

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu • Energia • 24/2018

# Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2022

Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2019–2022



Työ- ja elinkeinoministeriö  
Arbets- och näringsministeriet



Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 24/2018

# Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2022

Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2019–2022

Työ- ja elinkeinoministeriö

ISBN: 978-952-327-316-0

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2018

# Kuvailulehti

<b>Julkaisija</b>	Työ- ja elinkeinoministeriö	14.9.2018
<b>Tekijät</b>	KYT2022 Suunnitteluryhmä Puheenjohtaja Jaakko Leino, sihteeri Kari Rasilainen	
<b>Julkaisun nimi</b>	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2022 Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2019–2022	
<b>Julkaisusarjan nimi ja numero</b>	Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 24/2018	
<b>Diaari/ hankenumero</b>		<b>Teema</b> Energia
<b>ISBN PDF</b>	978-952-327-316-0	<b>ISSN PDF</b> 1797-3562
<b>URN-osoite</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-316-0">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-316-0</a>	
<b>Sivumäärä</b>	56	<b>Kieli</b> Suomi
<b>Asiasanat</b>	Ydinenergia, ydinturvallisuus, ydinjäte, tutkimus	
<b>Tiivistelmä</b>	<p>KYT2022 on työ- ja elinkeinoministeriön tutkimusohjelma, jossa tavoitteena on varmistaa, että viranomaisilla on saatavilla riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, jota tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailuun. Ydinjätehuollon valvontavelvollisuuteen ja lupahakemuksiin suoraan liittyvä tutkimus kuuluu viranomaisten ja jätehuoltovelvollisten muihin ohjelmiin.</p> <p>Julkaisten ydinturvallisuustutkimusohjelmien lähtökohtana on, että ne luovat edellytyksiä ydinvoiman turvallisen ja taloudellisen käytön jatkumiseen tarvittavan tietämyksen säilymiselle, uuden tietämyksen kehittämiseksi ja kansainväliseen yhteistyöhön osallistumiselle. Alan tutkimusta Suomessa harjoittavat organisaatiot ovat olleet tärkeä voimavara, jota eri ministeriöt, Säteilyturvakeskus (STUK), voimayhtiöt ja Posiva ovat pystyneet hyödyntämään.</p> <p>KYT2022 tutkimusohjelman sisältö koostuu kansallisesti tärkeistä tutkimuskohteista, jotka ovat ydinjätehuollon turvallisuus, toteutettavuus ja hyväksyttävyyt. Tutkimusohjelmissa pyritään laajoihin, koordinoituihin kokonaisuuksiin jotka voivat olla yksi- tai monivuotisia. KYT2022 tutkimusohjelma toimii myös viranomaisten, ydinjätehuoltoa toteuttavien organisaatioiden ja tutkimuslaitosten välisenä keskustelu- ja tiedonvälitysohjelmana, jossa luodaan edellytyksiä rajallisten tutkimusresurssien hyödyntämiselle. Ohjelmassa pyritään edistämään kansallisen osaamisen ja tutkimusinfrastruktuurin kehitystä, varmistaa asiantuntemuksen jatkuva saatavuus, edistää korkealaatuisia tieteellisiä tutkimusta ja lisätä yleistä tietämystä ydinjätehuollon alalla.</p> <p>Puiteohjelma on laadittu työ- ja elinkeinoministeriön nimeämän suunnittelutyöryhmän puolesta. Puiteohjelma on laadittu vuosille 2019–2022.</p> <p>TEM:n yhdyshenkilö: Energiaosasto/Linda Kumpula, puh +358 29 506 0125</p>	
<b>Kustantaja</b>	Työ- ja elinkeinoministeriö	
<b>Julkaisun jakaja/myynti</b>	Sähköinen versio: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Julkaisumyynti: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>	

## Presentationsblad

<b>Utgivare</b>	Arbets- och näringsministeriet	14.9.2018	
<b>Författare</b>	Planeringsgruppen för KYT2022 Ordförande Jaakko Leino, sekreterare Kari Rasilainen		
<b>Publikationens titel</b>	Nationellt forskningsprogram om kärnavfallshantering KYT2022 -- Ramprogram för forskningsperioden 2019–2022		
<b>Publikationsseriens namn och nummer</b>	Arbets- och näringsministeriets publikationer 24/2018		
<b>Diarie-/ projektnummer</b>		<b>Tema</b>	Energi
<b>ISBN PDF</b>	978-952-327-316-0	<b>ISSN PDF</b>	1797-3562
<b>URN-adress</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-316-0">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-316-0</a>		
<b>Sidantal</b>	56	<b>Språk</b>	Finska
<b>Nyckelord</b>	Kärnenergi, kärnsäkerhet, kärnavfall, forskning		
<b>Referat</b>	<p>KYT2022 är arbets- och näringsministeriets forskningsprogram, vars mål är att säkra, att det till myndigheters förfogande finns tillräcklig och omfattande tillgång till sådan kärnteknisk sakkunskap, som behövs för att jämföra olika tillvägagångssätt och metoder för kärnavfallshantering. Den forskning, som direkt hör till övervakningsplikten av kärnavfallshantering och till tillståndsansökningar, hör till myndigheternas och de avfallshanteringskyldigas övriga program.</p> <p>Utgångspunkten för programmen inom kärnsäkerhetsforskning är att de skapar förutsättningar för upprätthållande och utveckling av sådant kunnande, samt deltagande i internationellt samarbete, som en fortsatt säker och ekonomisk användning av kärnkraft förutsätter. De organisationer, som bedriver forskning inom detta fackområde har varit en stark tillgång, som olika ministerier, Strålsäkerhetscentralen (STUK), kärnkraftsbolagen och Posiva har kunnat utnyttja.</p> <p>Innehållet i forskningsprogrammet KYT2022 består av nationellt viktiga forskningsmål, det vill säga kärnavfallshandlingens säkerhet, genomförbarhet och acceptans. Inom forskningsprogrammen strävar man till omfattande, koordinerade helheter som kan vara ett- eller fleråriga. KYT2022 forskningsprogrammet fungerar också som ett diskussions- och informationsforum för myndigheter, de organisationer som verkställer kärnavfallshantering och forskningsinstitutionerna, varvid man skapar förutsättningar för användning av de begränsade forskningsresurserna. Strävan är att inom programmet befrämja utveckling av det nationella kunnandet, av infrastrukturen, säkra fortlöpande tillgång till sakkunskap, befrämja högklassig vetenskaplig forskning samt öka kunskapen inom kärnavfallshandlingens fackområde.</p> <p>Ramprogrammet har utarbetats av en planeringsgrupp som tillsatts av arbets- och näringsministeriet. Ramprogrammet täcker åren 2019–2022.</p>		
Kontaktperson på ANM: Energiavdelningen/ Linda Kumpula, tfn +358 29 506 0125			
<b>Förläggare</b>	Arbets- och näringsministeriet		
<b>Distribution/ beställningar</b>	Elektronisk version: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Beställningar: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>		

## Description sheet

<b>Published by</b>	Ministry of Economic Affairs and Employment	14.9.2018	
<b>Authors</b>	KYT2022 Planning Group Chairperson Jaakko Leino, secretary Kari Rasilainen		
<b>Title of publication</b>	Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management KYT2022 Framework Programme for the Research Period 2019–2022		
<b>Series and publication number</b>	Publications of the Ministry of Economic Affairs and Employment 24/2018		
<b>Register number</b>		<b>Subject</b>	Energy
<b>ISBN PDF</b>	978-952-327-316-0	<b>ISSN (PDF)</b>	1797-3562
<b>Website address (URN)</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-316-0">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-316-0</a>		
<b>Pages</b>	56	<b>Language</b>	Finnish
<b>Keywords</b>	Nuclear energy, nuclear safety, research		
<p><b>Abstract</b></p> <p>KYT2022 is the research programme of the Ministry of Economic Affairs and Employment, where the objective is to ensure that the authorities have sufficient levels of such nuclear expertise and preparedness that are needed for comparison of different nuclear waste management methods and technologies. Research directly related to licensing applications belongs in other programmes by the authorities and those responsible for nuclear waste management.</p> <p>The starting point for public research programs on nuclear safety is that they create the conditions for maintaining the knowledge required for the continued safe and economic use of nuclear power, developing new know how and participating in international collaboration. Nuclear research organizations in Finland have been an important asset for the ministries, Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), power companies and Posiva.</p> <p>The content of the KYT2022 research programme is composed on nationally important research topics, which are the safety, feasibility and acceptability of nuclear waste management. The research programmes aim for large, coordinated topics that can have one or multiple year duration. KYT2022 research programme also functions as a discussion and information-sharing forum for the authorities, those responsible for nuclear waste management and the research organizations, which helps to make use of the limited research resources. The programme aims to develop national research infrastructure, ensure the continuing availability of expertise, further high-level scientific research and increase general knowledge of nuclear waste management.</p> <p>The framework programme has been authored on behalf of a planning group named by the Ministry of Economic Affairs and Employment. The framework programme is valid for 2019–2022.</p> <p>MEAE contact: Energy Department/Linda Kumpula, tel. +358 29 506 0125</p>			
<b>Publisher</b>	Ministry of Economic Affairs and Employment		
<b>Distributed by/ publication sales</b>	Electronic version: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Publication sales: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>		





# Sisältö

<b>Esipuhe</b> .....	9
<b>1 Johdanto</b> .....	11
1.1 Ydinjätehuollon toimintaympäristö.....	12
1.2 Aiempi julkinen ydinjätehuollon tutkimus.....	17
1.3 Kokonaisturvallisuus ydinjätehuollossa.....	19
<b>2 Tutkimusohjelman organisointi</b> .....	23
2.1 Lähtökohdat ja tavoitteet.....	23
2.2 Tutkimusohjelman hallinnointi .....	24
2.3 Hankehaku ja rahoituspäätös.....	26
2.4 Tutkimusohjelman hanketyypit.....	28
<b>3 Tutkimusohjelman sisällölliset tavoitteet</b> .....	30
3.1 Ydinjätehuollon turvallisuus.....	32
3.1.1 Turvallisuuden perustekijät.....	33
3.1.2 Käytetyn ydinpolttoaineen huolto .....	38
3.1.3 Voimalaitosjätteiden huolto .....	43
3.1.4 Käytöstäpoistojätteen huolto .....	44
3.1.5 Muun radioaktiivisen jätteen huolto .....	45
3.1.6 Ydinjätehuollon turvallisuuteen liittyviä avainaiheita.....	45
3.2 Ydinjätehuollon toteutettavuus.....	47
3.2.1 Ydinjätehuollon teknologiat .....	47
3.2.2 Ydinjätehuollon teollistaminen.....	48
3.2.3 Ydinjätehuollon tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen .....	49
3.3 Ydinjätehuollon hyväksyttävyyys.....	49
3.4 Erillishankkeet.....	52
3.5 Muu rahoitettava toiminta .....	52
<b>4 Tutkimusohjelman raportointi ja tiedonvaihto</b> .....	53
<b>5 Yhteistyö</b> .....	54
<b>Kirjallisuusviitteet</b> .....	56



## ESIPUHE

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) on käynnistämässä Kansallista ydinjätehuollon tutkimusohjelmaa KYT2022 vuosille 2019–2022. Tutkimusohjelman ensimmäisen vuoden hankehaku alkaa syyskuussa 2018. Tutkimusohjelman hankehaku on avoin kaikille ydinjätehuollon tutkimus-, tutkimusinfrastruktuuri- ja täydennyskoulutus-hankkeille.

Tämä puiteohjelma on kuvaus KYT2022-tutkimusohjelman tutkimustavoitteista ja tutkimuksen erityisistä painopistealueista. Puiteohjelma sisältää myös kuvauksen alan toimijoista ja tutkimusohjelman organisoinnista. Tutkimusohjelman tavoitteena on ydinjätehuollon asiantuntemuksen varmistaminen ensisijaisesti viranomaisten käytettäväksi ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien arviointiin ydinenergialaissa määriteltyjen tavoitteiden mukaisesti. Lisäksi tutkimusohjelman tarkoituksena on tukea ja täydentää jätehuoltovelvollisten omia tutkimusohjelmia sekä edistää yhteydenpitoa viranomaisten, jätehuoltovelvollisten ja tutkijoiden kesken.

KYT2022-tutkimusohjelma ajoittuu mielenkiintoiseen vaiheeseen Suomen ydinjätehuollon kentässä. Ohjelmakauden aikana Posiva ottaa aikataulun mukaisesti suuren harppauksen kohti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustoiminnan alkamista. Tämä on merkittävä askel myös kansainvälisesti. Kiinnostus suomalaista osaamista kohtaan on maailmalla suuri ja sen odotetaan edelleen lisääntyvän. Kiinnostus Suomea kohtaan on mahdollisuus, joka kannattaa hyödyntää verkostoitumalla ja osallistumalla myös kansainvälisiin tutkimushankkeisiin. Puiteohjelmassa on kuvattu pääpiirteittäin suomalaisten organisaatioiden kansainvälistä verkottumista.

KYT2022-tutkimusohjelman päätyttyä kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT ja kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelma SAFIR yhdisty-

vät. Yhdistymisen kautta nykyisten ohjelmien rajapintaan jäävät tutkimusaiheet, kuten esimerkiksi ydinlaitosten käytöstäpoisto ja käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointi, tulevat paremmin huomioiduksi. Lisäksi Posivan ydinlaitoskokonaisuuden käytön alkaminen tuo ydinturvallisuustutkimuksen kenttään uuden vaiheen jo pitkään suunnitellulla laitoksella. Myös alan uusien teknologioiden kehitys voi hyötyä yhteisestä ohjelmasta.

Puiteohjelma on laadittu työ- ja elinkeinoministeriön 22.9.2017 nimeämän suunnitteluryhmän toimesta. Suunnitteluryhmän jäsenet olivat: Jaakko Leino (Säteilyturvakeskus, STUK), Mikko Paunio (sosiaali- ja terveysministeriö, STM), Susanna Wähä ja Sami Rinne 10.1.2018 alkaen (ympäristöministeriö, YM), Linda Kumpula (työ- ja elinkeinoministeriö, TEM), Pasi Kelokaski (Fortum Power and Heat Oy), Arto Kotipelto (Teollisuuden Voima Oyj, TVO) ja Anne Kontula (Posiva Oy) sekä asiantuntijajäsenenä Heikki Hinkkanen (Fennovoima Oy) ja 3.5.2018 alkaen Suvi Karvonen (VTT). Varajäsenet olivat Mia Ylä-Mella (STUK), Jari Keinänen (STM), Kati Vaajasaari (YM), Jorma Aurela (TEM), Olli Nummi (Fortum Power and Heat Oy), Antti Tarkiainen (TVO), Pekka Kupiainen (Posiva Oy) ja Tuire Haavisto (Fennovoima Oy). Ryhmän sihteerinä toimi Kari Rasilainen (VTT).

Helsingissä syyskuussa 2018

Työ- ja elinkeinoministeriö

Energiaosasto

# 1 Johdanto

Suomen lainsäädäntö edellyttää, että ydinenergialain tarkoittamien luvanhaltijoiden, joiden toiminnan seurauksena syntyy tai on syntynyt ydinjätettä, on huolehdittava tuottamistaan jätteistä. Jätehuoltovelvolliset vastaavat tuottamiensa jätteiden huollon suunnittelusta, toteutuksesta ja kustannuksista. Ydinjätehuollon suunnittelu tarkoittaa pääasiassa ydinjätehuollon toimenpiteitä varten tarvittavaa tutkimus- ja kehitystyötä. Teollisuuden Voima Oyj:n ja Fortum Power and Heat Oy:n yhdessä omistamalla Posiva Oy:llä on Suomen laajin ydinjätehuollon tutkimus- ja kehitystyön ohjelma. Myös muilla jätehuoltovelvollisilla on omaa toimintaa koskevaa tutkimus- ja kehitystyötä.

