

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma, KYT2018

Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2015–2018

KYT-suunnitteluryhmä

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
1 Johdanto	4
1.1 Ydinjätehuollon toimintaympäristö	4
1.2 Aiempi julkinen ydinjätehuollon tutkimus	6
1.3 Osaamisen kehittäminen	7
1.4 Ydinjätetutkimuksen pitkän aikavälin strategia Suomessa	8
2 Tutkimusohjelman organisointi	8
2.1 Lähtökohdat ja tavoitteet	8
2.2 Tutkimusohjelman hallinnointi	9
2.3 Hankehaku ja rahoituspäätös	10
2.3.1 Tutkimusohjelman hanketyypit	11
3 Tutkimusohjelman sisällölliset tavoitteet	12
3.1 Ydinjätehuollon teknologiat	13
3.2 Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus	15
3.2.1 Turvallisuusperustelu	16
3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky	18
3.2.3 Kapselin toimintakyky	20
3.2.4 Mikrobiologian vaikutukset	21
3.2.5 Muut turvallisuustutkimukset	22
3.3 Ydinjätehuolto ja yhteiskunta	24
3.4 Muu rahoitettava toiminta	25
4 Tutkimusohjelman raportointi ja tiedonvaihto	25
5 Yhteistyö	26
6 Kirjallisuusviitteet	27
Liite 1 YES-hankkeen ydinjätejaoston analysoima suomalainen ydinjätehuollon osaamisen rakenne tutkimusalueittain vuonna 2014	28
Liite 2 YES-hankkeen ydinjätejaoston analysoima ydinjätehuollon kannalta erityishuomiota vaativa osaaminen	30

Esipuhe

KYT2018 on työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma vuosille 2015–2018. Puiteohjelma sisältää kuvauksen KYT2018-tutkimusohjelman toimijoista, organisoinnista sekä linjaukset ohjelmakauden tavoitteista ja tutkimuksellisesta sisällöstä, huomioiden erityisesti viranomaisten tiedontarpeen. Tutkimusohjelman johtoryhmä voi täsmentää tutkimuksen painopisteitä vuosittain.

Puiteohjelma on laadittu työ- ja elinkeinoministeriön 26.9.2013 nimeämän suunnitteluryhmän toimesta. Suunnitteluryhmän jäsenet olivat: Jarkko Kyllönen (Säteilyturvakeskus, STUK), Mikko Paunio (Sosiaali- ja terveysministeriö, STM), Miliza Malmelin (Ympäristöministeriö, YM), Jaana Avolahti (Työ- ja elinkeinoministeriö, TEM), Jari Tuunanen (Fortum Power and Heat Oy), Liisa Heikinheimo (Teollisuuden Voima Oyj, TVO) ja Marjut Vähänen (Posiva Oy) sekä asiantuntijajäsenenä Mia Ylä-Mella (Fennovoima Oy). Varajäsenet olivat Kaisa-Leena Hutri (STUK), Sirkku Saarikoski (STM), Magnus Nyström (YM), Jorma Aurela (TEM), Harriet Kallio (Fortum Power and Heat Oy), Pekka Viitanen (TVO), Lasse Koskinen (Posiva Oy) ja Hanna Virlander (Fennovoima Oy). Ryhmän sihteerinä toimi Kari Rasilainen (VTT).

Helsingissä syyskuussa 2014

Työ- ja elinkeinoministeriö
Energiaosasto

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. Tässä kuvattavan KYT-ohjelman tavoitteet ja sisältö pohjautuvat ministeriön asettaman työryhmän näkemyksiin.

1.1 Ydinjätehuollon toimintaympäristö

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

Kotimainen toimintaympäristö

Tutkimusohjelmakauteen ajoittuu useita ydinjätehuoltoon suoraan ja välillisesti liittyviä päätöksentekomenettelyjä. Ydinjätehuollon suuriin hankkeisiin valmistautuminen, esim. tutkimustyön tekeminen, täytyy aloittaa hyvissä ajoin ennen varsinaista operatiivista vaihetta.

Vuoden 2012 lopulla Posiva toimitti valtioneuvostolle rakentamislupahakemuksen käytetyn polttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta muodostuvan laitospakettisuuden rakentamiseksi Eurajoen Olkiluotoon. Laitosten rakentaminen on tarkoitus aloittaa vuonna 2015 ja niille haetaan käyttö lupaa siten, että loppusijoitusvalmius saavutettaisiin noin vuonna 2020. Hankkeen aikataulu tarkentuu rakentamislupahakemuksen käsittelyn yhteydessä.

Ohjelmakaudella on tarkoitus ottaa nyt rakenteilla oleva ydinvoimalaitosyksikkö (Olkiluoto 3) käyttöön ja edetä vuonna 2010 myönnettyjen periaatepäätösten mukaisten ydinvoimalaitosten (Olkiluoto 4, Hanhikivi 1) rakentamislupavaiheeseen.

Loviisan ydinvoimalaitosyksiköiden käyttöluvut ovat voimassa 2020-luvun loppupuolelle. Olkiluodon laitosyksiköiden 1 ja 2 luvat ovat voimassa vuoden 2018 loppuun saakka. TVO:n Olkiluoto 1 - ja 2 -laitosyksiköiden käyttö lupien 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 aloitettu.

VTT on käynnistänyt Ydinturvallisuustalo-rakennushankkeen vuoden 2014 alkupuolella. Rakennuksen on määrä olla valmis vuoden 2016 loppupuolella. Ydinturvallisuustaloon rakennetaan ajanmukaiset kokeelliset tutkimustilat kuumakammiovalmiuksineen, joissa voidaan tutkia esimerkiksi aktivoituneita reaktorimateriaaleja, mutta ei käytettyä polttoainetta. Taloon

rakennetaan myös laboratoriotilat ydinjätetutkimukselle sekä uudet radiokemian ja dosimetrian laboratoriot.

Kansainvälinen toimintaympäristö

Ulkomaisen kehityksen arvioidaan olevan vilkasta ydinjätehuollon alalla. Esimerkiksi EU:n ydinjätedirektiivi vaikuttaa toimialan käytäntöihin ja suunnitelmiin. Ruotsissa saatetaan loppuun maaliskuussa 2011 viranomaisille jätetty käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittely. Ranskassa korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituslaitoksen rakentamisen lupahakemuksen käsittely alkaa vuonna 2015 ja loppusijoitus aikataulun mukaan vuonna 2025. USA:ssa nk. Blue Ribbon -komiteat ovat selvittäneet vaihtoehtoja Yucca Mountainiin kaavailulle 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 päättymässä, uusi Horizon 2020 -ohjelma vuosille 2014–2020 on hyväksytty ja ensimmäinen hankehaku vuosille 2014–2015 on avautunut keväällä 2014. Vuonna 2009 perustettiin teknologiafoorumi IGD-TP (Implementing Geological Disposal - Technology Platform), jonka tehtävänä on koordinoida Euratomin piirissä tehtävää ydinjätehuollon tutkimusta. Suomesta IGD-TP:hen osallistuu aktiivisimmin Posiva. Posivan lisäksi ohjelmassa on mukana myös eräitä muita suomalaisia ydinjätealalla toimivia organisaatioita. SNE TP- NUGENIA¹ tutkimusohjelmassa on mukana laitosten purkamiseen ja laitosjätteen käsittelyyn liittyvää tutkimustoimintaa, mikä täydentää IGD-TP:n tavoitteita jätehuollon tutkimustarpeiden osalta.

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

OECD:n 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

¹ Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (<http://www.snetp.eu/>), Nuclear GENeration II & III Association (<http://www.nugenia.org/>).

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 ohjeluonnosten 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 tiedonvaihtojärjestelmissä (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.

1.2 Aiempi julkinen ydinjätehuollon tutkimus

Julkisrahoitteinen ydinjätehuollon tutkimus käynnistettiin Suomessa atomienergianeuvottelukunnan aloitteesta 1970-luvun alkupuolella. Julkishallinnon koordinoituja ydinjätehuollon tutkimusohjelmia on toteutettu Suomessa vuodesta 1989 lähtien, Taulukko 1.

Taulukko 1. Julkishallinnon koordinoituja tutkimusohjelmia.

Kausi	Tutkimusohjelman nimi
1989–1993	Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT) ²
1994–1996	Julkishallinnoidun ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT2) ³
1997–2001	Julkishallinnon ydinjätetutkimusohjelma (JYT2001) ⁴
2002–2005	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT ⁵
2006–2010	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2010 ⁶
2011-2014	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2014 ⁷

KYT-tutkimusohjelmalle toteutettiin kansainvälinen arviointi vuonna 2012. Arviointiryhmä totesi, että tutkimusohjelman päätavoitteet on saavutettu. Tutkimusohjelma on edistänyt uusien ydinjätehuollon asiantuntijoiden koulutusta ja ylläpitänyt ydinjätehuollon asiantuntemusta. Arviointiryhmä esitti kehittämisehdotuksia muun muassa tutkimusaihepiireihin, ydinjätehuoltoon liittyvään koulutukseen ja eri tutkimusohjelmien väliseen yhteistyöhön. Arviointiryhmän ehdotukset on otettu huomioon KYT2018-tutkimusohjelman puiteohjelman laadinnassa mm. tutkimusaihepiirien osalta (Apted et al. 2013).

1.3 Osaamisen kehittäminen

KYT-ohjelman keskeinen tavoite on osaltaan varmistaa olennaisen kansallisen asiantuntemuksen jatkuva saatavuus, edistää tieteellistä ja korkeatasoista osaamista sekä lisätä yleistä tietämystä ydinjätehuollon alalla. Pääperiaatteena on, että kansallisissa osaamis- ja strategiatyöryhmissä tunnistetut kriittiset tutkimusvalmiudet ja osaamiset säilytetään ja niitä edelleen kehitetään tärkeimmiksi katsotuilla alueilla (TEM 2012, 2014). Tämä tavoite on erityisen ajankohtainen nyt, sillä ydinjätehuollon tutkimus- ja asiantuntijakentässä on meneillään sukupolvenvaihdos. Samaan aikaan toiminta ydinenergian tuotannossa on laajenemassa ja vanhojen laitosten käytöstäpoisto lähestymässä luvitusvaihetta, mikä edelleen lisää asiantuntijoiden tarvetta.

Vuonna 2010 järjestettiin ensimmäisen kerran KYT-tutkimusohjelmassa suunniteltu ydinjätehuollon kurssi (Kansallinen YJH-kurssi), jonka tavoitteena on tarjota yleiskuva alasta, sitä säätelevistä laeista ja ohjeista alalle tuleville ja alalla toimiville asiantuntijoille. Lisäksi kurssin tavoitteena on osaltaan varmistaa ja ylläpitää ydinjätehuollon osaamista. Kuusipäiväinen kurssi järjestetään vuosittain ja sen osanottajamäärä on 20 - 25. Kysyntää on ollut tätä enemmän, mutta

² Vuori 1990, 1991, 1993.

³ Vuori 1997.

⁴ Vuori 2000, Rasilainen 2002.

⁵ Rasilainen 2006.

⁶ KYT-johtoryhmä 2005.

⁷ TEM 2010.

osallistujien määrää rajoittaa kurssiin sisältyville vierailuille asetetut rajoitukset henkilömäärän suhteen. Kurssi toteutetaan alan toimijoiden välisenä yhteistyönä.

KYT2018-tutkimusohjelma tukee kansallisen ydinjätehuollon asiantuntijakoulutuksen kehittämistä. Tutkimusohjelmassa myös painotetaan koulutusvaikutusta yhtenä rahoitettavien hankkeiden arviointikriteerinä. Tutkimusohjelma voi tarjota myös osarahoitusta opinnäytetöille. Vaatimuksena on, että työ täyttää tämän puiteohjelman sisältötavoitteet, ks. luku 3.

