista konferenssiosallistumisesta julkaisu. Opinnäytetyöt: Hankkeessa tehdään opinnäytetyö yhteistyössä MILORI-konsortion ja BASUCA-hankkeen kanssa sulfidin muodostuksesta hapettomissa kalliopohjavesissä ja hankkeiden näytteissä.		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> (esim. seminaari, tiedote, tms.) Mikrobiologisen koordinoidun MILORI-hankkeen seminaarit, tiedottaminen ja yhteistyö EURATOM MIND-hankkeessa.		

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Nutrients, energy and gases in bedrock biosphere (RENGAS)		
<b>Tutkimuslaitos</b> Geologian tutkimuskeskus	<b>Vastuuhenkilö</b> Riikka Kietäväinen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (GEOMOL) => KABIO => SALAMI => RENGAS (työsuunnitelma vuoteen 2018)		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> VTT Helsingin yliopisto/Radiokemia Callio Lab/Pyhäsalmen kaivos	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> GFZ Potsdam ICDP DCO INGV Rooma Uni. St Andrews COSC EPFL LBNL	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> Horisontti2020 (MIND)
<b>Tutkimuksen tavoite</b> RENGAS-hanke tutkii biogeokemiallisesti tärkeiden alkuaineiden reaktioita ja liikkumista kalliopohjavesissä, syvän biosfäärin energialähteitä ja energian siirtymistä mikrobien katalysoimissa hapetus/pelkistys-reaktioissa sekä näiden tekijöiden turvallisuusmerkitystä ydinjätteiden geologisessa loppusijoituksessa.		
<b>Tuloskategoria</b> Mittaus- ja analyysitulokset, johtopäätökset ja mallit	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 2-3	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tutkimustulosten hyödyntäjiä ovat loppusijoituksen toteuttajat, valvovat viranomaiset ja alan tutkijat. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää loppusijoituksen turvallisuusperustelussa, erityisesti mikrobiologisten prosessien turvallisuusmerkityksen määrittelyssä perustuen mikrobien elintoimintojen vaatimien ravinne- ja energialähteiden saatavuuteen, kalliopohjavesien syntyyn ja evoluutioon sekä näiden prosessien aikaskaaloihin.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b>		
<p><b>1. Syväreikä tutkimuksen menetelmät ja infrastruktuurit</b> Outokummun syvälaboratorio: fluidin EC-luotaus → Ajalliset muutokset, kiteisen kallioperän hydrauliset ominaisuudet Kansainvälinen yhteistyö (mm. DCO, EPFL) → verkostot ja osaamisen vahvistaminen sekä jakaminen</p> <p><b>2. Kallioperän suolaisten fluidien viipymääjan ja alkuperän tutkimus</b> Pyhäsalmen jalokaasutulosten tulkinta ja veden viipymääjan määrittäminen → prosessien aikaskaalat, pohjavesien eristyneisyys Julkaisun veden alkuperästä ja kivi-vesi -vuorovaikutuksesta perustuen Outokummun Cl- ja Br - isotooppiin → prosessien aikaskaalat, pohjavesien evoluution ja eristyneisyys</p> <p><b>3. Rikin olomuodot ja biogeokemiallinen merkitys kallioperässä</b> Rikin isotooppianalytiikan kehitystyön jatkaminen → suolaisten pohjavesien analysointi</p>		

Rikin eri olomuotojen tarkastelu: sulfidi, sulfaatti, metastabiilit yhdisteet, S<sup>0</sup> ja metyloituneet sulfidit  
→ rikin spesiaation merkitys: analytiikan vaatimukset, biologinen- ja turvallisuusmerkitys

Suolaisten fluidien näytteenotto, rikkinäytteet, Outokumpu → aineiston hankinta

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

Julkaisu hiilen kierron termodynamiikasta → hiilen saatavuus ja käytettävyys kalliobiosfäärissä

Grafiitin merkitys ja kiteisen kallioperän metaanivuo → hiilen mobilisoituminen, turvallisuusmerkitys

Yhteistyö ja näytteenotto HYRL/Janne Lempisen kanssa <sup>14</sup>C:n liittyen → tieteellinen yhteistyö, osaamisen jakaminen ja kehittäminen

**5. Loppusijoituksen turvallisuuden biogeokemialliset tekijät**

Synteesi

**Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset: 2-3 kpl

Opinnäytetyöt: 1 väitöskirjan ohjaus

**Muu tutkimuksista tiedottaminen**

Lehdistötiedotteet, Twitter (#KYTRENGAS)