Jätehuoltovelvollisten ohjelmien lisäksi Suomessa on työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) hallinnon alalla oleva kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT). Tutkimusohjelman pääasiallisena tarkoituksena on varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien arviointiin. Tämän lisäksi tutkimusohjelman tarkoituksena on tukea ja täydentää jätehuoltovelvollisten omia tutkimusohjelmia sekä edistää alan toimijoiden välistä yhteydenpitoa. Ohjelmaan eivät kuulu tutkimukset, jotka välittömästi liittyvät ydinenergian käytön valvontaan, lupakäsittelyyn tai lupahakemusaineiston valmisteluun. Tutkimusohjelman johtoryhmä voi täsmentää tutkimuksen painopisteitä vuosittain. Tässä puiteohjelmassa kuvattavan KYT2022-ohjelman tavoitteet ja sisältö pohjautuvat ministeriön asettaman suunnitteluryhmän näkemyksiin.

## 1.1 Ydinjätehuollon toimintaympäristö

Ydinjätehuollon toimintaympäristössä tapahtuu tutkimusohjelmakaudella 2019–2022 merkittäviä muutoksia sekä Suomessa että ulkomailla.

### Kotimainen toimintaympäristö

Tutkimusohjelmakauteen ajoittuu useita jätehuoltovelvollisten tai viranomaisten ratkaisuja, jotka vaikuttavat suoraan tai välillisesti ydinjätehuollon menettelyihin tai niiden aikatauluihin.

Valtioneuvosto myönsi rakentamisluvan Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle marraskuussa 2015 ja Posiva aloitti loppusijoituslaitoksen rakentamisen joulukuussa 2016. Rakentamistoiminnan ohella Posivan työ jatkuu ohjelmakauden aikana KBS-3-loppusijoitusjärjestelmän tutkimuksen, kehittämisen ja teknisen suunnittelun saralla. Tutkimus jatkuu myös useissa turvallisuusperustelua tukevista aihepiireissä. Teknisen kehityksen ja suunnittelun päätavoite on kuitenkin siirtymässä loppusijoitusjärjestelmän suunnittelusta sen teknisen toimintakyvyn osoittamiseen ONKALOssa. Lisäksi Posiva jatkaa tutkimus- ja kehitystoimintaa jättääkseen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttölupahakemuksen valtioneuvostolle 2020-luvun alkupuoliskolla. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytön alkaminen sijoituisi KYT2022-ohjelmakauden jälkeiseen aikaan.

Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikön käyttö alkaa ohjelmakauden aikana valtioneuvoston myöntämän käyttöluvan jälkeen. Myös TVO:n Olkiluoto 1- ja 2 -ydinlaitosyksiköiden käyttö jatkuu valtioneuvoston myönnettyä uudet käyttöluvut vuoden 2038 loppuun saakka. Olkiluoto 3 -laitosyksikkö (OL3) liittyy luvan myötä osaksi Olkiluodon saarella jo olevien ydinlaitosten ydinjätehuolto eli laitospaikalla olevia ydinjätteen välivarastoja ja voimalaitosjätteen loppusijoituslaitosta (VLJ-luolaa) voidaan käyttää myös OL3:n käytöstä syntyvän ydinjätteen käsittelyyn, välivarastointiin ja loppusijoittamiseen. Olkiluodon VLJ-luolan laajennus voi tulla ajankohtaiseksi aikaisintaan 2030-luvulla.

Hanhikivi 1-ydinvoimalaitoksen odotetaan siirtyvän ohjelmakauden aikana rakentamisvaiheeseen. Rakennettava laitoskokonaisuus koostuu ydinvoimalaitosyksikön lisäksi samalla laitospaikalla sijaitsevista ydinlaitoksista, joita käytetään tuoreen

ydinpolttoaineen varastointiin, käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointiin sekä matala- ja keskiaktiivisten voimalaitosjätteiden käsittelyyn ja varastointiin. Fennovoima hakee rakentamislupaa VLJ-luolalle erikseen. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushankkeen osalta Fennovoiman odotetaan jatkavan neuvotteluja laajennetusta ydinjätehuoltoyhteistyöstä nykyisten jätehuoltovelvollisten kanssa sekä etenevän vaihtoehtona olevan oman loppusijoituslaitoksen suunnittelu- ja kehitystyössä.

Fortum Power and Heat Oy:n ydinvoimalaitosyksiköiden käyttöluvut ovat voimassa 2020-luvun loppupuolelle. Fortumin odotetaan tulevien vuosien aikana kertovan suunnitelmistaan ydinvoimalaitoksen käytön jatkamisesta tai siirtymisestä käytöstäpoiston valmisteluvaiheeseen. Loviisan voimalaitosjätteen loppusijoituslaitoksen käyttö lupa on voimassa vuoden 2055 loppuun asti, mutta tilan laajentaminen voi tulla ajankohtaiseksi aikaisintaan 2020-luvulla. Tilan laajentamisen luvitus on tehtävä hyvissä ajoin ennen itse tilan teknistä laajentamista.

VTT:n FIR 1-tutkimusreaktorin käyttö lopetettiin vuonna 2015, jonka jälkeen tutkimusreaktoria koskeva tutkimus- ja kehitystyö on keskittynyt käytöstäpoiston suunnitteluun ja toteutuksen valmisteluun. VTT haki valtioneuvostolta käyttö lupaa tutkimuslaitoksen käytöstä poistamiseksi vuonna 2017. VTT:n odotetaan siirtyvän ohjelmakauden aikana käytöstäpoistovaiheen toteutukseen, sen jälkeen kun valtioneuvosto on myöntänyt luvan ja muut toteutuksen aloittamiseen liittyvät edellytykset ovat täyttyneet. VTT:llä on käynnistynyt myös Otakaari 3:ssa sijaitsevan materiaalitutkimuslaboratorion käytöstäpoiston valmistelu.

Ydinenergiakäyttöä muutettiin vuonna 2017 siten, että vuoden 2018 alusta alkaen ydinlaitoksille on haettava käytöstäpoistolupa ennen laitoksen purkamista. Muutoksen myötä ydinlaitoksen mahdollisen periaatepäätös menettelyn jälkeinen lupamenettely muuttui kolmiportaiseksi. VTT:n tutkimusreaktorin purkamisen on kuitenkin tarkoitus toteuttaa ydinenergiain tarkoitamalla käyttöluvalla, sillä VTT haki lupaa tutkimusreaktorin purkamiseen ennen lainmuutoksen voimaantuloa.

VTT käynnisti Ydinturvallisuustalon rakentamishankkeen vuoden 2014 alkupuolella. Rakennus valmistui vuonna 2016. Ydinturvallisuustaloon rakennettiin modernit kokeelliset tutkimustilat kuumakammiovalmiuksineen, joissa voidaan tutkia esimerkiksi aktivoituneita reaktorimateriaaleja, mutta ei käytettyä polttoainetta. Taloon rakennettiin myös laboratoriotilat ydinjätetutkimukselle sekä uudet radiokemian ja

dosimetrian laboratoriot. Ydinturvallisuustalon päälaitteiden hankinta ja käyttöönotto ovat vielä osin kesken.

Työ- ja elinkeinoministeriö asetti vuonna 2017 ydinjätehuollon kysymyksiä pohtivan työryhmän. Työryhmä antaa vuonna 2019 työnsä pohjalta näkemyksensä ydinjätteiden ja muiden radioaktiivisten jätteiden huollon tavoitetilasta ja suosituksensa tavoitteiden saavuttamiseksi. Suositukset käsittelevät mm. ydinjätehuollon luparakkitehtuuria ja muuta ydinjätehuoltoon liittyvää lainsäädäntöä, avoimia ydinjätehuollon kysymyksiä, korkea-aktiivisten umpilähteiden loppusijoitusvaihtoehtoja, valvonnasta vapautettujen jätteiden haasteita, osaamisen varmistamista, kansainvälistä yhteistyötä, kansallista ydinjätehuollon ohjelmaa (YEL 27 b §) ja radioaktiivisten jätteiden jätehuollon kansallista ohjelmaa (Säteilylaki 87 §). Työryhmässä ovat edustettuina viranomaiset, yliopistot ja luvanhaltijat.

Suomi raportoi ydinjätteiden ja muiden radioaktiivisten jätteiden huollosta kansainvälisten säännösten mukaisesti. Kansallinen ohjelma, joka kattaa em. kansallisen ydinjätehuollon ohjelman ja radioaktiivisten jätteiden huollon ohjelman, laadittiin komissiolle ensimmäisen kerran vuonna 2015 (TEM 2015). Suomen ydinjätehuoltoa ja muiden radioaktiivisten jätteiden huoltoa on käsitelty myös IAEA:lle toimitetussa kuudennessa kansallisessa raportissa (STUK 2017).

## **Kansainvälinen toimintaympäristö**

Ulkomaisen kehityksen arvioidaan olevan tutkimuskaudella vilkasta ydinjätehuollon alalla. Esimerkiksi EU:n ydinjätedirektiivi on jo vaikuttanut huomattavasti toimialan käytäntöihin ja suunnitelmiin jäsenmaissa. Ruotsissa saatetaan loppuun maaliskuussa 2011 viranomaisille jätetty käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamista ja käyttöä koskevan lupahakemuksen käsitteily. Ruotsin ydinturvallisuusviranomainen SSM (Strålsäkerhetsmyndigheten) antoi oman lausuntonsa tammikuussa 2018; samana päivänä (23.1.2018) myös Nacka Mark- och miljödomstolen antoi oman lausuntonsa. Seuraavaksi odotetaan hallituksen päätöstä. Ranskassa korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituslaitoksen rakentamisen esiselvitys jätettiin 2016 ja viranomainen ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) on sen arvioinut. USA:ssa Department of Energy:n (DOE:n) Office of Spent Fuel and Waste Disposition (SFWD) toteuttaa tutkimusohjelmaansa pitkäaikaisen varastoinnin, kuljetusten ja geologisen loppusijoituksen alalla. Toisaalla ydinlaitosten käy-



töstäpoisto on myös merkittävä selvityskohde maan vanhan ydinohjelman vuoksi. Maailmanlaajuisestikin käytöstöpoiston painoarvon arvioidaan nousevan, johtuen lukuisista jo suljetuista reaktoreista.

Monet eurooppalaiset ydinjätehuollon toimijat ovat kehittämässä ydinvoimalaitosten matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksen ratkaisuja, koska jätteen kertymisnopeuden vuoksi paine loppusijoituksen aloittamiseen kasvaa. Suomessa ja Ruotsissa voimalaitosjätteen loppusijoitus on jo luvitettu ja loppusijoituslaitokset ovat olleet käytössä 1990-luvulta saakka.

Euroopan unionin (EU) rahoitus ydinjätetutkimukselle on toteutettu Euratomin tutkimus- ja koulutusohjelmien kautta puiteohjelmina. Parhaillaan on menossa Horizon 2020 -ohjelma vuosille 2014–2020 ja sen ydinjätehuollon hakuja on ollut vuosina 2014 ja 2016. Vuonna 2009 perustettiin teknologiafoorumi IGD-TP (Implementing Geological Disposal - Technology Platform), jonka tehtävänä on koordinoita Euratomin piirissä tehtävää ydinjätehuollon tutkimusta. Suomesta IGD-TP:hen osallistuvat Posiva ja eräitä muita ydinjätealalla toimivia organisaatioita. SNE TP- NUGENIA<sup>1</sup> -tutkimusohjelmassa on mukana laitosten purkamiseen ja laitospölyn käsittelyyn liittyvää tutkimustoimintaa, mikä täydentää IGD-TP:n tavoitteita ydinjätehuollon tutkimustarpeiden osalta. VTT liittyi v. 2018 SITEX\_Network -verkostoon (jatkoa SITEX-projekteille, Sustainable Network for Independent Technical Expertise of Radioactive Waste Disposal), joka kehittää luvanhakijoista riippumatonta ydinjätehuollon osaamista EU:n piirissä.

EU:n rahoittamaa ydinjätetutkimusta toteutetaan jatkossa ns. European Joint Programme (EJP) -ohjelmassa<sup>2</sup>. Ohjelman rahoitukseen liittyy ns. co-funding periaate eli hankkeiden rahoituksesta on tultava 50 % jäsenmaista. Ensimmäinen EJP-haku avautuu syyskuussa 2018; tutkimusaihepiirit valikoituivat laajan kansainvälisen kyselyn perusteella. EJP:hen osallistuva organisaatio voi kuulua yhteen seuraavista organisaatioluokista: ydinjätehuolto, tekninen tuki, tai tutkimus. Suomesta EJP-hallintoon osallistuvat Posiva (ydinjäteorganisaation edustaja), VTT (teknisen tukioorganisaation edustaja) ja Helsingin yliopisto (HY, tutkimuslaitoksen edustaja). Muut

---

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

2 EJP-valmistelussa ovat olleet aktiivisesti mukana myös IGD-TP –teknologiayhteisö ja SITEX\_Network.

kiinnostuneet kotimaiset organisaatiot voivat osallistua jonkin edellä mainitun organisaation kanssa laaditun yhteistyösopimuksen kautta. TEM on Suomessa ohjelman omistaja (programme owner). EU:n tutkimusohjelmiin osallistuvien suomalais-ten tukena on kansallinen tukiryhmä, jossa myös KYT-tutkimusohjelma on edustettuina.

Kukin organisaatio voi hakea rahoitusta EJP- ja KYT2022-tutkimusohjelmista toisiaan täydentävillä ja tukevilla tutkimushankehakemuksilla. Suomalainen ydinjätehuollon tutkimus voi hyötyä merkittävästi EJP-tutkimusohjelmassa tehtävästä tutkimuksesta, mutta se edellyttää EJP-tutkimuksen tulosten saattamista myös KYT2022-tutkimusyhteisön tietoon.

Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestön (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD) 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 käytännössä edustus myös KYT-ohjelmasta.

NEA on perustamassa uutta komiteaa käytöstäpoiston aihepiiriin: Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management (CDLM). Uuden komitean odotetaan aloittavan toimintansa vuonna 2019. Samalla käytöstäpoistoa koskevat aiheet siirtyvät jätekomiteasta em. käytöstäpoistokomiteaan. Suomi tulee osallistumaan myös käytöstäpoistokomitean toimintaan.

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 ylläpitämissä 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 jäseninä. 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 European Nuclear Installations Safety Standards Initiative (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 käytöstäpoistojätteestä sekä järjestetty kolme käytöstäpoistoseminaaria. Seminaareista ensimmäinen pidettiin Risø:ssa Tanskassa vuonna 2005, toinen Studsvikissa Ruotsissa vuonna 2010 ja kolmas Haldenissa Norjassa vuoden 2013 lopulla. Loppuvuonna 2018 NKS on kaavailut käytöstäpoistoworkshopia pidettäväksi Risø:ssä.

## 1.2 Aiempi julkinen ydinjätehuollon tutkimus

Julkisrahoitteinen ydinjätehuollon tutkimus käynnistettiin Suomessa atomienergianeuvottelukunnan aloitteesta 1970-luvun alkupuolella. Julkishallinnon koordi-

noituja ydinjätehuollon tutkimusohjelmia on toteutettu Suomessa vuodesta 1989 lähtien, Taulukko 1.

**Taulukko 1. Julkishallinnon koordinoituja tutkimusohjelmia.**

Kausi	Tutkimusohjelman nimi
1989–1993	Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT) (Vuori 1990, 1991, 1993.)
1994–1996	Julkishallinnoidun ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT2) (Vuori 1997)
1997–2001	Julkishallinnon ydinjätetutkimusohjelma (JYT2001) (Vuori 2000, Rasilainen 2002)
2002–2005	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT (Rasilainen 2006)
2006–2010	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2010 (KYT-johdoryhmä 2005)
2011–2014	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2014 (TEM 2010, TEM 2016)
2015–2018	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2018 (TEM 2014)

KYT-tutkimusohjelmille on toteutettu kansainvälinen arviointi vuosina 2007, 2012 ja 2017 (Apted & al. 2008, 2013, TEM 2017). Arviointiryhmien ehdotukset on otettu huomioon jo tutkimusohjelmien kuluessa ja vielä erikseen kunkin uuden tutkimusohjelman suunnitteluvaiheessa. Viimeisimmässä arviossa todettiin, että tutkimusohjelman hallinto on toteutettu tehokkaasti ja ohjelmalla on kattava ja syvälinen osaaminen ydinjätehuollosta. Ohjelman jatkaminen nähtiin tarkoituksenmukaiseksi.

