

Rakentavaa vainoharhaisuutta Hanhikivessä

■ Jos kaikki menee suunnitelmien mukaan, Pohjois-Suomen ensimmäinen ydinvoimala käynnistyy Pyhäjoella vuonna 2029. Sitä ennen tehdään tarkistuksia toisensa jälkeen ja varmistetaan laitoksen turvallisuus myös tilanteissa, joita on vaikea edes kuvitella.

KALEVI RANTANEN

Tehdäänpä mielikuvituksessa aikamatka kolmenkymmenen vuoden päähän, kohteena Hanhikiven niemi Perämeren rannalla.

Ilmastonmuutos on tuonut mukanaan enimmäkseen lämpimiä mutta joskus myös hyvin kylmiä ilmoja. Vuonna 2051 iski niin ankara pakkaneen, että meri jäätyn ydinvoimalan edustalla umpeen.

Ei kuitenkaan hätää, laitos sulatti itselleen jäähdytysvettä. Onneksi taanoin 2020-luvun alussa oli varauduttu myös erittäin epätodennäköisiin sään vaihteluihin.

Palataan nykypäivään. Juuri nyt sadat asiantuntijat ponnistelevat kyetäkseen kuvittelemaan ennakkoon kaikki mahdolliset onnettomuudet – ja myös sen, kuinka ne ehkäistään.

”Ääritapauksessa meri voi jäätyä rannassa pohjaan asti. Silloin jäähdytysvesipumppujen suuntaa muutetaan ja sulatetaan jää”, sanoo ydinvoimayhtiö Fennovoiman viestintäjohtaja **Sakari Kotola**.

Fennovoima on rakennuttamassa Hanhikiven niemelle ydinvoimalan, jonka toimittaa Venäjän valtion ydinenergiayhtiö Rosatom. Nyt ollaan suunnitteluvaiheessa, ja yhtiö toivoo saavansa laitokselle rakentamisluvan ensi vuonna.

On hyvää ja huonoa vainoharhaisuutta. Rakentava vainoharhaisuus tarkoittaa ratkaisujen kehittämistä kaikkia kuviteltavissa olevia riskitilanteita varten.

Ydinvoimalahankkeen nykyhetken tutustuminen on myös kuin matka tulevaisuuteen. Hanhikiven turvavaatimukset ovat teollisuuden yleistä nyky-

tasoa paljon korkeammat.

Suomalainen Fennovoima ei ole asialla yksin, vaan koko ydinvoima-ala maksimoi luotettavuuttaan ja huoltovarmuuttaan.

Kaikesta energiasta 79 prosenttia ja sähköstä 64 prosenttia tuotetaan kansainvälisen energiajärjestön IEA:n tuoreimman tilaston mukaan öljyllä, maakaasulla ja hiilellä.

Jotta ympäristön saastuttamisesta päästään eroon, neljä viidesosaa energiantuotannosta on tehtävä tavalla tai toisella puhtaaksi. Tapoja siihen on monta, mutta on mahdotonta ennustaa eri teknologioiden kilpailukykyä vuosikymmeniä eteenpäin.

Maailma soveltaa siksi koko energiatalouteen ydinvoimalan suunnitteluperiaatteita, rinnakkaisuutta ja erilaisuutta. Monenlaisia energiamuotoja kehitetään yhtä aikaa.

Hyvästä halutaan tehdä priimaa

Varmuuden maksimointi ydinenergia-alalla on viety huippuunsa varsinkin Suomessa. On vaikea sanoa, ovatko vaatimukset täällä kaikkein tiukimmat, mutta ainakin ne kuuluvat tiukimpiin maailmassa.

Hyvästä tehdään priimaa.

”Hanhikiven voimalan konsepti on sama kuin Loviisassa”, Kotola kertoo.

”Rosatom on rakentanut samalla perusteknologiakonseptilla voimaloita kymmeniä vuosia ja on käytännössä markkinajohtaja.”

Pietarin lähellä toimii referenssilaitos, Sosnovyi Borin Laes 2 -voimala, jonka kokemuksia Hanhikiven hank-

keessa hyödynnetään.

Silti kaikki komponentit, prosessit ja myös koko organisaatio on käytännössä käytävä läpi uudelleen. Piirustuksia ja toimintatapoja ei voi kopioida yksi yhteen.

