

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma, KYT

Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2006 – 2010

KYT-johtoryhmä

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
1 Johdanto	4
1.1 Suomen ydinjätehuollon tilanne	4
1.2 Aiempi julkinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma	4
1.3 Tutkimusohjelman alkuvalmistelu	5
2 Tutkimusohjelman yleispiirteet	5
2.1 Lähtökohdat ja tavoitteet	5
2.2 Tutkimusohjelman organisointi	7
2.3 Hankehaku ja rahoituspäätös	8
3 Tutkimusohjelman sisällölliset tavoitteet	9
3.1 Ydinjätehuollon strategiset selvitykset	9
3.2 Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuden arviointi	10
3.3 Yhteiskuntatieteelliset selvitykset	12
4 Tutkimusohjelman raportointi ja tiedonvälitys	12
5 Yhteistyö	13
6 Kirjallisuusviitteet	14
Liite Turvallisuustutkimusten sisällön jäsentely	16

Esipuhe

Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) käynnisti vuonna 2001 kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman ”KYT” ohjelmakaudeksi 2002-2005. Tutkimusohjelman tavoitteet ja sisältö sekä erityisesti rahoitusjärjestely pohjautuivat ministeriön asettaman työryhmän tekemiin suosituksiin ja näkemyksiin.

Vuosina 2002-2003 tutkimusta KYT-ohjelmassa rahoittivat alan organisaatiot yhdessä siten, että kukin organisaatio teki omat rahoituspäätöksensä itsenäisesti. Ydinenergiain muutos, joka tuli voimaan vuoden 2004 alussa, muutti ohjelman rahoitusjärjestelyn siten, että tutkimusrahoituksen myöntää Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR).

Ydinenergiainlaki edellyttää, että Valtion ydinjätehuoltorahastoon kerätään vuosittain laissa esitetyin perustein ydinjätehuoltovelvollisilta varoja ydinjätehuollon tutkimukseen. VYR jakaa puolestaan varat tutkimushankkeisiin kauppa- ja teollisuusministeriön esityksen perusteella. Lain perusteella kerättävä kokonaissumma ydinjätehuollon tutkimukseen on noin 1 miljoona euroa vuodessa.

Ministeriö on käynyt valmistelevia taustakeskusteluja ydinenergiainneuvottelukunnan (YEN) ja KYT-ohjelman johtoryhmän kanssa tulevan ydinjätetutkimuksen järjestelyistä KYT-ohjelman päätyttyä. Yhteinen näkemys on, että ns. VYR-tutkimusrahoituksen ohjaaminen tutkimustoimintaan voidaan parhaiten toteuttaa jatkossakin ministeriön asettaman tutkimusohjelman kautta.

Ministeriö teki 6.9.2005 päätöksen (Dnro 3/811/2005) uuden Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman KYT2010 käynnistämiseksi viisivuotiskaudeksi 2006-2010. Tutkimusohjelman johtoryhmään kutsuttiin edustaja Säteilyturvakeskuksesta (STUK), Posiva Oy:sta, Teollisuuden Voima Oy:sta, Fortum Power and Heat Oy:sta sekä Teknologian kehittämiskeskukselta (Tekes). Johtoryhmään kuuluu lisäksi ministeriön edustaja. Tutkimusohjelmalle nimitetään vuoden 2006 alussa myös koordinaattori.

Tämä KYT2010-puiteohjelma pohjautuu ensisijaisesti KYT-johtoryhmän ja sen taustaorganisaatioiden sekä osittain ydinenergiainneuvottelukunnan piirissä käytyihin keskusteluihin. KYT-ohjelman koordinaattori on tehnyt varsinaisesta puiteohjelman kirjoitustyöstä ja editoinnista merkittävän osan.

Puiteohjelman tarkoitus on antaa suuntaviivat ja luoda rajat koko ohjelmakauden tutkimukselle, jota VYR rahoittaisi. Tarkoitus on lisäksi, että tutkimuksen painotusta voidaan puiteohjelman antamissa rajoissa määritellä tarkemmin esimerkiksi vuosittain, kun haettavissa olevasta VYR-rahoituksesta ilmoitetaan.

Helsinki

Syyskuu 2005

Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto

1 Johdanto

1.1 Suomen ydinjätehuollon tilanne

Ydinenergialaki ja -asetus määrittelevät selkeät puitteet Suomen ydinjätehuollon toteutukselle. Lakiin vuonna 1994 tehdyn muutoksen mukaan ”kaikki Suomessa tuotetut ydinjätteet on sijoitettava pysyväksi tarkoitettulla tavalla” Suomeen. Lain-säädännön mukaisesti ydinjätteiden tuottajat ovat yksikäsitteisesti vastuussa tuottamiensa jätteiden huollon suunnittelusta, toteutuksesta ja kustannuksista, mukaan lukien tutkimus- ja kehitystyö.

Ydinjätehuollon perustavoitteet ja suunnittelu-aikataulu määriteltiin valtioneuvoston periaatepäätöksellä vuonna 1983. Sen jälkeen kyseistä päätöstä ja aikataulua on täsmennetty KTM:n päätöksin mm. vuosina 1991, 1995 ja 2003. Aikatauluja on noudatettu hyvin. Käytetyn ydinpolttoaineen huolto on keskeinen hanke, jonka eteenpäin vieminen edellyttää vielä monien vuosien määrätietoista suunnittelua ja työtä. Suunnitelmien mukaan se on tarkoitus toteuttaa siten, että käytetty polttoaine loppusijoitetaan kapseloituna Eurajoen Olkiluotoon rakennettavaan maanalaiseen loppusijoituslaitokseen.

Ydinvoimayhtiöt vastaavat kumpikin erikseen kaikista vähä- ja keskiaktiivisten voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteidensä huoltoon liittyvistä toimista. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen suunnittelusta ja tulevasta toteutuksesta vastaa ydinvoimayhtiöiden yhdessä omistama Posiva Oy.

Vähä- ja keskiaktiiviselle ydinjätteelle on kummankin ydinvoimayhtiön laitosalueella, siis Loviisassa ja Olkiluodossa, jo toiminnassa maanalaiset loppusijoitustilat. Laitosalueilla on myös väliaikaisvarastot käytetylle ydinpolttoaineelle. Näistä vesiallasvarastoista käytetty ydinpolttoaine on aikanaan tarkoitus siirtää edellä mainittuun Posiva Oy:n Olkiluotoon suunnittelemaan loppusijoituslaitokseen, jonka suunnitelmien ja päätösten mukaan on tarkoitus olla käyttövalmis noin vuonna 2020.

Ydinjätehuoltovelvollisille asetettu aikataulu käytetyn ydinpolttoaineen huollossa edellyttää alustavien, Posiva Oy:n hanketta koskevien loppusijoituslaitossuunnitelmien valmistumista rakentamislupahakemusta varten vuonna 2009. Rakentamisluvan tasoisten suunnitelmien tulee olla nykyaikataulun mukaan valmiina vuoden 2012 loppuun mennessä

1.2 Aiempi julkinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma

Julkisrahoitteinen ydinjätehuollon tutkimus käynnistettiin Suomessa atomienergia-neuvottelukunnan aloitteesta jo 1970 luvun alkupuolella. Julkishallinnon koordinoituja ydinjätehuollon tutkimusohjelmia on maassamme toteutettu KTM:n käynnistämisenä vuodesta 1989 alkaen. Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT) toteutettiin vuosina 1989-1993 (Vuori 1990, 1991, 1993). Julkishallinnoidun ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT2) toteutettiin vuosina 1994-1996 (Vuori 1997). Julkishallinnon ydinjätetutkimusohjelma (JYT2001) toteutettiin vuosina 1997-2001 (Vuori 2000, Rasilainen 2002).