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Behaviour of radionuclides in the geosphere; in situ studies		
<b>Tutkimuslaitos</b> Radiokemia, kemian laitos, Helsingin yliopisto	<b>Vastuhenkilö</b> Marja Siitari-Kauppi	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus / muut turvallisuustutkimukset		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Nelivuotisen hankkeen toinen vuosi, joka on jatkoa KYT2014 ohjelmassa toteutetulle hankkeelle "Kallion in situ - tutkimukset". Liittyy kansainväliseen Sveitsissä, Grimselin vuorilaboratoriossa tehtävään radionuklidien in situ kulkeutumistutkimukseen		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> GTK, VTT, Posiva	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> Nagra, JAEA, NRI, IDAE-CSIC, Poitiersin yliopisto, IRSN, NUMO, Amphos 21, Fracture Systems Ltd	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> Grimsel Phase VI
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Tutkimuksen tavoite on tuottaa radionuklidien kallioperäkulkeutumiseen liittyviä parametrejä ( $K_d$ , $D_e$ , huokoisuus) sekä laboratorio- että in situ - olosuhteissa, mahdollistaa laboratorio- ja in situ - kokeista saatavien parametrien välinen vertailu, mallintaa radionuklidien kulkeutumista realistisessa heterogeenisessä kivessä ottaen huomioon yllä mainitut parametrit sekä kehittää käytössä olevia menetelmiä tarpeellisilta osin.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) analyysi- ja mallinnusmenetelmät, $K_d$ , $D_e$ ja kiven huokoisuusarvojen validointi	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 2	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia voidaan soveltaa arvioitaessa ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisvaikutuksia, radionuklidien kulkeutumista loppusijoitustilaa ympäröivässä graniittisessa kivessä ottaen huomioon sen radionuklideja pidättävät ominaisuudet. Tietoa voivat hyödyntää sekä viranomaiset että ydinjätetoimijat.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) 1. PhreeqC mallinnuksen avulla arvioidaan bariumin ja radiumin sorptiomekanismeja eri kivi-vesi-vuorovaikutusolosuhteissa kiteiseen kiveen ja kiven mineraaleihin. 2. Simuloidaan radionuklidien kulkeutumista heterogeenisessä väliaineessa. Otetaan huomioon sekä kohdassa 1. että hankkeen ensimmäisen vuoden aikana määritetyt jakaantumiskertoimet ja kehitetään menetelmää edelleen. 3. Tehdään tutkimusvierailu Amphos 21 – konsulttiyritykseen tarkoituksena kehittää reaktiivista kulkeutumismallia huomioiden kiven huokos- ja mineraalirakenne (PhreeqC+Comsol Multiphysics). 4. Molekyylimallinnus (DFT) otetaan käyttöön sorptiokokeiden tulosten tulkinnaissa. 5. Grimselin in situ – koalue kairataan ja kairansydämet analysoidaan HYRL:ssa kehitetyillä menetelmillä radionuklidien diffuusioprofiilien määrittämiseksi		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset E. Muuri, J. Ikonen, M. Matara-aho, E. Puhakka, M. Siitari-Kauppi, A. Martin and L. Koskinen. The sorption and diffusion of $^{133}\text{Ba}$ in crushed and intact granitic rocks from the Olkiluoto and Grimsel in situ test sites.		

E. Muuri. Development of a measurement method for the determination of the heterogeneous sorption of barium on crystalline rock with Le Beaver.

Opinnäytteet

N.N. Radiumin sorptiokokeita kiteiselle kivelle ja sen mineraaleille. Pro gradu -tutkielma.

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

Kokoukset: Grimsel LTD partner meeting 2017, Migration 2017, Goldschmidt 2017

Lisäksi tutkimuksen tuloksia esitellään KYT seuranta- ja johtoryhmille vuosittaisissa kokouksissa.

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> C-14 vapautuminen metallijättestä (HIILI-14)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Release of <sup>14</sup> C from metallic waste (Carbon-14)		
<b>Tutkimuslaitos</b> Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy	<b>Vastuuhenkilö</b> Tiina Heikola	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus: Muut turvallisuustutkimukset		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tutkimus on osa EU-hanketta CAST (Carbon-14 Source Term, WP2 Steels), joka alkoi 1.10.2013. Hanke jakautui vuosina 2014-2016 EU-hankkeeseen ja kansalliseen hankkeeseen johtuen EU-projektin rahoituksista. Ehdotetaan jatkuvaksi samalla tavalla jakautuneena CAST-osaan ja kansalliseen osaan CAST-projektin keston ajan. Projektin kesto 4,5 vuotta.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> HY Radiokemian Laboratorio, Janne Lempinen, Jukka Lehto	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> CAST-projektin osallistujat	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Tutkimuksessa saadaan tietoa <sup>14</sup> C:n käyttäytymisestä loppusijoitusolosuhteissa turvallisuustarkasteluja varten. <sup>14</sup> C on säteilyvaikutuksiltaan merkittävä voimalaitos- ja purkujätteen sekä myös käytetyissä polttoainepiirissä. Orgaanisen <sup>14</sup> C:n osuus on kulkeutumisen arvioinnin kannalta tärkeä.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Kokeellinen menetelmä	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 2	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia hyödyntävät voimalaitos- ja purkujätteen loppusijoituksen turvallisuusanalyysien tekijät. CAST -projektissa WP3 (Zircaloy) käsittelee <sup>14</sup> C:n vapautumista polttoaineen suojakuoresta.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) <i>Osaprojekti 1:</i> Hiilen eluutio rautakarbidi- ja teräs jauheista (CAST): tehdään loppuun Loviisan terästä simuloivan säteilyttämättömän teräs jauheen ja rautakarbidi jauheen eluutiokokeet. Niissä tutkitaan vapautuneen hiilen spesiaatiota simuloitussa pohjavedessä, kun hiilen olomuoto kiinteässä faasissa tunnetaan. Hiilen olomuoto jäljittelee säteilytetyn teräksen <sup>14</sup> C olomuotoa. <i>Osaprojekti 2:</i> Säteilytetyn teräksen eluutiokokeet (CAST): Jatketaan säteilytetyn teräksen eluutiokokeita suunnitelman mukaan. Kokeet käynnistettiin 2016. Teräsnäytteet leikattiin suunnitelman mukaan Loviisan säteilytysnäytekapselin kuoresta, joka on ruostumatonta terästä. <i>Osaprojekti 3:</i> Kokeelliset menetelmät säteilytetyn teräksen kokeissa (Kansallinen projekti): Osaprojekti tukee kansallisia valmiuksia tehdä <sup>14</sup> C-analyyskejä meillä käytössä olevilla menetelmillä. Kyt-projektin raportointi sekä tieteellinen artikkeli eluutiokokeista tehdään tässä osaprojektissa.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset: Artikkelit säteilyttämättömän teräs jauheen ja rautakarbidi eluutiokokeista tieteelliseen lehteen tai konferenssijulkaisuun  Konferenssijulkaisu ja työraportit: Cast Annual Reports, Julkaisu (ks edellä), KYT-projektin vuosiraportti		