Suomalaiset vaatimukset eivät Kotolan mukaan välttämättä ole venäläisiä ankarampia, mutta osin erilaiset ne ovat.

”Suomalaisen mallin ymmärtäminen on siksi ollut aluksi vaikeaa. Jossakin voimala voidaan rakentaa venäläisellä regulaatiolla, mutta täällä on paljon myös kotimaisia piirteitä.”

Kotola ottaa esimerkiksi suojarakennuksen seinän. Se on mitoitettava niin, että rakennus kestää lentokoneen törmäyksen.

”Suomessa ei riitä, että kertoo seinämän paksuuden. Lisäksi täytyy osoittaa sen riittävyys ja muun muassa se, että törmäyksessä ei synny vaarallisia värähtelyjä”, hän kuvaa.

”Rakenteen toimivuuden lisäksi on osoitettava myös suunnittelijoiden osaaminen ja suunnitteluprosessien pätevyys.”

Lentokonetörmäyssuojauksen lisäksi esimerkiksi primääripiirin paineenalennustoiminta ja hätätildieselgeneraattorien erottelu ovat olleet kohtia, joissa alkuperäisiä suunnitelmia on jouduttu korjaamaan.

Kaikkiaan laitoksen on täytettävä rakentamislupavaiheessa noin 2 500 suomalaista ydinvoimalaitosohjeiden eli yvl:n määrittelemää turvallisuusvaatimusta.

”Suunnittelu- ja luvitusaineiston pitää osoittaa, että vaatimukset toteutu-

» » »

HANHIKIVEN YDINVOIMALA

- Hanhikivi 1 -voimalan tilaaja on Fennovoima Oy, jonka tavoitteena on saada laitokselle rakentamislupa kesään 2022 mennessä. Yhtiö pyrkii aloittamaan rakennustyöt vuonna 2023. Laitos otettaisiin käyttöön vuonna 2029.
- Voimala nousee Pyhäjoen kuntaan Pohjois-Pohjanmaalle. Laitoksen toimittaa venäläisen Rosatom-konsernin suomalainen tytäryhtiö Raos Project.
- Investoinnin kokonaisarvo on yli seitsemän miljardia euroa.
- Valmistuttuaan Hanhikivi 1 tuottaisi 10 prosenttia Suomessa käytettävästä sähköstä. Tontilla on varaus myös toiselle, Hanhikivi 2 -yksikölle.
- Suomessa toimii ennestään kaksi Fortumin ydinvoimalayksikköä Loviisassa ja kaksi TVO:n reaktoria Eurajoen Olkiluodossa. Olkiluodon kolmas yksikkö on testausvaiheessa.

Hanhikiven tukirakennustyöt ovat jo hyvässä vauhdissa, vaikka itse voimalaitos vielä odottaakin rakentamislupaa.

Ydinvoimalankin ytimessä on vesi

Ydinvoimateollisuus työllistää runsaasti kemistejä. Hanhikiven voimalahankkeessa on mukana muun muassa kemisti-insinööri ja tekniikan tohtori **Tiina Pääkkönen**.

”Kemian alan tehtäväkenttä on hankkeessa laaja ja elää suunnittelun ja rakentamisen edetessä kohti laitoksen käyttöönottoa ja käyttöä”, hän kuvailee.

Tässä vaiheessa Hanhikiven hanketta menossa on monenlainen dokumentointi. Laboratoriossa työskentelyn aika tulee myöhemmin.

Isossa osassa ydinvoimaloiden kemian asiantuntijoiden työtä on Pääkkösen mukaan radiokemia. Juuri nyt sen on ohittanut vesikemia.

Pääkkönen kollegoineen tarkastaa parhaillaan suunnitteluaineistoja, jotka käsittelevät Hanhikiven vesikemian hallinnan ja seurannan sekä laboratorioiden järjestelmiä ja tiloja. Tässä tehdään yhteistyötä myös laitostoimittajan kanssa.

”Näin varmistetaan muun muassa se, että järjestelmät, laitteet ja tilat on suunniteltu suomalaisen lainsäädännön ja vaatimusten mukaisesti”, hän kertoo.