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT toteutettiin vuosina 2002-2005 (Rasilainen 2006). KYT-ohjelma toteutti teknis-luonnontieteellisiä tutkimushankkeita kahdella tutkimusalueella: (1) strategiset selvitykset ja (2) käytetyn polttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus. Strategiset selvitykset keskittyivät uusiin ydinpolttoainekiertoihin ja erityisesti niihin liittyvään erotteluun ja transmutaatioon (P&T). Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus oli laajuudeltaan selvästi suurempi. Sen tutkimusaihepiirejä olivat (1) turvallisuusanalyysimetodiikka, (2) radionuklidien vapautuminen loppusijoitustilasta, (3) kallioperä ja pohjavesi, (4) radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä sekä (5) biosfääritutkimukset.

Vuosina 2002-2003 tutkimusta KYT-ohjelmassa rahoittivat alan organisaatiot yhdessä siten, että kukin organisaatio teki omat rahoituspäätöksensä itsenäisesti. Ydinenergialain muutos, joka tuli voimaan vuoden 2004 alussa, muutti ohjelman rahoitusjärjestelyn siten, että tutkimusrahoituksen myöntää Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR).

1.3 Tutkimusohjelman alkuvalmistelu

Nelivuotinen KYT-ohjelma käynnistettiin kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) päätöksellä 4.2.2002 (Dnro 54/070/2001, 1/460/2002). Vuoden 2005 aikana ovat ministeriön lisäksi sekä ydinenergianeuvottelukunta (YEN) että KYT-tutkimusohjelman johtoryhmä käsitelleet ydinjätehuollon VYR-rahoitteisen tutkimuksen organisointia nykyisen KYT- ohjelmakauden päättymisen jälkeen.

KTM teki 6.9.2005 päätöksen (Dnro 3/811/2005) uuden Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman KYT2010 käynnistämisestä viisivuotiskaudeksi 2006-2010. Tutkimusohjelman johtoryhmään kutsuttiin edustaja Säteilyturvakeskuksesta (STUK), Posiva Oy:sta, Teollisuuden Voima Oy:sta, Fortum Power and Heat Oy:sta sekä Teknologian kehittämiskeskuksesta (Tekes). Johtoryhmään kuuluu lisäksi ministeriön edustaja.

Ministeriö julkisti KYT2010-ohjelmaa koskevan tutkimushanke-esitysten kutsukirjeen 27.9.2005 (Dnro 4/811/2005). Kutsukirjeessä hahmoteltiin paitsi itse tutkimusohjelmaa ja hanke-esitysten jättämisen aikataulua myös hankkeiden valintaperusteita.

Tutkimusohjelmalle nimitetään vuoden 2006 alussa koordinaattori syksyllä 2005 toteuttavan julkisen kilpailun jälkeen.

2 Tutkimusohjelman yleispiirteet

2.1 Lähtökohdat ja tavoitteet

KYT2010-tutkimusohjelman lähtökohdat ovat johdettavissa vuonna 2004 muutetusta ydinenergialaista. Valtion ydinjätehuoltorahastoon (VYR) kerätään vuosittain ydinenergialaissa esitetyin perustein ydinjätehuoltovelvollisilta varoja ydinjätehuollon tutkimukseen. VYR puolestaan jakaa kunakin vuonna kerätyt varat tutkimushankkeisiin kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) esityksen perusteella.

Vuositasolla VYR voi suunnata ydinjätehuollon tutkimushankkeisiin runsaat miljoona euroa, mikä on olennaisesti vähemmän kuin Posivan ja voimayhtiöiden vuotuinen ydinjätehuollon tutkimus- ja kehitysrahoitus. Vaikka KYT2010:n rooli on alan tutkimuskenttää täydentävä, sillä on kuitenkin huomattava merkitys useille tutkimuslaitoksille.

KYT2010-ohjelma toteuttaa ensisijaisesti hankkeita, joilla vahvistetaan ydinjätealan kansallista osaamispohjaa. Rahoitusta ei myönnetä tutkimukseen, jotka liittyvät suoraan ydinjätehuoltovelvollisten tai niitä edustavien tahojen omiin hankkeisiin eikä myöskään ydinjätehuollon valvonnan suoraan edellyttämiin tutkimuksiin.

Tutkimusohjelmassa voidaan toteuttaa hankkeita myös VYRin ja muiden suomalaisten tai ulkomaisten rahoittajien yhteisrahoituksella. Esimerkiksi EU-hankkeisiin osallistumista varten tarvitaan useimmiten myös kansallista osarahoitusta. Yhteisrahoitteisiin hankkeisiin sovelletaan samoja rahoitusehtoja ja vaatimuksia kuin VYR-rahoitteisiin hankkeisiin.

Muutkin rahoittajat kuin VYR voivat tuoda ohjelman sisältöön ja tavoitteisiin soveltuvia hankkeitaan ohjelman piiriin. Käytännön menettelyistä tällaisten hankkeiden kohdalla päättää tutkimusohjelman johtoryhmä erikseen hankekohtaisesti.

Tutkimusohjelma pyrkii myös toimimaan viranomaisten, ydinjäteorganisaatioiden ja tutkimuslaitosten välisenä keskustelu- ja tiedonvälitysfoorumina. Näin luodaan edellytyksiä rajallisten tutkimusresurssien tehokkaalle hyödyntämiselle.

Ydinenergiailain mukaan KYT2010-tutkimusohjelman keskeisenä tavoitteena on korkeatasoisen kotimaisen osaamisen hankinta ja ylläpito, jotta viranomaisten saatavilla on tarvittaessa riittävästi ja helposti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailuun. Vuosittain rahoitettavan tutkimushankekokonaisuuden tulee tukea tarkoituksenmukaisella tavalla tätä tavoitetta.

On ilmeistä, että pääosa KYT2010-tutkimuksesta tullaan alkavassa tutkimusohjelmassa kohdistamaan teknisluonnontieteelliseen turvallisuustutkimukseen. Ydinjätehuollon vaihtoehtojen tarkastelussa voi kuitenkin tulla esiin seikkoja, jotka antavat aiheen osoittaa VYR-tutkimusvaroja myös tärkeiksi katsottaviin yhteiskunnallisiin tutkimuksiin.

KYT2010-tutkimusohjelma pyrkii osaltaan paikkaamaan havaittuja kansallisia osaamiskatveita. Nämä voivat olla tähän mennessä vähälle huomiolle jääneitä tutkimusaiheita tai tutkimusmetodien laajennushankkeita, esimerkiksi kokeellisen tutkimuksen täydentämistä mallinnuksella. Uutta osaamista on syytä kehittää tutkimuslaitoksissa, joissa aihepiirin tutkimustoiminnan jatkuvuus on todennäköistä. Osaaminen ei saa jäädä vain yhden tutkijan varaan, vaan sen ympärille on syytä organisoida toimiva tutkimusryhmä tai -verkko.