1.4 Ydinjätetutkimuksen pitkän aikavälin strategia Suomessa

Ydinjätetutkimuksen pitkän aikavälin strategiaa Suomessa on pohdittu yhtenä osa-alueena työ- ja elinkeinoministeriön asettamassa ydinenergia-alan tutkimusstrategiatyöryhmässä, ns. YES-työryhmässä (TEM 2014). Työryhmässä hahmoteltiin ydinenergia-alan kansallista tutkimusstrategiaa vuoteen 2030. Käytännön työ toteutettiin kuudessa jaostossa:

1. Ydinturvallisuus
2. Ydinjätehuolto
3. Ydinenergia-alan tutkijakoulutus
4. Ydinenergian tulevaisuuden teknologiat ja perusfysiikka
5. Yhteiskunnallinen ydinenergiatutkimus
6. Tutkimuksesta liiketoimintaan ydinenergia-alalla

Ydinjätetutkimuksen kannalta on merkittävää, että ydinjätehuollon aikajänteet ovat pitkiä ja että ydinjätehuolto on toteutettava vastuullisesti riippumatta ydinenergia-alan yleisestä kehityksestä. Tällöin tarvittavan osaamisen säilyttäminen ja kehittäminen muodostuu keskeiseksi haasteeksi.

Ydinjätetutkimuksen pitkän aikavälin strategiatyössä jäsennettiin ensiksi nykyinen ydinjätetutkimuksen osaamisen rakenne, ks. Liite 1, ja sen pohjalta muodostettiin näkemys kriittisistä osaamisista eli osaamisista, joiden säilyttäminen vaatii koko ydinjätealan tukea, ks. Liite 2. YES-työssä laadittua kriittisten osaamisten listaa on hyödynnetty soveltuvin osin tätä puiteohjelmaa laadittaessa. Puiteohjelman suunnittelussa on myös hyödynnetty SAFIR-ohjelman (<http://safir2018.vtt.fi/>) kanssa⁸ järjestetyn, tutkimusohjelmien yhteistyötä hahmotelleen Rajapintaseminaarin tuloksia.

2 Tutkimusohjelman organisointi

2.1 Lähtökohdat ja tavoitteet

KYT2018-tutkimusohjelman lähtökohdat perustuvat ydinenergilakiin (990/1987), jonka mukaan tutkimustoiminnan tavoitteena on ”*varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailuun*” (53 b § (19.12.2003/1131)).

⁸ KYT- ja SAFIR-ohjelmia rahoittaa Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR), jossa ydinenergilain mukaisesti tähän tarkoitukseen on perustettu kaksi erillistä tutkimusrahastoa, yksi KYTille ja toinen SAFIRille.

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 hyödynnettäviksi esimerkiksi opinnäytetöissä.

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

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

Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) rahoittaa vuosittain ydinjätehuollon tutkimushankkeita työ- ja elinkeinoministeriön esityksen perusteella. TEM:n esitys perustuu KYT-johtoryhmän rahoitussuositukseen. Vuosittain jaettava rahamäärä perustuu jätehuoltovelvollisten vastuumääriin. Tutkimuskaudella 2015–2018 on tutkimukseen osoitettavissa noin 1,8 miljoonaa euroa vuosittain.

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

2.2 Tutkimusohjelman hallinnointi

Tutkimusohjelman toiminta perustuu TEM:n, ohjelman johtoryhmän, yhden tai useampien tukiryhmien, koordinaattorin ja tutkimushankkeiden keskinäiseen yhteistyöhön ja työnjakoon. Seuraavassa esitetään lyhyesti tutkimusohjelman sisäistä työnjakoa; tarkempi kuvaus on KYT2018-ohjelman toimintaohjeessa. Myös muut ohjelmassa noudatettavat hallintokäytännöt kuvataan yksityiskohtaisesti toimintaohjeessa, joka on nähtävissä tutkimusohjelman verkkosivuilla (<http://kyt2018.vtt.fi/>).

Johtoryhmä

Työ- ja elinkeinoministeriö nimittää tutkimusohjelmalle johtoryhmän, jonka puheenjohtaja on Säteilyturvakeskuksesta. Johtoryhmässä ovat edustettuina työ- ja elinkeinoministeriö, Säteilyturvakeskus, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, ympäristöministeriö, Fortum Power and Heat Oy, Posiva Oy ja Teollisuuden Voima Oyj sekä asiantuntijajäsenenä Fennovoima Oy. Sihteerinä toimii tutkimusohjelman koordinaattori.

Johtoryhmä vastaa tutkimusohjelman strategisista linjauksista. Puiteohjelman linjausten lisäksi KYT2018-johtoryhmä voi ehdottaa työ- ja elinkeinoministeriölle tutkimuksen tarkennettuja vuosittaisia painopistealueita kunkin hankehaun kutsukirjeessä tai johtoryhmän laatimassa evästyksessä. Johtoryhmä esittää ohjelmaan toteutettaviksi hankkeita, joiden se katsoo parhaiten vastaavan puiteohjelmassa ja em. painopiste-ehdotuksissa mainittuja tarpeita.

Tukiryhmät

Tutkimusohjelman johtoryhmä nimeää tarvittavan määrän tukiryhmiä, jotka toimivat johtoryhmän tukena teknisenä asiantuntijaelimenä. Johtoryhmä nimeää tukiryhmien puheenjohtajat ja jäsenet. Tukiryhmät vastaavat tutkimushanke-esitysten arvioinnista ja valittujen hankkeiden seurannasta sekä ohjauksesta.

Tarpeen mukaan voidaan perustaa ad hoc -työryhmiä esiin nousseiden erityishuomiota vaativien asioiden hoitamiseksi.

Koordinaattori

Tutkimusohjelman koordinaattori vastaa tutkimusohjelman hallinnosta. Koordinaattori valitaan julkisen tarjouskilpailun ja tarjousten kokonaistaloudellisuuden perusteella. Koordinaattorin valintaperusteina käytetään työkokemusta ydinjätehuollon alalta sekä ydinjätehuollon kansallisten ja kansainvälisten ohjelmien ja tutkimustoiminnan tuntemusta. Koordinaattorin organisaatiolta edellytetään taustatukea (esim. tieto- ja taloushallinto, henkilöresurssit) koordinaattorille.

Verkkosivut

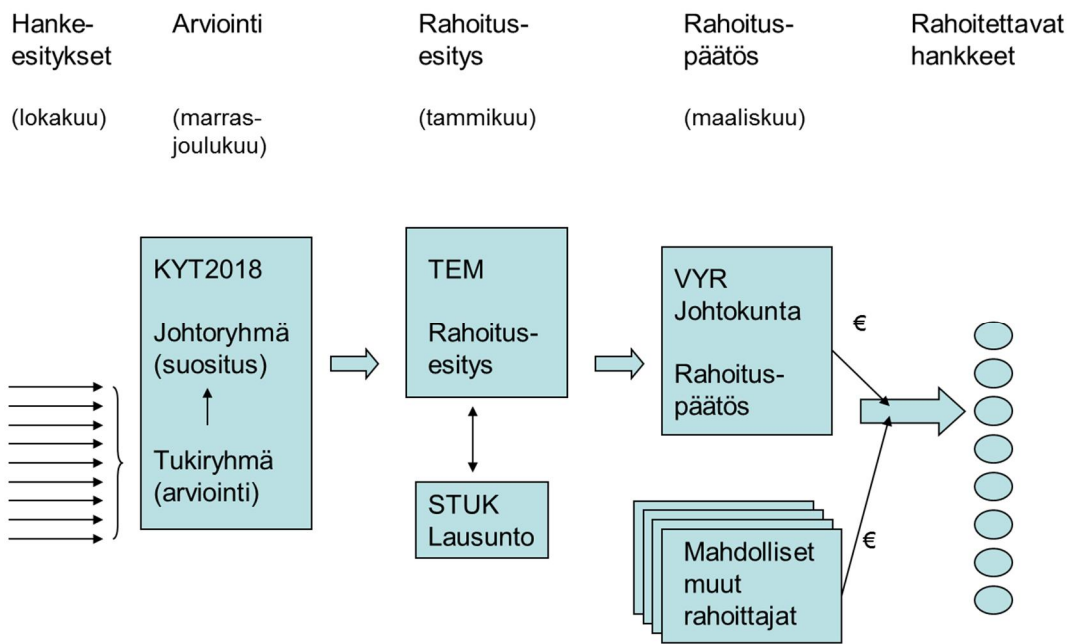
Tutkimusohjelmaa koskeva aineisto julkaistaan pääosin tutkimusohjelman verkkosivuilla. Verkkosivuja kuvataan tarkemmin luvussa 4.

Tutkimusohjelman edistyminen

Tutkimushankkeet toteutetaan VYR:n rahoituspäätöksen ja johtoryhmän hyväksymän vuosisuunnitelman mukaisesti. Johtoryhmä valvoo koko tutkimusohjelman edistymistä. Tukiryhmät seuraavat ja ohjaavat yksittäisten hankkeiden edistymistä.

2.3 Hankehaku ja rahoituspäätös

KYT-ohjelmaan osallistutaan julkisen hakumenettelyn kautta, Kuva 1. Hankehaun käynnistymisestä ilmoitetaan TEM:n hankehaun kutsukirjeessä, joka on nähtävänä myös tutkimusohjelman verkkosivuilla (<http://kyt2018.vtt.fi/>).



Kuva 1. KYT2018-ohjelman päätöksenteko tutkimushankkeista. Mahdolliset muut rahoittajat ovat useimmiten tutkimuksia tekeviä organisaatioita, jotka ohjaavat hankkeisiinsa omaa rahoitusta.

Määräaikaan mennessä saapuneet hanke-esitykset käsitellään tutkimusohjelman johtoryhmässä, joka laatii rahoitussuosituksen. Johtoryhmän teknisenä asiantuntijaelimenä toimivat tukiryhmät. Johtoryhmä muotoilee rahoitussuosituksen yhteydessä tukiryhmän arvion pohjalta hanke-esitykselle sisällöllisen palautteen, joka saatetaan hanke-esityksen tekijän tietoon.

TEM tekee rahoitussuosituksen perusteella Valtion ydinjätehuoltorahastolle (VYR) virallisen rahoitusesityksen vuotuisesta tutkimushankekokonaisuudesta. TEM pyytää ennen rahoitusesitystä lausunnon STUK:sta, Kuva 1.

KYT2018-tutkimusohjelma alkaa julkisella hankehaulla syyskuussa 2014. TEM nimittää ennen hankehakua tutkimusohjelman johtoryhmän, joka arvioi nimittämiensä tukiryhmien avulla syksyllä jätetyt hanke-esitykset. Varsinainen tutkimusohjelmakausi käynnistyy vuoden 2015 alusta.

2.3.1 Tutkimusohjelman hanketyypit

KYT-ohjelmaan ehdotettavat hankkeet voivat olla yksittäisiä tutkimushankkeita tai laajoja koordinoituja tutkimuskokonaisuuksia. Käytännössä ohjelmaan hyväksytään kolmenlaisia hanketyyppejä, joita ovat:

- **yhden vuoden tutkimushanke**, jonka hankepäällikkö vastaa hankkeen toteutumisesta ja yhteydenpidosta tutkimusohjelmaan
- **useamman vuoden tutkimushanke**, jonka ensimmäinen hanke-esitys kattaa pääpiirteissään koko tutkimussuunnitelman ja yksityiskohtaisesti ensimmäisen vuoden suunnitelmat. Seuraavina vuosina suunnitelmat tulee päivittää ottaen huomioon esim.

johtoryhmän vuosittaiset evästyksiset ja tukiryhmän arvioinnit projektin etenemisestä. Useamman vuoden tutkimushankkeet hakevat rahoitusta myös seuraavina vuosina.