Arviointiryhmä antoi erikseen neljä haastetta ja 10 ehdotusta (TEM 2017); haasteina nähtiin seuraavat kohdat:

- Synergian puute kansainvälisten jätealan organisaatioiden ja ohjelmien (esim. EJP, SITEX) kanssa
- Tasapainon varmistaminen ydinjätehuollon kansallisen osamisen kehittämisessä siten että turvataan riippumattoman asiantuntemuksen taso viranomaisten tueksi
- Johtoryhmän vahvempi rooli ohjelman näkyvyyden ja projektien laadun varmistamisessa
- VTT:n Ydinturvallisuustalon tärkeys kansallisena infrastruktuuri-investointina ja hyödynnettävyys KYT-ohjelman piirissä.

Ehdotusten joukossa oli esimerkiksi:

- KYT-ohjelman kansainvälistä näkyvyyttä tulisi selvästi parantaa
- STUK:n vahvempi rooli tutkimuksen sisällön ohjaamisessa
- Vahvemmat kytkökset ydinenergia-alan toimijoihin tutkimita vaativien aihealueiden paremmaksi tunnistamiseksi ja oikean osaamisen kehittämisen tukemiseksi
- Mahdollisuus laajentaa tutkimusohjelman aihepiiriä Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) –jätteisiin ja geologisen loppusijoituksen käytönaikaiseen turvallisuuteen.

## 1.3 Kokonaisturvallisuus ydinjätehuollossa

Kokonaisturvallisuus ydinjätteiden käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen suunnittelussa ja hallinnassa muodostaa laaja-alaisen, poikkitieteellisen tutkimuskokonaisuuden, joka vaatii toimivaa yhteistyötä tutkimusorganisaatioilta ja ydinvoima-alan toimijoilta. Kokonaisturvallisuuden tärkein osa on loppusijoituskonseptin arkkitehtuuri, mutta yhtä lailla se käsittää toimintoprosesseja ja käyttöturvallisuuden ydinjätelaitosten (esim. loppusijoitus-, kapselointilaitos) elinkaaren kaikissa eri vaiheissa.

### Kokonaisturvallisuuden osatekijöitä

Varsinaisen loppusijoituslaitoksen ja sen teknisten järjestelmien sekä vapautumisteiden lisäksi on tärkeää ymmärtää organisaatioiden yhteistoimintaa ja niiden välisiä vuorovaikutuksia kokonaisturvallisuuteen vaikuttavina tekijöinä (“organization of organizations”). Tällainen kokonaisvaltainen turvallisuuden ymmärtäminen vaatii tutkimuksen laaja-alaisuutta ja poikkitieteellisyyttä. Usean aihealueen yhdistäminen antaa välineitä hallita ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuteen liittyvää monimutkaisuutta (kompleksisuutta) ja näin ollen parantaa turvallisuustasoa.

Turvallisuutta ja riskejä käsitellään pääsääntöisesti eristetyksi, ‘regiimeiden’ tai viitekehysten sisällä, vrt. tieliikenteen ja lentoliikenteen turvallisuus, ja niitä voi haitata

vertailukohtien puute. Näin on myös ydin- ja säteilyturvallisudessa, jolloin se voi äärimmillään johtaa joko varsin suurten riskien hyväksymiseen tai äärimmäisen tiukkoihin turvallisuuskriteereihin. Ihmisille koituvan haitan vähentämistä ei em. ääritapauksissa ilmeisestikään tehdä tehokkaasti. Hyväksyttävän turvallisuustason määrittäminen on kuitenkin varsin monimutkaista ja riippuu ihmisten riskikäsitteistä sekä eri riskien hyväksyttävyydestä.

Kokonaisturvallisuuteen liittyvän tutkimuksen pääaihepiirejä ja niihin vaikuttavia rajapintoja on kuvattu Taulukossa 2.

## Taulukko 2. Kokonaisturvallisuustutkimuksen aihepiirit ja niihin liittyvät syvyyspuolustuksen (Defence In Depth) tutkimuskysymykset.

Tutkimuksen aihepiirit	Pääasiallinen tutkimuskohde
Kokonaisturvallisuuskäsitys	Puolustuslinjat (DID, Defence In Depth) laajasti ymmärrettyinä Mitkä ovat puolustuslinjat laitosuunnittelussa ja miten ne kannattaa muodostaa? Miten puolustuslinjat näkyvät organisaatioiden verkoston toiminnassa? (Organisaation organisaatio)
Toimintaprosessit (Systems Engineering)	Miten puolustuslinjat rakentuvat suunnittelutoimintoihin? Näkyvätkö puolustuslinjat toiminnan suunnittelussa?
Tekniikka/laitos ja turvallisuusratkaisuihin vaikuttavat tekijät	Rakenteelliset puolustuslinjat Toiminnalliset puolustuslinjat Miten ihmisen ja yksittäisen organisaation osaaminen ja toiminta näkyvät laitoksen puolustuslinjoissa?
Riskit ja riskien hyväksyttävyyden	Millainen on hyväksyttävä turvallisuustaso ja miten se suhtautuu ihmisten riskikäsitteisiin sekä eri riskien hyväksyttävyyteen?

Kokonaisturvallisuutta ydinvoimalaitoksien osalta on tutkittu SAFIR-ohjelmassa järjestelmän ("system") ja sen toimintaympäristön näkökulmista sekä järjestelmäarkkitehtuurin ("system of systems") kannalta. Tutkimusalueella on liityntäpinta SAFIR-ohjelmassa tehtävään tutkimukseen.

## Tavoitteet

Ydinjätteiden käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen kokonaisturvallisuuden erityispiirteitä on otettava huomioon sekä käyttö- että pitkäaikaisturvallisuus. Keskeisiä tutkimusaiheita ovat asiat, jotka sijaitsevat rajapinnoilla toimintojen tai teknii-

kanaloiden välillä tai jotka ovat kokonaisuuden hallitsemisen kannalta merkittävässä roolissa, kuten laitoksen suunnitteluperusteet, suunnitteluperusteiden kytkeminen pitkäaikaisturvallisuuteen sekä ihmisten ja organisaatioiden toiminta. Ydinjätteidensä loppusijoituksen ensikertaisuus (käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus) ja kehittyvä tekninen ympäristö tuovat mukanaan uusia haasteita ydinturvallisuuden kannalta. Uudet tekniset ratkaisut vaativat uudenlaisia menetelmiä järjestelmien käyttäytymisen ja turvallisuuden arvioimiseksi.

Ydinjätelaitosten pitkäaikaisen turvallisen käytön hallinta edellyttää organisaatioilta laitostuntemuksen ja osaamisen säilyttämistä ja kehittämistä useiden vuosikymmenien ajan. Tiedon ja osaamisen systemaattinen siirtäminen uusille sukupolville on keskeisessä asemassa huolehdittaessa kokonaisturvallisuudesta. Ydinjätelaitoksen käyttö- ja pitkäaikaisturvallisuuden varmistamiseen tarvitaan niin teknisiä ratkaisuja, joiden perusta luodaan ydinlaitoksen prosessien ja turvallisuusarkkitehtuurin eli loppusijoituskonseptin suunnittelulla, kuin myös ihmisiä ja ihmisten muodostamia organisaatioita, jotka viime kädessä vastaavat kaikesta toiminnasta. Turvallisuuteen vaikuttavia toimintoja ovat mm. turvallisuudelle asetettavien vaatimusten määrittäminen, tarvittavien teknisten ratkaisujen suunnittelu, valmistus, asennus, hyväksyttävyyden arviointi, käyttö ja valvonta sekä riittävien toimintaedellytysten luominen. Mahdollisiin käytön aikaisiin häiriö- ja onnettomuustilanteisiin sekä pitkällä aikavälillä ydinjätelaitoksen mahdollisiin kehityskulkuihin ja harvinaisiin tapahtumiin varautuminen usealla eri tasolla on turvallisuusajattelun keskeinen lähtökohta.

Koska loppusijoituslaitosten käyttöikä on tyypillisesti hyvin pitkä, turvallisuuden varmistaminen on jatkuva prosessi, jossa on huomioitava muutokset toimintaympäristössä. Turvallisuuden varmistaminen pitää sisällään myös varautumisen erittäin harvinaisiin tapahtumaketjuihin, joihin luontaisesti liittyy huomattavia epävarmuuksia. Epävarmuuksia voidaan hallita pitkäaikaisturvallisuusperustelun ja muiden todennäköisyysperusteisiin ja deterministisiin analyyseihin perustuvien arvioiden avulla ja osana kokonaisvaltaista turvallisuussuunnittelua varautumalla sekä riskiperusteisesti että turvallisuusmarginaalien avulla ja tarkastelemalla seurauksia erilaisista kehityskuluista.

Tutkimusalueella tehtävän työn tavoitteena on lisätä kokonaisturvallisuuden kannalta merkittävien asioiden ymmärtämistä ja hallintaa ydinjätteidensä loppusijoituslaitoksen elinkaaren eri vaiheissa sekä kokonaisturvallisuuden huomioinnasta

yksittäisissä tutkimushankkeissa. Eri tekijöiden merkityksen ja keskinäisten vuorovaikutusten ymmärtäminen sekä alan toimijoiden osaamisen ja toimintatapojen vaikutusten arviointi ja kehittäminen tukevat tätä tavoitetta. Turvallisuusasioihin liittyvän viestinnän ja tiedonvaihdon kehittäminen ydinjätehuollon alueella, sekä ydinjätehuollon ja muiden turvallisuuskriittisten toimialojen välillä on keskeisessä roolissa välitettäessä tietoa turvallisuusratkaisuista ja niiden hyväksyttävyydestä. Tutkimushankkeiden tulee tuottaa paitsi uutta tietoa, myös tukea tiedon soveltamista ydinjätehuollosta vastuussa olevissa organisaatioissa osana kokonaisturvallisuuden kehittämistä.



## 2 Tutkimusohjelman organisointi

### 2.1 Lähtökohdat ja tavoitteet

KYT2022-tutkimusohjelman lähtökohdat perustuvat ydinenergialakiin (990/1987), jonka mukaan jätehuoltovelvollisten on osallistuttava sellaisen tutkimustoiminnan, tutkimusinfrastruktuurin ja täydennyskoulutustoiminnan rahoittamiseen, jonka tarkoituksena on *”varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien arviointiin.”* (53 b § (22.5.2015/676)). Jätehuoltovelvollisille vuosittain asetettavien KYT-ohjelmaan käytettävien maksujen suuruus riippuu kullekin jätehuoltovelvolliselle vahvistetusta vastuumäärästä ydinenergialaissa säädetyllä tavalla. Tutkimusohjelman sisältö muodostuu kansallisen osaamisen kannalta keskeisistä tutkimuskohteista.

KYT2022-tutkimusohjelma tukee kansallisen ydinjätehuollon asiantuntijakoulutuksen kehittämistä ja varmistaa olennaisen kansallisen asiantuntemuksen jatkuvaa saatavuutta, edistää tieteellistä ja korkeatasoista osaamista sekä lisää yleistä tietämystä ydinjätehuollon alalla. Tutkimusohjelmassa myös painotetaan koulutusvaikutusta yhtenä rahoitettavien hankkeiden arviointikriteerinä. Tutkimusohjelma voi tarjota osarahoitusta opinnäytetöille, mikäli työ täyttää tämän puiteohjelman sisältötavoitteet. Tutkimusohjelmassa voidaan rahoittaa myös ydinjätehuollon täydennyskoulutusta. Täydennyskoulutustoiminnan tulee tehokkaasti edistää uusien henkilöiden tuloa ydinjätehuollon asiantuntijatehtäviin. Ydinjätehuollon asiantuntijoiden tarve on arvioitu kasvavan vuodesta 2017 vuoteen 2030 (TEM 2012, Hämäläinen & Suolanen 2017).

KYT2022-tutkimusohjelma toimii samalla viranomaisten, ydinjätehuoltoa toteuttavien organisaatioiden ja tutkimuslaitosten välisenä keskustelu- ja tiedonvälityks-

foorumina. Näin luodaan edellytyksiä rajallisten tutkimusresurssien tehokkaalle hyödyntämiselle ja varmistutaan siitä, että yksittäisiin tutkimushankkeisiin saadaan riittävän monipuolinen ja poikkitieteellinen tutkimusryhmä sekä asiantunteva tukiryhmä. Tehokkaalla tiedonvaihdolla voidaan myös välttää mahdollista päällekkäistä tutkimusta sekä koordinoida esimerkiksi kansainvälisiin hankkeisiin osallistumista. Ohjelmalla on myös yhteistyötä SAFIR2022-tutkimusohjelman kanssa. KYT2022-ohjelman yhteistyötavoitteita tarkastellaan tarkemmin luvussa 3.

KYT2022-tutkimusohjelman ulkopuolella jätehuoltovelvolliset vastaavat ydinenergiain mukaisesti tuottamiensa ydinjätteiden huollon käytännön suunnittelusta, toteutuksesta ja kustannuksista mukaan lukien omaa toimintaa koskeva tutkimus ja kehitystyö. STUK vastaa omasta valvontatyöstään ja sen kehittamisestä. Näiden reunaehtojen puitteissa ydinenergialaki mahdollistaa tutkimusaiheiltaan laaja-alaisen KYT2022-tutkimusohjelman. Tutkimukset voivat olla konseptiriippuvia ja paikkaspesifisiä, jos tutkimuksen tarve niin vaatii. Lisäksi, tutkimusaiheiden tulee olla viranomaisia ja luvanhaltijoita hyödyttävää tutkimusta, eikä tutkimuksen tule kohdistua välittömästi luvitukseen tai valvontaan liittyviin aiheisiin. Eri toimijat voivat myös tarjota KYT-ohjelman ja tutkijoiden käyttöön esimerkiksi omia koelaitteistoja ja kokeellisia tutkimusaineistoja, jolloin laitteet ja aineistot on mahdollista saada laajemmin hyödynnettäviksi esimerkiksi opinnäytetöissä.

KYT2022-tutkimusohjelma kannustaa tutkimusorganisaatioita osallistumaan ydinjätetutkimuksen kansainvälisiin hankkeisiin, esimerkiksi EJP-ympäristöön. Ulkomaisen asiantuntijoiden osallistuminen KYT2022-ohjelmaan on mahdollista yhteisprojektissa suomalaisen tutkimusryhmän kanssa, jolloin hanke voi paremmin edistää suomalaista ydinjätehuollon osaamista.

## 2.2 Tutkimusohjelman hallinnointi

Tutkimusohjelman toiminta perustuu TEM:n, ohjelman johtoryhmän, yhden tai useamman tukiryhmän, ohjelman johtajan ja tutkimushankkeiden keskinäiseen yhteistyöhön ja työnjakoon. Seuraavassa esitetään lyhyesti tutkimusohjelman sisäistä työnjakoa; tarkempi kuvaus on esitetty KYT2022-ohjelman toimintaohjeessa. Myös muut ohjelmassa noudatettavat hallintokäytännöt kuvataan yksityiskohtaisesti toi-

mintaohjeessa, joka on nähtävissä tutkimusohjelman verkkosivuilla (<http://kyt2022.vtt.fi/>).

## **Johtoryhmä**

Tutkimusohjelman toimintaa johtaa johtoryhmä, jonka puheenjohtaja on Säteilyturvakeskuksesta. Johtoryhmässä ovat edustettuina työ- ja elinkeinoministeriö, Säteilyturvakeskus, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, ympäristöministeriö, Fortum Power and Heat Oy, Posiva Oy, Teollisuuden Voima Oyj ja Fennovoima Oy. Sihteerinä toimii tutkimusohjelman johtaja Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:stä. Johtoryhmä voi täydentää itseään pysyvästi tai ajoittain asiantuntijoilla.