Opinnäytteet

**Muu tutkimuksista tiedottaminen** (esim. seminaari, tiedote, tms.)  
KYT2018 puoliväliseminaari

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann -menetelmällä		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Modelling fracture flow, matrix diffusion and sorption using the lattice-Boltzmann method		
<b>Tutkimuslaitos</b> Fysiikan laitos, Jyväskylän yliopisto	<b>Vastuuhenkilö</b> Keijo Mattila	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Neljävuotisen hankkeen kolmas vuosi. Hanke on jatkoa 2013–2014 toteutetulle hankkeelle "Kiven huokosrakenteen kuvantaminen nanotomografialla ja yhdistäminen matriisidiffuusiomallinnukseen"		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Helsingin yliopisto (Radiokemian laboratorio), Geologian tutkimuskeskus.	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> Nagra, Sveitsi Poitiersin yliopisto, Ranska	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> CRESTA EU-projekti, SimPhoNy EU-projekti, Grimsel, LTD Phase II
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Tutkimuksen tavoitteena on mallintaa radionuklidien kulkeutumista vettä johtavassa raossa sekä sitä ympäröivässä kivimatriisissa käyttäen hila-Boltzmann ja Time-domain Random walk (TDRW) -menetelmiä.		
<b>Tuloskategoria</b> Kokeelliset menetelmät, analyysimenetelmät	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 2	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 0
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> Tuloksia voidaan soveltaa arvioitaessa ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisvaikutuksia, radionuklidien kulkeutumista vettä johtavissa raossa ja loppusijoitustilaa ympäröivän kivimatriisin pidentysominaisuuksia. Niitä voivat hyödyntää sekä viranomaiset että ydinjätetoimijat.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> – Yhdistää hila-Boltzmann ja TDRW-menetelmät siten, että diffuusio ja sorptio mallinnetaan TDRW-menetelmällä ja virtauskenttä hila-Boltzmann menetelmällä. – Soveltaa menetelmää monimutkaisiin rakogeometrioihin. – Kehittää menetelmän numeerista ja ohjelmistoteknisiä ratkaisuja mahdollistaen suurteholaskennan supertietokoneilla ja siten realististen rakovirtausten mallinnuksen.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Referoitu artikkeli alan kansainvälisessä julkaisussa, yksi esitelmä kansainvälisessä alan konferenssissa.		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> Alan konferenssit, kotimaiset (mm. KYT-) seminaarit, esitelmät muissa tutkimusorganisaatioissa, yhteydet alan teollisiin toimijoihin.		



## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä (C14ROCK)		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Chemical forms and sorption of radiocarbon in geosphere (C14ROCK)		
<b>Tutkimuslaitos</b> HYRL	<b>Vastuhenkilö</b> prof. Jukka Lehto	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on alkanut KYT2014-ohjelmassa vuonna 2013 ja kestää KYT2018-kauden loppuun.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> VTT, GTK	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Tutkimuksen tavoitteena on selvittää radiohiilen kemiallisia muotoja ja niiden muutoksia kallioperässä sekä karbonaattimuotoisen radiohiilen sorptiota rakomineraaleihin.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) - kokeellinen työ ja menetelmän kehitys  - uuden asiantuntijan kouluttaminen	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> - 4-5 tieteellistä aikakauslehtiartikkeliä - 3-4 konferenssiesitystä	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> - 2-3 pro gradu- / kandidaatintutkielmaa - 1 väitöskirja
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tuloksia voidaan hyödyntää radiohiilen kulkeutumisen mallintamisessa, koska tuntemus kulkeutumiseen vaikuttavista prosesseista lisääntyy. Lisäksi hanke kouluttaa alalle uuden tohtoritasoisen asiantuntijan.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)  Karbonaattiradiohiilen sorptiosta hematiittiin ja götiittiin kirjoitetaan tieteellinen artikkeli, joka yhdistää geokemiallisen mallinnuksen jo saatuihin kokeellisiin tuloksiin. Hankkeessa aiemmin kehitetyllä menetelmällä analysoidaan näytteitä spesiaatiokokeista, joissa simuloidaan loppusijoitusvyödyllä vallitsevia olosuhteita. Mikrobien vaikutusta radiohiilen spesiaatioon tutkitaan yhteistyössä Huddersfieldin yliopiston kanssa.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> 2 artikkelia, toinen radiohiilen spesiaatiotutkimuksista ja toinen sorptiosta raudan (hydr)oksidimineraaleihin.  Konferenssiesitys Migration 2017 –konferenssissa Barcelonassa		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> (esim. seminaari, tiedote, tms.)		

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Applicability of Geopolymers to Nuclear Waste Management, GeoP-NWM		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Applicability of Geopolymers to Nuclear Waste Management, GeoP-NWM		
<b>Tutkimuslaitos</b> Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	<b>Vastuuhenkilö</b> Tarja Laitinen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa vuoden 2015 ja 2016 hankkeelle		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b>	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> University of Sheffield, United Kingdom;	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> Horizon 2020, EURATOM hanke CEBAMA; hakemus GENUIN
<b>Tutkimuksen tavoite</b>  Tutkimuksen tavoitteena on arvioida etuja, joita saavutetaan geopolymeeri-perustaisia matriiseja (ja niistä tehtyjen komposiittien) ydinjätehuollon rakenteissa. Nämä materiaalit tarjoavat räätälöityjä mahdollisuuksia jätteen kiinteytykseen ja kapselointiin. Ongelmallisten radioisotooppien, kuten <sup>137</sup> Cs sitominen matriisiin hilarakenteeseen ja hyvä kestävyys liukenemista vastaan antaa uusia mahdollisuuksia. Sementtipohjaisessa orgaanisen jätteen kiinteytyksessä on niiden kemiasta johtuen yhteensopivuusongelmia sementin hydrataation häiriintymisen takia. Lisäksi sementtipohjainen kiinteytyksensä perustuu lähinnä fysikaaliseen kapseloitumiseen. Tässä tutkimuksessa keskitytään geopolymeerien käyttöön kiinteytyksessä ja kapseloinnissa. Erityisesti keskitytään orgaanisen materiaalin vaikutuksiin mikro- ja makrotason rakenteellisiin muutoksiin sijoitusolosuhteissa.  Hyvä radioisotooppien ja muiden haitallisten aineiden sitoutuminen ja hyvä säilyvyys tullaan verifioimaan tässä hankkeessa. Tämä luo uusia turvallisempia ja ympäristövaikutuksiltaan parempia mahdollisuuksia jätehuoltoon, ja siis potentiaalisia taloudellisia etuja.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)  Julkaisut ja koemenetelmät	<b>Julkaisujen lukumäärä</b>  2 tieteellistä artikkelia	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>  1 väitöskirja hyödyntää
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tutkimuksen tulokset ovat voimalaitosten (TVO, Fortum, Fennovoima) käytössä, kun he suunnittelevat uusia turvallisia matalan ja keskiaktiivisen jätteen kiinteytyksiä ja sijoittamista. Tuloksista saadaan varmempaa tietoa pitkäaikaistoiminnasta sekä lujuuden, säilyvyyden että radionuklidien kulkeutumisen osalta. Myös viranomaiset saavat tiedon arvioidakseen geopolymeerien turvallisuutta vaihtoehtona jätehuollon rakenteissa.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)  Tutkimuksen tavoitteena on arvioida etuja, joita saavutetaan geopolymeeri-perustaisia matriiseja (ja niistä tehtyjen komposiittien) ydinjätehuollon rakenteissa. Nämä materiaalit tarjoavat räätälöityjä mahdollisuuksia jätteen kiinteytykseen ja kapselointiin. Ongelmallisten radioisotooppien, kuten <sup>137</sup> Cs sitominen matriisiin hilarakenteeseen ja hyvä kestävyys liukenemista vastaan antaa uusia mahdollisuuksia. Sementtipohjaisessa orgaanisen jätteen kiinteytyksessä on niiden kemiasta johtuen yhteensopivuusongelmia sementin hydrataation häiriintymisen takia. Lisäksi sementtipohjainen		

