

9.10.2019

## YDINTURVALLISUUSNEUVOTTELUKUNNAN NÄKEMYS PIENIIN MODULAARISIIN REAKTOREIHIN (SMR) LIITTYVISTÄ KEHITYSTARPEISTA SUOMESSA

Ydinturvallisuusneuvottelukunta päätti kokouksessaan 20.5.2019 laatia työ- ja elinkeinoministeriölle aloitteen koskien pieniin modulaarisiin reaktoreihin (Small Modular Reactor, SMR) varautumista Suomessa. Aloite perustuu asetukseen ydinturvallisuusneuvottelukunnasta 1015/2016, §2, ja sen valmisteluun ovat kirjoituspanoksilla osallistuneet kaikki neuvottelukunnan jäsenet.

Termillä pieni modulaarinen reaktori (Small Modular Reactor, SMR) tarkoitetaan yleensä lämpötehoaan alle 1000 MW<sub>th</sub> ja/tai sähkötehoaan alle 300 MWe ydinvoimalaitosyksiköitä. Nykyisellään Loviisan yksiköt tuottavat vähän yli 500 MWe kumpikin. Toisaalta, markkinoille on tulossa myös hyvin pieniä reaktoreita, kokoluokassa 2 – 20 MW<sub>th</sub>. Reaktorin koolla on merkitystä, koska koko vaikuttaa sekä turvallisuusominaisuuksiin että kustannusrakenteeseen. Kaupallisesti lähinnä toteutumista ovat tällä hetkellä kevytvesitekniikkaan perustuvat SMR:t. Ei-kevytvesitekniikkaan perustuvien reaktoreiden turvallisuuspiirteet poikkeavat olennaisesti totutusta, osin turvallisuuden kannalta edulliseen, osin epäedulliseen suuntaan. Modulaarisuus tarkoittaa muun muassa sitä, että keskeisiä laitososia – esimerkiksi reaktorista, höyrystymistä ja suojarakennuksesta muodostuva ”ydintekninen höyrykehityslaitos” (Nuclear Steam Supply System, NSSS) – valmistetaan identtisinä kappaleina, sarjatuotantona. Samoin laitokseen kuuluvat rakennukset olisivat mahdollisimman suuressa määrin standardoituja. Moduleihin voi liittyä yhteisiä laitososia, kuten valvomo, mistä voi seurata uudentyyppejä teknisiä haasteita automaatiojärjestelmille, käyttöliittymälle ja tietoturvalle, sekä organisatorisia haasteita käytön järjestelyille.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) on parhaillaan asettamassa työryhmää ydinlaitosten elinkaaren sääntelyn kehittämistä varten (nimityspyyntö VN/6649/2019). Ydinturvallisuusneuvottelukunta katsoo, että käsillä oleva aloite on tarpeen, koska useissa maissa nähdään pienten modulaaristen reaktoreiden (SMR) olevan lupaava tulevaisuuden teknologia. SMR:illä uskotaan olevan mahdollista välttää ongelmia, joita länsimaisten ydinvoimalaitoshankkeiden edistymiseen on viime aikoina liittynyt. SMR:ien käyttöä on ehdotettu suomalaisten kaupunkien kaukolämmön tuotantoon. SMR-teknologioihin sisältyy mahdollisuuksia parantaa ydinvoiman kannattavuutta ja turvallisuutta, mutta toisaalta myös ydinenergian riskikuva muuttuu. SMR-teknologian luvittaminen ja rakentaminen Suomeen olisi periaatteessa (mutta tuskin käytännössä) mahdollista nykyisenkin lainsäädännön puitteissa. Nykyinen ydinenergiainsäädäntö ja sen perusteella annetut STUKin määräykset ja ohjeet on laadittu ajatellen lähtökohtaisesti suurikokoisia voimalaitosreaktoreita ja yksittäisiä suuria toimijoita. Sama tilanne koskee IAEA:n säännöstöä. STUKin määräyksissä on vaatimuksia, jotka sellaisenaan eivät sovellu SMR:ille, varsinkaan kaukolämmön tuotantoon tarkoitetuille laitoksille.

Lainsäädännön ja säännösten tehtävä on mahdollistaa toimintaa yhteiskunnallisesti hyväksyttävällä tavalla. TEMin tehtäviin kuuluu huolehtia, että energiapolitiikassa on toimivia vaihtoehtoja ja suomalaisella alan teollisuudella puitteet toimia; STUKin tehtäviin taas kuuluu ennakoita ydinteknologian kehityssuuntia ja valmistautua myös totutusta poikkeavan teknologian asianmukaiseen käsittelemiseen. Suhteellisuusperiaatteen mukaista on mitoitaa turvallisuusvaatimukset sekä luvitus- ja valvontatoimenpiteet niin, että ne ovat oikeassa suhteessa toimintaan liittyvään riskiin.

Ydinturvallisuus palautuu aina viime kädessä laitokselta vapautuvien radioaktiivisen aineiden aiheuttaman säteilyaltistuksen rajoittamiseen hyväksyttävälle tasolle kaikissa kuviteltavissa olevissa tilanteissa, normaalikäytöstä pahimpaan ajateltavissa olevaan leviämiseiden vahingoittumiseen. Radioaktiivisuuden vapautumisen alkusyy voi olla laitoksen sisäisen alkutapahtuma, mukaan lukien inhimillinen virhe, raju ulkoinen luonnonilmiö, tai ihmisen lainvastainen toiminta.

SMR:ien käyttöön Suomessa todennäköisesti liittyisi maantieteellistä hajauttamista, eli useita uusia laitospaikkoja. Nykyisessä ydinenergiailaissa tai muussa säännöstössä ei ole määritelty selvää erillistä prosessia, millä laitospaikka voitaisiin todeta ydinvoimalaitoskäyttöön soveltuvaksi. Muodollisesti sijoituspaikasta johtuvat suunnitteluperusteet vahvistuvat vasta, kun valtioneuvosto myöntää ydinlaitokselle rakentamisluvan, mikä on laitoshankinnan kannalta liian myöhäinen hetki. Käytännössä sijaintipaikan hyväksyminen *de facto* tapahtuu nykyisin pitkälti jo periaatepäätösvaiheessa. YTN:n mielestä laitoksen sijoituspaikan luvitusprosessi tulisi lisätä ydinenergialakiin erillisenä prosessina. Laitospaikan hyväksyntään voitaisiin liittää rajoituksia koskien esimerkiksi laitoksen teknologiaa tai kokonaistehotasoa.

Ydinenergiailain periaatepäätösmenettelyn tarkoitus ei ole laitospaikkavaihtoehtojen tekninen arviointi. YTN:n mielestä laitospaikkavaihtoehtojen tekniselle arvioinnille tulisi löytää prosessissa muu kohta kuin periaatepäätösvaihe. Tätä varten olisi lainsäädännössä tehtävä mahdolliseksi laitoksen suunnittelun ennakkohyväksyntä (ns. design certification-prosessi). Ennakkohyväksyntää hakevan laitostoimittajakandidaatin tulisi voida käsitellä STUKin kanssa hyvissä ajoin ennen rakentamislupavaihetta sitä, miten laitospaikkavaihtoehtojen tekniset ratkaisut täyttävät suomalaiset turvallisuusvaatimukset ja luvitusdokumentaation vaatimukset. Ennakkohyväksyntäkäsittelyn aloittamiselle olisi asetettava kynnysehto, että laitostoimittajalla on Suomessa teknologiastaan kiinnostunut asiakas, jolla voidaan katsoa olevan realistiset edellytykset käyttää kyseistä teknologiaa sen jälkeen kun tyyppihyväksyntä on annettu.

Kaukolämmöntuotantoon tai lämmön ja sähkön yhteistuotantoon tarkoitettuja SMR-laitoksia tulisi voida sijoittaa riittävän lähelle kaukolämpöverkkoa, mikä käytännössä merkitsee läheisyyttä asutuskeskukseen, teollisuuslaitokseen tai lähiöön. Tästä seuraa uudenlainen tilanne sekä valmius- että turvajärjestelyjen kannalta. Sijoitus lähelle asutuskeskuksia tai teollisuuslaitoksia on mahdollista, jos pystytään osoittamaan, että väestönsuojelutoimenpiteitä edellyttävä radioaktiivinen päästö on käytännössä poissuljettu kaikissa onnettomuustilanteissa. Joka tapauksessa on toteuttava riittävät valmiusjärjestelyt. Jos

päästön poissulkemista ei pystytä osoittamaan, on tilannetta tarkasteltava tapauskohtaisesti ottaen huomioon reaktorin teho ja turvallisuusominaisuudet. Lähelle asutusta sijoitettavan laitoksen turvajärjestelyille (lainvastaisen toiminnan estämiselle) asetettavat vaatimukset on myös arvioitava.