Johtoryhmä vastaa tutkimusohjelman strategisista linjauksista. Puiteohjelman linjausten lisäksi KYT2022-johtoryhmä voi ehdottaa työ- ja elinkeinoministeriölle lisättäväksi kunkin hankehaun kutsukirjeeseen tutkimuksen tarkennettuja painopistealueita. Painopistealueet voivat olla myös johtoryhmän laatimassa hakuevästyksessä. Johtoryhmä esittää tukiryhmien suorittaman hanke-esitysten arvioinnin jälkeen ohjelmaan toteutettaviksi hankkeita, joiden se katsoo parhaiten vastaavan puiteohjelmassa ja em. painopiste-ehdotuksissa mainittuja tarpeita.

## **Tukiryhmät**

Tutkimusohjelman johtoryhmä perustaa tarvittavan määrän tukiryhmiä, jotka toimivat johtoryhmän tukena teknisinä asiantuntijaeliminä. Johtoryhmä nimeää tukiryhmien puheenjohtajat ja jäsenet. Tukiryhmät vastaavat tutkimushanke-esitysten arvioinnista ja valittujen hankkeiden seurannasta sekä ohjauksesta. Tutkimushankkeiden tieteellinen seuranta ja ohjaus vaativat syvällistä erityisosaamista ja KYT2022-ohjelman johtoryhmä pyrkii toimivaltansa rajoissa varmistamaan tehtävien vaatiman asianmukaisen resursoinnin. KYT2022-ohjelman ja SAFIR2022-tutkimusohjelman tukiryhmät voivat sopia myös tutkimusohjelmien rajat ylittävistä arviointi- ja seurantavastuista.

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

## Tutkimusohjelman johtaja ja avustava projektiasiantuntija

Tutkimusohjelman johtaja vastaa tutkimusohjelman hallinnosta. Johtaja on valittu koko tutkimusohjelmakaudeksi hankintalain (1397/2016) mukaisen julkisen tarjouskilpailun perusteella. Työ- ja elinkeinoministeriö valitsi KYT2022-tutkimusohjelman johtajan VTT:ltä. Tutkimusohjelman johtajalla on työn kannalta sopiva ylempi korkeakoulututkinto ja muu lisäkoulutus, työkokemusta projektinjohtamisesta sekä ydinjätehuollon kansallisten ja kansainvälisten ohjelmien ja tutkimustoiminnan tuntemusta. Johtajan kotiorganisaatiolla on kokemusta vastaavasta työstä ja riittävä taustatuki (esim. tieto- ja taloushallinto, henkilöresurssit) johtajalle. Johtajaa avustaa projektiasiantuntija, jolla on ylempi korkeakoulututkinto ja muu lisäkoulutus sekä soveltuva työkokemus ydinjätehuollon alalta. Avustava projektiasiantuntija on nimetty johtajan kotiorganisaatiosta.

## Verkkosivut

Tutkimusohjelman viestinnässä käytetään pääsääntöisesti tutkimusohjelman verkkosivuja (<http://kyt2022.vtt.fi/>)<sup>3</sup>. Sivulla julkaistaan tutkimusohjelman ja -projektien raportit sekä hankehakua koskevat asiakirjat. Verkkosivuilla tiedotetaan myös tutkimusohjelman järjestämisestä seminaareista ja johtoryhmän päätöksistä. Seminaareissa pidetyt esitykset julkaistaan verkkosivuilla. Tutkimusohjelmalla on myös englanninkieliset verkkosivut.

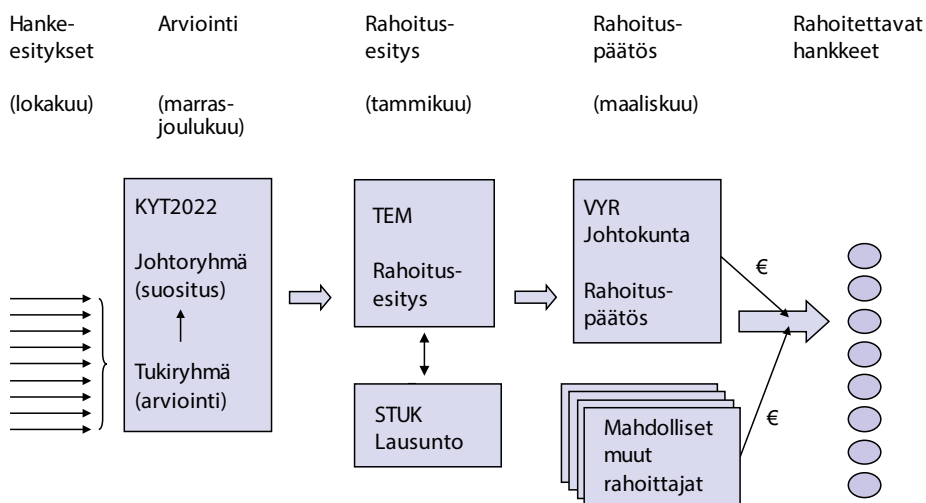
## 2.3 Hankehaku ja rahoituspäätös

KYT2022-ohjelmaan osallistutaan julkisen hakumenettelyn kautta, Kuva 1. Hankehaun käynnistymisestä ilmoitetaan vuosittain TEM:n laatimassa hankehaun kutsukirjeessä, joka on nähtävänä KYT2022-tutkimusohjelman verkkosivuilla (<http://kyt2022.vtt.fi/>). Tutkimusrahoitusta voi hakea yhdeksi tai useammaksi vuodeksi.

---

3 Ensimmäinen hankehaku toteutetaan tukeutuen KYT2018-verkkosivuun.

**Kuvio 1. KYT2022-ohjelman päätöksenteko tutkimushankkeista. Mahdolliset muut rahoittajat voivat olla esimerkiksi tutkimusorganisaatioita, yrityksiä, viranomaisia tai muita tutkimusohjelmia. Usein tutkimushankkeen organisaatio ohjaa tutkimukseen myös omaa rahoitusta.**



Saapuneet hanke-esitykset käsitellään tutkimusohjelman johtoryhmässä. Tukiryhmät toimivat johtoryhmän teknisinä asiantuntijaeliminä ja laativat arviot hanke-esityksistä. Johtoryhmä laatii TEMille rahoitussuosituksen tutkimushankekokonaisuudesta. Samassa yhteydessä johtoryhmä laatii tukiryhmien arvioiden pohjalta kustakin hanke-esityksestä sisällöllisen palautteen, joka annetaan hanke-esityksen tekijälle.

TEM laatii tutkimushankekokonaisuudesta rahoitusesityksen Valtion ydinjätehuoltorahastolle (VYR). TEM:n esitys perustuu KYT2022-johtoryhmän laatimaan rahoitussuositukseen. TEM pyytää STUKilta lausunnon rahoitusesityksestä ennen sen toimittamista VYR:lle, Kuva 1. Valtion ydinjätehuoltorahasto rahoittaa vuosittain KYT2022-tutkimusohjelman ydinjätehuollon tutkimushankkeita työ- ja elinkeinoministeriön esityksen perusteella. Valtion ydinjätehuoltorahasto myöntää KYT-hankkeille rahoitusta vuodeksi kerrallaan.

Tutkimusohjelman johtoryhmä voi suositella kerralla rahoitusta yhdelle tai useammalle vuodelle. Jos tutkimusryhmä hakee rahoitusta useammalle vuodelle, tulee

hanke-esityksen kattaa koko tutkimuskausi. Lisäksi tutkimusryhmän tulee toimittaa alkuperäisen hanke-esityksen toimittamista seuraavina vuosina ministeriölle ilmoitus tutkimushankkeen jatkumisesta. Mikäli hankkeessa tapahtuu merkittäviä muutoksia tai tutkimushanke tarvitsee ennakoitua suurempaa rahoitusta, tulee tutkimusryhmän kuitenkin laatia uusi täydellinen hanke-esitys, jolloin hanke arvioidaan kokonaisuutena uudelleen. Muutoin tutkimushankkeen rahoitus jatkuu huomioiden vuosittainen edistyminen ja tutkimushankkeiden rahoitukseen käytettävissä olevat varat. Mikäli hanke ei etene, johtoryhmä voi esittää rahoituksen leikkausta tai keskeyttämistä. Vuosittain jaettava rahamäärä perustuu jätehuoltovelvollisten vastuumääriin ydinenergialaissa kuvatulla tavalla. Tutkimuskaudella 2019–2022 on tutkimukseen osoitettavissa arvion mukaan vuodesta riippuen 2,8–3,7 miljoonaa euroa vuosittain.

## 2.4 Tutkimusohjelman hanketyypit

KYT2022-ohjelmaan ehdotettavat hankkeet voivat olla yksittäisiä tutkimushankkeita tai laajoja koordinoituja tutkimuskokonaisuuksia. Keskeisimmiksi katsottuihin aihepiireihin tavoitellaan koko ohjelmakauden kattavia koordinoituja hankkeita. Keskeisimpiä aihepiirejä tarkastellaan luvussa 3.

Käytännössä ohjelmaan hyväksytään siis kahdenlaisia hanketyyppejä:

- Yksittäinen tutkimushanke jonka hankepäällikkö vastaa hankkeen toteutumisesta ja yhteydenpidosta tutkimusohjelmaan
- Koordinoitu, useamman organisaation yhteinen hanke, jota johtaa hankekoordinaattori. Hankekoordinaattori vastaa tutkimusryhmän ja hanke-ehdotuksen kokoamisesta sekä hankkeen sisäisestä koordinoinnista ja hallinnoinnista, esim. työsuunnitelmasta ja raportoinnista.

Koordinoitu hanke on myös aiemmissa KYT-ohjelmissa käytetty hanketyyppi laajempien integroitujen tutkimushankkeiden saamiseksi keskeisiin aihepiireihin. Siihen osallistuu tyypillisesti useita tutkimuksia tekeviä organisaatioita ja se voi kattaa

koko KYT2022-tutkimuskauden. Olemukseltaan se on pienimuotoinen tutkimusohjelma, jota johtaa hankekoordinaattori. Koordinoidun hankkeen hakemisen edellytykset kuvataan yksityiskohtaisemmin KYT2022-toimintaohjeessa.

Johtoryhmä huolehtii siitä, että rahoitussuosituksissa ovat edustettuina erikseen määritellyllä tavalla eripituiset ja hanketyypiltään erilaiset hankkeet. Esityksiä arvioineet tukiryhmät voivat johtoryhmän myötävaikutuksella edellyttää hankeesityksiin muutoksia. Hanke-esityksiä voidaan myös ehdottaa yhdistettäväksi laajemmiksi kokonaisuuksiksi tai niitä voidaan ehdottaa rahoitettavaksi vain osittain. Edellytettyjen muutosten huomioon ottaminen ja muutosten mukaisesti täsmennyksen hanke-esitysten toimittaminen on ehto VYR-rahoituksen saamiselle. Mikäli tutkimushanke kestää arvioitua tutkimuskautta pidempään, esim. hankkeen kulussa paljastuu lisäselvitystarpeita, voi hanke osallistua uudella hanke-esityksellä kauden päättymistä seuraavaan hankehakuun.

KYT2022-ohjelmassa on myös julkisen haun ulkopuolella varattu mahdollisuus johtoryhmän erikseen käynnistämiin pienhankkeisiin tärkeiksi ja ajankohtaisiksi arvioituista tutkimusaiheista. Tällaisia voivat olla esimerkiksi tutkimushankkeet aiheista, joista ei ole saatu hakemuksia julkisessa haussa, tai saadut hanke-esitykset, jotka ovat aiheeltaan tärkeitä, mutta eivät vielä täytä rahoitettavien hankkeiden kriteerejä. Jälkimmäisessä tapauksessa pienhankerahan tarkoitus on tukea tutkimusryhmää kehittämään hankeideaa siten, että se voisi seuraavassa hankehaussa yltyä rahoitettavien hankkeiden joukkoon. Johtoryhmä voi harkintansa mukaan rahoittaa pienhankkeena myös muunlaista tutkimushanketta, mikäli sen odotetaan tuottavan merkittävää hyötyä ydinjätehuollon tutkimukseen.

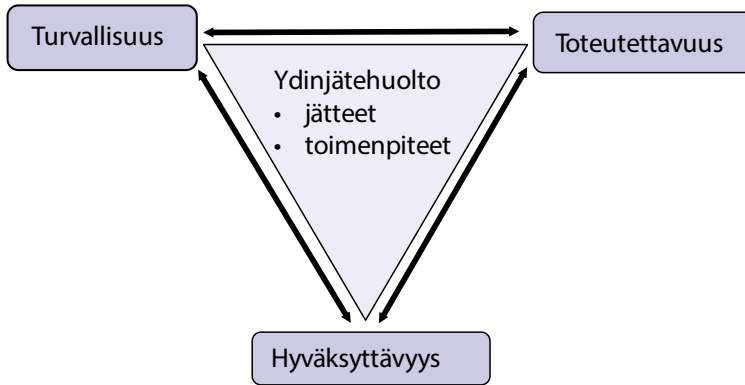
### 3 Tutkimusohjelman sisällölliset tavoitteet

KYT2022-ohjelman tutkimusaihepiiri on jatkoa edelliselle KYT2018-tutkimusohjelmalle. Sen lisäksi on otettu soveltuvin osin huomioon KYT2018-ohjelman kansainvälisen arvion suositukset. Tärkeimpänä valintatekijänä on kuitenkin suomalaisten ydinjätehuollon viranomaisten ja muiden toimijoiden ennakoimat tutkimustarpeet tulevassa toimintaympäristössä.

KYT2022-ohjelman tutkimukset jaetaan sisällöllisiin toistensa kanssa vuorovaikutaviin pääaihepiireihin joita ovat (1) ydinjätehuollon turvallisuus (2) ydinjätehuollon toteutettavuus sekä (3) ydinjätehuollon hyväksyttävyyys, Kuva 2. Turvallisuutta arvioitaessa on otettava huomioon hyväksyttävyykeskustelussa esiin nousseita teemoja sekä teknisen toteutettavuuden asettamat reunaehdot. Ydinjätehuollon toteutettavuutta arvioitaessa lähtökohtana on turvallinen ratkaisu ja sen yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys. Ydinjätteen loppusijoituksen yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys on riippuvainen sen turvallisuudesta ja toteutettavuudesta. Tutkimusohjelman johtoryhmä voi täsmentää vuosittain aihepiirien keskinäistä ja sisäistä painotusta.



**Kuvio 2. KYT2022-tutkimusohjelman pääaihepiirit.**



Ydinjätteellä tarkoitetaan ydinenergian tuotannon yhteydessä tai seurauksena syntyneitä radioaktiivisia jätteitä ja ydinjätehuolto kattaa kaikki toimenpiteet, joilla jätteistä huolehditaan turvallisesti, esim. karakterisointi, lajittelu, pakkaaminen, kuljetukset, välivarastointi ja loppusijoitus. Suomalainen ydinjätehuolto perustuu geologiseen loppusijoitukseen eli ydinjätteet loppusijoitetaan kallioperään louhittuihin loppusijoitustiloihin. Ydinjätteen ominaisuuksista, esim. aktiivisuudesta ja puoliintumisaikasta, riippuen loppusijoitussyvyys vaihtelee noin sadasta metristä (matala- ja keskiaktiivinen jäte) noin 400 metriin (korkea-aktiivinen käytetty ydinpolttoaine). Hyvin matala-aktiivisille ydinjätteille selvitetään myös maaperäloppusijoitusta.