Toinen koulutusnäkökohtaa korostava tosiasia on kokeneiden suomalaisten tutkijoiden eläköityminen lähivuosina, mikä lisää tarvetta rekrytoida uusia asiantuntijoita. Kansallinen tutkimusohjelma on luonteva koulutusta tukeva foorumi, koska siinä ovat mukana ydinjätehuollon toimijat sekä keskeisimmät yliopistot ja tutkimuslaitokset maassamme. Opinnäytetöiden liittäminen tutkimushankkeisiin on yksi tapa verkottaa nuoria asiantuntijoita alalle.

2.2 Tutkimusohjelman organisointi

KYT2010-tutkimusohjelman käytännön työskentely perustuu johtoryhmän, tukiryhmän, koordinaattorin ja tutkimushankkeiden keskinäiseen yhteistyöhön ja työnjakoon. Tutkimusohjelman sisältö muotoutuu vuosittain tutkimuslaitosten ehdottamien hankkeiden valinta- ja fokusointisuosituksesta, jonka johtoryhmä tekee KTM:lle. Puiteohjelma muodostaa hanke-esitysten sisällöllisen kehyksen, joka helpottaa esitysten tekijöiden ja arvioitsijoiden työtä.

Johtoryhmän roolina on toimia ohjelman hallintoa ja tutkimuksen yleisiä suuntaviivoja koordinoivana elimenä. Johtoryhmä ohjaa tutkimusohjelman suunnittelua ja seuraa tutkimustulosten laatua. Johtoryhmä vastaa siitä, että ohjelman puitteissa laaditaan ministeriölle vuosittaiset ehdotukset VYR-rahoituksen myöntämisestä tutkimushankkeisiin. Se arvioi myös tarvetta osallistua kansainvälisiin julkisiin tutkimushankkeisiin.

KTM on pyytänyt ydinjätealan organisaatioilta ja Tekesiltä ehdotuksia johtoryhmän jäseneksi ja varajäseneksi (kirje 6.9.2005, Dnro 3/811/2005). Ministeriö nimittää johtoryhmän näiden esitysten pohjalta. Johtoryhmän puheenjohtaja on Säteilyturvakeskuksesta, sihteerinä toimii tutkimusohjelman koordinaattori.

Viisivuotisen tutkimuskauden aikana voi nousta esiin tarve tutkimusohjelman ulkopuolisesta arvioinnista. Johtoryhmä keskustelee arviointitarpeesta ja tekee asiasta suosituksen KTM:lle.

Tukiryhmä toimii johtoryhmän tukena noin 10 henkilön vahvuisena teknisenä asiantuntijaelimenä; johtoryhmä valitsee tukiryhmän jäsenet. Tukiryhmä muun muassa arvioi yksityiskohtaisesti hanke-esitykset ja laatii arvionsa pohjalta johtoryhmälle vuosittaisen rahoitusesitysluonnoksen. Tukiryhmä seuraa tarkoituksenmukaista sisäistä työnjakoa noudattaen tutkimushankkeiden etenemistä mm. hankkeiden laskutusoikeuksia silmällä pitäen.

Tukiryhmä voi tarvittaessa antaa substanssitukea tutkimusohjelman hankepäälliköille esim. tutkimuksen sisällöllisissä pulmatilanteissa ja tutkimustulosten raportoisissa. Tukiryhmä toimii myös tiedonvälitysfoorumina sekä KYT-ohjelmaa koskevissa että sen ulkopuolisissa ydinjätetutkimuksiin liittyvissä asioissa.

Koordinaattorin tehtävänä on koota tutkimussuunnitelmat johtoryhmän ja tukiryhmän ohjeiden mukaisesti, seurata suunnitelmien toimeenpanoa ja raportoida hankkeiden edistymisestä johtoryhmälle ja tukiryhmälle. Lisäksi hän valmistele johtoryhmän

kokoukset puheenjohtajan johdolla ja toimii johtoryhmän sihteerinä. Yksityiskohtaisemmin tehtäväkuva määritellään koordinaatiopalvelua hankittaessa.

Tutkimusohjelman koordinaatiopalvelu kilpailutetaan ministeriön toimesta syksyn 2005 aikana.

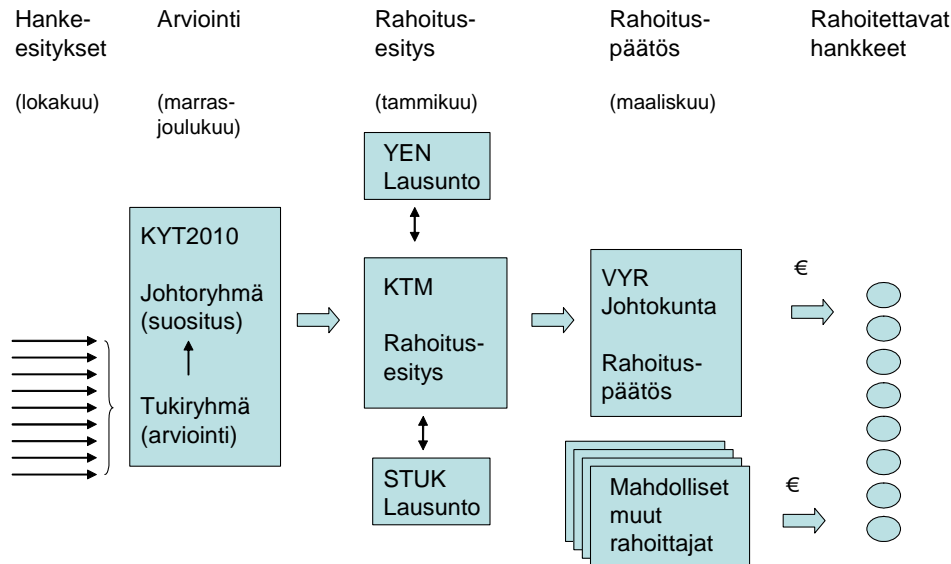
2.3 Hankehaku ja rahoituspäätös

Tutkimusohjelmaan vuosittain valittavat hankkeet valitaan KTM:n julkisesti toteuttaman kilpailun kautta. Hanke-esityksiä arvioitaessa pääpaino on esityksillä, jotka johtoryhmä katsoo parhaiten vastaavan suomalaisen ydinjätehuollon ajankohtaisiin tarpeisiin. Ajankohtaisimmat tarpeet voidaan erikseen täsmentää kyseisen haun kutsukirjeessä. Keskeisiä arviointikriteereitä, jotka on syytä ottaa huomioon hanke-esitystä laadittaessa ovat:

- tulosten hyödynnettävyys, erityisesti ydinjätehuollon turvallisuutta arvioitaessa, mutta myös muu hyöty, esim. ydinjätehuollon strategisten valintojen tukeminen;
- uuden asiantuntemuksen kehittäminen
- hanke-esityksen loogisuus ja selkeys
- hanke-esityksen realistisuus, toisin sanoen hakijan mahdollisuudet toteuttaa hankkeensa
- kotimaisen ja/tai kansainvälisen yhteistyön määrä.