Yhteistuotanto ja kaukolämmön toimittaminen asiakkaille on tyypillisesti kunnallisten energiayhtiöiden toimialaa; kaukolämpöverkko muodostaa ns. luonnollisen monopolin. Kaukolämpökäyttöön tarkoitettu ydinvoimalaitos voisi olla kunnallisen energiayhtiön omistuksessa. Laitoksen käytöstä voisi vastata joko energiayhtiö itse, tai alalla toimiva palveluntarjoaja. Ydinvoimalaitosten omistuksen hajautuminen tai toisaalta kaukolämmön tuotannon siirtyminen ydinvoimayhtiöille ovat mahdollisia kehityskulkuja, joiden merkitys turvallisuuskulttuurin ja kokonaisturvallisuuden näkökulmasta ovat varsin erilaisia. Laitoksen luvanhaltijalle asetetaan säännöstössä paljon vastuita ja velvollisuuksia, minkä vuoksi voi olla tarvetta pohtia uudentyyppisiä ratkaisuja kaukolämmön tuotantoon tarkoitettun ydinvoimalaitoksen omistamiseen, rakentamiseen ja käyttöön.

Kehitysvaiheessa olevia SMR:ksi kutsuttuja laitostyyppisiä tai -konsepteja on useita kymmeniä. Mikäli Suomeen harkittaisiin rakennettavaksi nykyisenkaltaiseen kevytvesitekнологiaan perustuvia laitosyksiköitä, olisi niiden tuottamista ydinjätteistä (ml. käytetty polttoaine) huolehtiminen samankaltaista kuin jo olemassa ydinvoimaloiden ja se voisi perustua samoihin teknisiin ratkaisuihin. Ydinjätehuoltovelvollisten yhteistyö olisi todennäköisesti tarkoituksenmukaisin tapa huolehtia jätehuollosta.

Mikäli SMR-tyypin valinnassa päädyttäisiin laitosratkaisuihin, joiden toimintaperiaate ja niiden käyttämä polttoaine olisivat merkittävästi nykyisestä poikkeavia, vaatisi se muutoksia olemassa oleviin ydinjätteiden käsittely-, varastointi- ja loppusijoitusratkaisuihin. Näiden muutosten tekeminen edellyttää tutkimus- ja kehitystyötä uusien ratkaisujen luovuttamiseksi. Kehitystyö vaatii luonnollisesti oman aikansa ja se kannattaa toteuttaa mahdollisuuksien mukaan kansainvälisenä yhteistyönä.

Periaatepäätösmenttelyn käyttö ydinjätteiden loppusijoituslaitoksen laajentamiseen laitoksen ollessa jo olemassa on YTN:n käsityksen mukaan tarpeetonta, koska yhteiskunnan kokonaisuus on harkittu jo aiemmin. Lain mukaan hyväksytty loppusijoittaminen on ainoa vaihtoehto ydinjätehuoltovastuun päättymiseksi. Jos olemassa olevan laitoksen laajentaminen turvallisesti on mahdollista, on se oletettavasti myös yhteiskunnan kokonaisedun mukaista ja mahdollistaa käytännöllisen ratkaisun ydinjätehuoltovelvollisille. Laajentaminen tulisi tulevaisuudessa luvittaa laitosmuutoksena, jonka valvoo ja hyväksyy STUK. Tämänkaltaiseen suositukseen on myös päätynyt raportissaan kansallista ydinjätehuoltoa selvittänyt työryhmä<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Kansallisen ydinjätehuollon yhteistyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia 2019:39, Helsinki 2019.

Ydinturvallisuusneuvottelukunta toteaa, että Suomessa tulisi varautua pienten modulaaristen reaktoreiden (SMR) käyttöön. Päätös varautumisesta on luonteeltaan yhteiskunnallinen, mutta varautuminen edellyttää myös teknisiä toimenpiteitä, joista osa on luonteeltaan aikaa vieviä. Varautumiseen tarvitaan ainakin alla lueteltuja toimenpiteitä.

Ministeriötasolla (TEM) tulisi huolehtia seuraavista asioista:

- lupaprosessin uudistaminen: sijoituspaikkalupa ja laitoksen suunnittelun tyyppi-hyväksyntä ydinenergi lakiin
- jätehuollon yhteistyön edellytysten ylläpitäminen ja kehittäminen
- jätelaitosten päätöksentekomenettelyn päivittäminen niin, että laitoksia olisi mahdollista laajentaa ilman erillisiä periaatepäätöksiä
- kansallisen asiantuntemuksen varmistaminen SMR:ien käyttöönottoa varten.

Työ- ja elinkeinoministeriön tulisi myötävaikuttaa siihen, että sosiaali- ja terveysministeriö varmistaa, että STUKilla on omalta osaltaan riittävät resurssit tähän varautumiseen, erityisesti SMR:iä koskevan asiantuntemuksen kehittämiseen ja niitä koskevaan kansainväliseen yhteistyöhön osallistumiseen.

SMR:ien turvallisuuden varmistamiseksi STUKin tulisi osaltaan voida huolehtia seuraavista asioista:

- perehtyminen kevytvesireaktoriteknologiaan perustuvien SMRien turvallisuuspiirteisiin ja perusteluihin siltä osin kuin nämä poikkeavat isojen kevytvesireaktorien turvallisuuspiirteistä
- perehtyminen keskeisten laitososien, rakenteiden ja laitteiden valmistusprosessiin, valmistuksen valvontamenettelyiden määrittelemiseksi
- luonnostella SMR:iä koskevat määräykset, joissa mm. asetetaan SMR:iä koskevat syvyyspuolustusvaatimukset, määritellään turvallinen tila kattamaan passiivisesti saavutettavat käyttötilat, ja määritellään uudelleen valmiusvyöhykkeet ja turvajärjestelyvaatimukset, ja arvioida määräysten käyttökelpoisuus yhdessä alan muiden toimijoiden kanssa.

Myöhemmin STUKilla voi olla tarve päivittää olemassa olevia YVL-ohjeita tai laatia erillisiä ohjeita SMR:iä varten. Riippumatta siitä, laaditaanko erillisiä YVL-ohjeita SMR:iä varten, STUKin tulisi voida riittävän ajoissa kehittää omia valvontamenettelyjään SMR:iä varten ottaen huomioon niihin liittyvät mahdollisuudet ja riskit.

Työ- ja elinkeinoministeriön tulisi varmistaa riittävä rahoitus SMR:iin liittyviin tutkimuksiin. SMR:ien turvallisuuden varmistamiseksi yliopistojen ja tutkimuslaitosten tulisi voida tehdä kokeellista ja teoreettista tutkimusta mm. siitä, missä kevytvesireaktoreiden kokoluokissa pelkästään passiiviset järjestelmät tai luontaiset prosessit riittäisivät turvallisuustoimintojen aikaansaamiseen. Yliopistojen ja tutkimuslaitosten tulisi myös kehittää SMR:ien tarkasteluun tarvittavia analyysivalmiuksia, syvyyspuolustusajattelua ja kriteerejä tapahtumien käytännölliselle poissulkemiselle (practical elimination). SMR-turvallisuustutkimus voisi tapahtua osana kansallisia tutkimusohjelmia.

Lausunnon liitteessä käsitellään tarkemmin SMR:ien turvallisuusominaisuuksia, turvallisuusvaatimuksia, turva- ja valmiusjärjestelyjä, ydinjätehuoltoa sekä lisensointiprosessia.



Lasse Reiman  
Neuvottelukunnan puheenjohtaja



Juhani Hyvärinen  
Neuvottelukunnan jäsen

JAKELU TEM, STM  
TIEDOKSI YTN, STUKin johtoryhmä

LIITE Katsaus SMR-teknologiaan ja sen luvittamiseen Suomessa

9.10.2019

**KATSAUS SMR-TEKNOLOGIAAN JA SEN LUVITTAMISEEN SUOMESSA****1. SMR-REAKTORIT, NIIDEN KÄYTTÖKOHTEET JA TURVALLISUUSOMINAISUUDET****1.1 SMR-reaktorit: koolla on väliä**

Termillä pieni modulaarinen reaktori (Small Modular Reactor) tarkoitetaan yleensä lämpötehoaan alle 1000 MW<sub>th</sub> ja/tai sähkötehoaan alle 300 MWe ydinvoimalaitosyksiköitä. Käytännössä haitari on leveä, monet laivareaktoritekniikkaan perustuvat yksiköt ovat kooltaan alle 200 MW<sub>th</sub> / 65 MWe. Rolls-Royce on esitellyt sähkötehoaan 430 MWe laitosmallia SMR:nä – tämä kokoluokka vastaa jo Loviisan reaktoreita varhaisessa muodossaan. Nykyisellään Loviisan yksiköt tuottavat vähän yli 500 MWe kumpikin. Toisaalta, markkinoille on tulossa myös hyvin pieniä reaktoreita, kokoluokassa 2 – 20 MW<sub>th</sub>.

Reaktorin koolla on merkitystä, koska koko vaikuttaa sekä turvallisuusominaisuuksiin että kustannusrakenteeseen. Karkeasti, mitä pienempi reaktori, sitä yksinkertaisemmilla järjestelmillä ja rakenteilla se voidaan varustaa. Toisaalta, mitä pienempi reaktori, sitä vaikeampaa on saavuttaa kilpailukykyinen kustannusrakenne.