Hanhikivi työllistää parikymmentä kemian ammattilaista.

Pääkkösen työhön sisältyy myös kemiallisten prosessien hallintaan liittyviä tehtäviä.

”Valmistelemme esimerkiksi laboratorion tietojärjestelmään liittyvää materiaalia.”

Ydinreaktorit ovat myös vesireaktoreita

Radiokemisti **Miia Lampén** työskentelee tarkastajana Säteilyturvakeskuksessa mutta alkaa hänkin puhua vesikemiasta.

”Veden ja metallin interaktiota on valvottava tarkasti”, Lampén kuvailee työtään, joka tätä nykyä on paljolti vesipiirin luotettavuuden ja turvallisuuden

varmistamista Hanhikiven voimalan suunnittelussa.

Vesikemia on hänen mukaansa ydinvoimaloissa laaja alue, jonka ole-massaolo helposti unohtuu. Useimmat ydinreaktorit ovat kuitenkin samalla vesireaktoreita. Hanhikiven laitos on suomalaiselta tyyppinimitykseltään painevesireaktori.

Englanninkielinen lyhenne *pwr* tulee sanoista *pressure water reactor*. Venäjänkielisen *vver*-lyhenteen suora käännös on vesi-vesi-energiareaktori.

Primääripiirissä paineistettu vesi kiertää reaktorin ja höyrystimen välillä, sekundääripiirissä höyrystimen ja turbiinin välillä. Molemmilla vesipiireillä on oma kemiansa.

Veden ja metallin rinnakkainelossa auttavat alkuun luonnonlait. Vesipiireissä kemialliset olosuhteet säädetään niin, että vesiputki passivoituu.

”Metallin pinnalle muodostuu näin oksidikerros, joka pysyy stabiilina ja suojaa korroosiolta.”

Oksidikerros on siis pidettävä ehjänä. Veteen ei saa joutua epäpuhtauksia tai irtokappaleita, jotka voisivat vahingoittaa sitä.

”Jos sekundääripiiriin pääsee merivettä, seassa voi olla klorideja, jotka ovat aggressiivisia anioneja”, Lampén mainitsee yhtenä mahdollisena tilanteena.

Jotta näin ei kävisi, anionipitoisuuksia seurataan tarkkaan. Pitoisuuksille on säädetty ydinvoimaloiden turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa raja-arvot. Jos ne ylittyvät, käynnistyvät toimenpiteet, joilla kemialliset olosuhteet palautetaan ennalleen.

”Optimaalisilla olosuhteilla ehkäistään myös korroosiotuotteiden saostumista”, Lampén huomauttaa.

Materiaalin pinnalle saostuneet korroosiotuotteet voivat aiheuttaa siihen lisäkorroosiota. Ne myös heikentävät lämmönsiirtoa esimerkiksi polttoainesauvasta primääripiiriin tai primääripiiristä sekundääripiiriin höyrystimessä.

Lisäksi putken sisäpintaan saostuneet korroosiotuotteet nostavat putken annosnopeutta, mikä puolestaan lisää kunnossapitotyöntekijöiden säteilyannosta.

Vesikemiasta on oltava oma ohjelma

Miia Lampénin tehtävänä on tarkastaa erityisesti kemiallisten järjestelmien ja olosuhteiden osuus rakentamislupamateriaaleissa, jotka Hanhikivi-hanke toimittaa Säteilyturvakeskukselle.

”Ydinvoimalaitoksella tulee olla tarkka vesikemian ohjelma. Vesinäytteitä on otettava säännöllisesti, ja vesikemian kokonaiskuva on tiedostettava”, hän kertoo.

”Ydinvoimalaitoksella tulee olla tarkka vesikemian ohjelma.”

Primääripiirin vesikemiaan vaikuttavat olennaisesti laitoksen toiminnoissa käytettävät kemikaalit, kuten boorihappo. Booria käytetään reaktorin reaktiivisuuden hallinnassa.

”Boorihapon happamuuden vaikutus ensin neutraloidaan, ja sen jälkeen kemia muokataan alkaliseksi lisäämällä primääripiiriin hydroksidia”, Lampén selvittää.