Tukiryhmä arvioi hanke-esitysten sisällön ja luonnostelee rahoitussuosituksen johtoryhmälle. Johtoryhmä käsittelee luonnoksen ja antaa sen pohjalta KTM:lle rahoitussuosituksen. KTM tekee VYR:lle virallisen rahoitusesityksen vuotuisesta tutkimusohjelmasta, Kuva 1.

KYT2010-ohjelman tutkimushankkeita koskeva päätöksenteko



Kuva 1. KYT2010-ohjelman päätöksenteko tutkimushankkeista. Päätöksenteon vuotuinen aikataulu johtuu siitä, että ydinenergialain mukaisena tutkimusohjelman rahoituspohjana toimiva ydinjätehuollon vastuumääräarvio vahvistetaan virallisesti vasta tammikuun lopulla.

3 Tutkimusohjelman sisällölliset tavoitteet

KYT2010-ohjelmaan kuuluvien tutkimusalueiden ja aihepiirien sisältöä hahmotellaan seuraavassa. Tutkimusaihepiirien tulee antaa vastauksia nyt tiedossa oleviin ydinjätehuollon olennaisiin kysymyksiin. Tutkimushankkeiden tulisi olla laajuudeltaan sellaisia, että niitä on käytettävissä olevien resurssien kannalta mielekästä toteuttaa. Tutkimusohjelman luontevinta aluetta ovat erilaiset sovellusneutraalit menetelmäkehityshankkeet, joiden tulokset ovat myöhemmin kaikkien ydinjätehuollon toimijoiden käytettävissä.

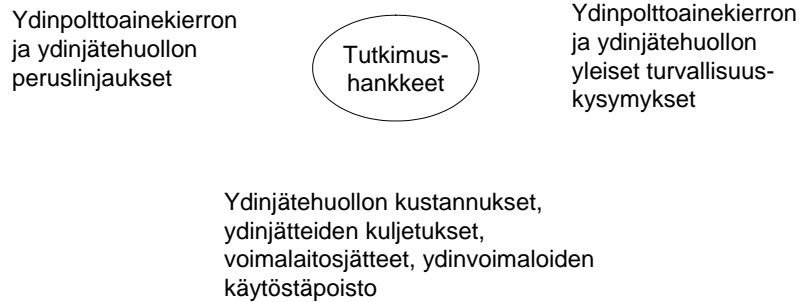
Aiemman KYT-ohjelman mukaisesti tutkimukset jaetaan ydinjätehuollon strategiaan selvityksiin ja ydinjätteiden loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen liittyviin tutkimusalueisiin. Viimeksimainittuun sisältyy uutena aiheena myös ydinsulkuvalvontaan liittyviä kysymyksiä. Uutena tutkimusalueena ovat yhteiskuntatieteelliset selvitykset.

3.1 Ydinjätehuollon strategiset selvitykset

Ydinjätehuollon strategisia vaihtoehtoja arvioiva tutkimus tukee suomalaisen ydinjätehuollon toteutusvarmuutta. Strategisilla selvityksillä pyritään varmistamaan kansallista osaamispohjaa ydinjätehuollon toteuttamiseen myös muuttuneissa oloissa, Kuva 2. Vaikka maassamme edetään määrätietoisesti kohti käytetyn ydinpolttoaineen

geologista loppusijoitusta, on pidettävä silmät auki mahdollisille vaihtoehdoille siltä varalta etteivät nykyiset suunnitelmat voisikaan toteutua. Tässä mielessä Suomessa on oltava perillä strategisista vaihtoehdoista käytävästä kansainvälisestä keskustelusta.

Ydinjätehuollon strategiset selvitykset



Kuva 2. Ydinjätehuollon strategiset selvitykset KYT2010-ohjelmassa.

Ydinpolttoainekierron ja ydinjätehuollon peruslinjauksiin liittyviä kysymyksiä ovat esimerkiksi tulevaisuuden vaihtoehtoihin kuten erotteluun ja transmutaatioon (P&T) tai pitkäaikaisvarastointiin liittyvät selvitykset. Viime aikoina on myös virinnyt kansainvälinen keskustelu alueellisista polttoainekiertoakeskuksista, joita perustellaan muun muassa ydinsulkuvalvonnan tehostamisella. Maassamme on syytä seurata kansainvälisessä tutkimuskentässä tapahtuvaa kehitystä näillä alueilla. Mukaan pääsy kansainvälisiin yhteishankkeisiin edellyttää riittävää omaakin osaamista.

Ydinpolttoainekierron ja ydinjätehuollon yleisiä turvallisuuskysymyksiä ovat mm. turvallisuus- ja säteilysuojelutarkastelujen keskeiset periaatteet, loppusijoituksen palautettavuus ja loppusijoitustiloihin tunkeutuminen. Yleiset turvallisuuskysymykset ovat sitä ajattelua, joka on esim. loppusijoituskonseptin valinnan ja turvallisuuskriteerien määrittämisen taustalla.

Strategisiin selvityksiin voidaan lukea teknisten vaihtoehtoselvitysten lisäksi esim. ydinjätehuollon kustannusselvitykset sekä ydinjätteiden kuljetuksiin, voimalaitosjätteiden huoltoon ja ydinvoimaloiden käytöstäpoistoon liittyvät turvallisuus selvitykset. Näiden aihepiirien kansainvälisen kehitystyön (EU, IAEA ja NEA) seuranta on perusteltua.

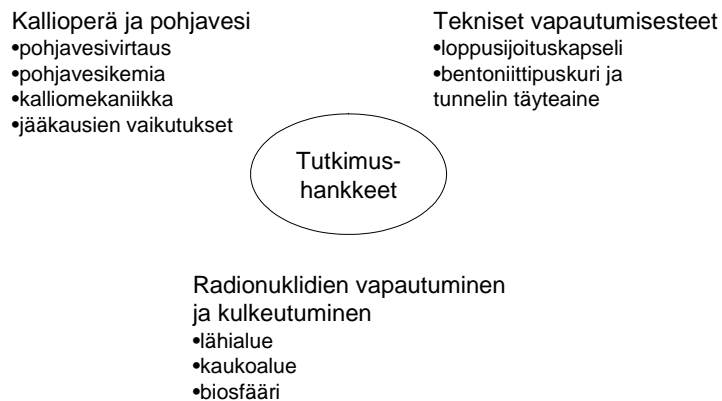
3.2 Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuden arviointi

Käytetyn ydinpolttoaineen geologisen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus on tutkimusohjelman keskeisin tutkimusalue. Pitkäaikaisturvallisuutta arvioidaan kvantitatiivisella turvallisuusanalyysillä, mutta kokonaisuudessaan loppusijoituksen turvallisuusperustelu (safety case) sisältää myös muita, vähemmän matemaattisia turvallisuusargumentteja. Erilaisten turvallisuusargumenttien käytöllä tähdätään siihen,

että myös muut kuin ydinjätehuollon asiantuntijat pystyvät itse arvioimaan loppusijoituksen turvallisuutta.