Kaupallisesti lähinnä toteutumista ovat tällä hetkellä kevytvesitekniikkaan perustuvat SMR:t. Neljännen sukupolven reaktoreiden kehitystyössä on myös kooltaan SMR-luokkaan mahtuvia reaktorikonsepteja, kuten korkealämpötilainen kuulakekoreaktori (HTR), metallijähdytetyt nopeat reaktorit ja sulasuolareaktorit. Ei-kevytvesitekniikkaan perustuvien reaktoreiden turvallisuuspiirteet poikkeavat olennaisesti totutusta, osin turvallisuuden kannalta edulliseen, osin epäedulliseen suuntaan.

Modulaarisuus tarkoittaa, että keskeisiä laitososia – esimerkiksi reaktorista, höyrystimistä ja suojarakennuksesta muodostuva ”ydintekninen höyrykehitin” (Nuclear Steam Supply System, NSSS) – valmistetaan identtisinä kappaleina, sarjatuotantona. Rakennus-tekniset rakennukset voivat olla usealle yksikölle yhteisiä tai niitä monistetaan laitospaikalla. Olennaista on mahdollisimman pitkälle viety sarjatuotanto sekä laitteiden että rakennusten osalta.

**1.2 SMR-laitosten käyttökohteet**

SMR-laitoksia voidaan käyttää kolmella tavalla:

1. pelkästään sähköntuotantoon
2. sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (kaukolämmitys)
3. pelkästään lämmöntuotantoon (kaukolämmitys).

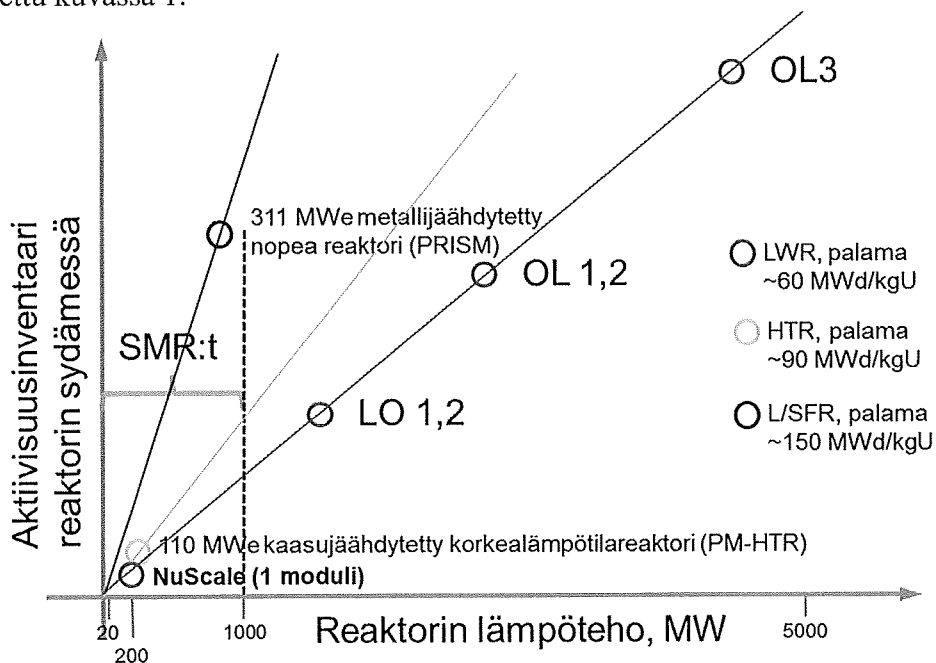
SMR-reaktorien kaupalliset valmistajat varautuvat säännönmukaisesti sekä sähköntuotantoon että yhteistuotantoon, joskin lämmönkäytön motiivi saattaa olla myös juomaveden tuottaminen suolanpoistolaitoksella.

Sähköntuotannossa keskenään samanlaisia SMR-laitosyksiköitä voisi olla samalla laitospaikalla jopa kymmeniä. Yhteistuotanto ja kaukolämmön tuotanto taas edellyttävät reaktorilaitosten sijoittamista kaukolämpöverkon ääreen, verrattain lähelle asutuskeskuksia. Tällöin on tarkasteltava valmiustoimintaa ja varautumisalueen kokoa uudelleen SMR-yksiköillä saavutettavissa olevien turvallisuusominaisuuksien valossa. Kaukolämmön tuotanto on aina paikallinen palvelu, koska toisin kuin sähköä, lämpöä ei voi siirtää valtakunnan laidalta toiselle.

Yhteistuotanto ja kaukolämmön toimittaminen asiakkaille on tyypillisesti kunnallisten energiayhtiöiden toimialaa; kaukolämpöverkko muodostaa ns. luonnollisen monopolin. Kaukolämpökäyttöön tarkoitettu ydinvoimalaitos voisi olla kunnallisen energiayhtiön omistuksessa. Laitoksen käytöstä voisi vastata joko energiayhtiö itse, tai alalla toimiva palveluntarjoaja.

### 1.3 SMR-laitosten turvallisuusominaisuudet

Kevytvesireaktoriteknologian osalta SMR:t ovat luontaisilta ominaisuuksiltaan samanlaisia kuin isot kevytvesireaktorit, niin kauan kuin polttoaine (materiaali, tehotiheys, poistopalama) on samanlaista kuin isoissa reaktoreissa. Tällöin reaktorin tehotakaisin-kytkentä on tehoa vakauttava, ja reaktorien tehoa voidaan säätää laajalla alueella. Lisäksi häiriö- ja onnettomuustarkastelujen lähtökohta, eli reaktoriyksikön sisältämän radioaktiivisen aineen määrä, on suoraan verrannollinen reaktorin tehoon. Tätä on havainnollistettu kuvassa 1.



**Kuva 1.** Aktiivisuusinventaaari eri kokoisissa ja -tyyppisissä reaktoreissa, reaktorin lämpötehon funktiona. Eri reaktoriteknologioilla saavutetaan erilaiset poistopalamat; aktiivisuusmäärä on suunnilleen suoraan verrannollinen poistopalamaan. Lyhenteet: LWR kevytvesireaktori, HTR korkealämpötilareaktori ja L/SFR lyijy- tai natriumjäähdytteinen nopea reaktori.

Keskeiset turvallisuustoiminnot, reaktorin tehon hallinta, reaktorin jäähdytyksen ylläpitäminen ja radioaktiivisten aineiden pidättäminen laitoksen sisällä, ovat periaatteessa samat kuin isoissa reaktoreissa. Käytännössä turvallisuustoimintojen toteutus voi olla hyvinkin erilainen kuin mihin isoissa reaktoreissa on totuttu. Erityisesti reaktorin jäähdytykseen liittyvät järjestelmät voivat olla voimakkaasti yksinkertaistettuja, ja suojarakennusratkaisu samoin. Toisaalta, jotkut valmistajat tarjoavat SMR-teknologiaa, jonka ympärille on rakennettu hyvin samanlaisia turvallisuusjärjestelmiä kuin isoissakin reaktoreissa on käytössä.

Nyrkkisääntönä voidaan todeta, että mitä pienempi reaktori, sitä helpompi sen jäähdytys on toteuttaa ilman erillisiä järjestelmiä. Tämä johtuu siitä, että reaktorin materiaalien pysyessä samoina reaktorin teho pienenee verrannollisena mittojen kuutioon, kun taas rakenteiden muodostama lämmönsiirtopinta-ala pienenee verrannollisena mittojen neliöön. (Samasta syystä Loviisan voimalaitoksen reaktorissa on voitu taata, että sydämen sulamisonnettomuudessa reaktorisydän pysyy paineastian sisällä, kun taas Olkiluoto 3:n kaltaisessa EPR:ssä on varmaa, että sydänsula tulee paineastiasta ulos.)

## 2. SMR-LAITOKSILLE ASETETTAVAT TURVALLISUUSVAATIMUKSET JA NIIDEN TÄYTTÄMISEN OSOITTAMINEN

Lähtökohtaisesti SMR-laitoksen on oltava vähintään yhtä turvallinen kuin muu turvallisenä pidetty ydinenergian käyttö. Ihannetapauksessa sen tulisi olla yhtä turvallinen kuin muu terveystaivasta mahdollisesti aiheuttava teollinen toiminta, mutta objektiivista vertailua eri teollisuudenalojen aiheuttamasta *koetusta* riskistä ei ole käytettävissä.

Monet SMR-valmistajat katsovat laitostensa olevan selvästi turvallisempia kuin nykyiset isot reaktorit. Tämä väite voidaan tarkistaa onnettomuusanalyysien menetelmillä, mutta ensin pitää varmistaa, että käytettävissä on riittävästi kokeellista tietoa ja verifioituja laskentamalleja SMR-mittakaavassa esiintyvien ilmiöiden kuvaamiseksi tarvittavalla tarkkuudella.

SMR:t eroavat isoista reaktoreista mm. seuraavien piirteiden osalta:

- kevytvesi-SMRissä koko primääripiiri (sydän, höyrystimet, paineistin, pääkiertopumput) on integroitu reaktoripaineastian sisään
- ei-kevytvesi-SMRissä polttoainemateriaalit ja rakenteellisten päästöesteiden kuormitukset voivat olla hyvin erilaisia kevytvesitekniikkaan verrattuna, sekä edullisempaan että epäedullisempaan suuntaan
- tyypillisesti reaktoreiden jäähdytteen ja rakenteiden massa on tehoon nähden suurempi kuin isoissa reaktoreissa, mikä lisää lämpöteknistä hitautta ja hidastaa häiriöiden kehittymistä. Tämä on turvallisuuden kannalta edullista, kuten luontaisesti hidastavien VVER-440 reaktoreiden käyttökokemuksista tiedetään.