Ydinvoimalat ovat yksilöitä. Esimerkiksi Loviisan vver-laitoksessa alkalointi tapahtuu kaliumhydroksidilla ja Olkiluodon epr-laitoksessa litiumhydroksidilla.

Voimaloiden ”säteilemätöntä” kemiallaa valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. Tammikuussa virasto myönsi Hanhikiven laitokselle vaarallisten kemikaalien käsittely- ja varastointiluvan.

Laitoksessa tarvitaan monenlaisia kemikaaleja vedenkäsittelyssä, generaattorien jäähdytyksessä, puhdistus- töissä sekä varageneraattorien polttoaineena.

Laitoksen ja teknologian ohella Hanhikivessä suunnitellaan hyvissä ajoin myös kemian organisaatiota.

”Kemian alan toiminnot Hanhikivessä tulevat työllistämään kaikkiaan parikymmentä alan ammattilaista”, Tiina Pääkkönen kertoo.



Fennovoima Oy

Havainnekuva kertoo, mihin laitoksen eri osat sijoittuvat.

Sivulta 52 >>>

vat. Vaikeus tuottaa riittävän laadukasta, suomalaiset vaatimukset täyttävää aineistoa on hidastanut työtä”, kertoo valvojan edustaja, projektipäällikkö **Janne Nevalainen** Säteilyturvakeskuksesta.

Ennakointia ja hasardianalyseja

Jo siitä, että ylipäätään rakennetaan ydinvoimala uuteen paikkaan, koituu

runsaasti suunnittelutyötä.

”Hanhikivi-spesifisiä vaatimuksia on paljon”, Nevalainen sanoo.

Jokainen sijoituspaikka on hänen mukaansa omanlaatuisensa. Jopa Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä on eroja.

Esimerkiksi pienet maanjäristykset ovat etelää todennäköisempiä pohjoisessa, jossa maa nousee.

”Tärähtelyjen varalta on suunniteltava ja testattava paljon komponentteja kaapelihyllyjen tukia myöten.”

Maan nouseminen toisaalta kompensoi merenpinnan nousua, johon siihenkin on tietysti varauduttu.

”Voimalaitosalue ja kaikki tiet on korotettu, jotta mahdollinen merenpinnan nousu ei aiheuta ongelmia”, Fennovoiman Kotola kertoo.

Hasardit eli vaarat sekä riskit vaihtelevat, mutta periaatteet niiden torjumiseksi ovat yhteiset.

Rinnakkaisperiaate tarkoittaa esimerkiksi sitä, että vesipiirissä on rinnakkaisia pumppuja tai sähkögeneraattoreita.

Erotteluperiaate merkitsee muun muassa tärkeiden laitteiden sijoittamista riittävän kauaksi toisistaan sekä toisistaan eristettyihin tiloihin niin, että vaikkapa tulipalon vaikutus rajataan mahdollisimman pieneksi.

Erilaisuus- eli diversiteettiperiaate tarkoittaa, että rinnakkaisten järjestelmien pitää olla keskenään erilaisia: varasähkögeneraattorin rinnalle akku, keskipakopumpun rinnalle mäntäpumppu, säätösauvojen rinnalle boori, jolla reaktori voidaan sammuttaa.

Periaatteet ovat alaa seuranneille vanhastaan tuttuja, mutta jotkut niiden sovelluksista voivat tuntua yllättäviltä.

Harvoin ajattelemme riskejä turbogeneraattorin toiminnassa. Jos kier-

>>>



Fennovoima Oy

Kun tavoitteena on turvallinen voimalaitos, ratkaisuja punnitaan jopa sadan vuoden perspektiivillä. Alihankkijoiden auditointi on yksi osa prosessia.



Fennovoima Oy

Hanhikiven työmaa kesällä 2021. Infrastruktuuria on rakennettu jo muutamia vuosia. Työn alla ovat nyt muun muassa hallinto- ja varastotilat.

”Laitokseen tulee osittain uusia, passiivisia turvaominaisuuksia”, Nevalainen kertoo.

”Yläkerrassa on vesialtaat, joiden vettä haihduttamalla reaktoria kyetään jäädyttämään silloinkin, kun merivesi-jäähditys on mahdotonta.”

Venäjäällä on tehty koelaitteistoilla analyyseja varmentavia mallikokeita. Niiden tuloksia todennetaan vielä Lappeenrannan-Lahden teknillisessä yliopistossa tehtävin kokein.