Loppusijoitustilassa ydinjätteen ympärille rakennetaan radionuklidien leviämistä hidastavia teknisiä vapautumisesteitä (esim. jätepakkaukset, puskuriaineet, täyteaineet, sulkurakenteet), jotka yhdessä luonnon vapautumisesteen (kallioperä) kanssa muodostavat ydinjätehuollossa sovellettavan moniestejärjestelmän. Moniestejärjestelmän tehtävä on viivastaa ja laimentaa mahdollisesti vapautuvia radionuklideja niin, että jos ne purkautuvat ihmisen elinympäristöön, ne eivät aiheuta merkittävää altistumista. Merkittävä osa ydinjätehuollon tutkimusohjelman tutkimuksista kohdistuu moniestejärjestelmän toimintaan ja sen mahdollisten häiriötilojen vaikutukseen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen. Loppusijoituksen turvallisuuteen liittyviä tutkimusaiheita eri jätelajeille on eritelty Taulukossa 3.

**Taulukko 3. Ydinjätehuollon tutkimusaiheita eri jätetyypeille. Eri jätetyyppien huolto Suomessa on eri elinkaaren vaiheissa. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen käyttöluvaa valmistellaan; voimalaitosjätteen loppusijoitus on jo luvitettua rutiinitoimintaa; käytöstäpoistoajätteenn loppusijoitusta vasta suunnitellaan.**

Keskeisimpiä tutkimusaiheita	Jätelaji		
	Käytetty ydinpolttoaine	Voimalaitosjäte	Käytöstäpoistoajäte
Kokonaisturvallisuus	X	X	X
Karakterisointi	X	X	X
Lajittelu		X	X
Pakkaaminen	X	X	X
Kuljetukset	X		
Välivarastointi	X		
Loppusijoitus	X	X	X
- Toimintakykyanalyysi	X	X	X
- Jätetuote	X	X	X
- Mikrobiologia	X	X	X
- Jätepakkaus	X	X	X
- Puskuriaine	X		
- Sulkurakenteet	X	X	X
- Kallioperä	X	X	X
- Biosfääri	X	X	X

Seuraavassa tarkastellaan tutkimusohjelman pääaihepiirejä ja niiden mahdollisia tutkimustarpeita hieman yksityiskohtaisemmin.

### 3.1 Ydinjätehuollon turvallisuus

Turvallisuus on merkittävin ydinjätehuollon suunnittelussa ja toteutuksessa vaikuttavista ehdottomista vaatimuksista. Lisäksi se on valvonnan kannalta haasteellinen poikkiteollinen kokonaisuus. Pitkäaikaisturvallisuuden varmistamiseksi viranomaisten käytössä on oltava luvanhakijasta ja myös viranomaisesta riippumatonta korkeatasoista asiantuntemusta varsinkin loppusijoittamisen turvallisuudesta.

### 3.1.1 Turvallisuuden perustekijät

#### Tutkimustarpeet

Tutkimuksellinen haaste on muodostaa ydinjätehuollon alueella kokonaisturvallisuuden arvioimiseen yhtenäinen viitekehys, jossa jäsenetään perinteistä syvyyspuolustuskäsitystä integroimalla samaan malliin turvallisuutta ylläpitävät tekniset rakenteet, prosessijärjestelmät sekä organisaatioiden ja ihmisten toiminta ottamalla huomioon sekä käyttöturvallisuus että pitkäaikaisturvallisuus. Syvyyspuolustuskäsityksen mukaisesti turvallisuuden varmistaminen tapahtuu usealla peräkkäisellä, toisiaan varmentavalla toiminnallisella tasolla. Toimintatapaa sanotaan syvyyspuolustaiseksi turvallisuusajatteluksi tai syvyyspuolustusperiaatteeksi (defense in depth). Tähän asti turvallisuuden eri puolia – eri tekniikanalat ydinturvallisuuden sisällä, on tutkittu toisistaan melko erillään. Eri lähtökohdista nousevat, itsessään järkevät yksittäiset turvallisuustavoitteet voivat kuitenkin olla keskenään ristiriitaisia. Tämä aiheuttaa ongelmia sekä turvallisuussuunnittelussa että suunnittelun todentamisessa; lisäksi on vaarana että suunnittelusta tulee epätasapainoista, mikäli käytössä ei ole yhtenäistä tapaa arvottaa turvallisuuden eri osa-alueita. Viitekehysten muodostaminen kokonaisturvallisuuden arvioimiseen on yksi tutkimustarve KYT2022-tutkimusohjelmassa.

Tarvitaan tutkimusta siitä, miten parhaiten liitetään samaan viitekehykseen:

- Odotettavissa olevat käyttöhäiriöt ja onnettomuudet
- Loppusijoituslaitoksen eri kehityskulkuihin ja harvinaisiin tapahtumiin varautuminen <- laitospaikan ominaisuudet ja vapautumisesteiden toimintakyky
- Ihmisen ja organisaatioiden vaikutus turvallisuustoimintoihin
- Turvajärjestelyjen ja ydinmateriaaliturvallisuuden vaatimukset -> 3S (Safety, Security, Safeguards)
- Alalla toimivien organisaatioiden roolit, toimintalogiikat, vaikutus ja tehtävät syvyyspuolustuksen ylläpitämisessä
- Riskikäsitteet ja riskien hyväksyttävyys.

Tavoitteena on kattava syvyyspuolustusmalli, jota voidaan käyttää turvallisuusarvioinnin ja päätöksenteon objektiivisena pohjana haastavissa arviointitilanteissa. Tämä on tärkeää aina, kun ilmenee ongelma, joka on monialainen, eikä siksi kohdistu suoraan yhdenkään yksittäisen viranomaisen toimialaan tai kun ydinturvallisuus-

teen kohdistuu ulkopuolinen vaade tai odotus, joka merkittävästi poikkeaa aiemmin totutusta.

## Ydinjätelaitoksen kokonaisturvallisuuskäsitys

Turvallisuuden arvioiminen on tehtävä objektiivisin kriteerein, ts. ilman subjektiivista arviointia suunnittelijan, luvanhaltijan tai viranomaisen taholta, vaikka täydellisen objektiiviseen arviointiin onkin käytännössä vaikea päästä. Turvallisuuden arvioinnissa on otettava huomioon laaja kirjo erilaisia turvallisuutta vaarantavia tai turvallisuuskäsitykseen vaikuttavia tekijöitä. Kokonaisturvallisuuden uhkakuviin täytyykin sisällyttää ainakin:

- Käytön aikaiseen turvallisuuteen vaikuttavat käyttöhäiriöt ja onnettomuudet
- Loppusijoitusjärjestelmään kohdistuvat häiriöt ja alkuviat: eri perustein oletetut rakentamisen aiheuttamat häiriöt kallioperään sekä teknisten vapautumisesteiden alkuviat
- Loppusijoituslaitokseen kohdistuvat kehityskulut, jotka uhkaavat pitkäaikaisturvallisuutta, niin luonnonilmiöt kuin inhimilliseen toimintaan liittyvät tapahtumat
- Ihmisen ja organisaation virheellinen toiminta.
- Turvallisuusperustelun metodiikka.

Syvyyspuolustusperiaatteen mukaisesti erilaisia uhkia vastaan on syytä olla useampia toisistaan riippumattomia puolustautumisen tasoja (esim. loppusijoituspaikan valinta, rakentamisen ja valmistuksen valvontaa, monitorointia, moniesteperiaate, varautuminen eri kehityskulkuihin). Ydinjätteen loppusijoituksessa ei voida noudattaa syvyyspuolustusperiaatteen mukaista riippumattomuutta ja siten ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus rakentuu pitkälti passiivisia turvallisuustoimintoja toteuttavien ja toisiaan täydentävien vapautumisesteiden varaan eli puhutaan moniesteperiaatteesta. Siksi on erityisen tärkeää ymmärtää loppusijoitusjärjestelmän eri prosessien ja vapautumisesteiden (järjestelmien) keskinäisiä vuorovaikutuksia ja niiden tuloksena muodostuvia kokonaisuuden ominaisuuksia, siis laitosta ”järjestelmien järjestelmänä”. Lisäksi on kyettävä huomioimaan myös ihmisen ja organisaation toimintaan liittyvät riskit ja hallittava niiden aiheuttamat riskit järjestelmien elinkaaren kaikissa vaiheissa.

Ydinjätelaitoksen kokonaisturvallisuuskäsityksen muodostamiseksi erityyppisiä riskejä ja varautumista niitä vastaan olisi hyvä pystyä käsittelemään jossain määrin yhteismitallisesti. Laitoksen ja järjestelmien mitoittamisessa erilaisia käytön aikaista turvallisuutta ja pitkäaikaisturvallisuutta koskevia uhkia vastaan hyödynnetään perinteisesti erilaisia suunnitteluun tai turvallisuuden arvioimiseen liittyviä marginaaleja, mutta eri tekniikanaloilla marginaalien käsittely ei ole kovin yhdenmukaista. Myös deterministisissä analyyseissä käytettävät hyväksymiskriteerit sisältävät usein marginaaleja siten, että hyväksymiskriteerin lievä ylittäminen ei suoraan johda seurausten merkittävään pahenemiseen. Todennäköisyyspohjainen analyysi pyrkii käsittelemään eri asioita yhteismitallisesti, mutta sen näkökulmana ovat jätepakkausten eheyden rikkoutumiseen tai ympäristöpäästöön johtavat tapahtumaketjut ja lisäksi todennäköisyyksien määrittäminen pitkän ajanjakson kehityskuluissa sisältää huomattavia epävarmuuksia. Turvallisuusmarginaalin käsitettä ja soveltamista eri osa-alueilla olisi tarpeen kartoittaa sekä pyrkiä luomaan menetelmä eri tavoilla hyödynnettyjen marginaalien keskinäiseksi vertailuksi. Selkeä turvallisuusmarginaalikäsitys helpottaisi myös riskiin suhteutetun lähestymistavan (Graded approach) soveltamista käytännössä.

### **Organisaatio, ihminen ja sidosryhmät**

Useat organisaatiot vaikuttavat ydinjätelaitosten turvallisuuteen turvallisuuden perustelun sekä laitosten suunnittelun, rakentamisen, käyttöönoton ja käytön eri vaiheissa. Ihmisten ja organisaatioiden sekä sidosryhmien tehtävien, roolien ja toimintakäytäntöjen tutkimus kokonaisturvallisuuden edellytyksenä on yksi tutkimustarpeista. Kokonaisturvallisuudesta huolehtiminen edellyttää, että organisaatio toimii vastuullisesti. Organisaation toiminta turvallisuuden kannalta edellyttää vastuullista turvallisuusjohtamista. Turvallisuusjohtaminen vaikuttaa toimintaan paitsi laitosten sisällä myös työ- ja toimintaketjujen ohjaamisessa ja eri tahojen yhteistyön järjestämisessä. On syytä tunnistaa kokonaisturvallisuuden johtamisen kannalta keskeiset tekijät.

### **Toimintaprosessit kokonaisturvallisuuden tukena ja suunnittelun hallinnassa (Systems Engineering)**

Ydinjätelaitoksen, sen suunnitteluun, turvallisuusperusteluun sekä sen rakentamiseen ja käyttöön liittyvät toimintaprosessit vaikuttavat laitoksen kokonaisturvalli-

suuteen. Turvallisuuteen vaikuttavat niin laitoksen järjestelmät, rakenteet, komponentit, niitä kuvaava informaatio, kuin myös johtamiseen, suunnitteluun, laadunhallintaan, hankintoihin ym. liittyvät toimintaprosessit.

Kokonaisturvallisuuden hallitsemiseksi alalla tarvitaan selkeitä ja yhteisesti hyväksytyjä ja hyvin kuvattuja toimintaprosesseja, toimintakäytäntöjä sekä informaatiomalleja. Turvallisuusperustelujen rakennetta – informaatiomallia – ja informaation tuottamiseen tarvittavia – toimintaprosesseja – tulee tutkia ja kehittää.

### **Teknisiin turvallisuusratkaisuihin vaikuttavat tekijät**

Koskien ydinjätelaitosten käyttöturvallisuutta, suunnittelussa on varauduttava erilaisiin sisäisiin ja ulkoisiin tapahtumiin, joista laitoksen pitää selvittää myös silloin, kun siinä on vikoja. Tämän osoittamiseksi tehdään vika- ja vaikutusanalyysyjä sekä analyysyjä laitoksen käyttäytymisestä tarkasteltavan tapahtuman seurauksena, ja lisäksi suunnittelun hyvyttä tarkastellaan PRA:n (Probabilistic Risk Assessment) avulla.

Ydinjätteiden pitkäaikaisturvallisuus perustuu suunnitteluun, sekä käytön aikana tehtyyn rakentamiseen ja valmistamiseen, joilla saavutetaan pitkäaikaisturvallisuuden kannalta hyväksyttävä järjestelmän alkutila. Pitkäaikaisturvallisuuden osalta suunnittelussa on puolestaan otettava huomioon todennäköisenä pidettävät kehityskulut, joiden lisäksi on varauduttava harvinaisiin tapahtumiin. Ydinjätteen loppusijoituslaitoksen turvallisuuden osoittamiseksi on määriteltävä vapautumisesteille toisiaan täydentävät turvallisuustoiminnot joihin pitkäaikaisturvallisuus perustuu. Pitkäaikaisturvallisuutta koskevien ydin- ja säteilyturvallisuusvaatimusten täyttyminen sekä loppusijoitusmenetelmän, teknisten vapautumisesteiden ja loppusijoituspaikan soveltuvuus on osoitettava turvallisuusperustelulla, jossa on tarkasteltava loppusijoitusjärjestelmän mahdollisia kehityskulkuja, mukaan lukien pitkäaikaisturvallisuutta heikentävistä harvinaisista tapahtumista aiheutuvat kehityskulut. Turvallisuusperusteluun kuuluu mm. kehityskulkuihin perustuva laskennallinen turvallisuusanalyysi sekä täydentävät tarkastelut.

Syvyyspuolustuksen eri tasojen integrointi vaatii kuitenkin kokonaisuustarkastelun, jossa käyttöturvallisuus, käytön aikainen rakentaminen ja valmistus sekä pitkäaikaisturvallisuus ovat mukana. On tarpeen kehittää menetelmiä, joilla kokonaisturvallisuutta voidaan paremmin ymmärtää ja kehittää.

## Riskikäsitys ja riskien hyväksyttävyyys

Ydinenergian käytön peruseriaate on, että ydinenergian käytön on oltava turvallista, eikä siitä saa aiheutua vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle. Turvallisuus koskee koko ydinenergian käyttöä mukaan lukien ydinjätteiden loppusijoitus ja sen pitkäaikaisturvallisuus.

Ydinjätteiden loppusijoituksessa periaate on, että tulevaisuudessa elävien ihmisyyksilöiden ja -populaatioiden säteilyturvallisuuskriteerit ovat samat kuin nykyisenkin väestön. Ydinjätteiden loppusijoituksen osalta noudatettava säteilyannosrajoitus on hyvin matala verrattuna suomalaisen keskimääräiseen annokseen.

Ydinjätteen geologisen loppusijoituksen periaatteita ovat ydinjätteen eristäminen niin pitkään kuin mahdollista pois ihmisten elinpiiristä ja ihmisen loppusijoitustilaan tunkeutumisen riskin vähentäminen. Molempiin on vaikutusta loppusijoituksen syvyydellä (parempi eristys maanpintaympäristön häiriöistä ja pidempi kulkeutumismatka pintaympäristöön eristyksen pettäessä; pienempi mahdollisuus ihmisen tunkeutumiseen verrattuna maanpinnan läheiseen loppusijoitukseen tai väli-varastointiin) ja teknisillä vapautumisesteillä. Loppusijoituksen turvallisuus pitkällä aikavälillä (pitkäaikaisturvallisuus) perustuu toisiaan täydentäviin vapautumisesteisiin eli ns. moniesteperiaatteeseen, jossa yhden tai useamman vapautumisesteen toimimattomuus ei saa vaarantaa loppusijoituksen turvallisuutta. Vapautumisesteet koostuvat luonnollisesta vapautumisesteestä (kallioperä) ja teknisistä vapautumisesteistä (esim. loppusijoituskapseli, bentoniittipuskuri, tunnelitäyttö ja tunnelien tulpat ja muut sulkurakenteet).