## 2.1 Suunnitteluperiaatteet: syvyyspuolustus ja turvallisuustoiminnot

SMR-laitoksista voidaan tehdä turvallisia samoilla periaatteilla kuin isoistakin reaktoreista tehdään, eli noudattamalla toiminnallista ja rakenteellista syvyyspuolustusta ja varustamalla laitokset riittäväillä turvallisuustoiminnoilla ja turvallisuusmarginaaleilla.

Rakenteellisen syvyyspuolustuksen osalta kevytvesi-SMR:issä on käytössä samat kolme keskeistä leviämistä kuin isoissa voimalaitosreaktoreissakin, eli polttoaineen suoja-kuori, reaktoripiiri (SMRissä vain reaktoriastia), ja erillinen kaasutiivis suojarakennus.

Toiminnallisen syvyyspuolustuksen osalta menettelyt ovat myös osin samat kuin isoissa reaktoreissa: ei-toivotut tilanteet ensisijaisesti ehkäistään ennalta korkealaatuisella suunnittelulla ja valmistuksella, häiriöistä ja onnettomuuksista toivutaan turvallisuusominaisuuksien ja -toimintojen avulla, lisäksi varaudutaan valikoituihin tilanteisiin, jotka ylittävät laitoksen suunnitteluperusteet. Joitakin kuviteltavissa olevia onnettomuustyyppisiä (kuten reaktoripaineastian rikkoutuminen) on isoissa reaktoreissa tehty käytännössä mahdottomiksi, perusteina mm. kuormitusten rajoittaminen ja erityisen huolellinen valmistuksen valvonta.

Onnettomuuksien seurauksien lieventäminen tapahtuu isoissa reaktoreissa laitoksen ulkopuolella valmiustoiminnan kautta; SMR:issä pyritään siihen, että valmiustoimintaa ei tarvittaisi samassa mitassa kuin isoissa reaktoreissa. Maksimipoistopalaman ollessa vakio reaktorisydämen aktiivisuusinventari on verrannollinen reaktorin tehoon, joten SMR:issä se on vähintään kertaluokkaa pienempi kuin isoissa reaktoreissa. Vastaavasti onnettomuuden aikainen päästön ja ympäristöaltistuksen mahdollisuus on lähtökohtaisesti pienempi kuin tutuissa isoissa voimalaitosreaktoreissa.

Isojen reaktoreiden syvyyspuolustuksen teoria, jota IAEA:n ja WENRAn dokumentit kuvaavat, sisältää nykyään viisi perättäistä toiminnallista tasoa, WENRAn termein 1, 2, 3a, 3b ja 4. Käytännössä laitoksen järjestelmien ja laitteiden suunnittelussa riippumattomia toiminnallisia tasoja on erotettavissa korkeintaan kolme, sillä tasot 1 ja 2 sekä 3a ja 3b eivät tyypillisesti ole toisistaan toiminnallisesti riippumattomia. Lisäksi on valmiustoimintaan liittyvä erillinen taso. SMR:iän osalta on kohtuullista edellyttää, että riippumattomia tasoja on saman verran kuin isoissa reaktoreissa, ja sallia, että fysikaalisesti järjevin perustein suljetaan pois tapahtumatyyppisiä, joihin varautuminen johtaisi laitoksen ylisuunnitteluun. Fysikaalisesti järjeviä perusteita ovat luontaiset ominaisuudet ja suunnitellut turvallisuusmarginaalit. Pääkomponenttien valmistuksen laatumenettelyjä voidaan ajatella käytettävän hyväksi siinä missä isoissakin reaktoreissa. Laitteiden valmistukseen liittyvässä laadunvalvonnassa voidaan soveltaa graded approach-periaatetta ottaen huomioon kyseiseen laitokseen liittyvät riskit.

Isojen reaktoreiden turvallisuustoiminnot on tyypillisesti toteutettu ensisijaisesti aktiivisilla turvallisuusjärjestelmillä, joilla on vähän tai ei lainkaan laitoksen käyttöön liittyviä tehtäviä. Käytännössä aktiivisten turvallisuusjärjestelmien luotettavan toiminnan osoittaminen on edellyttänyt varsin monimutkaisia teknisiä ratkaisuja sekä itse järjestelmän että sen tukitoimintojen osalta. Isoissa reaktoreissa on tyypillisesti joitakin passiivisia

turvallisuustoimintoja (painevesireaktorissa säätösauvojen pudotus ja typpipaineistetut hätälisävesiakut). Turvallisuuden kannalta edullisia luontaisia ominaisuuksia edellytetään isoissa reaktoreissa lähinnä reaktoritehon fysikaaliselta takaisinkytkennältä, jonka on oltava reaktorin tehoa stabiloiva. Reaktorin ja lämmönsiirtopiirien terminen hitaus on myös luontainen turvallisuusominaisuus, mitä hitaampi sitä parempi.

## 2.2 Aktiiviset ja passiiviset turvallisuusjärjestelmät

Suomalainen säännöstö sisältää paljon yksityiskohtaisia vaatimuksia aktiivisten turvallisuusjärjestelmien suunnittelulle ja toiminnan osoittamiselle. Aktiivisten järjestelmien toiminnan epäonnistumiseen johtavat syyt ja vikamekanismit ymmärretään pääsääntöisesti hyvin, ja aktiivisille järjestelmille on vakiintunut käytäntö edellyttää moninkertaisuutta, erilaisuutta ja erottelua. Samoin turvallisuusanalyysissä tarvittavat laskentamenetelmät on kelpoistettu, analyysien epävarmuuksia arvioidaan ja mitoituksessa tarvittavia turvallisuusmarginaaleja osataan asettaa.

SMR:issä turvallisuustoiminnot pyritään toteuttamaan ensisijaisesti joko luontaisiin prosesseihin tai ns. passiivisiin järjestelmiin. Säännöstössämme ei ole suunnitteluvaatimuksia, joissa olisi selkeästi huomioitu passiivisten järjestelmien ja luontaisten prosessien keskeisiä piirteitä. Passiivisuutta on tunnetusti useaa astetta, IAEA TECDOC-626 kuvaa lämmönsiirrossa neljä passiivisuuden tasoa:

- A. lämpö liikkuu, aine tai mekaaniset osat ei: lämmön johtuminen ja lämpösäteily
- B. lämpö liikkuu väliaineen mukana, mekaanisten osien toimintoa ei tarvita
- C. lämpö liikkuu väliaineen mukana, mekaanisten osat liikkuvat (esim. venttiili avautuu, tarvittaessa ohjatusti, mutta varastoidun energian avulla)
- D. lämpö liikkuu väliaineen mukana, mekaaniset osat liikkuvat (esim. venttiili avautuu ja pumppu käy, ulkoisen energian eli varavoiman avulla, toimintoja ohjataan)

Isoissa passiivisissa laitoskonsepteissa saavutetaan joissakin turvallisuustoiminnoissa taso B, useammin kuitenkin C.

Aktiivisten ja passiivisten (lämmönsiirto)järjestelmien välillä on olennainen ero siinä, miten ne vikaantuvat:

- Aktiivinen osajärjestelmä voi toteuttaa toimintonsa, jos kaikki sen komponentit ovat kunnossa ja tarvittava ulkoinen energia on saatavilla. Järjestelmän toiminnan katketessa komponenttivikaan tai energian puutteeseen toiminto lakkaa kokonaan
- Passiivinen osajärjestelmä voi toteuttaa toimintonsa, jos kaikki sen komponentit ovat ehjiä
  - Jos järjestelmään kuuluu liikkuvia osia, näiden täytyy olla toimintakunnossa; järjestelmä vikaantuu kuten aktiivinen järjestelmä, jos liikkuva osa vikaantuu.
  - Jos järjestelmässä ei ole liikkuvia osia, sen toiminto heikkenee vain, jos lämmönsiirto heikkenee joko siksi että tarvittava virtaus hidastuu tai lämmönsiirtopinta likaantuu. Toiminto ei kuitenkaan katkea, ainoastaan sen suorituskyky heikkenee, ja tällöin lämmönsiirtoprosessi säätyy itse niin

että kuumemman puolen lämpötila nousee, kunnes lämmönsiirtokyky on palautunut tilanteeseen nähden riittäväksi. *Passiiviset lämmönsiirtopiirit ovat itsesäätyviä.* Turvallisuusanalyysissä on tarkastettava, aiheuttaisiko lämpötilan nousu vaaraa leviämiseiden eheydelle.

Luontaiset prosessit ovat fysikaalisia ilmiöitä, jotka tapahtuvat vallitsevien olosuhteiden vaikutuksesta ilman ulkopuolista ohjausta tai käyttövoimaa. Reaktorissa näitä ovat takaisinkytkennät mm. polttoaineen lämpötilasta ja jäähdytteen tiheydestä, lämmönsiirrossa taas lämpösäteily, lämmön johtuminen, vapaa konvektio ja luonnonkierto. Mekaanisten osien liikuttelu painovoimaisesti on myös luontainen prosessi.