kiinteytys perustuu lähinnä fysikaaliseen kapseloitumiseen. Tässä tutkimuksessa keskitytään geopolymeerien käyttöön kiinteytyksessä ja kapseloinnissa. Erityisesti keskitytään orgaanisen materiaalin vaikutuksiin mikro- ja makrotason rakenteellisiin muutoksiin sijoitusolosuhteissa. Hyvä radioisotooppien ja muiden haitallisten aineiden sitoutuminen ja hyvä säilyvyys tullaan verifioimaan tässä hankkeessa. Tämä luo uusia turvallisempia ja ympäristövaikutuksiltaan parempia mahdollisuuksia jätehuoltoon, ja siis potentiaalisia taloudellisia etuja.

### **Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset

Vähintään kaksi tieteellistä artikkelia tai esitystä julkaistaan hankkeen kuluessa. Sopivia lehtiä ovat esim: Rakennustekniikka, Betoni, Cement and Concrete Composites.

Konferenssijulkaisut ja työraportit

Sopivia foorumeita ovat esimerkiksi: Nugenia+ tilaisuudet, IGD-TP vuosittainen foorumi, Waste Management konferenssi, Nordic Concrete Researc Symposium (Tanska 2017)

Opinnäytteet

Työn tuloksia tullaan käyttämään Tapio Vehmaksen väitöskirjan osana

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

Tutkimus järjestää loppuseminaarin hankkeen loppupuolella 2018.

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<p><b>Tutkimushankkeen nimi</b> Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemeissä (YRMA)</p>		
<p><b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Risk assessment of radioactive waste: development of radioecological modelling for terrestrial and aquatic ecosystems</p>		
<p><b>Tutkimuslaitos</b> Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos</p>	<p><b>Vastuuhenkilö</b> Jukka Juutilainen</p>	
<p><b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus, muut turvallisuustutkimukset, biosfääritutkimukset loppusijoituksen turvallisuuden kannalta</p>		
<p><b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkoa KYT2010-ohjelman hankkeelle "Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen ekologinen riskinarviointi metsäekosysteemeissä" ja KYT2014-ohjelman hankkeelle "Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen empiirisen aineiston valossa". Hankkeen suunnitellaan jatkuvan tammikuuhun 2019 saakka. Senkin jälkeen suunnitellaan jatkotutkimuksia, ja hanke on jo johtanut myös kansainväliseen yhteistyöhön.</p>		
<p><b>Yhteistyökumppanit</b></p>		
<p><b>Kotimaiset organisaatiot</b> Tampereen teknillinen yliopisto</p>	<p><b>Ulkomaiset organisaatiot</b> mm. Tukholman yliopisto ja Norjan ympäristö- ja biotieteiden yliopisto</p>	<p><b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b></p>
<p><b>Tutkimuksen tavoite</b> Hankkeen yleisenä tavoitteena on tarkentaa suomalaisiin metsä- ja vesiekosysteemeihin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arviointiin. Erityinen huomio keskittyy radionuklidien siirtymiseen sellaisiin makean veden ravintoketjujen avainlajeihin, joista on vähän aiempaa tietoa. Tavoitteena on myös kehittää radioekologisia malleja siten, että ne perustuvat entistä parempaan teoreettiseen ja empiiriseen ymmärrykseen alkuaineiden siirtymisestä eliöihin.</p>		
<p><b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)</p>	<p><b>Julkaisujen lukumäärä</b> 2</p>	<p><b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b></p>
<p><b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen turvallisuusanalyysiin liittyvässä biosfäärimallinnuksessa tarvitaan tietoa radionuklidien siirtymisestä maaperästä ja vedestä eliöihin. Suomalaisiin ympäristöolosuhteisiin tarkennettu tieto ja kehittyneempi radioekologinen mallintaminen parantavat arvioiden luotettavuutta. Potentiaalisia hyödyntäjiä ovat kaikki ne tahot, jotka tarvitsevat ydinjätteiden mahdollisten riskien arviointiin liittyvää biosfäärimallinnusta.</p>		
<p><b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) Osaprojekti 1: Vesiekosysteemitutkimukset</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vuoden 2016 näytteiden (vesi, sedimentti, eläimet) analyysitulosten tarkastelu ja tulkinta</li> <li>• Uusien näytteiden otto ja analysointi (tarkennetaan v. 2016 tulosten perusteella)</li> <li>• Eliöihin kohdistuvien vaikutusten tutkiminen</li> <li>• Osallistuminen NKS:n rahoituksella tehtyjen mikrokosmoskokeiden tulosten käsittelyyn</li> <li>• Tieteellinen artikkeli</li> </ul> <p>Osaprojekti 2: Radioekologisen mallintamisen kehittäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tieteellinen artikkeli</li> </ul>		
<p><b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset</p>		