Tulevaisuuden mahdollisia säteilyannoksia arvioidaan turvallisuusperustelussa skenaarioihin (loppusijoitusjärjestelmän mahdollisia kehityskulkuja) perustuvilla analyyseillä. Analyyseissa on usein konservatiivisia oletuksia – seurauksien yliarvioinnilla pyritään kompensoimaan tulevaisuuden kehityskulkuihin liittyviä epävarmuuksia.

Arvioitaessa ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuutta pitkällä aikavälillä täytyy turvallisuutta arvioida kokonaisuutena, joka pitää sisällään loppusijoitusjärjestelmään kuuluvien vapautumisesteiden toimintakyvyn pitkällä aikavälillä, vapautuvien radioaktiivisten aineiden kulkeutumisen sekä annoslaskennan eri kehityskulkujen valossa. Tulevaisuuden tarkastelut sisältävät väistämättä epävarmuuksia – tu-

levaisuutta ei voida ennustaa, voidaan vain tehdä parhaaseen tietoon perustuvia arvioita turvallisuuteen vaikuttavista tapahtumakuluista ja suunnitella ratkaisuja, jotka kestävät erilaisia uhkia mahdollisimman hyvin. Turvallisuuden arvioinnin yhteydessä on muodostettava käsitys kokonaisuuteen liittyvistä epävarmuuksista ja muodostettava sen perusteella käsitys riskeistä. Tehtäessä päätöstä loppusijoituksen turvallisuudesta ja hyväksyttävyydestä on riskien oltava hyväksyttävällä tasolla. Tutkimus, jossa vertaillaan minkälaisia riskikäsityksiä, riskien hallintaa ja riskien hyväksyttävyyttä on muilla aloilla verrattuna ydinturvallisuusosalalla, on tarpeellista.

### 3.1.2 Käytetyn ydinpolttoaineen huolto

Käytetyn ydinpolttoaineen huollon merkittävimmät tutkimushaasteet koskevat loppusijoituslaitoksen pitkäaikaisturvallisuutta. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuusperustelun laatii Posiva. KYT2022-ohjelman kannalta mahdolliset tutkimusaiheet liittyvät suunnitellun loppusijoitusjärjestelmän toimintakykyyn ja niiden osajärjestelmien toimintakykyyn, joiden varassa turvallisuusperustelu pääasiassa lepää.

Maanalaisen loppusijoituslaitoksen moniestejärjestelmä koostuu teknisistä ja luonnollisista vapautumisesteistä. Käytettyä polttoainetta ympäröivään moniestejärjestelmään kuuluu käytetystä polttoaineesta päin katsottuna kapseli, bentoniittipuskuri, tunnelitäyteaine ja kallioperä, joiden läpi radionuklidien ajatellaan vapautumisen jälkeen kulkevan pääosin pohjaveden kuljettamana. Ihmisen ja muun elollisen luonnon altistuminen radionuklideille tapahtuu biosfäärissä.

### Toimintakykyanalyysi

KYT2022-tutkimusohjelmassa ei tähdätä kokonaisvaltaisen turvallisuusperustelun laatimiseen, joka on luvanhakijan vastuulla. Sen sijaan tutkimusohjelmassa voidaan tehdä rajattuja toimintakykytarkasteluja olennaisista pitkäaikaisturvallisuuteen vaikuttavista moniestejärjestelmän vuorovaikutusilmiöistä. Mahdollisia tutkimusaiheita voivat esimerkiksi olla:

- Raportoidussa turvallisuusperustelussa käytettyjen perustavaa laatua olevien oletusten testaaminen



- Poikkitieteelliset tutkimukset loppusijoitustilan sulkemisen jälkeisen muutosvaiheen<sup>4</sup> ilmiöistä, niiden turvallisuusvaikutuksista ja niiden turvallisuusvaikutusten arvioinnin epävarmuuksista
- Loppusijoituslaitoksen turvallisuuden kannalta tärkeimpien osajärjestelmien tutkimukset.

Turvallisuusperusteluissa on eräitä keskeisiä oletuksia, joiden tieteellinen testaaminen pitkäaikaisturvallisuuden kannalta sopii KYT-ohjelman tavoitteisiin. Esimerkkinä tällaisista voidaan mainita polttoaineen ominaisuuksien tarkastelu loppusijoitusolosuhteissa, paleohydrogeologisen evoluution (ikiROUTAVAIHE, JÄÄTIKKÖVAIHE, SULAMISVAIHE) oletusten vaikutukset pitkäaikaisturvallisuuteen tai se, minkälainen pitkäaikaisturvallisuusvaikutus on radiumin käyttäytymisestä tehdyillä oletuksilla (esim. vapautumisnopeus, kulkeutumisenopeus, keraSTUMINEN). Muitakin keskeisiä oletuksia voidaan testata.

Loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen sen sisällä ja ympärillä on samanaikaisesti monenlaisia muutosvaiheen ilmiöitä: kemiallisia, kalliomekaanisia, hydrologisia, termisiä, biologisia ja säteilyyn liittyviä. Niihin liittyy monenlaisia kytkettyjä prosesseja. Kiivain muutosvaihe on ohi muutamassa tuhannessa vuodessa, kun käytetyn polttoaineen lämmöntuotto laskee merkittävästi, mutta se voi aiheuttaa moniestejärjestelmään osin palautumattomia muutoksia. Muutosvaiheen ja sen vaikutusmekanismien (loppusijoitustilassa tapahtuvat ilmiöt ja niiden keskinäiset vuorovaikutukset) tarkka tutkiminen edellyttää useiden tieteenalojen samanaikaista hyvin koordinoitua poikkitieteellistä analyysia. Poikkitieteellisen analyysin jälkeen voidaan arvioida muutosvaiheen turvallisuusvaikutusta.

Radioaktiivinen hiili-isotooppi C-14 on osoittautunut loppusijoituksen turvallisuus-analyseissa radiologiselta vaikutukseltaan merkittäväksi radionuklidiksi voimalaitosjätteessä, käytetyssä polttoaineessa ja käytöstäpoistoJätteessä. Hiili-isotooppi C-14:n kemialliseen esiintymismuotoon loppusijoitusolosuhteissa liittyy vielä epävarmuuksia, jotka välittyvät vastaavasti sen kemiallisen käyttäytymisen arvioihin.

---

4 Sulkemisen jälkeen monet loppusijoitustilan ominaisuudet muuttuvat nopeasti ja samanaikaisesti ajan ja paikan funktiona. Tätä erittäin monimutkaista vaihetta kutsutaan tässä lyhyesti muutosvaiheeksi. Englanninkielisessä kirjallisuudessa puhutaan usein termistä transient.

Näin ollen C-14:n lähteiden, kemiallisten osalajien määrätymisen ja käyttäytymisen entistä tarkempi tutkiminen loppusijoitusolosuhteissa on perusteltua.

Kun Suomessa ollaan siirtymässä kohti teollisen mittakaavan loppusijoitusta, on pidettävä mielessä, että teknisen vapautumisestejärjestelmän (lähinnä kapseli, bentoniittipuskuri, täyteaine ja sulkurakenteet) osajärjestelmätasoinenkin muuttaminen teollistamisprosessissa edellyttää muutosten mahdollisten turvallisuusvaikutusten arviointia. Teollistamista tarkastellaan yksityiskohtaisemmin luvussa 3.2.

Edellä mainittujen puhtaasti teknisten aiheiden lisäksi tutkimusohjelmassa kannustetaan teknisen toimintakyky-/turvallisuusperusteluajattelun ja hyväksyttävyyssajattelun kytkemiseen toisiinsa. Teknisen toimivuuden ja turvallisuuden osoittaminen ei itsessään riitä, vaan loppusijoitusprojektin etenemiseksi on saavutettava myös yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys.

## **Osajärjestelmiä**

Seuraavassa kuvataan käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen liittyviä ilmiöitä ja osajärjestelmiä ja niihin liittyviä tutkimustarpeita. Näistä osa liittyy myös myöhempanä luvussa kuvattavien voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen loppusijoitukseen ja osa tutkimusaiheista esim. betonin kohdalla liittyy matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitukseen ja biosfääriin kohdalla myös sekä matala- ja keskiaktiivisen jätteen että hyvin matala-aktiivisen jätteen loppusijoitukseen. KYT2022-tutkimusohjelman yksi tavoite on luoda perusteltu käsitys loppusijoituksen osajärjestelmien keskinäisestä vuorovaikutuksesta, koska pitkäaikaisturvallisuutta arvioitaessa monies-tejärjestelmää tarkastellaan kokonaisuutena.

## ***Käytetty polttoaine***

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. Erilaisten poistopalamien seurauksena vastaavissa käytetyissä polttoaine-erissä on erilainen nuklidijakauma, mikä on otettava huomioon jätehuollossa ja erityisesti pitkäaikaisturvallisuutta arvioitaessa. Erilaiset

polttoainekierrat ja erilaisiin polttoainekiertoihin ja polttoaineisiin liittyvä proliferaatoriski<sup>5</sup> ovat oleellisia globaaleja aihepiirejä mietittäessä erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja suoralle loppusijoitukselle. Uusi mahdollinen polttoainekierto liittyy kansainvälistä kiinnostusta herättäneisiin pieniin modulaarisiin reaktoreihin (SMR, small modular reactor), joita suunnitellaan useassa maassa. Polttoainekierron aihepiirissä on mahdollista tehdä yhteistyötä SAFIR-ohjelman kanssa.

### ***Kapseli***

Loppusijoituskapselia voidaan pitää KBS-3-konseptin tärkeimpänä yksittäisenä vapautumisesteenä. 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. Vaikka kapselin toimintakykyyn vaikuttavia seikkoja on tutkittu pitkään, käydään aiheesta edelleen keskustelua ja varmentavia lisäselvitystarpeita liittyy mm. yleiseen kuparin korroosioon ja jännityskorroosiomekanismeihin. Kuparin virumisvaurion tutkimus aineettariikkomattomasti, kuparin deformaatiomekanismit, valuraudan lujuuteen ja sitkeyteen vaikuttavat tekijät ja kuparin jännityskorroosion mekanismit ovat myös esimerkkejä mahdollisista tutkimuskohteista.

### ***Puskuri, täyteaineet***

KBS-3-konseptin puskuri- ja täyteaineiden toimintakyvyn luotettava arviointi on oleellista turvallisuusperustelun luotettavuuden kannalta. Sitä varten viranomais-ten käytettävissä on oltava riittävästi korkeatasoista osaamista näiden aineiden toimintakyvystä ja sen vaikutuksesta pitkäaikaisturvallisuuteen. Bentoniittipuskuri on keskeinen osa, sillä jos puskuri ei toimi ennakoitusti, voi sen sisällä olevan loppusijoituskapselin pitkä elinikä vaarantua mm. lisääntyneen korroosion vaikutuksesta. Bentoniittia tai muita savimateriaaleja käytetään todennäköisesti myös tunnelien täyteaineessa ja sulkurakenteissa. Bentoniittiin liittyy useita loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeisiä selvitystarpeita kuten kytketyt THMC (termo-hydro-mekaanis-kemiallinen) -prosessit, mikrorakenteen tutkimus, eroosio, mikrobivaikutus,

---

5 Proliferaatio =ydinmateriaalien, -teknologian ja -aseiden leviäminen (vastuuttomille tahoille)

säteilyn vaikutus, minerologiset muutokset ja jäätyminen vaikutukset. Puskurin ja täytön monitorointi on myös mahdollinen tutkimusaihe.

### ***Betoni***

Betonirakenteiden pitkäaikaiskäyttäytyminen loppusijoitusolosuhteissa on olennainen tutkimuskohde käytetyn polttoaineen, voimalaitosjätteen ja käytöstöpoistojätteen 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. Mahdollisia tutkimuskohteita KYT2022-ohjelmassa ovat esimerkiksi matalan pH:n sementti ja sementti tutkimusreikien sulkeemisessa sekä säteilyn pitkän aikavälin vaikutukset sementtiin (matalan ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituksessa).

### ***Kallioperä***

Kallioperä on geologisessa loppusijoituksessa luonnonympäristö, jonne jätteet sijoitetaan, joten kallioperän ilmiöiden tunteminen (mm. siirrosvyöhykkeet, rakoilu, pohjavesivirtaus, pohjavesikemia, mikrobiologia ja radionuklidien kulkeutuminen) muodostaa pohjan turvallisuuden arvioimiselle. Tässä yhteydessä kallion stabiiliuden ja kulkeutumisominaisuuksien tunteminen on tärkeää. Kalliorakentamisen mekaaniset kysymykset voivat myös tulla kyseeseen tutkimusaiheina. Kallioperän pidätysominaisuudet, kalliomallien epävarmuuden arviointi, kallioperän rikkonaisuuden geologinen tausta, radionuklidien kulkeutumismallinnus ja pohjaveden virtausmallinnus ovat mahdollisia tutkimuskohteita KYT2022-ohjelmassa. Hydrogeologisten ja hydrogeokemiallisten muutosten ymmärtäminen ja radionuklidien käyttäytyminen eri vapautumisesteiden rajapinnoilla tarjoavat myös mahdollisia tutkimusaiheita.

### ***Biosfääri***

Radionuklidien kulkeutumisen tarkastelu biosfäärissä on tarpeen, koska ihmisten ja muiden eliöiden mahdollinen altistuminen radioaktiivisista jätteistä vapautuville radionuklideille tapahtuu siellä. Eri altistusreittien arviointi useiden tuhansien vuosien yli edellyttää myös biosfäärin kehittymisen arvioimista, johon liittyy maan-

kohoamisen vaikutus rannikkoseudulla, ilmastonmuutos sekä tulevien jääkausien aiheuttamat muutokset. Ulkoisten muutosten myötä alueella vallitsevat ekosysteemit muuttuvat ja kehittyvät toisenlaisiksi. Tämän kehityskulun ymmärtäminen on tärkeää.

### 3.1.3 Voimalaitosjätteiden huolto

Voimalaitoksissa syntyvän voimalaitosjätteen huolto käsittää eri aktiivisuussisältöisiä jätejakeita hyvin matala-aktiivisesta keskiaktiiviseen jätteeseen saakka. Suomessa voimalaitosjätteiden huollon menetelmäksi on valittu geologinen loppusijoitus. Matala-aktiivisimpiin jätteisiin voitaisiin kuitenkin soveltaa muita loppusijoitusvaihtoehtoja kuten hyvin matala-aktiivisen jätteen maaperäloppusijoitusta, jonka kannalta edellisessä kappaleessa kuvatun biosfäärin ymmärtäminen on erityisen tärkeää, koska kallioperän radionuklidien kulkeutumista viivästävä vaikutus jää olennaisesti pois.

Ydinvoimalaitosten uudet tekniset ratkaisut muuttavat mahdollisesti myös loppusijoitettavan jätteen laatua ja tämän kehityksen huomioiminen on mahdollista KYT-ohjelman piirissä. Nestemäisten jätteiden kiinteytysmatriisiin (betoni, geopolymerit, jne.) sekä loppusijoitettavan jätemäärän tilavuuden vähentämiseksi, esimerkiksi termisin käsittelyin, liittyvät tutkimukset sopivat myös tutkimusohjelman aihepiiriin. Loppusijoitettavan jätemäärän vähentämiseen liittyy myös hyvin matala-aktiivisen jätteen valvonnasta vapauttamiseen tähtäävä toiminta. Kaasun muodostuminen, kulkeutuminen ja sen radiologiset vaikutukset liittyvät voimalaitosjätteiden huollon aihepiiriin.

Matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoituslaitoksissa on paljon betonirakenteita ja betonisia jätepakkauksia, kuten osiossa 3.1.2 mainittiin. Tämän vuoksi betonin pitkäaikaiskestävyyteen liittyvät tutkimukset ovat hyödyllisiä KYT-tutkimusohjelmassa. Betonirakenteiden mekaanisen kestävyuden lisäksi kiinnostavaa on betonin aikaansaaman korkean pH:n ympäristön pysyvyys, koska korkea pH esimerkiksi hidastaa metallijätteiden korroosiota. Alkalisilikaattireaktion vaikutus loppusijoitusrakenteissa on tärkeä selvityskohde.

### 3.1.4 Käytöstäpoistojätteen huolto

Toistaiseksi Suomessa ei ole poistettu käytöstä eikä purettu ydinlaitoksia, ydinvoimalaitosten käytöstäpoistoa on kuitenkin suunniteltu useita vuosia. VTT:n tutkimusreaktorin käytöstäpoistoprojekti on ensimmäinen jo käynnistynyt suomalainen käytöstäpoistoprojekti ja se nähdään myös KYT:in kannalta hyödyllisenä oppimiskohteena.

Useissa muissa maissa on käytöstäpoistosta kertynyt jo kokemusta. Arvioitaessa ydinjätehuollon mahdollisia ratkaisuja voi esiin nousta muissa maissa tutkittuja ja käytössä olevia, mutta Suomessa hyödyntämättömiä ja tutkimattomia vaihtoehtoja, esim. maaperäloppusijoitus tai uudet tekniset menetelmät ennen loppusijoitusta (ns. pre-disposal -toimet).

Ennen kuin käytöstäpoistossa syntynyt käytöstäpoistojäte voidaan loppusijoittaa, on tarpeen selvittää tarkasti jätteen radiokemiallinen koostumus. Ydinlaitosten purkuvaiheessa tulee paljon suurikokoista metalli- ja betonijätettä, jolle on löydettävä nopeita ja luotettavia näytteenotto- ja karakterisointimenetelmiä radionuklidien inventaarin selvittämiseksi. Jätteiden joukossa on vaikeasti mitattavia nuklideja, joiden havaitsemiseksi tarvitaan luotettavia analyttisiä metodeja ja todennettua laskentaa. Näiden menetelmien ja aihepiirin osaamisen kehittäminen on tärkeää, kun Suomessa siirrytään kohti ensimmäisiä käytöstäpoistettavia reaktoreja. Myös tehokkaat menettelyt jätteiden valvonnasta vapauttamiseksi voivat tuoda uusia näkökulmia jätehuoltoon.

Käytöstäpoistojätteiden loppusijoituksen osalta periaatteet ja menetelmät ovat samantyyppisiä kuin muunkin matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen huollossa ja biosfäärin ja betonisten rakenteiden käyttäytymisen osalta käytetyn polttoaineen loppusijoituksessa; niitä on kuvattu edellisissä osioissa. Käytöstäpoistojätteen osalta olisi myös tarpeen tutkia jätepakkauksena toimivien reaktoripaineastioiden pitkäaikaiskestävyyttä oletetuissa loppusijoitusolosuhteissa. Kemiallisen ja mekaanisen evoluution yhdistäminen muihin prosesseihin toisi arvokasta tietoa pitkäaikaisturvallisuudesta.

### 3.1.5 Muun radioaktiivisen jätteen huolto

KYT-tutkimusohjelmassa voidaan tutkia myös muita radioaktiivia jätteitä erityisesti, mikäli ne käsitellään, välivarastoidaan tai loppusijoitetaan ydinlaitosten laitosalueille. Tällaisia jätteitä voisivat olla luonnossa esiintyvät radioaktiiviset aineet (Naturally Occuring Radioactive Material, NORM), käytöstäpoistetut umpilähteet ml. korkea-aktiiviset umpilähteet (High Activity Sealed Source, HASS) ja niiden käytön yhteydessä tai seurauksena syntyneet radioaktiiviset jätteet.

NORM-jätteellä tarkoitetaan yleensä urania ja toriumia tytäraineineen sisältävää jätettä. NORM-jäte kuuluu ydinenergialainsäädännön piiriin, mikäli se luokitellaan ydinaineeksi tai ydinjätteeksi. Ydinjätteellä tarkoitetaan ydinenergian tuottamisen yhteydessä tai seurauksena syntyneitä radioaktiivisia jätteitä. Koska ydinenergian käytöllä tarkoitetaan myös kaivos- ja malminrikastustoimintaa, jonka tarkoituksena on uraanin tai toriumin tuotanto, voi tällainen toiminta tuottaa eräiden ydinenergialainsäädännössä asetettujen edellytysten täytyessä ydinjätettä. NORM-jätteen tuottaja on velvollinen huolehtimaan tuottamansa jätteen huollosta.

Umpilähteillä tarkoitetaan radioaktiivista ainetta sisältävää säteilylähdetta, jonka rakenne tai ominaisuudet estävät suunnitelluissa käyttöolosuhteissa radioaktiivisen aineen leviämisen ympäristöön. Umpilähde on poistettava käytöstä, kun se on tullut teknisen käyttöikänsä päähän. Umpilähteitä välivarastoidaan ja loppusijoitetaan tällä hetkellä Olkiluodossa sosiaali- ja terveystieteiden ja Teollisuuden Voima Oyj:n välisen sopimuksen perusteella.

Osaa korkea-aktiivisimmista umpilähteistä ei voida palauttaa ulkomaille valmistajalle tai toimittajalle ja ne jäävät käytöstä poiston yhteydessä Suomeen. Suomessa ei tällä hetkellä ole HASS-lähteille hyväksyttyä loppusijoituspaikkaa ja tutkittavaksi jäämillä teknisillä ratkaisuilla ja edellytyksillä niiden loppusijoittaminen ydinlaitosalueille olisi mahdollista.

### 3.1.6 Ydinjätehuollon turvallisuuteen liittyviä avainaiheita

Edellä käytiin läpi ydinjätehuollon turvallisuuteen liittyviä tutkimusaiheita, joita on tutkittu myös aiemmissa KYT-ohjelmissa. Monia aiheita, esim. loppusijoituksen osajärjestelmiä on tutkittu omina tietyn tieteenalan osakokonaisuuksinaan ja niistä on

opittu paljon. Ydinjätelaitoksen kokonaisturvallisuuden ja erityisesti pitkäaikaisturvallisuuden arvioimista varten on tarpeen tarkastella esim. teknisten vapautumistaiden järjestelmää kokonaisuutena usean tieteenalan koordinoituna yhteistyönä.

KYT2022-ohjelmassa halutaan nostaa esiin sellaisia poikkitieteellisiä uusia tutkimusaiheita tai näkökulmia aiemmin tutkittuihin aiheisiin, joita parhaiten tutkittaisiin koordinoituissa hankkeissa:

- Käytöstäpoistokonsepti, johon voi liittyä esim. jätteiden karakterisointia ja paineastian kestävyystutkimusta loppusijoitusolosuhteissa. Aiheessa on mahdollista tehdä KYT-SAFIR-yhteistyötä ja kehitetyllä kansallisella valmiudella voi olla kansainvälistä yhteistyöpotentiaalia, sillä käytöstäpoisto on maailmalaajuisesti lisääntyvän huomion kohteena
- Vapautumisestajärjestelmän osien keskinäiset vuorovaikutukset loppusijoitusolosuhteissa, esim. mikrobien vaikutus teknisten vapautumisestaiden järjestelmään
- Loppusijoitustilan sulkemisen jälkeisen voimakkaimman muutosvaiheen (esim. käytetyn polttoaineen voimakas lämmöntuotto muutaman tuhannen vuoden ajan) vaikutus teknisten vapautumisestaiden järjestelmään.

Muistakin aiheista voidaan esittää koordinoituja hankkeita. Edellä mainitut esimerkit eivät sulje pois muita aihepiirejä.

Koordinoitujen hankkeiden aiheiden lisäksi avainaiheeksi voidaan katsoa matala-aktiivisten jätteiden maaperäloppusijoitus, joka on KYT-ohjelmassa uusi aihe, mutta kansainvälisesti maaperäloppusijoituslaitoksia on jo olemassa. Riskiin suhteutetun lähestymistavan (graded approach) mukaisesti matala-aktiivisten jätteiden loppusijoittaminen lähelle maaperää suhteuttaisi teknisten vapautumisestaiden järjestelmää jätteiden vähäiseksi luokiteltuun säteilyvaarallisuuteen.



## 3.2 Ydinjätehuollon toteutettavuus

Suomessa ydinjätteen loppusijoitusjärjestelmän kehitys on kansainvälisesti verrattuna pitkälle edennyt ja yhdeksi kansallisen tutkimuksen painopisteeksi on noussut ydinjätehuollon toteutettavuus. Tämä käsittää erilaiset toimet loppusijoitusjärjestelmän vaatimuksenmukaisuuden, valmistettavuuden, asennettavuuden ja kustannustehokkuuden saavuttamiseksi turvallisuutta vaarantamatta sekä riittävän tutkimusinfrastruktuurin ja kansallisen osaamisen säilymisen varmistamisen. Toteutettavuuteen kuuluu olennaisesti erilaisten teknologioiden toteutettavuuden arviointi ja vertailu toisiinsa.

### 3.2.1 Ydinjätehuollon teknologiat

Viranomaisten saatavilla tulee olla ajantasaista tietoa ja asiantuntemusta tutkittavista ja kehitteillä olevista ydinjätehuollon vaihtoehtoista sekä asiantuntemusta Suomessa toteutettavan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien arviointiin. Ydinjätehuollon erilaisia vaihtoehtoja ja käytettyä teknologiaa arvioidaan ja tarkennetaan aika ajoin. Samassa yhteydessä saattaa tulla esiin tarve tutkia uusia tai vaihtoehtoisia teknisiä ratkaisuja ja parantaa olemassa olevia menetelmiä.

Uusia ja vaihtoehtoisia teknologioita tutkimalla parannetaan suomalaisen ydinjätehuollon toteutusvarmuutta, mikäli nyt päävaihtoehtona oleva geologinen loppusijoitus ei toteutuisi kaavailtuna, tai mikäli kehitetään uusia menetelmiä esimerkiksi syntyvän jätteen määrän vähentämiseksi tai tehokkaammaksi ja turvallisemmaksi käsittelytavaksi. Tämä tutkimus toteutuu parhaiten osallistumalla kansainväliseen yhteistyöhön. Suomalaisten tutkimusryhmien osallistuminen kansainvälisiin tutkimusohjelmiin edellyttää kuitenkin omaa panostusta ja osaamista. Tässä aihepiirissä tutkimus voi olla luonteeltaan selvitystyyppistä ja siinä voidaan yhdistää useita aihepiiriin kuuluvia osa-alueita.

Suomessa jätehuoltovelvollisten käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus perustuu nykyisen ydinenergialainsäädännön ja ydinjätehuollon valitun toimintapolitiikan mukaisesti ydinpolttoaineen kertakäyttöön. Toisaalta Suomessakin on syytä olla tietoisia kehittyneistä polttoainekierroista ja niiden mahdollisista vaikutuksista jätehuoltoon, esim. uusien jätevirtojen kautta. Yksi mahdollinen ja maailmalla suosittu tutkimusaihe voisi olla jälleenkäsittelystrategian edelleen kehittämiseen perustu-

va erottelu ja transmutaatio (P&T, partitioning and transmutation). Tässä aihepiirissa on myös yhteistyömahdollisuus SAFIR-ohjelman kanssa. KYT-ohjelmassa on jo aiemmin tutkittu kokeellisesti radionuklidien erottamista.

Käytetyn ydinpolttoaineen väliaikaisvarastoinnin vaihtoehtoista on Suomessa käytössä vesiallasvarastointi, jota myös useat muut maat käyttävät. Vesiallasvarastoinnille on myös olemassa erilaisia kuivavarastointivaihtoehtoja; vesiallasvarastointi voidaan myös porrastaa kuivavarastointiin, niin, että alkuvaiheen suuremman lämmöntuoton aikana käytettäisiin vesiallasvarastointia. Ulkomailla kuivavarastointi alkaa jo olla päävaihtoehto uusissa laitoksissa. Osana kehittyneitä polttoainekiertoja esim. Ranskassa pohditaan myös muusta polttoainekierrosta 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.

Väliavarastoinnin ja käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelyn kohdalla on olemassa ilmeinen kytkös KYT- ja SAFIR-ohjelmien välillä, sillä aihepiiri soveltuu osin molempiin.

### 3.2.2 Ydinjätehuollon teollistaminen

Ydinjätehuollon teollistaminen liittyy kaikkien jätelajien huoltoon. Elinkaarensa eri vaiheissa olevilla loppusijoituslaitoksilla on kuitenkin erilaiset ajankohtaiset tutkimuksen painopisteet.

Matala- ja keskiaktiivisten jätteiden huoltovalmius on edistynyttä, kun taas käytetyn polttoaineen kohdalla on KBS-3 -konseptin sisällä suunnittelussa vielä mahdollisuus kehittää eri materiaaleja ja valmistusmenetelmiä ja tutkia niiden vaikutuksia pitkäaikaisturvallisuuteen. Matala- ja keskiaktiivisten jätteiden käsittely siten, että loppusijoitettava tilavuus pienenee ja jäte on saatettu vaikealiukoiseen muotoon, ovat kiinnostavia tutkimusaiheita. Erityisesti käytöstäpoistoajätteiden kohdalla on vielä runsaasti mahdollisuuksia verrata eri materiaaleja, valmistusmenetelmiä ja loppusijoituksen rakenteellisia ratkaisuvaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia pitkäaikaisturvallisuuteen.

### 3.2.3 Ydinjätehuollon tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen

Ydinjätetutkimus, kuten muukin tutkimus, vaatii korkeatasoisia kokeellisia laitteita. Osana KYT2018-ohjelmaa tuettiin kansallisen tutkimusinfrastruktuurin (Ydinturvallisuustalo) rakentamista Espooseen Teknologian tutkimuskeskus VTT:n tiloissa. Tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen on osa myös KYT2022-ohjelmaa. Ydinturvallisuustalon infrastruktuurin päälaitteiden rahoittaminen VYRin varoista jatkuu vuoteen 2020 ja toimitilakustannusten osalta vuoteen 2025 asti.

Yksi KYT-ohjelman haaste on saada Ydinturvallisuustalon moderni laitekanta palvelemaan mahdollisimman hyvin tutkimusohjelman kokeellisia hankkeita. Ydinturvallisuustalon lisäksi maassamme on kuitenkin muitakin tärkeitä tutkimusinfrastruktuureja, joita on kehitetty useimmiten tutkimuslaitosten omalla rahoituksella. Tältä osin KYT-ohjelman tavoite on kartoittaa muut ydinjätetutkimukseen soveltuvat infrastruktuurit ja niiden kansallinen käytettävyys; samassa yhteydessä on luontevaa selvittää infrastruktuureja koskevat tarpeet. Tähän liittyvä jatkohaaste on muodostaa kansallinen infrastruktuurien verkosto, joka voisi kokonaisuutena tukea tutkimusohjelman kokeellisia hankkeita.

Kansallisen infrastruktuurin verkoston pohjalta on jatkossa merkittävästi helpompaa koordinoita tutkimusinfrastruktuurin kehittämistä. KYT2022-ohjelmassa tutkimusinfrastruktuurin kehittämishankkeita voidaan rahoittaa tutkimusohjelmakauden aikana hakemuksesta osana muita tutkimus-, tutkimusinfrastruktuuri- ja täydennyskoulutushankkeita. Muutoin ydinjätehuollon tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen jatkunee myöhemmissä tutkimusohjelmissa.

## 3.3 Ydinjätehuollon hyväksyttävyys

Tutkimusohjelman ydinjätehuollon hyväksyttävyyttä käsittelevän yhteiskuntatieteellisen tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa tietoa ydinjätehuollon ja koko ydinennergia-alan hyväksyttävyydestä ja sen muutoksista Suomessa ydinlaitoshankkeiden eri vaiheissa sekä tuoda tehokkaita työkaluja ja menettelyjä hyväksyttävyydestä käytävään keskusteluun ja kansalaisten osaamisen ja kiinnostuksen lisäämiseen ydinjätehuollon kysymyksissä. Oleelliseksi tässä voi nousta sidosryhmien erilainen käsitys ydinjätehuoltoon liittyvistä epävarmuuksista, riskeistä ja turvallisuudesta.