Voidaan kuvitella suuri öljyonnettomuus Pohjanlahdella. Kuvitellaan vielä torjunnan epäonnistuminen merellä, jolloin joudutaan sulkemaan Hanhikiven voimalan jäähdityspiiri.

Jos kaikki jäähditysjärjestelmät petävät ja reaktorin sydän alkaa sulaa, siirrytään neljännelle puolustuslinjalle. Sydänvaurion aiheuttama radio-

rosnopeuden säätö pettää, raskas roottori kiihtyy hallitsemattomasti ja lopulta irtoaa tai rikkoutuu. Palaset lentävät ympäriinsä kuin tykin amukset.

Hanhikiven laitoksen suunnittelussa on otettu huomioon myös turbogeneraattorionnettomuuden mahdollisuus.

Syvyyspuolustusta syvennetään

Ennakoinnin ja hasardianalyysien avulla luodaan sekä rakenteellista että toiminnallista syvyyspuolustusta.

Rakenteellisen puolustuksen ensimmäinen linja on ydinpoltoaine, toinen polttoaineen suojakuori. Kolmas on primääripiiri ja neljäs kaksinkertainen suojarakennus.

Toiminnallisen puolustuksen ensimmäinen linja on normaali säätö, jolla lämpötila, reaktorin teho tai muu suure palautetaan oikealle tasolle.

Jos laitos kuitenkin alkaa toimia epänormaalisti esimerkiksi jonkin laitteen vikaantumisen takia, siirrytään toiselle puolustuslinjalle.

Jos jäähditysjärjestelmä menee epäkuuntoon, reaktori pysäytetään pudottamalla säätösauvat alas. Jos sauvat eivät jostain syystä putoakaan, reaktoriin syötetään booria.

Jos pikasulku ei toimi, siirrytään kolmannelle puolustuslinjalle. Reaktorin sydämen sulaminen ehkäistään hätä-

jäähdityksellä.

Hanhikivessä toista puolustuslinjaa vahvistetaan edelleen.

Hanhikiven kokemus vaikuttaa laajasti

On ymmärrettävää, että turvallisuuden ja luotettavuuden rakentaminen inhimillisesti katsoen lähes ikuisuutta varten vaatii aikaa ja voimavaroja.

Periaatteessa työn laajuus on kuitenkin tiedossa. Miksi sitten ydinvoimaloiden aikataulut ovat toistuvasti venyneet?

Teollisuusmaiden yhteistyöjärjestön OECD:n ydinenergiatoimisto NEA julkaisi viime vuonna maailmanlaajuisen raportin ydinvoimalahankkeiden viivästyksistä ja budjettiylityksistä.

Suomesta työhön osallistui Fortumin Nuclear Services -yksikön asiantuntijapalvelujen johtaja **Jukka Hautjärvi**.

Raportin tärkein johtopäätös oli, että suunnitteluvaikeus ratkaisee paljon. Länsimaissa pitkät tauot ydinvoiman rakentamisessa ovat johtaneet valmiuksien ja hankintaketjujen rapautumiseen.

Kiina ja Etelä-Korea ovat avanneet voimaloita tasaiseen tahtiin. Ne ovat

myös pystyneet lyhentämään laitosten rakennusaikaa ja pienentämään kustannusten ylittymisiä.

Yhdysvalloissa MIT-yliopiston energiataloustutkija, professori **Jessika Trancik** on ryhtynyt tutkimaan syytä siihen, miksi ydinvoimaloiden kustannukset karkaavat käsistä.

Amerikkalaistutkijat havaitsivat, että kyse oli usein viime hetken muutoksista suunnitelmiin. Tutkijat suosittelevat tehdasvalmisteisten komponenttien osuuden lisäämistä laitosten rakentamisessa. Mahdolliset muutokset tulisi saada sisään itse suunnitteluprosessiin.

Hanhikiven ja Olkiluodon jälkeen voimaloiden pystyttäminen todennäköisesti tapahtuu entistä sujuvammin. Myöhemmin aloittavat voivat hyödyntää suomalaisten kokemusta.