- **koordinoitu hanke**, joka on aiemmassa KYT2014-ohjelmassa käyttöön otettu hanketyyppi, jotta keskeisiin aihepiireihin saatiin laajempia integroitua tutkimushankkeita. Siihen osallistuu tyypillisesti useita tutkimuksia tekeviä organisaatioita ja se voi kattaa koko KYT2018-tutkimuskauden. Olemukseltaan se on pienimuotoinen tutkimusohjelma, jota johtaa hankekoordinaattori⁹. Hankekoordinaattori vastaa tutkimusryhmän ja hanke-ehdotuksen kokoamisesta sekä hankkeen sisäisestä koordinoinnista ja hallinnoinnista, esim. hankesuunnitelmasta ja raportoinnista. Tavoitteena on saada ohjelmakaudelle ainakin neljä koordinoitua hanketta, ks. luku 3.2. Koordinoitua hankkeita voidaan ehdottaa muistakin kuin luvussa 3.2 kuvatuista aihepiireistä. Olennaista on, että kukin niistä vastaa johonkin keskeiseen tutkimustarpeeseen. Koordinoitun hankkeen syntymistä edistää, jos tutkimusryhmän työohjelma rakennetaan yhteisen selvitettävän asiakokonaisuuden ympärille. Koordinoitun hankkeen hakemisen edellytykset kuvataan yksityiskohtaisemmin KYT2018-toimintaohjeessa.

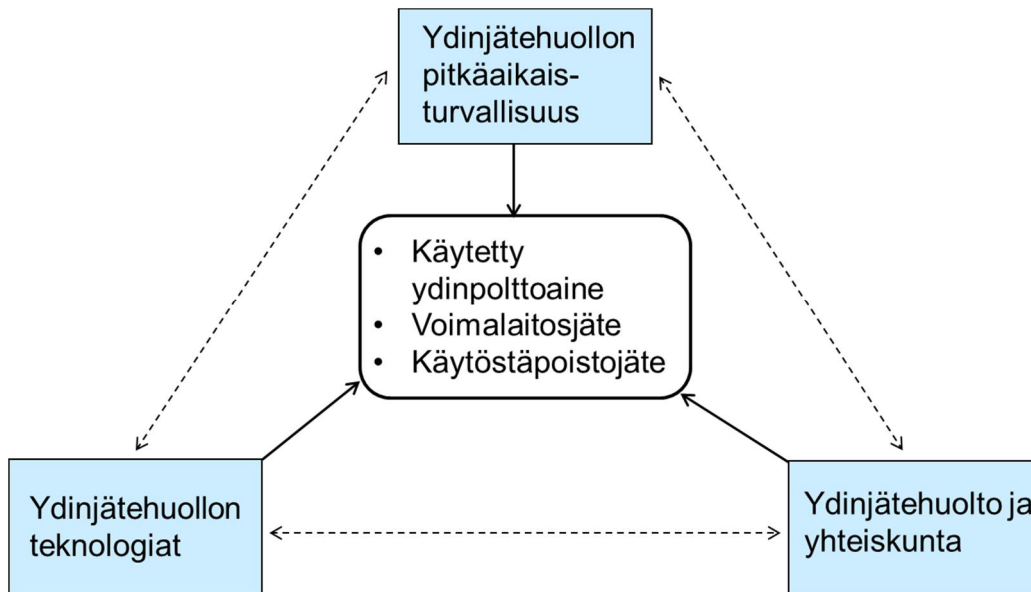
Esityksiä arvioineet tuki- ja johtoryhmät voivat edellyttää hanke-esityksiin muutoksia; näiden huomioon ottaminen on VYR-rahoituksen ehto.

Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) myöntää KYT-hankkeille rahoitusta vuodeksi kerrallaan, ks. Kuva 1. Useampivuotisten hankkeiden tapauksessa johtoryhmä pyrkii turvaamaan hankkeen jatkuvuuden hanke-esityksen mukaisesti, mikäli hanke etenee suunnitelmien mukaisesti. Mikäli hanke ei etene, johtoryhmä voi esittää rahoituksen leikkausta tai keskeyttämistä.

3 Tutkimusohjelman sisällölliset tavoitteet

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

⁹ Koordinoitu hanke koostuu osahankkeista ja hankekoordinaattori on tutkimusta koordinoivan osahankkeen hankepääällikkö.



Kuva 2. KYT2018-tutkimusohjelman aihepiirit.

Aihepiireihin sisältyvät tutkimushankkeet voivat olla yksi- tai useampivuotisia selvityksiä, tutkimuksia tai laajoja koordinoituja hankkeita. Niillä haetaan ydinjätehuollon asiantuntemuksen varmistamista useiden tieteenalojen näkökulmasta.

Tutkimusaihepiirien valinta on jatkoa edelliselle KYT2014-tutkimusohjelmalle. Sen lisäksi niissä on otettu soveltuvin osin huomioon liitteissä esitettyjä kriittisiä osaamisalueita ja tulevaisuuden osaamistarpeita ydinjätehuollossa. KYT2018-tutkimusohjelmassa on tarkoitus varmistaa asiantuntemusta ydinjätehuollossa.

3.1 Ydinjätehuollon teknologiat

Viranomaisten saatavilla tulee olla ajantasaista tietoa ja asiantuntemusta tutkittavista ja kehitteillä olevista geologisen loppusijoituksen vaihtoehtoista sekä asiantuntemusta Suomessa toteutettavan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailuun. Eri ydinjätteiden huoltovaihtoehtoja ja käytettyä teknologiaa arvioidaan ja tarkennetaan aika ajoin. Siinä yhteydessä saattaa tulla esiin tarve tutkia uusia tai vaihtoehtoisia teknisiä ratkaisuja.

Uusia ja vaihtoehtoisia teknologioita tutkimalla¹⁰ parannetaan suomalaisen ydinjätehuollon toteutusvarmuutta, mikäli nyt päävaihtoehtona oleva geologinen loppusijoitus ei toteutuisi kaavailtuna, tai mikäli kehitetään uusia menetelmiä esimerkiksi syntyvän jätteen määrän vähentämiseksi tai tehokkaammaksi ja turvallisemmaksi käsittelemiseksi. Tämä tutkimus toteutuu parhaiten osallistumalla kansainväliseen yhteistyöhön. Suomalaisten tutkimusryhmien osallistuminen kansainvälisiin tutkimusohjelmiin edellyttää kuitenkin omaa panostusta ja

¹⁰ Tässä ei oteta kantaa tutkimuksen luonteeseen. Joissain tapauksissa viranomaisten tutkimustarpeet vaativat pitkäkestoista jatkuvaa tutkimustyötä, joissain tapauksissa taas esim. määräajoin laadittava kirjallisuusselvitys aihepiirin nykytasosta riittää.

osaamista. Tässä aihepiirissä tutkimus voi olla luonteeltaan selvitystyyppistä ja siinä voidaan yhdistää useita aihepiiriin kuuluvia osa-alueita.

Ydinjätehuollon teknologiaan liittyviä tutkimusaiheita voivat olla:

- käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelymenetelmien kehittyminen, nuklidierotus ja transmutaatio (partitioning & transmutation, P&T)
- geologisen loppusijoitukseen liittyvä palautettavuus ja toteutusvaihtoehdot, esim. syvät kairareivät
- varastointivaihtoehdot, esim. käytetyn polttoaineen kuivavarastointi tai muu jätteen pitkäaikaisvarastointi
- mahdolliset uudet voimalaitosjätteiden (VLJ) huollon ratkaisut, esim. erittäin matala-aktiivisten jätteiden maaperäloppusijoitus, tai uudenlaisten jätteiden loppusijoitettavuuteen ja jätteiden määrän pienentämiseen liittyvät tutkimusaiheet
- käytöstäpoiston toteutuksen uudet ratkaisut, esimerkiksi metalli- ja betonijätteen karakterisointi- ja käsittelymenetelmät
- vaihtoehtoisten vapautumisestemateriaalien (esim. kapselimateriaali) kehitys
- ydinjätehuollon kustannusten arviointimenetelmien edelleen kehittäminen.

Suomessa ydinjätehuoltovelvollisten käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus perustuu nykyisen ydinenergialainsäädännön mukaisesti polttoaineen kertakäyttöön. Useissa merkittävässä ydinenergiamaisissa, kuten Ranskassa ja Isossa-Britanniassa, tutkitaan ja hyödynnetään kehittyneitä polttoainekiertoja, joihin liittyy olennaisesti käytetyn polttoaineen eri tavoin tapahtuva kierrätys. Jälleenkäsittelyn tutkimuksessa kohteina ovat esim. kierrätyskertoja rajoittavat tekijät painevesi- ja kiehumusvesireaktoreissa sekä käytetyn MOX-polttoaineen loppusijoitus. Jälleenkäsittelyvaihtoehdon teknisesti pidemmälle viety muoto on erottelu ja transmutaatio (partitioning and transmutation, P&T), johon liittyvää tutkimusta on esim. EU:n tutkimusohjelmassa. P&T-tutkimuksissa tarvitaan laskentamenetelmien kehitystä, josta syntyy kytkös SAFIR2018-ohjelmaan. KYT-ohjelmassa on jo aiemmin tutkittu kokeellisesti radionuklidien erottamista. Usein jälleenkäsittelyä sekä nuklidierotusta ja transmutaatiota koskevissa keskusteluissa jää vähemmälle huomiolle se tosiasia, että kaikista ydinjätteistä ei näissäkään vaihtoehdoissa päästä eroon ja että myös niissä tarvitaan geologista loppusijoitusta.

Suomessa käytetyn polttoaineen KBS-3-konseptiin perustuva loppusijoitusohjelma etenee kohti toteutusvaihetta. Toisaalta useissa maissa loppusijoituksen toteutuksen eteneminen on ollut merkittävästi hitaampaa ja esimerkiksi Yhdysvalloissa on jouduttu käynnistämään loppusijoitusohjelma uudelleen. Geologiseen loppusijoitukseen on joissain maissa kytketty palautettavuus, joka tarkoittaa loppusijoitettujen jätteiden palauttamisen mahdollisuutta loppusijoitustiloista. Samassa yhteydessä esille ovat nousseet myös erilaiset toteutusvaihtoehdot. Yksi vaihtoehdoista on useiden kilometrien syvyisiin kairareikiin perustuva ratkaisu, jota on tutkittu mm. Ruotsissa. Suomessa on perusteltua seurata vaihtoehtoisia geologisen loppusijoituksen ratkaisuja ja niihin liittyvän kehitystyön etenemistä sekä palautettavuudesta käytävää keskustelua.

Käytetyn ydinpolttoaineen väliaikaisvarastoinnin vaihtoehdoista on Suomessa käytössä vesiallasvarastointi, jota myös useat muut maat käyttävät. Vesiallasvarastoinnille on myös olemassa erilaisia kuivavarastointivaihtoehtoja. Ulkomailla kuivavarastointi alkaa jo olla päävaihtoehto uusissa laitoksissa. Osana kehittyneitä polttoainekiertoja esim. Ranskassa pohditaan myös muusta polttoainekierrasta erotettujen lyhytikäisten radionuklidien pitkäaikaisvarastointia, joka saattaisi kestää satoja vuosia. Varastoinnin turvallisuus on

varmistettava erityisesti, jos varastointiajat pitenevät esimerkiksi laitosten käyttöiän jatkon tai loppusijoitushankkeiden hitaan etenemisen vuoksi.