Esimerkiksi kaasujäähdytettyjen kuulakekoreaktoreiden reaktoriturvallisuus perustuu pitkälti suunnitteluun, jossa reaktorisydämen suuri terminen hitaus ja edellä mainitut lämmönsiirtomekanismit takaavat polttoaineen säilymisen eheänä kaikissa oletetuissa onnettomuustilanteissa.

### 2.3 Turvallisuustoimintojen osoittaminen, turvallinen tila

Turvallisuustoimintojen riittävä suorituskky on osoitettava. Aktiivisten turvallisuusjärjestelmien osalta osoitus on tehty mallikokeiden ja tietokonelaskelmien avulla. Molempiin liittyy merkittäviä yksinkertaistuksia<sup>2</sup>, joiden takia turvallisuusjärjestelmien mitoitukseen liittyy epävarmuutta, mikä katetaan turvallisuusmarginaaleilla.

Passiivisten turvallisuusjärjestelmien riittävä suorituskky voidaan osoittaa samalla tavoin kuin aktiivistenkin, mallikokeiden ja tietokonelaskelmien avulla. Toisin kuin joskus näkee väitettävän, passiivisten järjestelmien osoittamiseen ei liity mitään periaatteellisia ongelmia tai herkkyyksiä, joita ei esiintyisi myös aktiivisten järjestelmien osoituksissa. Ainoa ero on perinteisen koe- ja mallinkehitysdatan määrässä, aktiivisten turvallisuusjärjestelmien toimintaa on vuosikymmenien mittaan tutkittu määrällisesti enemmän kuin passiivisten.

Mallikokeet muodostavat perustan kaikkien turvallisuuden kannalta tärkeiden ilmiöiden ymmärtämiselle ja laskennalliselle mallintamiselle. Passiivisten järjestelmien mallintamiseen tarvittava skaalausteoria tunnetaan ja edustavia koejärjestelyjä osataan suunnitella ja kokeita voidaan tarvittaessa tehdä. Useimpia keskeisiä ilmiöitä ei pystytä laskemaan lähtien ensimmäisistä periaatteista, vaikka tietokoneiden suorituskky kehittyikin huikeasti. Rajoituksistaan huolimatta tietokoneohjelmat ovat hyödyllisiä kokeiden tulokinnassa ja välttämättömiä ilmiöiden kuvaamiseen laitosmittakaavassa.

Turvallisuussuunnittelussa on osoitettava, että laitos voidaan saattaa turvalliseen tilaan. Suomalainen säännöstö määrittelee, että turvallisessa tilassa reaktori on paineeton ja jäl-

---

<sup>2</sup> Kustannussyistä: nimellisillä toimintaparametreilla laitteet on rakennettava olennaisesti oikeaa laitosta pienemmiksi (tilavuussuhde tyypillisesti 1:50 tai pienempi), isommassa geometriassa taas tingitään parametrien lisäksi reunaehdoista. Laskentamalleissa taas perusyhtälöitä johdottaessa tehdään fysiikkaa koskevia voimakkaita yksinkertaistuksia, ja itse laskentaan sisältyy matemaattisista likimääräisyyksistä johtuvia numeerisia virheitä.

kilämmön poisto on turvattu. Määritelmästä seuraa, että ”turvallisessa tilassa” kevytvesireaktorin lämpötila on pidettävä alle 100 °C, mikä isoissa reaktoreissa vaatii koko aktiivisen jälkilämmönpoistoketjun toimintaa lopulliseen lämpönieluun saakka. Aktiivinen lämmönsiirtoketju taas tarvitsee merkittävän määrän ulkopuolista käyttövoimaa ja ohjausta toimiakseen, eli turvallisen tilan ylläpitäminen on monimutkaista ja työlästä.

Passiivinen lämpönielu, jossa lämpö siirretään reaktorista suojarakennuksen ulkopuoliseen vesialtaaseen, joka kiehumalla poistaa lämmön ilmakehään (lopulliseen lämpönieluun), ei siis vie reaktoria määritelmä mukaiseen turvalliseen tilaan. Isojen reaktorien turvallisuusperustelussa ei voi käyttää passiivia järjestelmiä turvallisessa tilassa pitämiseen. Jälkilämmön siirtäminen lopulliseen lämpönieluun vettä keittämällä olisi kuitenkin lämpötekniisesti tehokasta, ja tarvittava veden massavirta on isossakin reaktorissa varsin pieni, muutama kymmenen kiloa sekunnissa, niin että se olisi äärimmäisessä tilanteessakin helposti järjestettävissä jopa improvisoiduin toimenpitein. Veden keittämiseen perustuva turvallinen tila olisi siis ylläpidettävissä paljon suuremmalla varmuudella (vähemmällä laitteilla, järjestelmillä ja toiminnoilla) kuin nykyisen säännösten mukainen ”turvallinen tila”.

Kevytvesitekniikkaan perustuva SMR-reaktori olisi voitava suunnitella niin, että veden keittäminen on turvalliseen tilaan riittävä lämpönielu. Käytännössä tämä toteutuisi, jos turvalliseksi tilaksi määriteltäisiin kaksi vaihtoehtoista tilaa

1. kylmä seisokki, reaktori paineeton (ym.) (kuten nyt)
2. haalea seisokki, reaktorissa matala paine, niin että jälkilämmönpoisto toimii luonnonkierrolla tai vapaalla konvektiolla, jossa lämpönieluna on ilmakehään avautuva kiehuva vesiallas, jonka vesi-inventaarin pidetään lämmönsiirtoon riittävällä tasolla.

Haalean seisokin määrittelemineen turvalliseksi tilaksi olisi tarkoituksenmukaista myös isojen kevytvesireaktorien kannalta.

#### 2.4 Valmius- ja turvajärjestelyt

Pelkkään sähköntuotantoon tarkoitettujen SMR-laitosten sijoittamisen ei tarvitse poiketa olennaisesti isojen reaktoreiden sijoittelusta, koska sähköä voidaan siirtää taloudellisesti pitkiäkin matkoja. Tässä tilanteessa yhdellä laitosalueella olisi lukuisia laitossyksiköitä, esimerkiksi 10-12, ja radioaktiivisuuden kokonaismäärä laitosalueella olisi lopulta samaa luokkaa (keski)suuren reaktorin kanssa. Valmius- ja turvajärjestelyjä voidaan tässä tapauksessa toteuttaa kuten nykyään käytössä olevilla reaktoreilla.

Kaukolämmöntuotantoon tai lämmön ja sähkön yhteistuotantoon tarkoitettuja SMR-laitossyksiköitä tarvittaisiin kuhunkin sijoituspaikkaan lukumääräisesti vähemmän, esimerkiksi luokkaa 1-4 yksikkö sijoituspaikkaa kohti. SMR-laitoksia tulisi voida sijoittaa kaukolämpöverkon ääreen tai lähelle, mikä käytännössä merkitsee läheisyyttä asutuskeskukseen, lähiöön tai lämpöasiakkaana myös toimivaan teollisuuslaitokseen. Tästä seuraa uudenlainen tilanne sekä valmius- että turvajärjestelyjen kannalta.

Jos pystytään osoittamaan, että väestönsuojelutoimenpiteitä edellyttävä radioaktiivinen päästö on käytännössä poissuljettu kaikissa onnettomuustilanteissa, on sijoitus lähelle asutuskeskuksia tai muita pysyviä toimintoja mahdollinen. Siinäkin tapauksessa pitää toteuttaa riittävät valmiusjärjestelyt. Jos ei pystytä osoittamaan, että väestönsuojelutoimenpiteitä edellyttävä päästö on poissuljettu, on tilannetta tarkasteltava tapauskohtaisesti ottaen huomioon reaktori(e)n teho ja turvallisuusominaisuudet.

Lähelle asutusta sijoitettavan laitoksen turvajärjestelyille asetettavat vaatimukset on arvioitava kokonaisuutena ottaen laitoksen riskit huomioon. Turvajärjestelyt olisi tarkoituksenmukaisinta toteuttaa ensi sijaisesta rakenteellisina suojauksina, jotka estävät (tai hidastavat) laitoksen vahingoittamista niin, että radioaktiivisuutta voisi vapautua. Viivästyksen pitää riittää siihen, että poliisi, tarvittaessa muiden viranomaisten avustamana, keskeyttää lainvastaisen toiminnan. Isomman mittakaavan ulkoista uhkaa, kuten tahallista lentokonetörmäystä, vastaan laitos täytyy suunnitella rakenteellisesti niin, että ydin- ja säteilyturvallisuuden kannalta tärkeät laitososat ovat suojassa, esimerkiksi maan alla, ja törmäyksessä vahingoittuvat rakenteet voidaan menettää turvallisuustoimintojen siitä kärsimättä.