KYT2010-ohjelma keskittyy yksittäisiin ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuskysymyksiin parantamalla analysointivalmiuksia ja vähentämällä siltä osin olennaisia epävarmuuksia.. Tarkoitus ei ole laatia täydellistä turvallisuusanalyysia. Tutkimusalue jaetaan kuvan 3 mukaisesti kolmeen aihepiiriin: tekniset vapautumisesteet, kallioperä ja pohjavesi sekä radionuklidien vapautuminen ja kulkeutuminen. Näihin laajoihin aihepiireihin liittyviä turvallisuuskysymyksiä tarkastellaan seuraavassa yleisesti ja yksityiskohtaisemmin liitteessä.

Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuden arviointi



Kuva 3. Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuden arviointiin liittyvät tutkimukset KYT2010-ohjelmassa.

Teknisiin vapautumisesteisiin kuuluvat loppusijoituskapseli sekä bentoniittipuskuri ja tunnelin täyteaine. Pitkäikäinen kapseli on suomalaisen käytetyn polttoaineen loppusijoituskonseptin tärkein yksittäinen vapautumiseste. Bentoniittipuskurin tärkein tehtävä on varmistaa kapselin pitkälle eliniälle suotuisat olosuhteet. Tunnelien täyteaineiden ja sulkurakenteiden tehtävänä on estää louhittujen tilojen muodostuminen pohjaveden virtauskanaviksi. Myös käytetty polttoainematriisi toimii vapautumisesteenä radionuklideille, vaikka se ei olekaan samassa mielessä tekninen (ihmisen varta vasten rakentama) vapautumiseste kuin edellä mainitut.

Kallioperään ja pohjaveteen kuuluvat pohjavesivirtaus, pohjavesikemia, kalliomekaniikka ja jäätökausien vaikutukset. Pohjavesivirtaus toimii erilaisten massavirtojen kantajana kallioperässä ja näin ollen pohjavesivirtauksen mallinnus on leviämistarkastelujen perusta. Pohjavesikemian olosuhteet ja pohjavesivirtaus ovat tärkeitä teknisten vapautumisesteiden kestävyden ja radioaktiivisten aineiden kulkeutumisen kannalta. Kalliomekaaniset mittaukset ja simuloinnit ovat tärkeitä loppusijoitustilojen rakentamisen ja käytön yhteydessä, mutta myös

pitkäaikaisturvallisuuteen liittyy kalliomekaanisia kysymyksiä. Jääkausivaikutukset, erityisesti jäätiköityminen, ikirouta ja maankuoren painuminen aiheuttavat olennaisia muutoksia kallioperässä, joista turvallisuuden kannalta merkittävimmät liittyvät pohjaveden virtaukseen, pohjavesikemiaan ja kallioliikuntoihin.

Radionuklidien vapautuminen ja kulkeutuminen kattaa lähialueella ja kaukoalueella tapahtuvan kulkeutumisen sekä biosfääritutkimukset. Lähialuekulkeutumisella tarkoitetaan käytetyissä polttoainenipuissa olevien radionuklidien siirtymistä kapselin ja bentoniittipuskurin muodostaman kokonaisuuden läpi kalliorakoihin sen jälkeen, kun kapselin tiiveys on menetetty ja vesiyhteys on muodostunut polttoaineen ja kalliorakojen välille. Kaukoaluekulkeutumisella tarkoitetaan lähialueelta kalliorakoihin päässeiden radionuklidien kulkeutumista geosfääriin ja biosfääriin rajavyöhykkeelle pääasiassa pohjaveden virtausten mukana. Biosfäärimallinnuksessa tarkastellaan lähinnä ihmisen elinympäristöä.

3.3 Yhteiskuntatieteelliset selvitykset

KYT-ohjelmaa edeltävässä julkisessa tutkimusohjelmassa JYT2001 oli mukana yhteiskuntatieteellistä tutkimusta (Rasilainen 2002a). Silloin aihe liittyi Posivan käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen periaatepäätöshakemukseen, johon kytkeytyi yhteiskunnallista keskustelua ja lakisääteisiä kuulemismenettelyjä. KYT-ohjelman aiemmassa vaiheessa yhteiskuntatieteellisiä tutkimuksia ei enää ollut, koska periaatepäätöksen jälkeen aihepiiri ei ollut enää samalla tavalla ajankohtainen.

Suomalaisen ydinjätehuollon seuraava iso etappi on Posivan loppusijoituslaitoksen rakentamislupakäsittely v. 2012 alkaen. Kokonaisuuteen liittyy loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutusten arvion (YVA) päivitys. Siksi on mahdollista, että erityisesti tutkimusohjelman loppupuolella on tarkoituksenmukaista osoittaa rahoitusta sisällöltään rajattuihin yhteiskuntatieteellisiin selvityksiin, esim. loppusijoituslaitoksen hyväksyttävyydestä.

4 Tutkimusohjelman raportointi ja tiedonvälitys

Tämä raportti on KYT2010-ohjelman **puiteohjelma** kaudelle 2006-2010. Raportissa esitetään tutkimusohjelman lähtökohdat, perustavoitteet ja esitetään kuvaus ohjelman organisoinnista. Tutkimusohjelman lähtökohdat johdetaan Suomen ydinjätehuollon tulevaisuuden haasteista, nykytilanteesta ja aiemmasta tutkimusohjelmahistoriasta.

Yksityiskohtainen koko tutkimusohjelman **tutkimussuunnitelma** tehdään vuosittain rahoitettavaksi hyväksytyjen hanke-esitysten pohjalta. Yksittäisten tutkimushankkeiden etenemistä seurataan kolmessa **osavuosikatsauksessa**. Vuosittain laaditaan koko tutkimusohjelman tasolla **vuosikatsaus** kyseisen vuoden tutkimussuunnitelman toteutumisesta ja keskeisistä tuloksista. Raportissa käydään läpi myös hankekohtaisten tavoitteiden lopullinen toteutuminen.

Tutkimusohjelman sisäistä tiedonvaihtoa varten järjestetään temaattisia **seminaareja** eri aiheista. Niissä on tarkoitus valottaa valittuun teemaan liittyviä näkökohtia sekä

tutkimuslaitosten että tulosten loppukäyttäjien näkökulmasta. Seminaari keskittyy vain yhteen aihepiiriin kerrallaan, jotta se voidaan käsitellä mahdollisimman perusteellisesti.

Varsinaisten tutkimustulosten **julkaisemista** kansainvälisissä alan konferensseissa ja korkeatasoisissa lehdissä kannustetaan. Kansainvälinen julkaiseminen on tärkeää yksittäisen tutkijan kehittymisen kannalta, koska Suomessa tutkija on usein aihepiirinsä paras tuntija eikä asiantuntevaa palautetta tutkimustuloksista ole aina helppo saada kotimaasta. Hyvä tutkimustyö kannattaa julkaista kansainvälisesti paitsi julkaisemiseen liittyvän laadunvarmistuksen vuoksi, myös sen takia, että alan tiedeyhteisö pysyy ajan tasalla suomalaisesta tutkimuksesta.

Kansainvälinen tiedeyhteisö on syytä pitää ajan tasalla tilanteestamme jo senkin takia, että maamme ydinjätehuollon suunnitelmien arvioimiseen tarvitaan ajoittain kansainvälisen huippututkimuksen piiristä tulevia asiantuntijoita. Sekä STUKilla että Posivalla on omassa työssään lisäksi tukena kansainvälisiä huippuasiantuntijoita.