Voimalaitosjätteiden huollossa on käytössä geologinen loppusijoitus sekä Suomessa että muualla. Toisaalta osaan jätteistä voidaan soveltaa vaihtoehtoisia loppusijoitustekniikoita. Toistaiseksi Suomessa ei ole poistettu käytöstä eikä purettu ydinlaitoksia. Sen sijaan useissa muissa maissa on käytöstäpoistosta kertynyt kokemusta. Arvioitaessa ydinjätehuollon mahdollisia ratkaisuja voi esiin nousta muissa maissa tutkittuja ja käytössä olevia, mutta Suomessa hyödyntämättömiä ja tutkimattomia vaihtoehtoja, esim. voimalaitosjätteiden huollossa hyvin matala-aktiivisen jätteen maaperäloppusijoitus tai käytöstäpoistossa uudet tekniset menetelmät. Ydinvoimalaitosten uudet tekniset ratkaisut muuttavat mahdollisesti myös loppusijoitettavan jätteen laatua. Lisäksi jätteiden käsittely siten, että loppusijoitettava tilavuus pienenee ja jäte on saatettu vaikealiukoiseen muotoon, ovat kansainvälisesti kiinnostavia tutkimusaiheita. Ydinlaitosten purkuvaiheessa tulee paljon suurikokoista metalli- ja betonijätettä, jolle on löydettävä nopeita ja luotettavia karakterisointimenetelmiä radionuklidien jakautumisen selvittämiseksi.

Suomessa ja Ruotsissa käytetyn polttoaineen kapselivaihtoehtona on eniten tutkittu kuparikapselia, jonka sisällä on valurautasisus (Posivan ja SKB:n referenssikapseli). Muissa maissa on tutkittu myös muita kapselimateriaaleja kuten ruostumatonta terästä tai yhdistelmäateriaaleja (compound materials). Uusien ja vaihtoehtoisten teknisten ratkaisujen kehitystä voitaisiin selvittää esim. kirjallisuusselvitysten avulla.

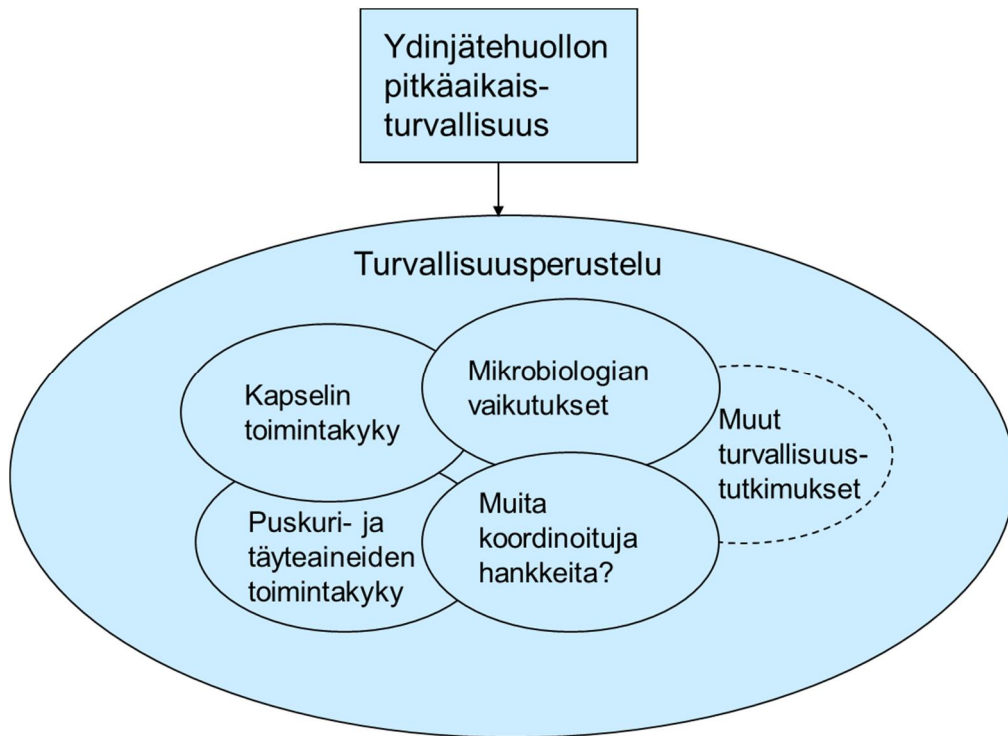
Ydinjätehuollon kustannuksia arvioidaan Suomessa säännöllisesti. Esimerkiksi käytöstäpoistoteknologioihin liittyvä menetelmä- ja toteutusvertailu antaa tietoa, jonka avulla voidaan tarkemmin arvioida ja perustella eri vaihtoehtoihin liittyviä kustannuksia ja niiden vaihteluvälejä. Kustannusvertailu edellyttää eri menetelmien ja tekniikoiden tuntemista. Kustannusten arviointiosaamisen kehittäminen hyödyttää erityisesti viranomaisia, mutta myös ydinjätehuollon muita toimijoita.

3.2 Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus

Pitkäaikaisturvallisuus on yksi merkittävimmistä ydinjätehuollon suunnittelussa ja toteutuksessa perusteltavista tekijöistä. Lisäksi se on valvonnan kannalta haasteellinen poikkitieteellinen kokonaisuus. Pitkäaikaisturvallisuuden varmistamiseksi viranomaisten käytössä on oltava luvanhakijasta riippumatonta korkeatasoista asiantuntemusta loppusijoittamisen turvallisuudesta.

KYT2018-ohjelmassa ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimuksen rakenne on kuvattu otsikkotasolla Kuvassa 3. Pitkäaikaisturvallisuuden aihepiiriin kuuluvia tutkimuksia suunniteltaessa olisi tavoitteena oltava tutkimuksen hyödynnettävyys loppusijoituksen turvallisuusperustelussa. Osaamisen kehittämistä tällä alueella tukee myös YES-työryhmässä tehty osaamistarpeiden kartoitus, Liite 2.

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuustutkimukset voivat tässä tutkimusohjelmassa kohdistua käytettyyn ydinpolttoaineeseen, voimalaitosjätteeseen tai käytöstäpoistojätteeseen. Kaikkien näiden jätteiden huollon suunnittelu Suomessa perustuu geologiseen loppusijoitukseen.



Kuva 3. 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.

Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden tutkimukseen sisältyy toisiinsa kytkeytyviä laajoja tutkimuskokonaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi (1) turvallisuusperustelu laskennallisine analyyseineen, (2) puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, (3) kapselin toimintakyky sekä (4) mikrobiologian vaikutukset. Näistä aihepiireistä toivotaan ehdotuksia koordinoituiksi hankkeiksi. Turvallisuusperustelun tuntemusta tarvitaan kaikkien ydinjätteiden loppusijoituksessa, mutta Kapselin toimintakyky ja Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky liittyvät erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Mikrobiologian vaikutukset sisältyvät implisiittisesti turvallisuusperustelussa tehtävän toimintakykyanalyysin vaatimukseen. Muut turvallisuustutkimukset voivat olla yksi- tai useampivuotisia hankkeita rajatummista pitkäaikaisturvallisuuden aihepiireistä.

3.2.1 Turvallisuusperustelu

Suomessa viranomaisten tehtäviin kuuluu arvioida luvanhakijan turvallisuusperustelu. Sitä varten viranomaisten käytettävissä on oltava riittävästi korkeatasoista luvanhakijasta riippumatonta tietoa ja asiantuntemusta turvallisuusperustelun laatimisen periaatteista, ajattelutavoista ja rajoituksista.

Turvallisuusperustelun tutkimuksessa kyse on erittäin monitahoisesta, laajasta ja vaativasta aihekokonaisuudesta, jossa yhdistyvät eri tieteenalojen asiantuntemus. Siksi aihe sopii hyvin toteutettavaksi esim. koordinoituna hankkeena.

Turvallisuusperustelun metodiikkaa sovelletaan paitsi käytetyn polttoaineen, myös voimalaitos- ja purkujätteiden loppusijoitukseen. Nämä metodiikat ovat periaatteessa yleispäteviä ja siksi niitä soveltamalla voidaan arvioida myös KBS-3:lle vaihtoehtoisia loppusijoituskonsepteja. Tutkimushankkeissa tulisi pyrkiä lisäämään osaamista turvallisuusperusteluun sisältyvien metodiikkojen, esim. laskennalliset analyysit, osalta. Tämän osaamisen pohjalta voidaan myöhemmin erikseen tarkastella eri loppusijoitushankkeiden toteutettavuutta.

Hanke-ehdotuksissa tulee esittää ja perustella ne alueet, joihin tutkimustyö ohjelmakaudella 2015–2018 keskittyy ja toisaalta se, miten niiden kautta vaiheittain edetään kohti koko turvallisuusperustelun kattavampaa osaamista. Hanke-ehdotuksissa tulee kuitenkin välttää jo laadittujen turvallisuusperustelujen toistamista ja kopiaointia ja pyrkiä sen sijaan löytämään uudenlaisia tarkastelutapoja ja arviointimalleja. Huomiota kannattaa kiinnittää tällöin muun muassa:

- turvallisuustoimintojen tunnistamisen ja skenaarioiden muodostamisen tapaan
- vaihtoehtoihin käsitteellisiin malleihin ja tulkintoihin
- epävarmuuden hallintamenetelmien kehittämiseen
- uusiin tietolähteisiin (ydinjätetutkimuksen ulkopuolella tehtävä turvallisuusperustelun metodiikkoja sivuava työ), esim. skenaarioiden muodostamisen tavat, tai kansallisessa ydinturvallisuusohjelmassa SAFIR2018 tehtävä turvallisuusperusteluihin liittyvä työ
- turvallisuusperustelun rakenteen ja esittämistapojen kehittämiseen mahdollisimman laajan lukijakunnan ymmärrettäväksi (turvallisuusperustelun periaatteet, menetelmät, rajoitukset).
- käytetyn polttoaineen loppusijoituksen alkuvaiheen kehittymisen analyysi loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen.

Ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuden arvioiminen perustuu suurelta osin skenaarioihin eli loppusijoitusjärjestelmän oletettuihin kehityskulkuihin ja niiden vaikutusten laskemiseen. Skenaarioita muodostettaessa on kerrottava, miksi ja millä perusteella skenaariot on valittu, mitä muita skenaarioita valintaprosessissa pohdittiin ja miksi osa niistä jätettiin laskennallisen tarkastelun ulkopuolelle. Työssä on hyödyllistä perehtyä skenaariokirjallisuuteen myös ydinjätehuollon ulkopuolelta.

Ilmiön, tapahtuman tai prosessin laskennallinen arvioiminen alkaa yleensä käsitteellisten mallien¹¹ kuvaamisella, ja matemaattinen malli rakennetaan käsitteellisen mallin pohjalta. Tarkasteltavan loppusijoitusjärjestelmän monimutkaisuudesta johtuen on syytä tarkastella vaihtoehtoisia käsitteellisiä malleja, jotta saadaan laaja-alainen käsitys järjestelmän mahdollisesta käyttäytymisestä.

Loppusijoitusjärjestelmän monitahoisuus ja tarkasteltavat pitkät ajanjaksot luovat epävarmuuksia, joita on turvallisuuden arvioimiseksi tarkasteltava myös kvantitatiivisesti. Yksi osa epävarmuusanalyysia on em. vaihtoehtoisten skenaarioiden ja käsitteellisten mallien käyttäminen.

¹¹ Tässä käsitteellisellä mallilla tarkoitetaan tarkasteltavan järjestelmän kuvausta, jossa on symbolisesti järjestelmän rajat, laskennassa sovellettavat alku- ja reunaehdot, tarkasteltavat materiaalit, tarkasteltavat prosessit sekä se, mitä suuretta mallinnetaan. Teknisesti käsitteellinen malli edeltää matemaattista ja numeerista mallia ja se auttaa mallinnustehtävän kuvaamisesta ei-ammattipiireille.

Toinen liittyy laskentamallien suorituskyvyn parantamiseen ja laadunvarmistukseen. Tässä aihepiirissä on nähtävissä mahdollisuus metodiseen yhteistyöhön SAFIR-ohjelman kanssa, koska myös ydinturvallisuustutkimuksessa laskentamallien suorituskyvyn arvioiminen on keskeistä.

Ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuusanalyysissä voidaan hyödyntää turvallisuuden arvioinnin metodiikkoja, joita on kehitetty muilla kuin ydintekniikan alalla. Tällainen metodisten analogioiden hyödyntäminen mahdollistaa turvallisuusanalyysimetodiikan riippumattoman tarkastelun ja edelleen kehittämisen. Toinen metodinen analogia on löydettävissä ydinturvallisuustutkimuksesta SAFIR-ohjelmassa, koska myös siellä on tarve osoittaa koko ydinvoimalaitoksen ja sen osajärjestelmien turvallisuus.

Turvallisuusperustelun keskeisen sisällön selkeä esittäminen myös ei-asiantuntijapiireille on edellytys loppusijoitushankkeen laajemmalle hyväksynnälle. Tässä mielessä KYT-ohjelma toimii luvanhakijoista riippumattomana ja luotettavana tiedonlähteenä laajalle yleisölle. Tämä tukee samalla myös päätöksenteon läpinäkyvyyttä erilaisissa aihepiiriin liittyvissä kysymyksissä.

Loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen loppusijoitustilan ja sitä ympäröivän kalliotilavuuden väliset erot fysikaalisissa ja kemiallisissa ominaisuuksissa alkavat vähitellen tasoittua. Suomalaisessa turvallisuusperustelussa on tämän ajanjakson ilmiöitä tarkasteltu lähinnä valittujen skenaarioiden kautta. On tärkeää kehittää loppusijoitustilan sulkemisen jälkeisten erojen tasaantumisen vaiheen ymmärtämistä ilmiötasolla sekä esimerkiksi tekemällä loppusijoitusjärjestelmän toimintakykyanalyyseja.

3.2.2 Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky

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

Myös tähän aihepiiriin soveltuisi koordinoitu hanke, koska aihepiirin laaja-alaisuuden ja teknis-tieteellisen vaativuuden takia useita tieteenaloja edustavalla tutkimusryhmällä on paras mahdollisuus saada pitkäaikaisturvallisuuden kannalta relevantteja tuloksia.

Bentoniittipuskuri on KBS-3-loppusijoituskonseptissa teknisen vapautumisestejärjestelmän keskeinen osa, sillä jos puskuri ei toimi ennakoidusti, voi sen sisällä olevan loppusijoituskapselin pitkä elinikä vaarantua mm. lisääntyneen korroosion vaikutuksesta. Bentoniittiin¹² liittyy useita loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeisiä selvitystarpeita. Bentoniittia tai muita savimateriaaleja käytetään todennäköisesti myös tunnelien täyteaineissa ja sulkurakenteissa.

Puskuri- ja täyteaineiden tutkimuksen lähtökohta on, että turvallisuusperustelussa tulee arvioida puskuri- ja täyteaineiden toimintakykyä. Luonnontieteellisesti perusteltujen konseptualisointien ja niistä johdettujen matemaattisten ja laskennallisten mallien avulla voidaan arvioida myös kvantitatiivisten tarkastelujen¹³ tekemiseen tarvittavat kokeet. Kvantitatiivisten mallinnus-

¹² Bentoniitilla tarkoitetaan tässä paisuvahilaisia savia yleisterminä.

¹³ Tarkastelut kattavat esimerkiksi massavirtojen ja paisuntapaineen muutoksia sekä lämmön siirtymistä.

valmiuksien kehittäminen tarvitsee tuekseen kokeellista tutkimusta, koska viime kädessä laskentamallien prosessien ja lähtötietojen tulee perustua kokeellisiin havaintoihin.

Loppusijoituksen ilmiöiden ymmärtäminen luo tieteellisesti perustellun pohjan tutkia kvantitatiivisesti puskuri- ja täyteaineiden käyttäytymistä. Loppusijoitustilan lähialueella vallitsevat prosessit ovat tyypillisesti toisistaan riippuvia. Heti loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen lähialueen olosuhteissa vallitsee samanaikaisesti useita gradientteja, esim. termisiä (T), hydrologisia (H), kemiallisia (C) ja mekaanisia (M), jotka alkavat ajan kuluessa tasoittua¹⁴.

Yleisimmin bentoniitin vuorovaikutuksia tarkastellaan joko THC- tai THM-malleilla. Näiden integroiminen jollakin tasolla on kuitenkin tarpeen, koska termisten, hydrologisten, kemiallisten ja mekaanisten tekijöiden vaikutuksia voi olla vaikea kytkeä irti toisistaan. Esimerkiksi bentoniitin keskeinen ominaisuus, paisumiskäyttäytyminen, aiheutuu montmorilloniittisavesta, jonka kemiallinen liukeneminen, sementoituminen tai mineraloginen muuntuminen voi vaikuttaa puskurimateriaalin ja täyteaineiden paisuntapaineeseen. THC- ja THM-mallinnuslinjat tarvitsevat lähtökohdaksi yhtenäisen käsitteellisen näkemyksen, jotta niiden vastaavat tulokset olisivat mielekkäästi siirrettävissä mallinnuslinjalta toiselle¹⁵.

Mikrorakenteen tuntemus luo pohjan arvioida bentoniittia sisältävien teknisten vapautumisesteiden toimintakykyä loppusijoituksen kannalta relevanteissa ympäristöolosuhteissa. KYT2014-ohjelmassa käynnistettiin bentoniitin systemaattinen mikrorakennetutkimus, jossa saatua mikrorakennetietoa käytetään laadittaessa kokeellisia havaintoja mahdollisimman hyvin selittävä bentoniitin mikrorakennemalli.

Edellä hahmoteltujen kysymysten tutkiminen edellyttää kokeellisen ja teoreettisen tutkimuksen tekemistä vuorovaikutteisesti rinnan. KYT2018-ohjelmassa tulee pyrkiä yhteistyöhön muiden alan tutkimusorganisaatioiden kanssa siten, että mahdollisimman tehokas yhteys kokeellisen ja teoreettisen työn välillä saavutetaan.

Perusteltujen mallien avulla voidaan tutkia loppusijoituksen yksityiskohtaisempia selvityskohteita, esim. eroosioilmiöt, pitkäaikaisstabiilius (mineralogiset muutokset mm. korkean pH:n, raudan ja korkean suolapitoisuuden vaikutuksesta) ja jäätymisen vaikutukset. Eräänä tutkimustarpeena voidaan pitää myös bentoniitin muutosten monitorointia esim. anturiteknikalla, joka antaa jatkuvaa tietoa puskurin tilan kehittymisestä ja sitä kautta edistää mm. kvantitatiivisten analyysien kehittämistä. Toisena tällaisena tutkimustarpeena voidaan nähdä mikrobien merkityksen arvioiminen bentoniitin toimintakyvyn mahdollisena heikentäjänä.

3.2.3 Kapselin toimintakyky

Loppusijoituskapselia voidaan pitää KBS-3-konseptin tärkeimpänä yksittäisenä vapautumisesteenä. Tästä syystä koordinoitun hankkeen muodostamista tälle aihealueelle

¹⁴ Erityisesti heti loppusijoitustilan sulkemisen jälkeinen gradienttien tasaantumisen vaihe asettaa erityisvaatimuksia kvantitatiivisille tarkasteluille. Tämän vaiheen aikana bentoniittipuskurille voi aiheutua palautumattomia muutoksia, joilla voi olla vaikutusta myös pitkäaikaisturvallisuudelle.

¹⁵ Erityisen laaja-alaisissa loppusijoitustilan lähialueen vuorovaikutusten tarkasteluissa voi kyse olla THCMBGR-kytkennöistä (thermal-hydrologic-chemical-mechanical-biological-gas-radiation). Biologisia prosesseja aiheuttavat esim. mikrobit.

voidaan pitää perusteltuna. Viranomaisten käytettävissä on oltava riittävästi korkeatasoista tietoa loppusijoituskapselin toimintakyvystä, siihen vaikuttavista keskeisimmistä tekijöistä sekä toimintakyvyn arvioinnissa sovelletuista menetelmistä. Arviointimenetelmien lähtöoletukset, periaatteet ja rajoitukset on myös syytä tuntea.

KBS-3-konseptissa kapseliksi on kaavailtu kuparivaippaista valurautakapselia, jossa kuparivaippa on valittu korroosiokestävyyden takia ja valurautasisus mekaanisen kestävyys- ja lujuuden takia. Arvioitaessa kupari-valurautakapselin ominaisuuksien pysyvyyttä loppusijoitusolosuhteissa, eli sen elinikää, on otettava huomioon eri valmistustekniikoiden ja -virheiden vaikutus kapseliin jääviin jännityksiin, ja siten kapselin kestävyys, sekä käyttökuormitukset. Kapselimateriaalina on perusteltua tarkastella sekä puhdasta perusainetta että hitsattua kuparia. Hitsausmenetelmällä ja siihen liittyvällä lämmöntuotannolla on vaikutus liitosalueen kuparisen ulkovaipan materiaaliominaisuuksiin ja kapselin kestävyys- ja lujuuteen. Posiva on tänä vuonna (2014) päättänyt valita kitkatappihitsauksen (friction stir welding, FSW) referenssimenetelmäkseen; SKB Ruotsissa on tehnyt saman valinnan jo aiemmin.

Kapselimateriaalien ominaisuudet ja kapselien valmistustavat vaikuttavat kapselin käyttöominaisuuksiin. Kapselin elinikä loppusijoitusolosuhteissa riippuu ennen kaikkea kapselin pitkäaikaisesta korroosiokestävyydestä ja mekaanisesta kestävyys- ja lujuudesta loppusijoitusolosuhteissa, sekä näiden yhteisvaikutuksista.

Kapselin materiaalien korroosiomekanismeihin ja korroosion etenemiseen vaikuttavat lämpötila, pohjaveden koostumus ja siihen liuenneiden aineiden kulkeutuminen bentoniittipuskurin läpi. Kapselin yleiseen korroosioon vaikuttavat seikat tunnetaan hyvin tähän asti tehtyjen tutkimusten perusteella. Silti keskustelua aiheesta käydään edelleen ja varmentavia lisäselvitystarpeita liittyy edelleen vähähappisessa ympäristössä tapahtuvaan kuparin korroosioon ja jännityskorroosio- mekanismeihin. Suomessa seurataan ja varmennetaan myös keskeisimpiä kansainvälisiä kuparin korroosiotutkimuksia yhteistyössä kansainvälisten kumppanien kanssa osana myös KYT2018-ohjelmaa.

Korroosiotutkimusta tarvitaan edelleen pohjaveden virtauksen ja bentoniitin vuorovaikutuksen takia muuttuvien olosuhteiden ja mahdollisten paikallisten korroosio- ja lujuusmuotojen tutkimuksessa. Esimerkiksi massavirtojen tunteminen on keskeistä korroosiokestävyyden arvioinnissa. Pohjaveden mukana kapselin pintaan voi kulkeutua myös mikrobeja, jotka vaikuttavat kuparikapselin korroosioon. KYT2018 ohjelman tavoitteena on luoda ymmärrystä mikrobien aiheuttaman korroosion mekanismeista.

Kapselin mekaanisen toimintakyvyn kannalta on oleellista tuntea materiaalien ja rakenteiden (sekä kuparivaippa että valurautainen sisäosa) mekaaniset ominaisuudet ja niiden ennakoitavat muutokset käyttöolosuhteissa. Mekaaninen kestävyys määräytyy vetolujuuden ja virumislujuuden perusteella, joihin materiaalin ominaisuudet (esim. mikrorakenne) ja valmistuksen aiheuttamat muutokset vaikuttavat merkittävästi. Kuparin virumistutkimuksissa erityisesti FSW-hitsin osalta on noussut esiin jännitysten mikrorakenteellinen relaxoituminen sekä mahdolliset virumisen mekanismimuutokset eri jännityksillä, mitkä molemmat vaikuttavat merkittävästi kuparin käyttäytymiseen. FSW-hitsin lujuuden määrittäminen olisi syytä tehdä myös matalilla jännityksillä, koska tähän asti määrittäminen on tehty korkeammilla jännityksillä. Virumistutkimuksesta tuotettu data on toistaiseksi mallinnettu VTT:llä kehitetyllä virumismallilla. Tällä hetkellä Suomessa ja Ruotsissa käytetyissä virumismalleissa käytetään kuparikapseli-

tutkimuksessa hieman erilaisia konseptuaalisia malleja, mikä voi johtaa toisistaan poikkeaviin tulkintoihin. Myös virumisen yhteisvaikutukset korroosion kanssa olisi tunnettava kapselin pitkäaikaiskestävyyden arvioimiseksi luotettavasti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kuparimetallin materiaaliominaisuuksien ja muodonmuutosmekanismien (viruminen) sekä korroosion välisten yhteyksien määrittäminen edellyttää vielä lisätutkimusta. Erityisesti tutkimusta tarvitaan eri valmistustekniikoiden vaikutuksista kapselin mekaanisiin ominaisuuksiin.

Kuparikapseliin kohdistuvista ulkoisista kuormista johtuva jännitys ja siitä aiheutuva muodonmuutoksen mahdollisuus kapselirakenteissa on myös tunnettava mahdollisen vikaantumisen määrittämiseksi ja riskien hallitsemiseksi. Vikaantumisessa on syytä tutkia myös äärikuormitusten vaikutuksia materiaalin ja rakenteen ominaisuuksiin.

Loppusijoituskapselirakenteen mekaaninen kestävyys perustuu pitkälti kapselin valuraudasta valmistetun sisäosan lujuteen, joten myös valurautarakenteen mekaaninen karakterisointi on tärkeää. Yksi keskeinen tavoite on arvioida valurautasisuksen mahdollisen säteilyhaurastumisen vaikutusta koko kapselirakenteen kestävyYTEEN.

Tutkittaessa kapselin (samoin kuin muiden vapautumisesteiden) toimintakykyä, on otettava huomioon, että esim. jääkausivaikutuksille altistuva kapseli on jo ennen jääkautta kokenut muita kuormituksia, esim. isostaattista painetta. Arvioitaessa kapselin kestävyyttä jääkauden jälkeisissä mahdollisissa kalliosiiirroksissa, analyysissa on siksi otettava huomioon materiaalien ikääntymisestä ja aiemmista ulkoisista kuormituksista johtuva ominaisuuksien muuttuminen.

Laskennallisen turvallisuusanalyysin kannalta olennaisia tietoja kapselin kestävydestä ja vaurioitumisesta ovat oletettu vaurioitumisen ajankohta (milloin radionuklidien vapautuminen alkaa) ja vaurion tyyppi (mm. kuinka suuria vapautumisnopeuksia tulee käyttää, tai missä määrin vaurioitumaton kapselin osa rajoittaa vapautumista).

3.2.4 Mikrobiologian vaikutukset

Mikrobiologinen toiminta voi vaikuttaa loppusijoitusjärjestelmän teknisten vapautumisesteiden (kapseli, puskuri, täyteaineet ja sulkemirakenteet) toimintakykyyn. Mikrobiologiset vaikutukset käytetyn polttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen voivat olla moninaisia (esim. mikrobikorrosio, vapautumisesteiden mineraloginen muuntuminen ja mikrobiavusteinen radionuklidien kulkeutuminen). Tästä syystä viranomaisten käytettävissä on oltava riittävästi korkeatasoista tietoa mikrobiologisen toiminnan vaikutuksista näiden vapautumisesteiden toimintakykyyn.

Tähän aihepiiriin soveltuisi myös koordinoitu hanke, joka pyrkii palvelemaan loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden tutkimustarpeita mikrobiologian alalla. Hankkeen suunnittelussa on tarpeen tunnistaa turvallisuusperustelun sekä bentoniitti- ja kapselitutkimuksen erityistarpeet.

Mikrobeja tutkitaan analysoimalla tarkoitusta varten maaperästä otettuja vesi-, savi- tai kivenäytteitä. Tutkimuksessa voidaan pääosin tukeutua Suomessa jo oleviin syviin kairanreikiin tai loppusijoitustiloihin, esim. TVO:n VLJ-luolassa tehtyihin/tehtäviin näytteenottoihin Olkiluodossa. Mahdollisia tutkimusaiheita voivat olla esim. näytteenoton edustavuuden arvioiminen, loppusijoitusolosuhteissa tapahtuvan mikrobitoiminnan arvioiminen sekä mikrobien vaikutusten arviointi vapautumisesteiden toimintakykyyn.

Näyttemateriaalista riippumatta näytteenottotekniikan luotettavuus on tulosten luotettavuuden ja käytettävyyden edellytys. Luotettavuuden takia on näytteenottopaikoista oltava kattava vesikemiallinen analyysi, ja kairareikä tai muu näytteenottopaikka on oltava tarkkaan geologisesti kartoitettu. KYT2014-ohjelmassa aloitettiin bioinformatiikan laskennallinen menetelmäkehitys tulosten tulkinnan apuvälineenä.

Mikrobien roolia metallien korroosiossa on alettu tutkia KYT2014-tutkimusohjelman aikana erityisesti kuparin osalta. Työn jatkaminen KYT2018-ohjelmassa on perusteltua siten, että tutkimuksessa ollaan yhteistyössä kapselin pitkäaikaiskestävyyteen sekä puskuri- ja täyteaineiden toimintakykyyn suuntautuneen tutkimuksen kanssa, jotta kokeelliset olosuhteet saadaan loppusijoituksen kannalta edustaviksi ja koeohjelman tavoitteet suunnattua osaksi pitkäaikaiskestävyyden tutkimusta.

Mikrobitoiminnalla on merkittävä rooli myös matala- ja keskiaktiivisen jätteen hajoamisessa ja siten jätteiden loppusijoituksen turvallisuuden arvioinnissa. KYT2014-ohjelmassa aloitettiin voimalaitosjätteiden pitkäkestoisen (yli 15 vuotta) kaasunkehityskokeen¹⁶ mikrobiologisten näytteiden analyysityö nykyaikaisia menetelmiä käyttäen. Työn jatkaminen on perusteltua, sillä koe on tulossa päätökseen ohjelmakauden aikana.

Pitkäaikaisturvallisuuden kannalta myös geosfäärin ja biosfäärin rajapinnassa tapahtuvan mikrobitoiminnan tuntemus on tärkeää, koska mikrobitoiminnalla voi olla suora vaikutus biosfääritarkasteluihin.

3.2.5 Muut turvallisuustutkimukset

Arvioitaessa ydinjätehuollon turvallisuutta yleensä, ja geologisen loppusijoituksen turvallisuutta erityisesti, tietoja tarvitaan useilta tieteenaloilta.

Muita KYT2018-ohjelmaan kuuluvia turvallisuustutkimusten aihepiirejä voivat olla esimerkiksi:

- betonirakenteiden pitkäaikaiskäyttäytyminen loppusijoitusolosuhteissa
- voimalaitosjätteen loppusijoitusolosuhteita simuloivien kokeiden päättämiseen liittyvät tutkimukset
- käytetyn polttoaineen ominaisuuksien vaikutus loppusijoituksen turvallisuuteen, erityisesti palaman noston vaikutukset ja uusien polttoainetyyppien loppusijoitus
- C-14:n käyttäytyminen loppusijoitusolosuhteissa (KPA, VLJ, purkujäte)
- kallioperätutkimukset loppusijoituksen turvallisuuden kannalta sekä loppusijoitukseen tarkoitettun kallion laatua varmentavat tutkimukset
- biosfääritutkimukset loppusijoituksen turvallisuuden kannalta
- loppusijoitustunneleiden ja -tilojen sulkurakenteiden loppusijoitustilakohtainen mallinnus ja niiden toimivuuden arviointi

¹⁶ TVO:lla on käynnissä kaasunkehityskoe Olkiluodon VLJ-luolassa. Kokeen lopetuksesta tulee tehdä päätös vuoteen 2017 mennessä tai kokeelle on haettava uusi lupa. Kokeessa seurataan kaasunkehittymistä loppusijoitustilassa sen sulkemisen jälkeistä tilaa simuloivissa olosuhteissa. Kokeesta otetaan jatkuvasti sekä kaasua että vesinäytteitä TVO:n toimesta.

Betonirakenteiden pitkäaikaiskäyttäytyminen loppusijoitusolosuhteissa on olennainen tutkimuskohde käytetyn polttoaineen (KPA), voimalaitosjätteen (VLJ) ja purkujätteen loppusijoituksessa, koska betonirakenteita joudutaan joka tapauksessa käyttämään tunneleita ja tiloja suljettaessa. Erityisesti betonin kemiallinen vuorovaikutus ympäristön kanssa ja pohjaveden pH:n nousu ovat tärkeitä, koska sementin kemiallinen vaikutus pohjaveteen ja sen emäksisyyteen voi kestää kauan senkin jälkeen, kun itse betonirakenne on rapautunut. Pohjavesivuotojen hallintaan on kehitetty kallioon injektoitavia matalaemäksisiä sementtimassoja, mutta nekin voivat rapautuessaan muuttaa pohjaveden kemiallisia olosuhteita. Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen osalta sementin ja bentoniitin vuorovaikutus on tärkeä tutkimuskohde, koska bentoniitti on yksi keskeisistä aineista loppusijoitustilan vapautumisestajärjestelmässä.

Myös muut tahot, ensisijaisesti ydinvoimayhtiöt, tekevät tutkimusta voimalaitosjätteiden (VLJ) käyttäytymisestä loppusijoitusolosuhteissa sekä niiden loppusijoitusta varten rakennettujen rakenteiden kestävydestä (voimalaitosjätteiden loppusijoitus on jo käynnissä). Nämä tutkimukset ovat luonteeltaan loppusijoitusolosuhteita simuloivia suurimittakaavaisia kokeita tai loppusijoitusrakenteista tehtäviä mittauksia. Näiden tutkimusten suorittaminen ja tulokset tuottavat lisätietoa ja merkittävää kansallista osaamista. Tällaisia kokeita ovat esim. TVO:n kaasunkehityskoe Olkiluodon VLJ-luolassa ja Fortumin loppusijoitusastian kestävyyskoe sekä voimayhtiöiden yhteinen betonin pitkäaikaiskestävyyden tutkimusohjelma, joka on käynnissä Olkiluodossa VLJ-luolassa. Näiden kokeiden tulosten tieteellisesti asianmukainen analysointi sekä aikanaan ohjelmien päättäminen edellyttävät merkittävää ja suunnitelmallista tutkimuspanosta. Simuloivien kokeiden lisäksi voimalaitosjätteiden loppusijoitusrakenteiden olosuhteita monitoroidaan jatkuvasti, mikä tuottaa uutta kalliomekaanista ja hydrogeokemiallista tietoa loppusijoitustilojen lähiympäristön käyttäytymisestä tilojen ollessa auki.

Käytetty polttoaine on ydinjätteistä aktiivisinta ja nuklidit pitkäikäisiä ja siksi sen ominaisuuksien tunteminen on erityisen tärkeää. Suomalaisillakin ydinvoimalaitoksilla on voitu luvittaa korkeampia sallittuja polttoaineen poistopalaman arvoja polttoaineiden kehittymisen, suoritettujen kokeellisten polttoainetutkimusten ja käyttökokemusten kertymisen myötä. Poistopalama on reaktorissa tuotetun energian määrän mitta polttoaineen massayksikköä kohti. Ydinjätehuollon kannalta polttoaineen poistopalama vaikuttaa sen käyttäytymiseen loppusijoituksessa: korkeampi poistopalama johtaa pitempään jäähdytysaikaan ennen loppusijoitusta. Lisäksi palama vaikuttaa radionuklidikirjoon, jolloin muutokset palamassa aiheuttavat muutoksia nuklidijakaumissa. Osana loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden määrittämistä on loppusijoitettavan polttoaineen ominaisuuksien pitkäaikaiskehittyminen tunnettava riittävän tarkasti sekä laskennallisesti että todentavien mittausten avulla. Kierrätetyn uraanipolttoaineen käyttö tai MOX-polttoaineen mahdollinen käyttö Suomessa tulevaisuudessa edellyttää uuden polttoainetyypin tuntemusta ja sen vaikutusten arviointia loppusijoituksen kannalta. Tässä aihepiirissä on mahdollista tehdä yhteistyötä SAFIR-ohjelman kanssa.

Radioaktiivinen hiili-isotooppi C-14 on osoittautunut loppusijoituksen turvallisuusanalyysissä radiologiselta vaikutukseltaan merkittäväksi radionuklidiksi voimalaitosjätteessä, käytetyssä polttoaineessa ja purkujätteessä. Hiili-isotooppi C-14:n kemialliseen esiintymismuotoon loppusijoitusolosuhteissa liittyy vielä epävarmuuksia, jotka välittyvät vastaavasti sen kemiallisen käyttäytymisen arvioihin. Näin ollen C-14:n lähteiden, kemiallisten osalajien määräytymisen ja käyttäytymisen entistä tarkempi tutkiminen loppusijoitusolosuhteissa on perusteltua.

Kallioperä on geologisessa loppusijoituksessa luonnonympäristö, jonne jätteet sijoitetaan, joten kallioperän ilmiöiden tunteminen muodostaa pohjan turvallisuuden arvioimiselle. Selvitettäviin asioihin kuuluvat mm. pohjavesivirtaus, pohjavesikemia ja radionuklidien kulkeutuminen. Tässä yhteydessä kalliorakojen kulkeutumisoimaisuuksien tunteminen on tärkeää. Kalliorakentamisen mekaaniset kysymykset voivat myös tulla kyseeseen tutkimusaiheina. Näitä ovat esim. kalliolouhinnan vaurioittama vyöhyke (excavation damaged zone, EDZ) ja sen erilaiset karakterisointitavat ja niiden vertailu. Toinen kalliorakentamisen ilmiö on kallion hilseily (spalling), jota ilmenee heti esim. loppusijoitusreikiä porattaessa, mutta myöhemmin jätteiden lämmöntuotto saattaa aiheuttaa em. alkuhilseilyn lisäksi termistä hilseilyä. Aihepiirissä on syytä pyrkiä tieteelliseen yhteistyöhön muiden tutkimusohjelmien kanssa. Turvallisuuden arvioimisen kannalta olennaista on tietää, miten em. ilmiöt voidaan perustellusti ottaa huomioon turvallisuusanalyyseissä.

Radionuklidien kulkeutumisen tarkastelu biosfäärissä on tarpeen, koska siellä tapahtuu ihmisen ja muiden eliöiden altistuminen. Eri altistusreittien arvioiminen useiden tuhansien vuosien yli edellyttää myös biosfäärin kehittymisen arvioimista, johon liittyy maannousun vaikutus rannikkoseudulla, ilmastonmuutos sekä tulevien jääkausien mallintaminen. Ulkoisten muutosten myötä alueella vallitsevat ekosysteemit muuttuvat ja kehittyvät toisenlaiseksi. Tämän kehityskulun ymmärtäminen on tärkeää.

Loppusijoituslaitokseen rakennetaan ennen sen lopullista sulkemista vaiheittain erilaisia sulkurakenteita yhtäällä estämään jo täytettyjen loppusijoitustunnelien täyteaineen paisuminen keskustunneleihin ja toisaalta estämään sitä, että tunnelistosta tulisi pohjavedelle merkittävä virtausreitti. Sulkemisrakenteiden ja erilaisten tulppien käyttäytymisen arviointi pitkäaikaisturvallisuuden kannalta on merkittävä tutkimuskohde. Tämän käyttäytymisen arviointimenetelmien kehittämiseen on saatavissa lähtötietoja Onkalossa tehtävistä tulpakokeista, joita osin tehdään myös EU-hankkeen DOPAS piirissä.

3.3 Ydinjätehuolto ja yhteiskunta

KYT:n piirissä tehtävän ydinjätehuoltoon liittyvän yhteiskuntatieteellisen tutkimuksen tarkoituksena on tukea päätöksentekoa ja sen valmistelua. Jätehuollossa tehtävät ratkaisut vaikuttavat hyvin pitkälle tulevaisuuteen. Ydinjätehuolto vaatii toteutuakseen paitsi teknistä osaamista myös poliittista ja laajempaa yhteiskunnallista hyväksyntää. Ydinjätehuollon luvitus tapahtuu Suomessa vaiheittain alkaen periaatepäätöksestä, jossa ydinjätehuollon ratkaisuja arvioidaan yhteiskunnan kokonaisedun kannalta. Valtioneuvostossa tehtäviin päätöksiin vaikuttavat koko yhteiskunnan arvot ja odotukset.

Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus on ollut mukana useissa tutkimusohjelmissa 1990-luvulta lähtien. Edellisessä tutkimusohjelmassa, KYT2014, arvioitiin sosioteknisiä haasteita Suomessa suhteessa kansainväliseen tilanteeseen.

Eri toimijoiden ja ryhmien käsitykset ydinjätehuollosta ja erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta ovat edelleen tärkeitä aiheita. Teemaa voidaan lähestyä omana kokonaisuutenaan mm. eri toimijoiden riippumattomuuden näkökulmista. Niihin liittyy myös seuraavia näkökulmia:

- eettinen ja julkinen keskustelu
- pitkään ajalliseen keston liittyvät kysymykset, esim. suljettu loppusijoitustila ja tiedon pitkäaikainen säilyttäminen
- ydinenergian tuotanto.

Julkisen keskustelun määrä ydinjätehuollosta vaihtelee ajasta ja paikasta riippuen. Keskustelulla on vaikutusta ydinenergian tuotannon ja ydinjätehuollon hyväksyttävyydelle. Pitkään ajalliseen keston liittyä kysymys sukupolvien välisestä oikeudenmukaisuudesta, ts. millainen taakka jätetään tuleville sukupolville ydinjätteiden muodossa ja kuka vastaa mahdollisista pitkän aikavälin kustannuksista. Pitkään ajanjaksoon liittyy myös tiedon luotettavuus ja tiedon säilyttäminen pitkällä aikavälillä. Kyse on siitä, miten varmistaa, että tieto loppusijoitustilasta säilyy teknisesti riittävän pitkälle tulevaisuuteen ja miten varmistaa, että tieto on ymmärrettävää sisältönsä puolesta.

Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus on syytä nähdä osana laajempaa kokonaisuutta, johon kuuluu ydinenergian tuotanto, ydinjätehuolto ja yhteiskunta. Laajemman näkökulman myötä tarjoutuu myös paremmat mahdollisuudet yhteistyöhön SAFIR-ohjelman kanssa.

3.4 Muu rahoitettava toiminta

Edellä mainittujen varsinaisten tutkimusaiheiden lisäksi tutkimusohjelma rahoittaa vuosittain koko tutkimusohjelman koordinoinnista aiheutuvat kulut.

KYT2014-ohjelman kansainvälisessä arviossa (Apted et al. 2012) kiinnitettiin huomiota ydinjätehuollon koulutuksen tarpeeseen. Vallitsevan ydinenergiain tulkinnan mukaan KYT-ohjelma ei voi kuitenkaan suoraan ohjata rahoitusta koulutustoimintaan. Ohjelman kautta on kuitenkin mahdollista rahoittaa opinnäytetöitä.

4 Tutkimusohjelman raportointi ja tiedonvaihto

Tutkimusohjelmassa julkaistaan vuosittain vuosisuunnitelma ja vuosikatsaus; vuosiraportointi tapahtuu suomen kielellä. Vuosisuunnitelmassa esitellään rahoitettaviksi hyväksytyt tutkimushankkeet ja niiden keskeinen sisältö sekä suunnitellut tavoitteet. Vuosisuunnitelman liitteenä ovat hankekohtaiset hakuyhteenvetolomakkeet. Vuosikatsauksessa esitellään kunkin vuoden tutkimussuunnitelman toteutuminen ja keskeiset tulokset sekä tutkimushankkeiden tavoitteiden toteutuminen. Vuosikatsauksen liitteenä ovat hankekohtaiset vuosiyhteenvetolomakkeet.

Tutkimusohjelmakauden päätyttyä julkaistaan tutkimusohjelman loppuraportti, jossa esitetään koko ohjelmakauden tulokset. Suomenkielinen loppuraportti käännetään myös englannin kielelle. Tutkimushankkeiden tutkimustulosten on oltava julkaistavissa (ydinenergiainlaki 53 d §).

Tutkimusohjelman eri aihepiirien tuloksia käsitellään temaattisissa seminaareissa, joita järjestetään tarpeen mukaan. Kukin tutkimusohjelman järjestämä temaattinen seminaari keskittyy kerrallaan yhteen aihepiiriin.

Yhteisiä seminaareja järjestetään tarpeen mukaan myös SAFIR-tutkimusohjelman kanssa. Mahdollisia aihepiirejä voisivat olla esimerkiksi turvallisuusperustelu, betonitutkimukset, käytettyyn polttoaineeseen liittyvät kysymykset ja yhteiskunnalliset kysymykset.

Tutkimusohjelmakauden päätyttyä tutkimusohjelman tuloksia esitellään loppuseminaarissa.

Tutkimusohjelman viestinnässä käytetään pääsääntöisesti tutkimusohjelman verkkosivuja (<http://kyt2018.vtt.fi/>) ja sähköpostia. Sivulla julkaistaan tutkimusohjelman ja -projektien raportit sekä hankehakua koskevat asiakirjat. Seminaareissa pidetyt esitykset julkaistaan verkkosivuilla. Verkkosivuilla ja sähköpostilla tiedotetaan myös tutkimusohjelman järjestämistä seminaareista ja johtoryhmän päätöksistä. Tutkimusohjelmalla on myös englanninkieliset verkkosivut.

5 Yhteistyö

KYT-ohjelma edellyttää, että siinä tehtävä tutkimus on koordinoitava hyvin muun Suomessa¹⁷ tehtävän ydinjätetutkimuksen kanssa mahdollisten päällekkäisyyksien välttämiseksi. Erityisen tärkeää on olla tietoinen Posivan kolmivuotisen tutkimusohjelman sisällöstä, koska se on laajin Suomessa toimiva ydinjätehuollon tutkimusohjelma; viimeisin Posivan julkaistu tutkimusohjelma on vuodelta 2012 (Posiva 2012). Seuraava laaditaan vuonna 2015 alkavalle kolmivuotiskaudelle. Suomalaisen ydinjätetutkimuksen ajankohtaisia hankkeita kuvataan myös ydinjätehuollon vuosiraporteissa (ks. esim. Posiva 2013).

KYT-ohjelmassa seurataan ydinturvallisuuteen keskittyvän vastaavan kansallisen SAFIR-tutkimusohjelman sisältöä ja erityisesti KYT- ja SAFIR-ohjelmien yhteisiä tutkimusaiheita. Tällaisista aiheista järjestetään tarvittaessa tutkimusohjelmien yhteisiä temaattisia seminaareja. Tutkimusohjelmien välisellä yhteistyöllä pyritään varmistamaan, että näiden ydinalan kansallisten tutkimusohjelmien väliin ei jää tutkimuksellisia katvealueita ja että eri ohjelmissa hyödynnetään laajasti kehitettyä osaamista ja välineitä eikä ohjelmissa tehdä päällekkäistä työtä.