SMR-laitoksia ohjattaisiin tyypillisesti yhdestä valvomosta useita, sähköntuotannossa esimerkiksi 10-12 yksikköä. Tästä aiheutuu uudenlaisia haasteita laitoksen turvallisuussuunnittelulle automaation, käyttöliittymän, valvomotoimintojen ja tietoturvan osalta. Lämmöntuotannossa yhdestä valvomosta saatettaisiin etäkäytöllä ohjata useita toisistaan erilleen sijoitettuja yksiköitä tai yksikköryhmiä. Etäkäytöstä seuraa, että tiedonsiirtoon liittyvä lainvastaisen toiminnan uhka (cyber-uhka) on luonteeltaan toisenlainen kuin tilanteessa, jossa laitoksiin liittyvä tietoliikenne rajautuu turvajärjestelyillä suojatun laitosalueen sisään.

## 2.5 Rakentaminen – sarjatuotanto

SMR:ien keskeiset piirteet, pieni teho, integroitu suunnittelu (tyypillisesti keskeisten primääripiirin komponenttien sijoittelu saman paineastian sisälle), pääkomponenttien tehdasvalmistus ja -asennus sekä sarjatuotanto ja myös sarjaksi asentaminen samalle laitospaikalle asettavat uudenlaisia kysymyksiä sekä omistajalle että valvoville viranomaisille.

Sarjatuotanto ja tehtaalla tehty kokoonpano lähtökohtaisesti parantavat yksikön toimitusvarmuutta ja nopeutta sekä vähentävät vikoja. Nämä hyödyt tulevat esille kuitenkin vasta sarjatuotannon päästyä kunnolla käyntiin ja käyttökokemusten alkaessa kertyä. Tämän vuoksi sekä valmistajan valmistusprosesseja että itse valmistusta on päästävä valvomaan. Tämä tarve on luonnollisesti sekä tilaajalla että valvovalla viranomaisella. Sarjatuotannon luonteesta johtuu, että valvontamenettelyt on kohdistettava ja ajoitettava toisella tavalla kuin isoilla paikalla asennettavilla reaktoreilla. Koska oletettavasti valmistusprosessia ei voida samalla tavalla pysäyttää tarkastusten tekoa varten kuin nykyisen kaltaisessa valmistuksessa, joudutaan panostamaan menettelyjen ennakkotarkastukseen, näytteenottoon valmistuksen aikana ja erityisesti loppuhyväksyntään. Valvontamenettelyt on sovitettava hyvissä ajoin yhteen valmistusprosessin kanssa.

Uutta olisi sarjatuotannon historian ja siihen liittyvien prosessien (poikkeamamenettelyt ym.) arviointi.

Ennen kuin määräyksiä ja ohjeistuksia aletaan tältä osin kiinnittää, olisi todennäköisesti hyödyllistä perehtyä muiden saman tyyppisten teollisuudenalojen toiminta- ja valvontamenettelyihin. Tällaisia olisivat esim. lentokoneenvalmistus ja kenties jotkin puolustus-teollisuuden haarat. Tässä voi olla myös hyvä paikka arvioida uudelleen, missä määrin viranomainen suorittaa suoraa valvontaa, ja missä määrin valvotaan, että valmistaja itse tai valmistajan tarkastuslaitos valvoo.

Jos ja kun sarjatuotannon hyödyt alkavat jossain vaiheessa toteutua, niin olisi ajateltavissa, että myös valvontamenettelyjä voitaisiin keventää tai siirtyä enemmän satunnaisotantaan kohteiden valinnassa.

Rakennusten ja rakennuspaikan infrastruktuurin rakentaminen on lähtökohtaisesti samanlaista kuin nykylaitoksilla, mikäli tarvittavat rakennukset valmistuvat kerralla. Jos taas uudet moduulit tarvitsevat lisärakentamista, olisi sekä rakennustekniikassa että luvitustmenettelyssä johdonmukaista hyödyntää mahdollisimman paljon jo valmiita osioita. Pienempi laitoskoko voi keventää menettelyjä ja rakennusten massiivisia rakenteita jossain määrin. Toisaalta taas sijoittuminen lähemmäs asutuskeskuksia tai sijoittaminen muuhun teollisuusympäristöön (prosessilämpösovellukset) tuovat uusia kysymyksiä, jotka on paikkakohtaisesti ratkaistava.

Rakentamisessa on varauduttava sarjaan asennettavien moduulien ajalliseen eriaikaisuuteen. Varsinkin jos moduulit käyttävät yhteisiä tiloja (NuScale-reaktoriallas esim.), joudutaan varmistamaan jo toimivien yksiköiden häiriötön ja turvallinen käyttö.

## 2.6 Käyttö

SMR:t mahdollistavat ydinvoimaan perustuvan energiantuotannon laajemmalla joukolla yrityksiä ja julkisia organisaatioita, joiden tulee hankkia käyttöönsä tähän riittävät valmiudet. Modulaarisuus tarkoittaa sitä, että yhdelle laitospaikalle saatetaan ajan myötä rakentaa suuri määrä yksiköitä, joita mahdollisesti valvotaan samasta valvomosta. Luokkaa 10-12 reaktorimodulin laitoksessa reaktoreiden käyttöjaksot todennäköisesti lomittelaisiin niin, että moduulit ovat yksi kerrallaan polttoaineen vaihdossa ja huollossa.

Toisaalta pyrkimys kaukolämmöntuotantolaitosten rakentamiseen voi johtaa saman omistajan laitosten hajautettuun sijoitteluun ja laitosten kaukokäyttöön. Tästä seuraa SMR:iä omistavien organisaatioiden toiminnalle, henkilöstölle ja osaamiselle uudenlaisia haasteita ja vaatimuksia, jotka ovat osin uusia koko ydinenergia-alalle.

Mahdollinen kehityskulku on ydinenergia-alan ekosysteemin monimuotoistuminen siten, että syntyisi kokonaan uudenlaista liiketoimintaa ja uudenlaisia toimijoita, esim. laitosten operointiin keskittyviä yrityksiä. Tähän liittyen esimerkiksi käytön ulkoistaminen,

ts. omistajuuden ja laitosten operoinnin eriytyminen eri organisaatioihin nostaa esiin uudenlaisia vastuu- ja turvallisuuskulttuurikysymyksiä ja haasteita, joihin tulisi varautua jo ennakoita, ja jotka voidaan myös nähdä mahdollisuuksina suomalaisille toimijoille.

Organisaatioille asetuvat vaatimukset ja kehitystarpeet riippuvat suuresti siitä, missä vaiheessa ne tulevat kuvaan. Laitostyyppien ollessa vielä varhaisessa kehitysvaiheessa ei vielä ole olemassa muualta saatua käyttökokemusta, jota voitaisiin hyödyntää. Toisaalta mukaan tulo jo tässä kohtaa ja länsimaisia turvallisuusvaatimuksia vastaavien ekosysteemien ja toimintamallien kehittäminen toisi suomalaisille organisaatioille uutta osaamista, jolla voisi odottaa olevan suurta kaupallista hyödyntämispotentiaalia globaalistakin.

### 3. YDINVOIMALAITOSTEN LISENSIOINTIPROSESSI

Nykyisen lain mukaan jokaisesta hankkeesta, jossa rakennetaan kerralla yksi tai useampi ydinreaktori, on

- tehtävä aina ympäristövaikutusten arviointimenettely, YVA, sille tai niille paikoille joihin voimalaitos myöhemmin rakennettaisiin
- jos laitoksen lämpöteho on yli 50 MW<sub>th</sub>, on haettava ennen varsinaista lupaprosessia valtioneuvoston periaatepäätös. Laitos voi muodostua useammasta reaktorista yhdessä
- haettava aina valtioneuvostolta rakentamis- ja käyttöluvat sekä.
- haettava käytöstäpoistolupa, kun laitoksen käyttö aikanaan päättyy.

Laitoksen suunnittelun kannalta Säteilyturvakeskuksen turvallisuusarviointimenettelyt sekä rakentamis- että käyttöluvavaiheessa ovat keskeisessä roolissa. Käytännöksi on muodostunut, että STUK arvioi laitosvaihtoehtojen tekniikkaa alustavasti ja sitoumuksetta jo periaatepäätösvaiheessa. Ydinenergi laki tai sen perustelut eivät kuitenkaan edellytä, että reaktoreiden lukumäärää, laitostyyppiä tai –valmistajia tulisi kiinnittää jo periaatepäätöksen yhteydessä.

Näin ollen periaatepäätös voitaisiin jo nyt myöntää esimerkiksi 12 yksikköä sisältävälle modulaariselle voimalaitokselle. Kaikkien yksiköiden ei tarvitse sijaita samassa paikassa, mutta kaikilla paikoilla on oltava tehtynä ympäristövaikutusten arviointi (YVA) ja sijoituskuntien on hyväksyttävä omalle alueelleen suunnitellun laitoksen rakentaminen.

Nykyisen ydinenergi lain luvitusprosessi rakentuu oletukselle, että on olemassa yksi toimija, joka toteuttaa kerralla yhtä niin isoa laitoshanketta, että sillä on merkitystä valtakunnan energiapolitiikan kannalta, ja jolle voidaan osoittaa kaikki hankkeeseen liittyvät vastuut. Käytännössä tämä on johtanut sekä Suomessa että muualla länsimaissa (Ranska, Yhdysvallat) siihen, että laitoshankkeista tulee ainutlaatuisia yksittäisiä projekteja.