Tutkimusohjelman **verkkosivut** (<http://www.ydinjatetutkimus.fi>) toimivat keskeisenä tiedonvälityspisteinä paitsi tutkimusohjelman sisällä myös tutkimusohjelman ja ulkomaailman välillä. Verkkosivuilla on koko tutkimusohjelman raportointi ja tiedonvälitys puiteohjelmasta lähtien. Verkkosivuilla on linkit kaikkien tutkimusohjelmaan osallistuvien organisaatioiden kotisivuille sekä keskeisimpien kansainvälisten organisaatioiden kotisivuille. Verkkosivuilla laitetaan linkit yksittäisten tutkimushankkeiden keskeisimpiin julkaisuihin. Verkkosivuista tehdään myös suppeampi englanninkielinen versio.

KYT2010-tutkimusohjelma toimii merkittävänä kansallisena tiedonsiirron foorumina ydinjätehuollon tutkimusverkostojen välillä. Yhtenä tiedonsiirron komponenttina ovat tutkimusohjelman **tiedotteet** aina johtoryhmän kokouksen jälkeen ja muulloinkin, kun on erityistä tiedotettavaa.

Ohjelmakauden päätyttyä tutkimusohjelmasta laaditaan koko kauden kattava englanninkielinen loppuraportti.

5 Yhteistyö

KYT2010-ohjelman rajallisten resurssien takia siinä tehtävä tutkimus on koordinoitava hyvin muun Suomessa tehtävän ydinjatetutkimuksen kanssa mahdollisten päällekkäisyyksien välttämiseksi ja mahdollisten katvealueiden kattamiseksi. Vasta koko suomalaisesta tutkimuskentästä nähdään todellinen kansallinen osaaminen ja sen mahdollinen kehitystarve. Erityisen tärkeää on olla tietoinen Posivan tutkimusohjelman sisällöstä, koska Posivan tutkimusbudjetti on olennaisesti suurempi KYT2010-ohjelman budjettiin verrattuna. Tässä auttaa säännöllinen tiedonvälitys molempiin suuntiin. KYT2010 edustaa riippumatonta tutkimusta, joka ei kohdistu suoranaisesti Posivan ja voimayhtiöiden hankkeisiin eikä turvallisuusvalvonnan edellyttämiin välittömiin selvitystarpeisiin.

Vaikka KYT2010 onkin kansallinen tutkimusohjelma, itse tutkimustyö on luonteeltaan kansainvälistä lähtien käytännössä yksittäisten tutkijoiden omista verkostoista.

Yksittäisten tutkimushankkeiden substanssilähtöistä kansainvälistä yhteistyötä pyritään kannustamaan, esim. relevantteihin EU-hankkeisiin tai muihin kansainvälisiin tutkimushankkeisiin osallistumista, sillä niissä pääsee mukaan isoihin monialaisiin kokonaisuuksiin, jotka olisivat pelkästään suomalaisrahoituksen ulottumattomissa. Poikkitieteellisissä kansainvälisissä hankkeissa voi saada kokonaan uusiakin tutkimusideoita, koska niissä on mahdollisuus tutustua muiden alalla toimivien tutkimusryhmien menetelmiin.

EU:n ydinenergiatutkimus tapahtuu ns. Euratom Treatyn piirissä. Euratomin puiteohjelmat ovat EU:n ydinenergiatutkimuksen keskeisiä työkaluja. Nyt käynnissä oleva 6. puiteohjelma päättyy vuonna 2006 ja seuraava 7. puiteohjelma kattaa vuodet 2007 – 2011. Vuoden 2005 alussa 6. puiteohjelmassa oli mukana suomalaisia 16 hankkeessa, joista 5 voidaan katsoa kohdistuvan ydinjätehuoltoon (ACTINET, CETRAD, ESDRED, FUNMIG, NF-PRO). Suomalaisten Euratomin puiteohjelmiin osallistujien tukena on kansallinen tukiryhmä.

KYT-ohjelman hankkeet eivät ole toistaiseksi osallistuneet Euratomin puiteohjelmiin. Uusien mahdollisten tutkimusinstrumenttien, esim. Technology Platform ja/tai kehitteillä olevan Joint Undertaking, myötä tällainen osallistuminen voi tulla mahdolliseksi. KYT2010-ohjelman kautta on mahdollista hakea VYRiltä osarahoitusta EU-hankkeisiin, jotka aiheensa puolesta sopivat KYT2010:n puiteohjelmaan.

Kansainvälisiin asiantuntijatyöryhmiin on syytä osallistua jatkossakin aktiivisesti, koska sitä kautta on mahdollista tehokkaasti viestittää suomalaisen ydinjäteohjelman ja ydinjätetutkimuksen kokonaistilanteesta eri maiden keskeisille organisaatioille. Ja kääntäen, sitä kautta saadaan nopeasti tieto muiden ydinjätehuoltoa valmistelevien maiden yleistilanteesta. OECD/NEAn asiantuntijaryhmät ovat tässä suhteessa jo perinteisesti olleet Suomelle keskeisimpiä.

6. Kirjallisuusviitteet

Rasilainen, K. (ed.) 2002a. 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. 2002, Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT), Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2002-2005, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 22, 26 s.

Rasilainen, K. 2004, Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT), Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2002-2005, Toinen päivitetty painos, (<http://www.vtt.fi/kyt/>)

Rasilainen, K.(ed.) 2006. The Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management (KYT) 2002-2005. Final Report. (in progress)

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

Tässä liitteessä esitetään yksityiskohtaisempi hahmottelu ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuteen liittyvistä mahdollisista tutkimusaiheista. Siinä mainitaan aihepiirejä, joihin liittyy edelleen merkittäviä lisäselvitystarpeita. Luetteloa ei kuitenkaan ole tarkoitettu kattavaksi ja siihen sisältyvätkin tutkimusaiheita voidaan hyväksyä KYT2010-ohjelmaan. Hahmottelusta on rajattu pois Posivan selvitysvelvollisuuden piiriin suoraan kuuluvat kohteet, kuten Olkiluoto-kohtaiset tutkimukset ja loppusijoituskonseptin insinööritekninen suunnittelu.

TEKNISET VAPAUTUMISESTEET

Käytettyjen polttoaineriippujen aktiivisuusinventaari muodostaa turvallisuusanalyysin lähdetermin. Polttoainematriisi toimii vapautumisesteenä siihen sitoutuneille radionuklideille.

Käytetyn polttoaineen liukenemisen/rapautumisen konseptuaaliselle mallille on esitetty eri vaihtoehtoja, joiden soveltuvuutta tutkitaan. Nopeasti vapautuva aktiivisuusosa erityisesti korkeapalalaiselle polttoaineelle on toinen tärkeä tutkimuskohde. Näitä tutkimuksia voidaan tehdä Suomessa varsin rajoitetusti, koska ne edellyttävät yleensä kuumakammio tutkimuksia.

Luonnonanalogiatutkimuksilla voidaan saada lähinnä varmentavaa tietoa uraanin liukoisuudesta loppusijoitusolosuhteissa ja selvittää loppusijoitustilan käyttäytymistä miljoonien vuosien aikaperspektiivissä.