Vaikka KYT-ohjelma onkin kansallinen tutkimusohjelma, itse tutkimustyö on luonteeltaan kansainvälistä lähtien käytännössä yksittäisten tutkijoiden omista verkostoista. Yksittäisten tutkimushankkeiden sisältölähtöistä kansainvälistä yhteistyötä pyritään kannustamaan esim. relevantteihin EU-hankkeisiin tai muihin kansainvälisiin tutkimushankkeisiin osallistumisen kautta, sillä niissä pääsee mukaan laajoihin monialaisiin kokonaisuuksiin, jotka olisivat pelkästään suomalaisrahoituksen ulottumattomissa.

EU:n ydinjätetutkimus sisältyy Horizon 2020 -puiteohjelmaan ja IGD-TP (Implementing Geological Disposal - Technology Platform) –teknologiayhteisön tutkimusohjelmaan. Ydinenergian käytön tutkimusta tehdään SNE-TP (Sustainable Nuclear Energy - Technology Platform) -tutkimusohjelmassa. EU:n tutkimusohjelmiin osallistuvien suomalaisten tukena on kansallinen tukiryhmä, jossa myös KYT-tutkimusohjelma on edustettuna.

KYT-ohjelma kannustaa aktiiviseen osallistumiseen kansainvälisiin asiantuntijatyöryhmiin, koska sitä kautta on mahdollista viestittää suomalaisen ydinjäteohjelman ja ydinjätetutkimuksen

¹⁷ Tähän liittyy tavallaan esim. pohjoismaisten viranomaisten ja ydinvoimateollisuuden rahoittama rinnakaistutkimus NKS (Nordic Nuclear Safety Research).

kokonaistilanteesta eri maiden keskeisille organisaatioille. Sitä kautta saadaan myös nopeasti tieto muiden ydinjätehuoltoa valmistelevien maiden yleistilanteesta. OECD/NEA:n, IAEA:n ja NKS:n asiantuntijaryhmät ovat Suomelle keskeisimpiä foorumeita.

6. Kirjallisuusviitteet

Apted, M., Karlsson, F. & Salomaa, R., 2013. KYT 2014 Review Report, Publications of the Ministry of Employment and the Economy, Energy and Climate 10/2013, 29 s.

KYT-johtoryhmä 2005. Kansallinen ydinjätehuollontutkimusohjelma, KYT. Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2006 – 2010.

<http://www.ydinjatetutkimus.fi/tiedostot/Puiteohjelma%202010.pdf>, 20 s.

Posiva, 2012, YJH-2012. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2013-2015.

Posiva, 2013, Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto. Yhteenvedo vuoden 2012 toiminnasta. http://www.posiva.fi/files/3013/YJH-toimintakertomus_2012.pdf.

Rasilainen, K. (ed.) 2002. Nuclear waste management in Finland - Final Report of Public Sector's Research Programme JYT2001 (1997-2001). Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, Ministry of Trade and Industry Finland Studies and Reports 15/2002. 258 s.

Rasilainen, K. (ed.) 2006. The Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management (KYT) 2002-2005. Final Report. VTT Research Notes 2337, 246 s. + liitt.

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

TEM, 2012, Kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportti, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja Energia ja ilmasto 2/2012.

TEM, 2014, Ydinenergia-alan tutkimusstrategia, Työ- ja elinkeino ministeriön julkaisuja Energia ja ilmasto 16/2014.

Vuori, S. (ed.) 1990, 1991, 1993. Publicly financed nuclear waste management research programme. Annual reports 1990, 1991, 1993. Helsinki: Ministry of Trade and Industry, Energy Department. Reviews B:101, B:121, B:147.

Vuori, S. (ed.) 1997. Publicly administrated nuclear waste management research programme 1994-1996. Final report. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, Ministry of Trade and Industry Finland Studies and Reports 22/1997. 204 s.

Vuori, S. (ed.) 2000. Julkishallinnon ydinjätetutkimusohjelma (JYT2001) 1997-2001. Puoliväliraportti. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 11/2000. 159 s.

Liite 1 YES-hankkeen ydinjätejaoston analysoima suomalainen ydinjätehuollon osaamisen rakenne tutkimusalueittain vuonna 2014

Käytetyn polttoaineen ominaisuudet

- Jätteen karakterisointi (radionuklidi-inventaarit)
- Reaktorifysiikka: palama- ja kriittisyysanalyysit
- Termiset ominaisuudet
- Polttoaineen mekaaniset ja kemialliset ominaisuudet (vapautumismallit ja niiden kelpoistaminen)

KPA loppusijoituskonsepti (KBS-3)

- Kapseli
 - Valmistus ja sulkeminen
 - Tarkastukset ja laadunvalvonta
 - Luotettavuusanalyysit
 - Mekaaninen kestävyys (isostaattiset ja dynaamiset kuormitukset, viruminen)
 - Korroosio-ominaisuudet
- Puskuri, täyttö ja sulkemisarakeet
 - Savimateriaalien THMBC- käyttäytyminen (ml. eroosio ja muuntuminen)
 - Savikomponenttien valmistus, hankinta ja laadunvalvonta

Voimalaitosjäte (VLJ) ja käytöstäpoisto

- Jätteen karakterisointi (radionuklidi-inventaarit)
- Käsittelytekniikat
- Jäteliuosten puhdistaminen ioninvaihtimin
- Dekontaminaatiomenetelmät
- Betoni- ja metallirakenteiden purkamis- ja paloittelutekniikka
- Betonin ikääntymistutkimukset

Kallioperä ja pohjavesi

- Geologia
- Geofysiikka
- Geokemia (ml. mikrobit)
- Geohydrologia, virtausmallinnus ja radionuklidien kulkeutumistutkimukset
- Kalliomekaniikka
- Termiset ominaisuudet
- Maanjäristykset (ml. postglasiaaliliikunnot)
- Ilmasto- ja jääkausitutkimukset

Biosfääri

- Pintaympäristön karakterisointi ja radionuklidien kulkeutumismallinnus
- Altistuminen radionuklideille ja annoslaskenta

Turvallisuusperustelu

- Metodiikka: käytetty polttoaine, voimalaitosjäte, käytöstäpoisto
- Skenaarioiden muodostaminen
- Toimintakykyanalyysi
- Radionuklidien kulkeutumismallinnus
- Epävarmuus- ja luotettavuusanalyysit

Loppusijoitustilan suunnittelua ja rakentamista tukeva T&K

- Laitossuunnittelu
- Rakennusgeologiset paikkatutkimukset
- Materiaalit, valmistus ja laadunvarmistus
- Monitorointi ja instrumentointi

Ydinjätelaitosten käyttöturvallisuus

- Siirrot reaktori-välivarasto
- Välivarastointi
- Kuljetukset
- Loppusijoituslaitos

Ydinmateriaalivalvonta (safeguards)

Ydinjätehuollon kustannusten arviointi

Uudet ja vaihtoehtoiset ydinjätehuollon teknologiat

- Vaihtoehtoiset jätteiden käsittelytavat
- Uudet ydinpolttoaine-kierrot, esim. P&T
- Uudet varastointi- ja loppusijoitustekniikat, esim. etäoperointi

Ydinjätehuollon yhteiskuntatieteellinen tutkimus

Liite 2. YES-hankkeen ydinjätejaoston analysoima ydinjätehuollon kannalta erityishuomiota vaativa osaaminen. Punaisella kursivilla on kuvattu erikseen ydinjätehuollolle kriittiset tutkimusaiheet, joka vaativat aktiivista varmistamista.

Tutkimusalue	Tutkimusaihe	Resurssitilanne
Käytetyn polttoaineen (KPA) ominaisuudet	<i>Polttoaineen mekaaniset ja kemialliset ominaisuudet (vapautumismallit ja niiden kelpoistaminen)</i>	Nyt kohtuullisen hyvä, jatkosta huolehdittava, tarvitaan omaa tutkimusta, esim. IRF (instant release fraction)
KPA loppusijoituskonsepti (KBS-3)	<i>Kapseli: valmistus ja sulkeminen</i>	Nyt hyvä, tarve vähenee tulevaisuudessa
	Kapseli: tarkastukset ja laadunvalvonta	Nyt hyvä, tarve vähenee tulevaisuudessa
	Kapseli: luotettavuusanalyysit	Nyt hyvä, tarve vähenee tulevaisuudessa
	Kapseli: mekaaninen kestävyys (isostaattiset ja dynaamiset kuormitukset, viruminen)	Nyt kohtuullinen, perusosaaminen säilytettävä, vaatii huomiota
	Kapseli: korroosio-ominaisuudet	Nyt hyvä, perusosaaminen säilytettävä
	<i>Puskuri, täyttö ja sulkemiskäytännöt: savimateriaalien THMBC-käyttäytyminen (ml. eroosio ja muuntuminen)</i>	Tutkijoita on, mutta erityisosaamista puuttuu, osaaminen säilytettävä pitkään, vaatii perustutkimusta
Voimalaitosjäte (VLJ) ja käytöstäpoisto	Jätteen karakterisointi (radionuklidi-inventaarit)	Nyt hyvä, säilytettävä perusosaaminen
	Jäteliuosten puhdistaminen ioninvaihtimin (kaupall. aspekti)	Nyt kohtuullinen, uusia tuotteita kehitettävä ja vanhoja parannettava kaupallisille markkinoille
Kallioperä ja pohjavesi	Geokemia (ml. mikrobit)	Nyt niukat, osaamista kehitettävä, tarvitaan tutkimusta
	Geohydrologia, virtausmallinnus ja radionuklidien kulkeutumistutkimus	Nyt kohtuullinen, pidettävä yllä, geohydrologian ja virtausmallinnuksen integroinnista huolehdittava, kulkeutumismallinnukseen lisää kemiallista tarkastelua, tarvitaan omaa tutkimusta
	Termiset ominaisuudet	Nyt kohtuullinen, säilyttämisestä huolehdittava
Biosfääri	<i>Pintaympäristön karakterisointi ja radionuklidien kulkeutumismallinnus</i>	Nyt niukat (osin), ylläpidosta huolehdittava
Turvallisuusperustelu	<i>Metodiikka: käytetty polttoaine, voimalaitosjäte, käytöstäpoisto</i>	Nyt kohtuullinen, ylläpito vaatii huomiota
	<i>Skenaarioiden muodostaminen</i>	Nyt kohtuullinen, ylläpito vaatii huomiota
	<i>Toimintakykyanalyysi</i>	Nyt kohtuullinen, ylläpito vaatii huomiota
	<i>Radionuklidien kulkeutumismallinnus</i>	Nyt kohtuullinen, ylläpito vaatii huomiota
	Epävarmuus- ja luotettavuusanalyysit	Nyt kohtuullinen, ylläpidettävä
Ydinmateriaalivalvonta (safeguards)	Ydinmateriaalivalvonta (safeguards)	Nyt kohtuullinen, ylläpito vaatii huomiota
Ydinjätehuollon kustannusten arviointi	Ydinjätehuollon kustannusten arviointi	Nyt kohtuullinen, ylläpito vaatii huomiota
Uudet ja vaihtoehtoiset ydinjätehuollon teknologiat	<i>Vaihtoehtoiset jätteiden käsittelytavat</i>	Nyt niukat, skenaarioasia, seurantaa tarvitaan, kytkös kustannusanalyysiin
	<i>Uudet ydinpolttoainekierröt, esim. P&T</i>	Nyt niukat, skenaarioasia, seurantaa, tarvitaan omaa tutkimusta, kytkös kustannusanalyysiin
	Uudet varastointi- ja loppusijoitustekniikat, esim. etäoperointi	Nyt niukat, skenaarioasia, kytkös kustannusanalyysiin, osaamista fuusiotutkimuksesta
Ydinjätehuollon yhteiskuntatieteellinen tutkimus	Ydinjätehuollon yhteiskuntatieteellinen tutkimus	Yhteiskuntatieteellinen tutkimus laajaa, ydinjäte-spesifinen tutkimus vain pieni osa siitä. Käytetyn polttoaineen kuljetukset voivat hermistää ilmapiiriä, onko ydinjättespesifisiä resursseja kun tarvitaan?