Viimeaikaiset kokemukset isojen reaktorien rakentamisesta länsimaissa eivät ole rohkaisevia. Rakennuskustannukset, toteutusaikataulut ja valvontaan käytetty työmäärä ovat

kaikki ylittyneet olennaisesti alun perin suunnitellusta. Juuttuminen yksittäiskappale-ongelmaan voidaan voittaa ainoastaan siirtymällä sarjatuotantoon. Sarjatuotannosta saadaan tuntuvaa etua silloin kun sarjat ovat pitkiä, reaktoreiden tapauksessa kymmeniä yksiköitä. Länsimaissa ei ole nähtävissä yhteiskunnallista tai taloudellista valmiutta rakentaa lyhyessä ajassa kymmeniä isoja reaktoriyksiköitä. Sen sijaan luokkaa kymmenen pienen reaktorin, jotka vastaisivat yhteisteholtaan yhtä isoa reaktoria, rakentaminen olisi ajateltavissa ja tuottaisi sarjatuotannon etuja.

Sitä, miten laitosvaihtoehtojen tekniset ratkaisut täyttävät suomalaiset turvallisuusvaatimukset periaatteellisella tasolla ja miten vaatimukset luvitusdokumentaatiolle täyttyvät, tulisi laitostoimittajakandidaattien voida käsitellä STUKin kanssa hyvissä ajoin, tulevien hankkeiden rakentamislupavaiheen pohjustamiseksi. Tätä varten olisi lainsäädännössä tehtävä mahdolliseksi laitoksen suunnittelun ennakkohyväksyntä, ns. design certification-prosessi. Ennakkohyväksyntäkäsittelyn väärinkäytön ehkäisemiseksi olisi sen aloittamiselle asetettava kynnysehto, että laitostoimittajalla on Suomessa teknologiastaan kiinnostunut asiakas, jolla voidaan katsoa olevan realistiset edellytykset käyttää kyseistä teknologiaa sen jälkeen kun tyyppihyväksyntä on annettu.

SMR:iien osalta on epärealistista ajatella, että jokainen niitä Suomessa mahdollisesti tarvitseva alkaisi itse tulkita STUKin määräyksiä ja YVL-ohjeita ja kommunikoida tulkittaansa sekä laitostoimittajien että STUKin suuntaan. SMR-laitosten sarjatuotanto käy mahdolliseksi vain, mikäli laitosteknologian viranomaiskäsittely tapahtuu laitoksen suunnittelun tyyppihyväksyntämenettelyllä, jossa laitosvalmistaja ja STUK keskenään käsittelevät laitoksen teknologiaa.

SMR:iien käyttöön todennäköisesti liittyisi maantieteellistä hajauttamista, eli useita uusia laitospaikkoja. Nykyisessä ydinenergiailaissa tai muussa säännöstössä ei ole selvää prosessia, millä laitospaikka voitaisiin todeta ydinvoimalaitoskäyttöön soveltuvaksi. Laitoksen sijoituspaikan erillinen luvitusprosessi tulisi lisätä ydinenergialakiin. Laitospaikka-hyväksyntää voitaisiin liittää rajoituksia koskien esimerkiksi laitoksen teknologiaa tai kokonaistehotasoa.

## 4. YDINJÄTEHUOLTO

### 4.1. Nykytila ja edellytykset SMR:iien ydinjätehuollolle

Suomen ydinvoimalaitosten olemassaolon aikana jätehuoltoa varten on toteutettu infrastruktuuri matala- ja keskiaktiivisten jätteiden käsittelylle, varastoinnille ja loppusijoitukselle. Käyttökokemuksia on jätehuollosta kertynyt jo runsaasti. Korkea-aktiiviseksi ydinjätteeksi luokitellun käytetyn polttoaineen käsittely sekä varastointi laitospaikoilla on arkipäivää ja loppusijoituksen valmistelu on siirtynyt suunnittelusta toteutukseen. Ydinvoimalaitosten käytöstäpoistoa koskeva suunnittelutyö on raportoitu viranomaisille määräväleihin. Sen yhteydessä on esitetty suunnitelmat ja turvallisuusarvio käytöstäpoisto-jätteistä huolehtimiseksi. Suomen kaltaisella merkittävän ydinenergiaosaamisen maalla on näistä syistä hyvät edellytykset huolehtia myös mahdollisten SMR:iien tuottamista ydinjätteistä. Näistä käytetty polttoaine on luonnollisesti merkityksellisin.



Kehitysvaiheessa olevia SMR:ksi kutsuttuja laitostyyppejä tai -konsepteja on eri maissa kehitteillä useita kymmeniä. Ensimmäiset demonstraatiolaitokset maailmalla käynnistynevät 2020-luvulla. Mikäli Suomeen harkittaisiin rakennettavaksi nykyisenkaltaiseen teknologiaan perustuvia laitosyksiköitä, olisi niiden tuottamista ydinjätteistä (ml. käytetty polttoaine) huolehtiminen samankaltaista kuin jo olemassa ydinvoimaloiden ja se voisi perustua samoihin teknisiin ratkaisuihin.

Mikäli SMR-tyypin valinnassa päädyttäisiin laitosratkaisuihin, joiden toimintaperiaate ja niiden käyttämä polttoaine olisivat merkittävästi nykyisestä poikkeavia, vaatisi se muutoksia olemassa oleviin ydinjätteiden käsittely-, varastointi- ja loppusijoitusratkaisuihin. Näiden muutosten tekeminen edellyttää tutkimus- ja kehitystyötä uusien ratkaisujen luovuttamiseksi. Kehitystyö vaatii luonnollisesti oman aikansa ja se kannattaa toteuttaa mahdollisuuksien mukaan kansainvälisenä yhteistyönä.

SMR:ien ydinjätehuolto voidaan toteuttaa nykyainsäädännön pohjalta samalla tavoin kuin menossa olevat hankkeet (Posiva Oy, Fennovoima Oy, VTT). Eräänä perusteena SMRien rakentamiselle ja käyttöönnotolle on pidetty nykyisen kaltaisiin ydinvoimalaitoksiin verrattuna joustavuusnäkökohtia niiden sijoittamisen, rakentamisen, käyttötapojen jne. suhteen. Seuraavassa on tarkasteltu ydinjätehuoltoon liittyviä vastuu- ja yhteistyötehtäviä, joita tähänastisesta toiminnasta saatujen kokemusten perusteella voisi kehittää ja harkita tarpeen mukaan otettavaksi huomioon lainsäädännössä sekä valvontatoiminnassa.

#### 4.2 Ydinjätehuoltovastuu ja -yhteistyö

Ydinjätehuollosta säädetään ydinenergialaissa (luku 6). Vastuu ydinjätehuollon toimenpiteistä on ydinjätteen tuottajalla. Vastuuseen kuuluu myös taloudellinen varautuminen ydinjätehuollon edellyttämien toimenpiteiden kustannuksiin etukäteen. Varautuminen koskee toimenpiteitä myös sen jälkeen, kun ydinlaitos on lopettanut toimintansa (esim. energian tuotannon) ja on poistettu käytöstä. Ydinjätehuoltovastuusta voi päästä lopullisesti eroon vain toteuttamalla jätteiden pysyvä loppusijoittaminen viranomaisten hyväksymällä tavalla tai sopimusteitse siirtämällä sama vastuu toiselle toiminnanharjoittajalle, joka ottaa vastatakseen ko. vastuun. Huolehtimisvelvollisuuden siirrosta tekee ratkaisun TEM.

Suomessa ydinvoimayhtiöt Fortum Oyj ja TVO Oyj ovat ydinjätehuoltovastuullisia. Ne huolehtivat kumpikin omien matala- ja keskiaktiivisten jätteidensä loppusijoittamisesta omissa loppusijoitustiloissaan Hästholmenilla ja Olkiluodossa. Tähän ratkaisuun yhtiöt päätyivät tahoillaan tekemiensä selvitysten mukaan. Loppusijoituslaitokset luvitettiin ja rakennettiin nykyistä lainsäädäntöä edeltäneen atomienergia- ja säteilysuojauslakien (1957) mukaisesti. Kumpikin laitos on ollut toiminnassa yli 20 vuotta. Fennovoima Oy valmistelee uuden ydinvoimalaitoksen rakentamista Pyhäjoen Hanhikivelle. Sähköntuotanto on suunniteltu aloitettavaksi v. 2020-luvun lopulla. Yhtiö suunnittelee matala- ja keskiaktiivisen laitosjätteen loppusijoituslaitoksen rakentamista laitospaikalle. Laitosta

on suunniteltu myöhemmin laajennettavaksi käytöstäpoistojätteiden loppusijoitusta varten (kuten Olkiluodon sekä Hästholmenin laitoksetkin). Tarve loppusijoituksen aloittamiseen on noin 10 vuoden kuluttua säännöllisen käyttötoiminnan aloittamisesta. Käyttötoiminnan alkaessa yhtiöstä tulee ydinjätehuoltovelvollinen.