Loppusijoituskapselin tehtävänä on eristää käytetty polttoaine ympäristöstään pitkäksi aikaa. Se on suomalaisen käytetyn polttoaineen loppusijoituskonseptin tärkein yksittäinen vapautumiseste. Kapseli voi periaatteessa vaurioitua lähinnä kemiallisen syöpymisen, ulkoisen mekaanisen rasituksen tai niiden yhdistelmäprosessien kautta.

Kapselin eliniän arvioimiseen liittyviä KYT2010-ohjelmaan mahdollisesti sopivia tutkimusaiheita ovat

- kuparin jännityskorroosio; vaikka suunnitellun kuparin ei ole todettu olevan herkkä jännityskorroosiolle loppusijoitusolosuhteissa, pitkä aikajänne aiheuttaa epävarmuutta ja mekanismien paremman ymmärtämisen kautta voitaisiin jännityskorroosion mahdollisuus sulkea pois nykyistä varmemmin
- kuparin pistekorroosio; sulfidi/sulfaatti -ympäristöistä ei pistekorroosioista ole yhtä vankkaa ymmärrystä kuin kloridien kohdalla
- kapselimateriaalin virumiskestävyys; varsinkin kitkatappihitsatun kuparin virumisherkkyyttä tulisi tutkia olosuhteissa, jotka vastaavat tähänastisia kokeita paremmin todellisia loppusijoitusolosuhteita (paine, lämpötila, kesto). Lisäksi ympäristöavusteisen virumisen mahdollisuutta tulisi tutkia.

Kapselin eliniän tarkempi arviointi edellyttää eri prosessien kytkettyä mallinnusta, jossa samanaikaiset prosessit vaikuttavat paitsi toisiinsa myös yhteisesti kapselin kestävyysasteeseen. Tähän asti prosesseja on tutkittu lähinnä erillisinä, tosin korroosion ja

virumisen kytkettyä vaikutusta tutkittiin kokeellisesti jo KYT-ohjelman ensimmäisellä jaksolla. Korroosiotutkimukset on kytkettävä lähialuekemian tutkimukseen, jotta varmistetaan parhaan tiedon mukaiset koe- ja mallinnusolosuhteet.

Bentoniittipuskuri ympäröi kapselia ja sen tärkein tehtävä on varmistaa kapselin pitkälle eliniälle suotuisat olosuhteet. Bentoniittipuskuri on valmistettu puristetusta bentoniitista. Voidakseen toimia suunnitellulla tavalla sen on saavutettava suotuisat fysikaaliskemialliset ominaisuudet kyllästymisvaiheessa ja säilytettävä ne hyvin pitkään. Tunnelien **täyteaineiden** ja sulkurakenteiden tehtävänä on estää louhittujen tilojen muodostuminen pohjaveden virtauskanaviksi.

Bentoniitin ja täyteaineiden toimintakykyyn liittyviä KYT2010-ohjelmaan mahdollisesti sopivia tutkimusaiheita ovat

- bentoniittipuskurin kyllästyminen loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen
- bentoniittipuskurin myötökyky kallioliikunnoissa ja taakankantokyky
- lämmönsiirto kapselista bentoniittipuskurin kautta kallioon (vetymisen aikana)
- bentoniitin mineraloginen muuntuminen (korkean pH:n tai pohjaveden aineiden vaikutuksesta)
- bentoniittipuskurin kaasunläpäisevyys
- bentoniitin ja täyteaineiden eroosio pitkällä aikavälillä
- täyteaineiden toimintakyky suolaisessa pohjavesiympäristössä

Bentoniitin ja täyteaineiden käyttäytymistä voidaan mallintaa matemaattisesti. Mallinnuksen lähtötiedoksi tarvitaan analyyseja mm. laboratoriokokeista, in situ kokeista kalliolaboratorioissa (Äspö, Grimsel), ja luonnonanalogoista. Tarkka matemaattinen kuvaus edellyttää kytkettyä THMC-mallinnusta, jossa ovat mukana lämpötilan (T), hydrologian (H) mekaniikan (M) ja kemian (C) samanaikaisesti vaikuttavat prosessit. Tällaista vaativaa mallinnusta on Suomessa kehitetty vasta KYT-ohjelman ensimmäisen vaiheen aikana ja työ on vielä kesken.

KALLIOPERÄ JA POHJAVESI

Pohjavesivirtaus kallioperässä toimii erilaisten massavirtojen kantajana. Pohjaveden virtausmallinnusta tarvitaan määrittäessä lähialueen massavirtoja, radionuklidien kulkeutumista kallioperässä sekä biosfääriin pääsevien radionuklidien määriä ja pitoisuuksia. Pohjavesivirtaukseen liittyviä yleisempiä mahdollisesti KYT2010-ohjelmaan sopivia tutkimusaiheita ovat

- eri mittakaavaisten ja erityyppisten (stokastinen, jatkuva väliaine, erilliset vyöhykkeet) mallinnuskonseptien nykyistä parempi yhdistäminen
- pinnanläheisen virtauksen mallinnus ja kytkentä syvempien pohjavesien virtauksen mallinnukseen
- maankohoamisesta aiheutuvat transientit.

Pohjavesikemian olosuhteet ovat tärkeitä teknisten vapautumisesteiden kestävyys ja radioaktiivisten aineiden kulkeutumisen kannalta. Pohjavesikemiaan liittyviä yleisempiä mahdollisesti KYT2010-ohjelmaan sopivia tutkimusaiheita ovat

- pohjavesikemiallisen ja virtausmallinnuksen nykyistä parempi keskinäinen kytkentä

- mikrobiprosessien mallinnus: ravinnelähteet, kytkentä liuenneisiin kaasuihin, pelkistyskyky
- rakotäytetutkimukset geokemiallisen evoluution indikaattorina.

Mainittuja aiheita voitaisiin periaatteessa selvittää paleohydrogeologisin ja kalliolaboratorioista saaduin tutkimustiedoin.

Kalliomekaaniset mittaukset ja simuloinnit ovat tärkeitä loppusijoitustilojen rakentamisen ja käytön yhteydessä. Myös pitkäaikaisturvallisuuteen liittyy kalliomekaanisia kysymyksiä. Yleisempiä kalliomekaniikkaan liittyviä KYT2010-ohjelmaan mahdollisesti sopivia tutkimusaiheita, joita voitaneen selvittää mm. kalliolaboratorioista saatavin tutkimustiedoin, ovat

- louhintahäiriövyöhykkeen karakterisointi mm. radionuklidien kulkeutumisen ja bentoniitin eroosion kannalta
- kiinteän kallion deformaatio ja rakojen syntyminen/eteneminen louhitun tilan ympärillä (tähän liittyvää aihetta on tutkittu KYT-ohjelman aiemmassa vaiheessa)
- kallion termomekaaninen käyttäytyminen
- siirrosliikunnot.

Jääkausivaikutukset, erityisesti jäätiköityminen ja ikirouta aiheuttavat olennaisia muutoksia kallioperässä. Loppusijoituksen turvallisuuden kannalta merkittävimmät muutokset liittyvät pohjaveden virtaukseen, pohjavesikemiaan ja kallioliikuntoihin. Jääkausivaikutuksista voidaan saada suuruusluokka-arvioita yleisiin geologisiin tietoihin pohjautuvien teoreettisten tarkastelujen avulla. Tarkemmat arviot edellyttävät tuekseen kenttätutkimustietoja vaikutusten kannalta edustavilta alueilta.