1. Kasurinen A, Häikiö E, Tuovinen T, Tervahauta A, Makkonen S, Holopainen T, Juutilainen J:  
Transfer of elements relevant to the nuclear fuel cycle in a boreal food chain: soil-to-plant and plant-to-animal transfer with and without fertilizer application.
2. Makean veden ekosysteemistä saatuja tuloksia kuvaava artikkeli

**Muu tutkimuksista tiedottaminen** (esim. seminaari, tiedote, tms.)  
KYT2018 raportit, seurantakokoukukset ja seminaarit

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> KARMO III – Kallion rakopintojen mekaaniset ominaisuudet		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> KARMO III – Mechanical Properties of Rock Joints		
<b>Tutkimuslaitos</b> Aalto-yliopisto	<b>Vastuuhenkilö</b> Mikael Rinne	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) KARMO I 2014 -> KARMO II 2015-2016 -> KARMO III 2017-2018		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Aalto-yliopisto, GTK	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> KTH Royal Institute of Technology	<b>Muut tutkimusohjelmat</b> ROSA
<b>Tutkimuksen tavoite</b> KARMO:n tavoitteena on kehittää menetelmä kallion rakopintojen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi numeerista mallinnusta varten laboratoriomittakaavan koesarjan avulla.		
<b>Tuloskategoria</b> numeerinen mallintaminen	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1 konferenssijulkaisua 1 tieteellinen artikkeli	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1 kandidaatintyö
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Tulokset tulevat tutkijoiden ja viranomaisten käyttöön ja niitä voidaan käyttää arvioitaessa erilaisten raon hyväksymiskriteerien ja rakojen siirtymäanalyysin mallinnuksen hyväksyttävyyttä. Valtaosaa tutkimushankkeen tuloksista käytetään numeerisen mallinnuksen lähtötietoina, kun mallinnetaan rakojen mekaanista vastetta tai siirtymää.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)		
<p><b>1 Jatkuvan raon mallintaminen:</b> Yhteistyössä KTH:n kanssa takaisinlasketaan 60x60 ja 200x200 (mm x mm) kokoiset tuoreet rakopinnot. Mallinnuksessa käytetään Irazu FEMDEM –ohjelmistoa.</p> <p><b>2 Kansainvälinen tutkimusyhteistyö:</b> Yhteisjulkaisu kansainvälisten yhteistyökumppanien kanssa liittyen rakojen mekaniikan numeeriseen mallintamiseen.</p> <p><b>3 Rakoverkoston mallintaminen:</b> Rakoverkoston mallintaminen perustuen ylöskaalattuihin laboratorionäytteistä määritettyihin rakoparametreihin.</p>		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Kiven leikkauskokeen numeerinen mallintaminen ydinjätteen loppusijoitusta varten</i> (kandidaatintyö)</li> <li>- <i>Pull Experiment to Validate Photogrammetrically Predicted Friction Angle of Rock Discontinuities</i> (konferenssijulkaisu)</li> <li>- <i>Modelling behavior of discrete fracture network behavior using upscaled data from laboratory experiments</i> (tieteellinen lehtiartikkeli)</li> </ul>		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> (esim. seminaari, tiedote, tms.) KYT-seminaareihin osallistuminen, Aallon ja yhteistyökumppanien tiedotuskanavat sekä KARMO-tutkimushankkeen verkkosivu, jossa julkaisut ja opinnäytetyöt ovat vapaasti kaikkien ladattavissa.		

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> <b>ROSA:</b> Rakosimulaattori, joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus- ja suuntajakautumia		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> ROSA: Fracture simulator which respects the measured fracture length and orientation distributions		
<b>Tutkimuslaitos</b> Geologian tutkimuskeskus	<b>Vastuuhenkilö</b> Eevaliisa Laine	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Hanke on jatkohanke 2015 KYT2018 hankkeelle ja aiemmalle Kalliolaatu-hankkeelle (KYT2015). Hanke on suunniteltu nelivuotiseksi ja haku koskee hankkeen kolmatta vuotta.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Aalto-yliopisto, CSC	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> Nancyn yliopisto, NGU	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Tavoitteena on luoda rakosimulaatio-tietokoneohjelma ja käyttöliittymä sen käyttämiseen sekä tuloksen validointiin. Tulokset jaetaan tieteellisten julkaisujen kautta käyttäjille.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma) Tietokoneohjelma (R-paketti)	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 1	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 1 (tai jatko-opintojen osa)
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Lyhyellä tähtäimellä ONKALOn suunnittelijat Pitkällä tähtäimellä kalliorakentajat, lämpökaivosuunnittelijat, pohjaveden virtauksen ja radionuklidien kulkeutumismalleja sekä kivimassan kalliomekaanista käyttäytymistä mallintaessa.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) Osaprojekti 1: ROSA-rakosimulointikoodi, joka kunnioittaa rakojen mitattuja pituus-, suunta- ja pintaominaisuusjakautumia (Markovaara-Koivisto (GTK) vastaa) Osaprojekti 2: Rakosimuloinnin geologinen ja fysikaalinen validointi sekä havaittujen rakogeometrioiden käyttö rakosimuloinnissa. Tässä käytetään valmiita algoritmeja ja testauksessa ISATIS- ja GOCAD-ohjelmistoja sekä GTK:n hauraan deformaation asiantuntemusta (Laine (GTK) vastaa) Osaprojekti 3: Geoalan jatko-opinnot, syventyminen rakosimulointiin (muu rahoitus)		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset 1  Konferenssijulkaisut ja työraportit 1 (kalliomekaniikan kokous, IAMG2017, Ring-konsortion kokous)  Geoalan jatko-opiskelijan julkaisu tai raportti rakosimuloinnista  Opinnäytteet (Osa geoalan opiskelijan jatko-opintoja)		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> (esim. seminaari, tiedote, tms.)  Osallistuminen kotimaisiin kallion rikkonaisuutta käsitteleviin tilaisuuksiin		

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b> Turvallisuuden hallinta Suomen ja Ruotsin ydinjäteregeimeissä		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> Governing Safety in Finnish and Swedish Nuclear Waste Regimes (SAFER)		
<b>Tutkimuslaitos</b> Tampereen yliopisto, johtamiskorkeakoulu	<b>Vastuuhenkilö</b> Matti Kojo	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Ydinjätehuolto ja yhteiskunta, Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Tämä hakemus on jatkumoa vuonna 2015 esitetyllä SAFER-tutkimussuunnitelmalla, joka kattoi yleisellä tasolla vuodet 2015–2018. Tällä hakemuksella haetaan rahoitusta vuodelle 2017. Vuoden 2018 hakemus tehdään erikseen. Hanke jatkaa Jyväskylän ja Tampereen yliopistojen monivuotista KYT-tutkimusten sarjaa. Tutkimusryhmän KYT2010-ohjelmakauden aikainen toiminta kansainvälisti aihepiiriin suomalaista tutkimusta mm. EURATOMin FP7 InSOTEC-hankkeessa.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> Jyväskylän yliopisto	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b> Delft University of Technology Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b> Suomen Akatemian rahoittama "Social License to Operate" -projekti
<b>Tutkimuksen tavoite</b> Parantaa ymmärrystä suomalaisesta ydinjäteregeimistä ja erityisesti sen jatkuvuudesta, muutoksista ja joustavuudesta muuttuvassa yhteiskunnallisessa ja sosio-tekniisessä kontekstissa. Vuonna 2017 tutkimusaiheena on erityisesti Eurajoen ja Pyhäjoen asukkaiden eettiset näkemykset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta.		
<b>Tuloskategoria</b> (esim. kokeellinen menetelmä, tietokoneohjelma)	<b>Julkaisujen lukumäärä</b> 4	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b> 2
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) Projekti auttaa ennakoimaan loppusijoitukseen liittyviä eettisiä huolenaiheita ja haasteita erityisesti paikallisella tasolla. Projekti tarjoaa ydinjäteregeimiin keskeisille toimijoille mahdollisuuden tarkastella nykyistä hallinnan lähestymistapaa, toimintamallia ja periaatteita. Projekti tuottaa tietoa tulevaa päätöksentekoa ja mahdollista ydinjätehuoltoon liittyvää koulutusvientiä varten.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain)  Osaprojekti 2.1: Selvitetään kyselyaineiston avulla loppusijoituslaitosten mahdollisten sijoituskuntien asukkaiden näkemyksiä loppusijoituksen liittyvistä eettisistä kysymyksistä.  Osaprojekti 2.3: Selvitetään kyselyaineiston avulla suomalaisten näkemyksiä toisen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen rakentamisesta Suomeen.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Tieteelliset artikkelit ja lehtikirjoitukset Litmanen, T., Vilhunen, T. & Kojo, M. "Ethical aspects of final disposal at the host community level: The Finnish resident survey", Risk, Hazards and Crisis in Public Policy		



Kojo, M., Aarnio, A-R., Litmanen, T. & Kari, M.  
"Suomalaisten mielipiteet toisesta loppusijoituslaitoksesta",  
ATS Ydintekniikka

Kojo M, Kari M., Litmanen T. & Vilhunen, T.  
"A comparison of the Finnish and Swedish print media discussion related to the final disposal of spent nuclear fuel",  
options: J. of Intergrative Environmental Sciences ; Energy Research & Social Science.

Kojo M, Oksa A, Vilhunen, T, Kari, M, and Litmanen T.  
"Ethical issues and questions related to final disposal of SNF in Finland and Sweden: Comparison of print media discussion in the leading newspapers",  
Public Understanding of Science

Konferenssijulkaisut ja työraportit

Kojo, M., Oksa A., Vilhunen, T, Kari, M., and Litmanen T.

"High profile risk cases in the media. Comparative aspect on ethical discussion on final disposal of spent nuclear fuel in the leading newspapers in Finland and Sweden"  
Nordic Environmental Social Science (NESS) Conference, Tampere, Finland, June 6-8, 2017

Litmanen, T., Vilhunen, T. & Kojo, M.

"Ethical aspects of final disposal at the host community level: The Finnish resident survey"  
European Sociology Association Conference 2017, Athens, Greece, August 29 – September 1

Litmanen T., Vilhunen, T. and Kojo, M.

"Residents' perceptions of ethical aspects of final disposal of spent nuclear fuel at Eurajoki and Pyhäjoki"  
Annual Colloquium of Finnish Society for Environmental Social Science (YHYS)

Opinnäytteet

Mikan Karin väitöskirja (Jyväskylän yliopisto)

Petra Kuisman pro gradu -tutkielma (Jyväskylä yliopisto)

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

Yhteinen workshop Suomen akatemian rahoittaman "Social License to Operate" -projektin kanssa  
Sanomalehtiartikkeli (alio tms) tai tiedote kyselytuloksista

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b>		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> RADLAB (Radiological Laboratory Commissioning)		
<b>Tutkimuslaitos</b> VTT Technical Research Centre of Finland	<b>Vastuuhenkilö</b> Wade Karlsen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Infrastructure supporting capsule and buffer and back-fill material research		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) Yes, RADLAB was supported in 2016 jointly with SAFIR for the first time.		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> VTT, power companies, STUK	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> To execute the radiological facility infrastructure renewal in accordance with the law and reasoning of "Laki ydinenergiain muuttamisesta" (HE320/2014).		
<b>Tuloskategoria</b> Infrastructure	<b>Julkaisujen lukumäärä</b>	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) The result is a national research infrastructure that can be utilized by VTT and partners for carrying out research and testing related to safe operation of nuclear power plants and the final storage of waste thereof.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) The execution of the infrastructure renewal is via a project portfolio whereby the RADLAB project carries out the work associated with the tasks, but the facility costs of the radiological laboratory are supported directly by RADCONS, while particular equipment investment costs are actually paid from the RADINFRA project. All three projects utilized the same structure in accordance with the description in the RADLAB project. The RADLAB project involves efforts in four main areas: hot cell fabrication, installation and commissioning; hot laboratory equipment procurement and nuclearization; design, fabrication and installation of self-built research facilities; and design, fabrication and installation of materials handling and storage facilities. Additionally, management of the hot cell renewal as a part of the overall infrastructure commissioning and ramp-up of operations is coordinated as a task of this project.		
<b>Julkaisut ja opinnäytetyöt</b> Main emphasis is on conference presentations profiling the infrastructure. Scientific publications are expected within projects that utilize the resulting infrastructure.		
<b>Muu tutkimuksista tiedottaminen</b> (esim. seminaari, tiedote, tms.) Communications is a part of the project, involving preparation of writings for more general consumption in VTT Impulssi and occasional press releases. Tours of the new facility are given, and a seminar profiling the infrastructure will be held in 2017.		

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b>		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> RADCONS (Radiological laboratory facility costs of the Centre for Nuclear Safety)		
<b>Tutkimuslaitos</b> VTT Technical Research Centre of Finland	<b>Vastuuhenkilö</b> Wade Karlsen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Infrastructure supporting capsule and buffer and back-fill material research		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) This is a new funding instrument per "Laki ydinenergiain muuttamisesta (HE320/2014)."		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> VTT, power companies	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> To execute the radiological facility infrastructure renewal in accordance with the law and reasoning of "Laki ydinenergiain muuttamisesta" (HE320/2014).		
<b>Tuloskategoria</b> Infrastructure	<b>Julkaisujen lukumäärä</b>	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) The result is a national research infrastructure that can be utilized by VTT and partners for carrying out research and testing related to safe operation of nuclear power plants and the final storage of waste thereof.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) The infrastructure for radioactive materials research and testing involves facilities, equipment and competent users. This RADCONS project is dedicated only to facility costs associated with the radiological laboratory infrastructure renewal. The infrastructure renewal process itself is executed through the complementary RADLAB project in SAFIR2018. According to the change in law made on the initiative of the Ministry of Employment and the Economy (MEE), the laboratory facility costs could be supported by VYR at a maximum level of 2.700 k€/year, starting in 2016 when the facilities will be released to VTT. The laboratory facility costs include an annual facility rental charge of 2,1M€ (without VAT), as well as electricity and facility upkeep. The facility maintenance is comprised of facility cleaning that is outsourced, as well as the mechanicals maintenance that is the responsibility of VTT. The building rent is mainly aimed at repaying the costs of constructing the facility, and therefore is the means by which the infrastructure costs are realized for VTT. The applied funding includes appropriate VAT based on the law and		

reasoning of "Laki ydinenergiain lain muuttamisesta (HE320/2014).

**Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Main emphasis is on conference presentations profiling the infrastructure. Scientific publications are expected within projects that utilized the resulting infrastructure.

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

Communications is a part of the project, involving preparation of writings for more general consumption in VTT Impulssi and occasional press releases. Tours of the new facilities are given, and a seminar featuring the new infrastructure will take place in 2017.

## Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) Hakuyhteenveto 2017

<b>Tutkimushankkeen nimi</b>		
<b>Tutkimushankkeen nimi englanniksi</b> RADINFRA (Radiological laboratory equipment infrastructure investments)		
<b>Tutkimuslaitos</b> VTT Technical Research Centre of Finland	<b>Vastuuhenkilö</b> Wade Karlsen	
<b>Mihin KYT-painopistealueeseen hanke kuuluu?</b> (ks. puiteohjelma, Kuva 2) Infrastructure supporting capsule and buffer and back-fill material research.		
<b>Tutkimusjatkumo</b> (onko hanke jatkoa aiemmalle tutkimukselle, suunnitellaanko jatkoa?) This is a new funding instrument per "Laki ydinenergiain muuttamisesta (HE320/2014)."		
<b>Yhteistyökumppanit</b>		
<b>Kotimaiset organisaatiot</b> VTT, power companies	<b>Ulkomaiset organisaatiot</b>	<b>Muut tutkimusohjelmat, tms.</b>
<b>Tutkimuksen tavoite</b> To execute the radiological facility infrastructure renewal in accordance with the law and reasoning of "Laki ydinenergiain muuttamisesta" (HE320/2014).		
<b>Tuloskategoria</b> Infrastructure	<b>Julkaisujen lukumäärä</b>	<b>Opinnäytetöiden lukumäärä</b>
<b>Tulosten hyödyntäminen lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä</b> (mikä taho ja millä tavalla) The result is a national research infrastructure that can be utilized by VTT and partners for carrying out research and testing related to safe operation of nuclear power plants and the final storage of waste thereof.		
<b>Sisällölliset tavoitteet osaprojekteittain</b> (Tiivis yhteenveto suunnitelluista tuloksista osaprojekteittain) The infrastructure for radioactive materials research and testing involves facilities, equipment and competent users. The RADINFRA project directly supports the costs of the infrastructure equipment, to be installed in the facilities supported by RADCNS, the process of which is executed in RADLAB. According to the change in law made on the initiative of the Ministry of Employment and the Economy (MEE), the infrastructure investments would be supported by VYR at a level of 3.600 k€/year for 5 years starting in 2016, and enable retroactive claiming even of 2015 investments. This mechanism utilizes the investment aid procedure made available to VTT when it became VTT Ltd. beginning in 2015. The vast majority of the investment expenses in the RADINFRA project will be realized in the 2015 through 2017 period when the electron microscopes and the hot cells themselves are purchased and installed in the new facility, and the supporting facilities are constructed and installed. Therefore subsequent years will include retroactive cost claims as well. This RADINFRA project is dedicated only to infrastructure investment costs, the process of which is		

executed through the complementary RADLAB project in SAFIR2018. The applied funding includes appropriate VAT based on the law and reasoning of "Laki ydinenergiain muuttamisesta (HE320/2014). The RADINFRA project supports investments in four main areas: the hot cell fabrication, installation and commissioning; hot laboratory equipment procurement and nuclearization; design, fabrication and installation of self-built research facilities; and design, fabrication and installation of materials handling and storage facilities.

**Julkaisut ja opinnäytetyöt**

Main emphasis is on conference presentations profiling the infrastructure. Scientific publications are expected within projects that utilized the resulting infrastructure.

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

Communications is a part of the project, involving preparation of writings for more general consumption in VTT Impulssi and occasional press releases. Tours of the new facilities are given, and a seminar profiling the research infrastructure will be held in 2017.

## Liite 2 KYT2018 organisaatio<sup>2</sup> 2017

### KYT2018 Johtoryhmä

Jäsen (varajäsen)	Organisaatio	Tehtävä
Jarkko Kyllönen (Kaisa-Leena Hutri)	STUK	pj.
Mikko Paunio (Jari Keinänen)	STM	
- (Magnus Nyström)	YM	
Sami Hautakangas (Kristiina Söderholm)	Fortum	
Anne Kontula (Lasse Koskinen)	Posiva	
Nina Paaso	TVO	
Linda Kumpula (Jorma Aurela)	TEM	varapj.
Ville Koskinen (Heikki Hinkkanen)	Fennovoima	asiantuntija

### KYT2018 Tukiryhmä I: Puskuri, täyteaineet ja kapseli

Jäsen (varajäsen)	Organisaatio	Tehtävä
Rainer Laaksonen	STUK	pj.
Jaakko Leino	STUK	
Ari Luukkonen	STUK	
Pasi Kelokaski	Fortum	
Seppo Kasa	Posiva	
Marja Vuorio	Posiva	
Kirsi Weckman (Maria Palomäki)	TVO	

### KYT2018 Tukiryhmä II: Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot

Jäsen (varajäsen)	Organisaatio	Tehtävä
Reda Guerfi	STUK	
Arto Isolankila	STUK	
Petri Jussila	STUK	pj.
Jarmo Lehikoinen	STUK	
Paula Ruotsalainen	STUK	
Tapani Eurajoki (Karita Kajanto)	Fortum	
Juho Kuusisto	Posiva	
Samu Myllymaa	TVO	

<sup>2</sup> Henkilömuutokset ovat mahdollisia, tässä esitetyt listat perustuvat vuoden 2016 lopun tilanteeseen.

KYT2018 Tukiryhmä III: Yhteiskunta ja ihminen

<b>Jäsen</b>	<b>Organisaatio</b>	<b>Tehtävä</b>
Linda Kumpula	TEM	pj.
Juhani Tirkkonen	TEM	
Jarmo Lehtinen	STUK	
Susan Pietilä	Posiva	
Magnus Nyström	YM	
Juha Poikola	TVO	
Maira Kettunen	Fennovoima	
Länsimies Anna-Maria	Fortum	

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



### **Liite 3 KYT2018 hankeseuranta 2017**

KYT2018-ohjelmassa tutkimushankkeiden edistymisen seuranta ja tieteellinen ohjaus on tukiryhmien vastuulla. Kullekin tukiryhmälle on asetettu seurattavat hankkeet sen tieteellisen kokemuksen ja asiantuntemuksen perusteella. Seurattavat hankkeet kuuluvat niihin, joiden hanke-esitykset kyseinen tukiryhmä arvioi vuoden 2017 hankehaun yhteydessä. Käytännön seurantatyö tapahtuu muun muassa erityisissä seurantakokouksissa ja näitä kokouksia varten tukiryhmät I ja II ovat v. 2017 jakaneet rahoitusta saaneet tutkimushankkeet aihepiireittäin alla oleviin seurantaryhmiin.

#### **Tukiryhmä I Puskuri, täyteaineet ja kapseli (Rainer Laaksonen)**

##### **1. Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky**

Koordinoitu hankekokonaisuus **THEBES** (hankekoordinaattori lihavoituna)

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

##### **2. Kapselin toimintakyky**

Koordinoitu hanke **KAPSELI** (hankekoordinaattori lihavoituna)

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

##### **3. Kallioperä**

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

##### **4. Matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoitus**

- Applicability of Geopolymers in Nuclear Waste Management (GeoP-NWM); Tarja Laitinen, VTT

## **Tukiryhmä II Turvallisuuden arviointi ja innovaatiot (Petri Jussila)**

### 5. Turvallisuusperustelu

Koordinoitu hankekokonaisuus **TURMET** (hankekoordinaattori lihavoituna)

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

### 6. Nuklidikulkeutuminen

- Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä; Kallion in situ tutkimukset (RaKu); Marja Siitari-Kauppi, HYRL
- C-14 vapautuminen metallijätteestä (Hiili-14); Tiina Heikola, VTT
- Rakovirtaus-, matriisidiffuusio- ja sorptiomallinnus hila-Boltzmann menetelmällä; Keijo Mattila, JYFL
- Radiohiilen kemialliset muodot ja sorptio kallioperässä; Jukka Lehto, HYRL

### 7. Mikrobiologian vaikutukset

Koordinoitu hanke **MILORI** (hankekoordinaattori lihavoituna)

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

Muut hankkeet

- Ravinteet, energia ja kaasut kalliobiosfäärissä (RENGAS); Riikka Kietäväinen, GTK

### 8. Biosfääri

- Ydinjätteen riskien arviointiin soveltuvan radioekologisen mallintamisen kehittäminen maa- ja vesiekosysteemissä (YRMA); Jukka Juutilainen, UEF

### 9. Ydinjätehuollon teknologiat

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

## **Tukiryhmä III Yhteiskunta ja ihminen (Linda Kumpula)**

### 10. Yhteiskuntatiede

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

N.B. Infrahankkeen RADLAB (Radiological Laboratory Commissioning), Wade Karlsen, VTT, seuranta toteutetaan SAFIR2018 ohjelman tukiryhmän 6 kautta, jonka kokouksiin KYT2018-tukiryhmän puheenjohtajalle ja KYT2018 koordinaattorille varataan edustus. Hankkeen RADINFRA (Radiological laboratory equipment infrastructure investments) seuranta tapahtuu myös em. tukiryhmässä. Hankkeen RADCNS (Radiological laboratory facility costs of the Centre for Nuclear Safety) ja seuranta toteutetaan työ- ja elinkeinoministeriössä.