Ydinenergialaki antaa mahdollisuuden sopia yhteistyöstä ydinjätehuoltovastuullisten välillä vapaaehtoisesti. Käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta huolehtiva Posiva Oy on hyväksytty v. 1995 silloisen KTM:n (kauppa- ja teollisuusministeriö) päätöksellä Fortumin ja TVO:n yhteiseksi järjestelyksi käytetyn polttoaineen osalta. Posivalla ei kuitenkaan ole ydinjätehuoltovastuuta omistajiensa käytetystä polttoaineesta vaan vastuu säilyy yhtiöillä.

Tämänhetkisten suunnitelmien mukaan ydinjätehuoltoa tullaan toteuttamaan Suomessa Olkiluodon, Hästholmenin ja suunnitellun Hanhikiven laitosten osalta 2100-luvulle saakka.

On ilmeistä, että tulevien SMR:ien ydinjätehuolto olisi edullisinta järjestää vapaaehtoisen yhteistyön pohjalta muiden ydinjätehuoltovastuullisten kanssa käyttämällä hyväksi jo olemassa olevaa infrastruktuuria. Toteutustapoja voivat olla esim. palvelujen myynti tai yhteinen yhtiö Posivan tapaan.

SMR-tyyppisiä ydinlaitoksia on kaavailtu rakennettaviksi sähköntuotantoon sähkön siirtoverkon ulottuville tai pelkästään lämmöntuotantoon, jolloin niiden tulisi sijaita riittävän lähellä käyttökohteita. Laitosalueelle ei ole kaikissa tapauksissa mahdollista perustaa samanlaista kattavaa ydinjätehuoltoinfrastruktuuria kuin nykyisillä ydinvoimalaitoksilla Hästholmenilla ja Olkiluodossa jo on, ja jollaista suunnitellaan Hanhikivelle. Matala- ja keskiaktiivisen jätteen kertymät tulevat olemaan vähäisempiä samoin kuin käytetyn polttoaineen kertymä sekä varastointitarve. Joissakin tapauksissa, tekniikasta riippuen, polttoaineen latausykli voi olla merkittävästi pidempi kuin nykyisillä voimalaitoksilla. Matala- ja keskiaktiivisia jätteitä voidaan varastoida laitosalueilla niille varatussa rakennuksessa ja käytettyä polttoainetta varastosäiliöissä, kunnes ne loppusijoitetaan.

Kaikkien toimijoiden etu ydinvoiman yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden kannalta on, että turvallinen loppusijoitus voidaan tehdä keskitetysti ja oikea-aikaisesti ydinjätehuoltovastuullisten toimesta, kuten tähänkin asti. Tulevaisuudessa kukin SMR:n omistava taho ja luvanhaltija on ydinjätehuoltovastuullinen. Luontevaa olisi, että ydinjätehuoltovastuulliset hakeutuisivat yhteistyöhön vapaaehtoisesti. Ydinenergialaki sisältää (§29) mahdollisuuden ministeriölle (TEM) määrätä eri jätehuoltovelvolliset hoitamaan ydinjätehuoltotoimenpiteitä yhteisesti, jos siten voidaan lisätä turvallisuutta tai pienentää kustannuksia, tai jos muut painavat syyt sitä vaativat. Samalla on tarvittaessa määrättävä yhteisesti suoritettavista toimenpiteistä aiheutuvien kustannusten jakamisesta. Lakia säädettyä ensisijaisena tavoitteena oli viedä käytetty polttoaine pysyvästi ulkomaille ja loppusijoitus Suomessa oli varasuunnitelman asemassa. §29 pykälää on tarkasteltu 2010-

luvulla<sup>3</sup> ja yhteistyöhön pakottamiselle ei voitu todeta selkeitä perusteita vaan vapaaehtoista yhteistyötä pidettiin parempana vaihtoehtona. Posiva Oy on esimerkki, miten nykyisen ydinenergialain puitteissa on mahdollista muodostaa toimiva yhteistyö toimijoiden välillä näiden keskinäiseen sopimukseen perustuen.

Mikäli Suomeen ryhdytään kaavailemaan SMR-tyyppisiä ydinlaitoksia näiden ydinjätehuoltoa hyödyttäisi sopiminen mm. seuraavista ydinjätehuollon toimenpiteistä:

- Matala- keskiaktiivisten ydinjätteiden yhteinen keskitetty välivarastointi
- Käytetyn polttoaineen yhteinen välivarastointi
- Käytössä olevien VLJ-loppusijoitustilojen laajentaminen
- ONKALO:n laajentaminen muiden toimijoiden käytetylle polttoaineelle
- Käytöstäpoistojätteiden yhteinen loppusijoitus

VLJ-luolia on suunniteltu laajennettavaksi omistajiensa tarpeisiin viimeistään käytöstäpoistojätteiden varalta, jos ei jo aikaisemminkin, laitousyksiköiden pidentyneiden käyttöikien tuomien mahdollisten lisätarpeiden vuoksi. Laitosten laajentaminen ja palvelun avaaminen muille ydinjätehuoltovelvollisille tulisi tulevaisuudessa voida tehdä ilman periaatepäätösmenettelyä, joka tarpeettomasti hankaloittaa palvelutoiminnan muodostamista.

Periaatepäätösmenettelyn käyttö loppusijoituslaitoksen laajentamiseen laitoksen ollessa jo olemassa on tarpeeton, koska yhteiskunnan kokonaisuus on harkittu jo aiemmin. Lain mukaan hyväksytty loppusijoittaminen on ainoa vaihtoehto ydinhuoltovastuun päättämiseksi. Jos olemassa olevan laitoksen laajentaminen turvallisesti on mahdollista, on se oletettavasti myös yhteiskunnan kokonaisedun mukaista ja mahdollistaa käytännöllisen ratkaisun ydinjätehuoltovelvolliselle. Laajentaminen tulisi tulevaisuudessa luvittaa laitosmuutoksena, jonka valvoo ja hyväksyy STUK.

## 5. RAJAPINNAT MUUHUN LAINSÄÄDÄNTÖÖN

Nykyinen ydinenergialain (990/1987) mukainen suunnittelu- ja lupajärjestelmämme edellyttää, että jokaisesta hankkeesta, jossa rakennetaan kerralla yksi tai useampi ydinreaktori, on tehtävä aina ympäristövaikutusten arviointimenettely, YVA (YVA-laki 252/2017).

Ydinenergialain ja YVA-lain mukaisten prosessien lisäksi ydinlaitoksen suunnittelu- ja lupaprosesseihin kuuluvat lisäksi tavanomaiset mm. ympäristölainsäädäntöön liittyvät prosessit:

- Ydinlaitoksen alueidenkäytölliset edellytykset on tutkittava kaavalla. Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukainen suunnittelujärjestelmä on kolmiportainen. Yleispiirteisimmästä suunnittelusta, maakuntakaavan laadinnasta,

---

<sup>3</sup> Ydinjätehuoltoyhteistyön selvitys. Työryhmän loppuraportti, TEM raportti 1/2013, Energiaosasto 10.1.2013

vastaavat maakuntien liitot ja yksityiskohtaisempien yleis- ja asemakaavojen laadinnasta vastaavat kunnat.

- Kaavoitukseen perustuen kunnat voivat myöntää rakentamiseen tarvittavat rakennus- ja toimenpideluvat.
- Maankäytön suunnittelun lisäksi ydinlaitoksen toiminta tarvitsisi myös aluehallintoviraston myöntämän ympäristönsuojelulain (527/2017) mukaisen ympäristöluvan
- sekä esim. turvallisuus- ja kemikaalivaraston luvan vaarallisten kemikaalien käyttöön ja varastointiin (Kemikaaliturvallisuuslaki 390/2005).

Kaavoitusmenettely rajoittaa ydinlaitoksen, myös SMR:n, lähiympäristön käyttöä muuhun toimintaan. Kaavat osaltaan takaavat, että laitospaikan ja laitoksen sijoitusta koskevissa päätöksissä tehtyjä oletuksia lähiympäristön toiminnoista noudatetaan niin kauan kuin laitoksen turvallisuuden kannalta on tarpeellista.

Jos reaktori suunniteltaisiin yhteistuotantokäyttöön, sen liittäminen sähköverkkoon edellyttäisi sopimusta verkonhaltijan (Fingridin) kanssa. Fingrid voi edellyttää sähköverkon hallinnan kannalta tärkeitä teknisiä ominaisuuksia ehtona laitoksen liittymiselle 400 kV kantaverkkoon. Toisaalta SMR:t olisivat todennäköisesti kokoluokaltaan niin pieniä, että ne voitaisiin liittää suoraan paikallisten energiayhtiöiden verkkoihin alemmilla jännite-  
tasoilla.

Nimellisjännitteeltään vähintään 110 kV sähköjohdon rakentamiseen tarvittaisiin myös sähkömarkkinalain (588/2013) mukainen hankelupa, jonka myöntää Energiamarkkinavirasto sekä niiden kuntien suostumus, joiden alueilla sähköjohdon reitti kulkisi. Puh-  
taasti lämmitykseen suunniteltu reaktori voitaisiin pienen omakäyttötehonsa ansiosta liittää myös paikalliseen keskijänniteverkkoon (20 kV).

JAKELU Aloitteen mukana