Jääkausivaikutuksiin liittyviä yleisempiä KYT2010-ohjelmaan mahdollisesti sopivia tutkimusaiheita ovat

- suolaisten pohjavesikerrosten syntyminen ja liikkuminen jäätiköitymis/ikiroutasykliä aikana
- jäätikön sulamisveden vaikutukset, mm. hapetuskyky
- kallioliikunnot jääkauden myöhäisvaiheessa.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustila tulee kansainvälisen ja kansallisen **ydinsulkuvalvonnan** piiriin ja valvonta aloitetaan jo nykyisessä maanalaisen tutkimustilan (ONKALON) rakentamisvaiheessa. Ydinsulkuvalvonnan perimmäisenä tavoitteena on havaita ja estää ydinaineen luvaton poistaminen loppusijoituslaitoksesta sen käytön aikana ja sulkemisen jälkeen. Sovellettavia valvontamenettelyjä suunniteltaessa on otettava huomioon, että

- loppusijoituspaikan karakterisointiin käytettäviä tutkimuksia ja kertyviä tietokantoja voidaan käyttää myös ydinsulkuvalvonnan tarpeisiin
- ydinsulkuvalvonta voi tukea turvallisuusvalvontaa (tunkeutumisen estäminen) mutta on toteutettava niin, ettei se heikennä loppusijoituksen turvallisuutta (intrusiiviset menetelmät).

RADIONUKLIDIEN VAPAUTUMINEN JA KULKEUTUMINEN

Lähialuekulkeutumisella tarkoitetaan käytetyissä polttoainepuissa olevien radionuklidien siirtymistä kapselin ja bentoniittipuskurin muodostaman kokonaisuuden läpi kalliorakoihin. Siirtymisen edellytyksenä on, että kapselin tiiveys on pettänyt (esim. pieni reikä) ja kapseli on täyttynyt vedellä. Termi lähialue tarkoittaa loppusijoitustilaa ja sen olosuhteitaan häiriintynyttä kallioperäympäristöä.

Yleensä lähialuemallinnuksessa oletetaan radionuklidien liukenevan veteen vioittuneessa kapselissa ja sitten diffundoituvan kapselin vuotokohdan kautta bentoniittiin ja edelleen kalliorakoihin. Sen lisäksi on ajateltavissa, että vioittuneessa kapselissa syntyvien korroosiokaasujen paineesta aiheutuvan purkauksen seurauksena radioaktiivisia aineita vapautuu kallioon.

Viallisen kapselin käyttäytymisen tarkka mallintaminen loppusijoitusolosuhteissa on vaativaa, sillä se edellyttää useiden erityyppisten prosessien analysointia kytketysti (korroosioprosessit, veden kaksifaasiprosessit, radionuklidien vapautumis-, liukenemis-, spesiaatio-, diffuusio- ja sorptioprosessit). Kokeellisin tutkimuksin voidaan saada tukea mallinnukselle lähinnä osaprosessitasolla.

Lähialuekulkeutumiseen liittyviä yleisempiä KYT2010-ohjelmaan mahdollisesti sopivia tutkimusaiheita ovat

- olosuhteet loppusijoitustilojen sulkemista seuraavassa transienttivaiheessa; erityisesti hapellisen jakson kesto, lämpötilat ja mikrobit lähialueessa
- kemialliset olosuhteet vioittuneessa, vedellä täyttyneessä jätekapselissa (mm. bentoniitin huokosveden koostumus)
- orgaanisten kolloidien kulkeutuminen bentoniitin läpi
- kaasunpurkausten mallintaminen
- korroosiotuotteiden vaikutus viallisen kapselin ja bentoniittipuskurin käyttäytymiseen.

Kaukoaluekulkeutumisella tarkoitetaan lähialueelta kalliorakoihin päässeiden radionuklidien kulkeutumista geosfäärin ja biosfäärin rajavyöhykkeelle. Kulkeutuminen tapahtuu pääasiassa pohjaveden virtausten mukana. Termi kaukoalue tarkoittaa loppusijoitustilasta kauempana olevaa kallioperää, jossa olosuhteet ovat säilyneet häiriintymättöminä.

Turvallisuusanalyysissa käytössä oleva konseptuaalinen kulkeutumismalli perustuu olennaisesti kaukoaluekulkeutumisen kuvaamiseen kahdella termillä: pohjaveden virtausvastuksella ja pidättymistekijällä.

Virtausvastukseen sisältyvien parametriarvojen määrittäminen on vaikeata mm. kallioperän heterogeenisuuden vuoksi. Niiden määrittäminen on tehtävä ensisijaisesti sijoituspaikkakohtaisesti. Yleisemmän, esim. kalliolaboratorioista saatavan tutkimustiedon analysoinnilla voitaneen kuitenkin valottaa virtausvastukseen liittyviä lainalaisuuksia, esim. skaalausääntöjä ja parametrikorrelaatioita.

Pidättymistermin konseptuaalista mallia on kritisoitu liian yksinkertaistetuksi ja prosessilähtöisempää mallinnusta (diffuusio, ioninvaihto, pintakompleksaatio, saostumisreaktiot) on ehdotettu, jotta voidaan ottaa paremmin huomioon mm. pohjavesikemiallisten muutosten vaikutukset pidättymistermiin. Sen lisäksi yleisempiä KYT2010-ohjelmaan mahdollisesti sopivia tutkimusaiheita ovat

- kallion huokoisuuden heterogeenisyyden vaikutus pidättymiseen
- reaktiivinen geokemiallinen kulkeutumismallinnus: mallien testaus ja lähtötietojen hankkiminen
- sorptio bakteeriperäisiin mineraaleihin, esim. rautaoksidiin (nk. biosorptio)
- kolloidikulkeutuminen, esim. bentoniitti kolloidilähteenä.

Radionuklidien kulkeutumistutkimuksilla on ollut merkittävä osuus tähänastisissa KYT-tutkimuksissa, mutta reaktiivista kulkeutumismallinnusta ei ole kehitetty systemaattisesti.

Biosfäärimallinnuksessa radionuklidien päästönopeudet geosfääristä biosfääriin (Bq/a) muutetaan altistusanalyysin perusteella annosnopeuksiksi (Sv/a). Biosfäärimallinnusta tarvitaan, koska STUKin asettamat suomalaiset turvallisuuskriteerit ovat annosnopeuspohjaisia. STUK on määritellyt YVL 8.4 ohjeessa (STUK 2001) pidemmän aikavälin tarkasteluille nuklidikohtaiset päästönopeusrajat, mutta annosrajat pysyvät edelleen mukana parhaiten ennustettavissa olevan muutaman tuhannen vuoden tarkastelujakson kriteereissä.

Yleisempi tutkimusaihe, joka voisi mahdollisesti sopia KYT2010-ohjelmaan, on muun elollisen luonnon kuin ihmisen säteilysuojelu. Aihepiiri on parhaillaan vilkkaan kansainvälisen huomion kohteena. STUK osallistuu kansainvälisen säteilysuojelukomission (ICRP) aihepiiriin keskittyvään tutkimushankkeeseen.