Vastineeksi pioneerityön raskuudesta suomalaiset pääsevät tuottamaan sähköä silloin, kun monet muut vasta huhkivat laitostensa rakennustöissä.

aktiivinen päästö yritetään pitää suojarakennuksen sisällä. Reaktorin alle rakennettava sydänsieppari kerää sulavan massan.

Viides ja viimeinen puolustuslinja sisältää toimet, joilla estetään ihmisten säteilyaltistus silloin, jos radioaktiivista materiaalia kuitenkin pääsee suojarakennuksen ulkopuolelle. Laitos on sijoitettu kauas asutuskeskuksesta ja evakuointisuunnitelmat ovat valmiina.

Tiedon, moraalin ja talouden huipuille

Laitteiden ja teknisten prosessin lisäksi myös ihmisten ja organisaatioiden on kyettävä toimimaan epätavallisen korkealla, enemmänkin tulevaisuuden kuin nyky maailman laatutasolla.

Ensimmäinen ja helposti ymmärrettävä tehtävä on koulutus.

”Tekninen koulutusohjelma on käynnistynyt. Hallintorakennukseen rakennetaan simulaattorisiipi, jossa on valvomon täydellinen kopio”, Fennovoiman Kotola kertoo.

Toinen, vähemmän näkyvä mutta yhtä tärkeä tehtävä on toiminnan eettisen tason varmistaminen.

”Eräs alan pioneereista on sanonut, että ydinenergia-alalla vaaditaan korkeaa moraalaa”, huomauttaa Säteilyturvakeskuksen Nevalainen.

Kun ydinvoimaloitakin rakentavat ja käyttävät ihmiset eivätkä enkelit, myös väärinkäytösten riski on olemassa.

”Etelä-Koreassa havaittiin kerran kaapelien väärennöksiä. Piti purkaa 600 kilometriä asennettua kaapelia. Purkamisen aiheutti puolentoista vuoden viivytyksen laitoksen rakentamisessa”, Nevalainen havainnollistaa.

Lopulta on muistettava, että voimala on myös liikeyritys, jonka on päästävä liiketaloudellisiin tavoitteisiinsa.

Ydinvoimalassa turvallisuus ja taloudellisuus ovat pitkälti sama asia, mutta eivät kuitenkaan aivan kokonaan.

”Käyttöasteen pitää olla korkea. Huoltotauot pitää minimoida”, Kotola määrittää yleiset taloudellisuuden edellytykset, jotka tulevat turvavaatimusten lisäksi.

Huoltamista riittää kaiken optimoinnin jälkeenkin. Paineastia on käytössä vähintään 60 vuotta, mutta useat muut osat vaihdetaan sinä aikana moneen kertaan.



Voimalaitoksen rakentaminen työllistää yli 20 000 ammattilaista Hanhikivi 1 -työmaalla. Kiivaimmassa vaiheessa suurtyömaalla työskentelee samaan aikaan 4 500–5 500 henkeä.



Kuvat: Fennovoima Oy

Kaikki viisaus säilytetään

Ydinvoimalatoiminnan kaikinpuolista tasoa on ylläpidettävä vielä monta sukupolvea eteenpäin.

”Dokumentoinnin yksi erityispiirre on pitkä aikaväli”, Nevalainen sanoo.

Voimalan laskettu käyttöikä on juuri 60 vuotta.

”Lentokoneen voi panna palasiksi suhteellisen suoraviivaisesti, mutta ydinvoimalan purkajien pitää tietää tarkasti, mitä he ovat purkamassa ja millä perusteella mikäkin komponentti on rakennettu.”

Muutenkin tieto on kyettävä siirtämään asiantuntijalta toiselle, tarvittaessa sukupolvien yli.

”Olkiluodossa syntyi tietokatkoksia, kun osa suunnittelijoista ehti siirtyä eläkkeelle. Seurauksena oli, että ensiöpiirin putket jouduttiin uusimaan”, Nevalainen kertoo varoittavan esimerkin.

Myös tiedon ja osaamisen säilyminen halutaan varmistaa rinnakkaisilla ja erilaisilla tavoilla. Yksi varmistuskeino on paperidokumentit. Kaikki tärkeä tieto tallennetaan myös paperille. □

Kirjoittaja on tiedetoimittaja.