Yhteiskunnallisen tutkimuksen tulee keskittyä aiheisiin, jotka mahdollisesti nousevat yhteiskunnalliseen keskusteluun muutamien vuosien kuluttua sekä aiheisiin, joista on hyödyllistä käydä keskustelua toistuvasti. Ydinjätehuollon hyväksyttävyyttä voidaan tarkastella useista näkökulmista, joista yksi liittyy eri viranomaisten näkemyksiin ja kokemuksiin ydinjätehuollosta. Ydinjätehuollon hyväksyttävyyttä on tarkoituksenmukaista tarkastella myös kansalaisten osalta, sillä valtioneuvostossa tehtäviin päätöksiin vaikuttavat koko yhteiskunnan arvot ja odotukset.

Ydinjätehuollon hyväksyttävyyttä voidaan tarkastella myös ydinenergialaissa omakusutun yhteiskunnan kokonaisedun käsitteen kautta. Käsite soveltuu myös ydinjätehuoltoon, sillä ydinjätehuolto vaatii toteutuakseen paitsi teknistä osaamista myös poliittista ja yhteiskunnallista hyväksyntää. Yhteiskunnan kokonaisetun antaa päätöksen tekijälle mahdollisuuden tarkastella asiaa, esimerkiksi ydinlaitoksen rakentamista, mahdollisimman laajasta näkökulmasta. Yhteiskunnan kokonaisedun käsitettä ei ole nähty tarkoituksenmukaiseksi tarkkaan määritellä ydinenergialaissa vaan yhteiskunnan kokonaisetua tarkastellaan erikseen jokaisen hankkeen kohdalla ja se voi olla erilainen eri aikoina. Näin ollen jo yhteiskunnan kokonaisedun käsite voi olla kiinnostava yhteiskunnallisen tutkimuksen aihe.

Yhteiskunnan kokonaisedun mukaisuus edellyttää myös sitä, että ydinenergian käytön on oltava turvallista niin, että siitä ei aiheudu vahinkoa ihmiselle, ympäristölle tai omaisuudelle. Turvallisuus on ydinenergialaissa nostettu yleiseksi periaatteeksi myös erikseen, sillä ydinenergian käytön tulee olla aina turvallista eikä siihen voi liittyä tarkoituksenmukaisuuden harkintaa. Turvallisuus on todettu merkittäväksi tekijäksi myös kansalaisten mielipiteissä ydinjätehuollon hyväksyttävyydestä eikä turvallisuusajattelun kytkeytymistä ydinjätehuollon hyväksyttävyyteen voi siksi korostaa liiaksi. Mielenkiintoiseksi tutkimusaiheeksi voikin nousta se, miten ydinjätehuollon turvallisuuden osoittamiseksi laadittua turvallisuusperustelua (STUK 2018) on käytetty, tai voidaan käyttää, ydinjätehuollon hyväksyttävyykeskustelussa. Myös ydinjätehuoltoa toteuttavien yhtiöiden turvallisuuskulttuurin tila ja viestinnän onnistuminen voivat vaikuttaa merkittävästi ydinjätehuollon hyväksyttävyyteen.

Yhteiskunnan kokonaisedun mukaisuuden tulee toteutua koko ydinjätelaitoksen elinkaaren ajan. Ydinlaitoshankkeen suunniteltu elinkaari on tyypillisesti useita kymmeniä vuosia ja käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitok-

sen osalta yli sata vuotta. Suomessa käytössä olevat ydinvoimalaitokset tulevat elinkaarensa päätökseen tulevien vuosikymmenien aikana.

Tulevina vuosikymmeninä Suomessa tehdään päätöksiä myös siitä, tuleeko Suomessa olemaan yksi vai useampia käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksia. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen odotetaan alkavan Olkiluodossa 2020-luvulla. Käytetyn ydinpolttoaineen ydinjätehuolto on ollut tärkeä aihe ydinjätehuollon yhteiskunnallisena tutkimuksena KYT2018-tutkimusohjelman aikana ja sitä on tarkoituksenmukaista jatkaa. Kiinnostavia aiheita ovat:

- Toteutunut eettinen ja julkinen keskustelu
- Loppusijoitus suunnitelmien kehittyminen teolliseksi toiminnaksi (teollistaminen)
- Loppusijoituksen toteutettavuus
- Loppusijoituslaitosten sulkemisen jälkeisen tarkkailun ja valvonnan tarve
- Tiedon luotettavuus ja säilyttäminen.

Julkisen keskustelun määrä ydinjätehuollosta vaihtelee ajasta ja paikasta riippuen. Myös keskustelun määrällä on vaikutusta ydinjätehuollon hyväksyttävyyteen. Myös ulkomailla käytävällä keskustelulla voi olla vaikutusta ydinjätehuollon hyväksyttävyyteen Suomessa. Loppusijoituksen pitkään ajalliseen keston liittyä kysymyksiä sukupolvien välisestä oikeudenmukaisuudesta, ts. millainen taakka jätetään tuleville sukupolville ydinjätteiden muodossa ja kuka vastaa mahdollisista pitkän aikavälin kustannuksista. Pitkään ajanjaksoon liittyä oleellisena osana myös tiedon luotettavuuteen ja tiedon säilyttämiseen liittyvät kysymykset. Miten varmistaa, että tieto loppusijoitustilasta säilyy riittävän pitkälle tulevaisuuteen ja että tieto on ymmärrettävää sisältönsä puolesta? Vastuu ydinjätteestä siirtyä valtiolle sen jälkeen, kun loppusijoitustilat on suljettu hyväksytyllä tavalla. Valtio voi suorittaa sulkemisen jälkeistä tarkkailua ja valvontaa tarkoituksenmukaiseksi katsomallaan tavalla. Sulkemisen jälkeisestä aikaa koskevia suunnitelmia ja menettelyjä on tällä hetkellä olemassa niukasti ja niitä tullaan tulevina vuosikymmeninä kehittämään. Ydinjätehuollon hyväksyttävyyteen Suomessa voi vaikuttaa Suomessa ydinjätehuollossa tehtävien päätösten lisäksi myös EU:n ja keskeisten jäsenmaiden ydinjätepolitiikan suuntaviivat.

Ydinjätehuollon hyväksyttävyyttä voi olla hankala kokonaan erottaa ydinvoimalaitosten käytön hyväksyttävyyttä koskevasta keskustelusta. Näin ollen ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus voi olla syytä nähdä osana laajempaa kokonaisuutta, johon kuuluu myös ydinvoimalaitosten turvallisuus ja hyväksyttävyyys. Laajemman näkökulman myötä tarjoutuu myös mahdollisuus yhteistyöhön SAFIR2022-tutkimusohjelman kanssa.

### **3.4 Erillishankkeet**

KYT2022-ohjelmassa voidaan myöntää rahoitusta tutkimusohjelman yleisiin tavoitteisiin sopiville erillisille hanke-esityksille, vaikka ne eivät muodollisesti suoraan kohdistuisi edellä mainittuihin tutkimusaiheisiin. Erillishanke-esitykset arvioidaan tutkimusohjelman yleisiä tavoitteita vasten.

### **3.5 Muu rahoitettava toiminta**

Edellä mainittujen tutkimusaiheiden lisäksi tutkimusohjelma rahoittaa tutkimusohjelman koordinoinnista aiheutuvat kulut. Koordinointi järjestetään omana hallintohankkeena. Hallintohankkeeseen voidaan lisäksi varata varoja käytettäväksi tutkimushankkeita pienimuotoisempien hankkeiden rahoittamista varten. Näiden pienhankkeiden tulee olla tutkimusohjelman johtoryhmän arvion mukaan tärkeitä ja ajankohtaisia. Tutkimusohjelman johtoryhmä ohjaa ja valvoo pienhankkeiden toteuttamista.

## 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 (ydinenergialaki 53 d §).

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

Yhteisiä seminaareja järjestetään tarpeen mukaan myös SAFIR-tutkimusohjelman kanssa. Mahdollisia aihepiirejä voisivat olla esimerkiksi kokonaisturvallisuus, betoni-tutkimukset, mikrobiologia, ydinpolttoainekierto ja käytettyyn polttoaineeseen liittyvät kysymykset sekä yhteiskunnalliset kysymykset.

Tutkimusohjelmakauden päätyttyä tutkimusohjelman tuloksia esitellään loppuseminaarissa.

Tutkimusohjelman viestinnässä käytetään pääsääntöisesti tutkimusohjelman verkkosivuja (<http://kyt2022.vtt.fi/>).

## 5 Yhteistyö

KYT-ohjelma edellyttää, että siinä tehtävä tutkimus on koordinoitava hyvin muun Suomessa<sup>6</sup> tehtävän ydinjätetutkimuksen kanssa mahdollisten päällekkäisyyksien välttämiseksi. Erityisen tärkeää on olla tietoinen Posivan kolmivuotisen tutkimusohjelman sisällöstä, koska se on laajin Suomessa toimiva ydinjätehuollon tutkimusohjelma (kts. esim. Posiva 2015); seuraava Posivan ja sen omistajien tutkimusohjelma vuosille 2019-2021 julkaistaan syyskuun lopussa 2018. Suomalaisen ydinjätetutkimuksen ajankohtaisia hankkeita kuvataan myös ydinjätehuollon vuosiraporteissa (kts. esim. Posiva 2018).

KYT-ohjelmassa seurataan ydinturvallisuuden keskittyvän vastaavan kansallisen SAFIR-tutkimusohjelman sisältöä ja erityisesti KYT- ja SAFIR-ohjelmien mahdollisia yhteisiä tutkimusaiheita. Ohjelmien välisiä mahdollisia yhteisiä tutkimusaiheita on pyritty esimerkinomaisesti nostamaan esille tässä puiteohjelmassa, esim. kokonaisturvallisuus, ydinjätteiden välivarasto, käytetty ydinpolttoaine, betonitutkimukset ja ydinjätehuollon/ydinvoiman hyväksyttävyyys.

Tutkimusohjelmien välisellä yhteistyöllä pyritään varmistamaan, että kansallisten tutkimusohjelmien väliin ei jää tutkimuksellisia katvealueita, ja että eri ohjelmissa hyödynnetään jo kehitettyä osaamista ja välineitä eikä ohjelmissa tehdä päällekkäistä työtä. Tutkimusohjelmien suunnitellun yhdistämisen jälkeen yhteistyölle on yhteinen alusta.

Vaikka KYT-ohjelma onkin kansallinen tutkimusohjelma, itse tutkimustyö on luonteeltaan kansainvälistä lähtien käytännössä yksittäisten tutkijoiden omista verkostoista. Yksittäisten tutkimushankkeiden sisältölähtöistä kansainvälistä yhteistyötä

---

<sup>6</sup> Tähän liittyy tavallaan esim. pohjoismaisten viranomaisten ja ydinvoimateollisuuden rahoittama rinkaistutkimus NKS (Nordic Nuclear Safety Research).



pyritään kannustamaan esim. relevantteihin EU-hankkeisiin tai muihin kansainvälisiin tutkimushankkeisiin osallistumisen kautta, sillä niissä pääsee mukaan laajoihin monialaisiin tutkimuskokonaisuuksiin, jotka olisivat pelkästään suomalaisrahoituksen ulottumattomissa.

KYT-ohjelma kannustaa aktiiviseen osallistumiseen kansainvälisiin asiantuntijatyöryhmiin, koska sitä kautta on mahdollista viestittää suomalaisen ydinjäteohjelman ja ydinjätetutkimuksen kokonaistilanteesta eri maiden keskeisille organisaatioille. Sitä kautta saadaan myös nopeasti tieto muiden ydinjätehuoltoa valmistevien maiden yleistilanteesta. OECD/NEA:n, IAEA:n ja NKS:n asiantuntijaryhmät ovat Suomelle keskeisimpiä foorumeita.

Ulkomaalaisten tutkijoiden osallistuminen KYT-ohjelmaan on mahdollista yhteishankkeissa suomalaisen tutkimusryhmän kanssa. Suomalaisen tutkimusryhmän kautta hankkeen hyödyllisyyttä suomalaisen ydinjätehuollon kannalta voidaan lisätä, koska näin siihen saadaan kanavoitua mukaan suomalaisen ydinjätehuollon tuntemusta.

## KIRJALLISUUSVIITTEET

- Apted, M., Papp, T. & Salomaa, R. 2008. KYT2010 Review report. Publications of the Ministry of Employment and the Economy, Energy and Climate 2/2008.
- 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.
- Hämäläinen, J. & Suolainen, V. 2017. Ydinenergia-alan osaajaselvitys vuonna 2017, SAFIR2018-ohjelman hallintohankkeen selvitys, kalvosetti.
- KYT-johtoryhmä 2005. Kansallinen ydinjätehuollontutkimusohjelma, KYT. Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2006 – 2010. <http://www.ydinjatetutkimus.fi/tiedostot/Puiteohjelma%202010.pdf>, 20 s.
- Posiva, 2015, YJH-2015. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2016-2018.
- Posiva, 2018, Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto - Yhteenvedo vuoden 2017 toiminnasta. [http://www.posiva.fi/files/4710/Olkiluodon\\_ja\\_Loviisan\\_voimalaitosten\\_ydinjatehuollon\\_toimintakertomus\\_2017\\_.pdf](http://www.posiva.fi/files/4710/Olkiluodon_ja_Loviisan_voimalaitosten_ydinjatehuollon_toimintakertomus_2017_.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.
- STUK, 2018. Ydinjätteiden loppusijoitus, 13.2.2018, YVL D.5 (<http://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/ydinturvallisuusohjeet>).
- STUK, 2017. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste management, 6th Finnish National Report as referred to in Article 32 of the Convention, STUK-B / STUK-B 218, October 2017.
- TEM, 2010, Kansallinen ydinjätehuollon ohjelma, KYT2014 – Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2011-2014. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 68/2010. 32 s.
- TEM, 2012, Kansallisen ydinenergia-alan osaamistiryhmän 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.
- TEM, 2014. Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2018. Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2015 - 2018. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja Energia ja Ilmasto 43/2014 ([http://kyt2018.vtt.fi/docs/TEMjul\\_43\\_2014\\_web\\_17102014.pdf](http://kyt2018.vtt.fi/docs/TEMjul_43_2014_web_17102014.pdf)).
- TEM, 2015. Käytetyn ydinpolttoaineen ja muun radioaktiivisen jätteen huolto Suomessa – Euroopan unionin neuvoston direktiivin 2011/70/Euratom 12 artiklan mukainen kansallinen ohjelma, työ- ja elinkeinoministeriö, 2015.
- TEM, 2016. KYT2014. Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma 2011 - 2014. Loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja Energia ja Ilmasto 59/2015 (<http://kyt2018.vtt.fi/index.htm>).
- TEM, 2017. KYT2018 Review Report. MEAE guidelines and other publications 9/2017 (<http://kyt2018.vtt.fi/index.htm>).
- 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.

# Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2022

## Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2019–2022

KYT2022 on työ- ja elinkeinoministeriön tutkimusohjelma, jossa tavoitteena on varmistaa, että viranomaisilla on saatavilla riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, jota tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailuun. KYT2022 tutkimusohjelman tässä puiteohjelmassa kuvattu sisältö koostuu kansallisesti tärkeistä tutkimuskohteista, jotka ovat ydinjätehuollon turvallisuus, toteutettavuus ja hyväksyttävyyys. Puiteohjelma on laadittu työ- ja elinkeinoministeriön nimeämän suunnittelutyöryhmän puolesta. Puiteohjelma on laadittu vuosille 2019–2022.

Verkojulkaisu

ISSN 1797-3562

ISBN 978-952-327-316-0

Sähköinen versio: [julkaisut.valtioneuvosto.fi](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi)

Julkaisumyynti: [julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi](http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi)