

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA –

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



3/2004

vol. 33

Tässä numerossa

Pääkirjoitus	
Viisaita päätöksiä	3
Editorial	
Wise Decisions	4
UUTISIA	5
OLKILUOTO 3 PROJEKTI	
Rakenteet ja rakennukset	6
Laitoksen pääkomponentit	9
Deterministiset ja todennäköisyyspohjaiset riskianalyysit	14
Projektin aikaohjaus	20
Hyvä säteily – Säteilevät Naiset seminaari 2004	22
Ydinvoiman tulevaisuus Euroopassa	24
PAKINA: Kuinka reaktori kesytetään – eli miten homma jatkui	26
TAPAHTUMAKALENTERI ja seuran uudet jäsenet	27

ATS

3/2004, vol. 33

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura –
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

ATS WWW

<http://www.ATS-FNS.fi>

TOIMITUS

PÄÄTOIMITTAJA

DI Kai Salminen
Fortum Nuclear Services Oy
PL 10, 00048 Fortum
p. 010 453 3093
kai.salminen@fortum.com

ERIKOISTOIMITTAJA

TkT Eija Karita Puska
VTT Prosessit
PL 1604, 02044 VTT
p. (09) 456 5036
eija-karita.puska@vtt.fi

ERIKOISTOIMITTAJA

DI Päivi Maaranen
Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
p. (09) 7598 8329
paivi.maaranen@stuk.fi

TOIMITUSSIHTEERI

Minna Rahkonen
Fancy Media Ky
Uusi Porvoontie 857
01120 Västerskog
p. 0400 508 088
fancymedia@saunalahti.fi

ERIKOISTOIMITTAJA

TkL Jarmo Ala-Heikkilä
Teknillinen Korkeakoulu
PL 2200, 02015 TTK
p. (09) 451 3204
jarmo.ala-heikkila@hut.fi

ERIKOISTOIMITTAJA

DI Olli Nevander
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
p. (02) 8381 3220
olli.nevander@tvo.fi

JOHTOKUNTA

PUHEENJOHTAJA

DI Antti Piirto
TVO Nuclear Services Oy
27160 Olkiluoto
p. (02) 838 11
antti.piiro@tvo.fi

VARAPUHEENJOHTAJA

M.Sc. Lena Hansson-Lyyra
VTT Tuotteet ja Tuotanto
PL 1704, 02044 VTT
p. (09) 456 6846
lena-hansson-lyyra@vtt.fi

SIHTEERI

DI Minna Tuomainen
VTT Prosessit
PL 1604, 02044 VTT
p. (09) 456 5787
minna.tuomainen@vtt.fi

RAHASTONHOITAJA

DI Hanna Virlander
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
hanna.virlander@tvo.fi

DI Harriet Kallio

Fortum Power and Heat Oy
PL 100, 00048 Fortum
p. 010 453 2463
harriet.kallio@fortum.com

TkT Risto Tarjanne

Lpr teknillinen yliopisto
PL 20, 53851 Lappeenranta
p. (05) 621 2776
risto.tarjanne@lut.fi

Ronnie Olander

Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
p. (09) 7598 8668
ronnie.olander@stuk.fi

MUU TOIMINTA

YLEISSIHTEERI

Liisa Hinkula
VTT Prosessit
PL 1604, 02044 VTT
p. (09) 456 5097
liisa.hinkula@vtt.fi

KANSAINVÄL. ASIOIDEN SIHT.

DI Petra Lundström
Fortum Nuclear Services Oy
PL 10, 00048 Fortum
p. 010 453 5422
petra.lundstrom@fortum.com

YOUNG GENERATION

DI Kai Salminen
Fortum Nuclear Services Oy
PL 10, 00048 Fortum
p. 010 453 3093
kai.salminen@fortum.com

ENERGIAKANAVA

TkT Karin Rantamäki
VTT Prosessit
PL 1604, 02044 VTT
p. (09) 456 6376
karin.rantamaki@vtt.fi

EKSKURSIOSIHTEERIT

Tekn. yo Pekka Nuutinen
Lpr teknillinen yliopisto
pekka.nuutinen@lut.fi

Tekn. yo Anu Turtiainen

Lpr teknillinen yliopisto
anu.turtiainen@lut.fi

UUODEN 2004 TEEMAT

1/2004

Jäteasiat

2/2004

Säteily

3/2004

Olkiluoto 3, tekniikka ja
lisäsähkön vaikutukset

4/2004

Ulkomaa ekskursiomatka

ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 400 €

1/2 sivua 300 €

1/4 sivua 200 €

TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka
c/o Kai Salminen
Fortum Nuclear Services Oy
PL 10, 00048 Fortum
p. 010 453 3093
telefax 010 453 3403

Osoitteenmuutokset
pyydetään ilmoittamaan
Liisa Hinkulalle /
VTT Prosessit
telefax (09) 456 5000
e-mail: liisa.hinkula@vtt.fi

Lehdessä julkaistut
artikkelit edustavat
kirjoittajien omia mieli-
piteitä, eikä niiden kaikissa
suhteissa tarvitse vastata
Suomen Atomiteknillisen
Seuran kantaa.

ISSN-0356-0473



Painotalo Miktör Ky

Viisaita päätöksiä

Olkiluoto 3 -projekti on täydessä vauhdissa ja Teollisuuden Voiman työmaata koskevan osuuden osalta ollaan jo pitkällä, lähes loppusuoralla. Uuden ydinvoimayksikön laitospaikan ja laitossyksikön valinnan sekä sopimuksen allekirjoituksen jälkeen projekti lähti välittömästi liikkeelle.

Rakennuspaikan valmistelutyöt käynnistyivät heti tehtyjen valintojen jälkeen. Maamassat ovat siirtyneet ja kalliota on louhittu jo lähes puoli miljoonaa kuutiota. Reaktorirakennuksen pohjan oikea taso saavutettiin syyskuussa ja nyt on siinä jäljellä enää pohjan tasaustyötä ja kalliopintojen rusnaus. Muut kaivannot sekä tunneleiden louhintatyöt ovat myös meillä. Louhintatyön rinnalla on edennyt Olkiluoto 3:n rakentamislupakäsittely. Säteilyturvakeskus laatii paraikaa omaa lausuntoaan ja odotamme rakentamislupakäsittelyn päättyvä ensi vuoden alussa.

Tässä vaiheessa voi jo hieman katsoa saavutettuja tuloksia. Välitilinpäätös on positiivinen ja tässä yhteydessä voi antaa myös kiitosta niistä asioista, mitkä ydinvoima-alalla on tehty hyvin. Tähänastinen kokemus on vakuuttanut, että Suomessa on tehty monia viisaita päätöksiä. Yksi tärkeimmistä päätöksistä ja asioista on ydinvoimaosaamisen ylläpitäminen. Ilman vankkaa ydinvoimaosaamista ei Olkiluoto 3 -projekti voisi toteutua.

Suomessa on ylläpidetty ydinvoimaosaamista mm. modernisoimalla nykyisiä ydinvoimayksiköitä sekä kouluttamalla ydin alan asiantuntijoita erilaisissa tutkimus- ja kehityshankkeissa. Tämän viisaasti ylläpidetyn osaamisen seurauksena Suomessa on säilynyt runsaasti korkean ammattitaidon osaajia. Heitä arvostetaan myös kansainvälisesti. Suomalaiseen ydinvoimaosaamiseen luotetaan. Tämä on iso etu toimiessamme kansainvälisessä projektissa.



Projektin kannalta on välttämätöntä, että näitä avainosaajia/kyvykkäitä osaajia on TVO:n lisäksi monissa muissa eri organisaatioissa kuten Säteilyturvakeskuksessa, kauppa- ja teollisuusministeriössä, VTT:llä, korkeakouluissa, Fortumilla ja lukuisissa alihankkijayrityksissä.

Tavoitteena on, että projekti omalta osaltaan houkuttelee osaajia myös jatkossa ja toisaalta herättää kiinnostusta ydin alan opiskeluun. Eryyisen ilahduttavaa on, että kiinnostus ydinalaan on viime vuosina ollut kasvamassa. Projektia seuraa pitkä käyttöjakso, joka tarjoaa mielenkiintoista työtä yli yhden sukupolven ajaksi.

Olkiluoto 3 projekti

Wise Decisions

Olkiluoto 3 project is in full progress and the site work done by Teollisuuden Voima Oy nearly completed. The OL3 project was launched immediately after the location site and the plant type of the new nuclear power plant unit had been selected and the plant supply agreement signed.

The site preparations were started without delay after the made selections. Earth masses have been moved and nearly half of a million cubic meters of rock have been excavated. The final bottom level of the reactor building pit was reached in September and now remain only the levelling of the bottom and scaling of the rock surfaces. Excavation of other pits and tunnels is also under way. Olkiluoto 3 construction licence handling has proceeded simultaneously with the excavations. The Radiation and Nuclear Safety Authority in Finland (STUK) is preparing at the present its statement on the construction licence application and we expect the handling to be completed early next year.

At this stage, we can already look at the achieved results. The interim accounts show a positive result and in this connection we can recognize the things which have been done well in the nuclear business. The experience gained so far have convinced that many wise decisions have been made in Finland. One of the most important of them is maintaining the nuclear know-how. Without strong nuclear competence it would not be possible to realize the Olkiluoto 3 project.

In Finland, nuclear know-how has been upheld e.g. by modernizing the existing nuclear power plant units and by educating nuclear experts in various research and development projects. As a result of this wisely upheld nuclear know-how, Finland has several highly competent nuclear experts, who are valued also internationally. Finnish nuclear know-how is trus-

ted in. Which is a great asset when working in an international project.

For the project, it is essential that already today highly skilled persons are employed not only by TVO but also by many other organizations like the Radiation and Nuclear Safety Authority, Ministry of Trade and Industry, State Technical Research Centre, technical universities, Fortum and many subcontractors.

The aim is that the project will partly attract skilled persons also in the future and, on the other hand, arouse interest in nuclear studies. It is especially pleasing to note that interest in the nuclear business has been growing during the recent years. The project will be followed by a long operating period which will offer interesting work for more than a generation's time. ■

WIS
E
D
E
C
I
S
I
O
N
S

Olkiluodon tuulivoimalaitos käynnistymässä

Tuulivoimalaitos kohoaa 60 metrin korkeuteensa Olkiluodon ydinlaitosten itäpuolella. Voimalan teho on 1 MW ja siipien pituus 30 metriä. Tuulivoimalaitoksen tarkoitus on tuottaa sähköä noin 2 500 MWh vuodessa. Rakentamalla tuulivoimalaitoksen TVO pyrkii hankkimaan kokemuksia tuulivoiman käytöstä ja kustannuksista Olkiluodon olosuhteissa. Hankkeen kokonaiskustannusarvio on noin 1,1 miljoonaa euroa. Kauppa- ja teollisuusministeriö on myöntänyt Olkiluodon tuulivoimahankkeelle 35 % investointiavustuksen.

Ydinturvallisuuskurssi 2 (YK2) käynnistynyt

Ydinalan organisaatiot järjestivät yhteistyössä täydennyskoulutusta tuoreille alan ammattilaisille. Kokonaisuudessaan 6 viikkoa käsittänyt Ydinturvallisuuskurssi 1 (YK1) pidettiin syyskuun 2003 ja helmikuun 2004 välisenä aikana ja sille osallistui 51 henkilöä. TVO:n rakennushanke sekä siitä riippumaton sukupolvenvaihdos pitävät värväystarpeen korkealla jatkossakin ja tästä syystä järjestetään Ydinturvallisuuskurssi 2 (YK2) lokakuusta 2004 helmikuuhun 2005. Ohjelma on tällä kertaa tiivistetty viiteen viikkoon ja osallistujia on 55.

Kurssin esikuvana on käytetty IAEA:n ydinturvallisuuskurssia, mutta suomalaiset asiantuntijaluennointisijat ovat tarkistaneet tiedot maamme oloihin soveltuviksi ja lisänneet kurssimateriaaliin meille relevantteja asioita. Käytännössä materiaali kirjoitettiin monin osin kokonaan uusiksi YK1:tä varten, mikä antaa lisämotivaatiota materiaalin jatkokäyttöön YK2:lla.

Kurssia hallinnoi LTY, minkä lisäksi sen organisointiin osallistuvat Fortum, KTM, STUK, TKK, TVO ja VTT.

KORJAUS

ATS Ydintekniikan numerossa 2/2004 Olli Marttilan artikkelissa sivun 11 ylälaidasta puuttui tekstiä, mikä vaikeutti jutun ymmärtämistä. Siellä piti lukea: "B. Fischhoff, P. Slovic ja S. Lichtenstein tekivät uraauurtavaa työtä selvittäessään, miten maallikot kokivat erilaiset uhkatilanteet."

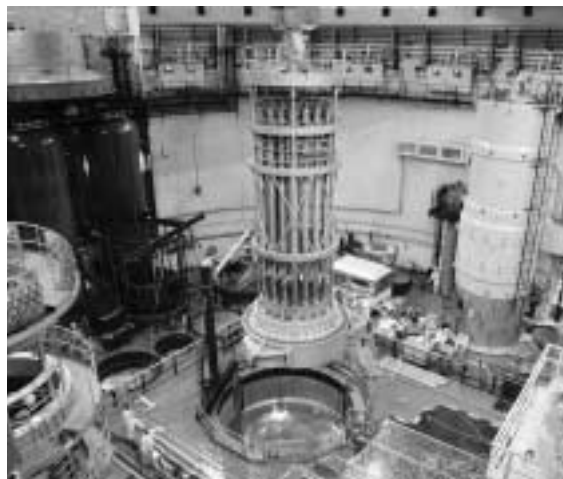
Loviisan voimalaitoksella vuosihuollot ohi

Loviisan voimalaitoksen ykkösyksiköllä 24.7. alkanut vuosihuolto päättyi 9.9.2004. Kahdeksan vuoden välein toistuvassa laajassa huoltoseisokissa tehtiin primääri- ja sekundääripiirin painekokeet sekä tarkastettiin reaktori ja höyrystimet. Myös paljon muutos- ja korjaustöitä toteutettiin, muun muassa merivesijäähdytysjärjestelmien putkistoja uusittiin nelisensataa metriä. Turvallisuutta parantavista hankkeista merkittävin oli molempia laitosyksiköitä palveleva seisokien aikainen varajäähdytysjärjestelmä. Muiden töiden lisäksi vuosihuollossa vaihdettiin kolmasosa polttoaineesta.

Kakkosyksikön lyhyt vuosihuolto alkoi 4.9.2004. Kakkosyksikkö kytkettiin vuosihuollon jälkeen valtakunnan sähköverkkoon illalla 26. syyskuuta, noin 1,5 vuorokautta suunniteltua aiemmin. Huolto- ja tarkastustöiden lisäksi vaihdetaan kolmasosa polttoaineesta. Kakkosyksikön vuosihuolto valmistuu syys-lokakuun vaihteessa.

Vuosihuoltoa varten uusittiin henkilöstön käyttöön tarkoitetut sosiaalilat ja säteilyvalvontapiste. Säteilyvalvontaa parannettiin hankkimalla henkilöstölle uudet kontaminaatiomonitorit.

Vuosihuoltoon osallistui Loviisan voimalaitoksen 440 henkilön lisäksi noin 1000 muuta ammattilaista 90 eri yrityksestä. Näistä kunnossapidon ja tarkastusalan ammattilaisista suurin osa on Suomesta, mutta yli sata henkilöä oli tullut myös Espanjasta, Saksasta, Kroatiasista ja Venäjältä.



Timo Kukkola



Rakenteet ja rakennukset

Uusi voimalaitosyksikkö rakennetaan nykyisten yksiköiden länsipuolella sijaitsevalle, noin 19 hehtaarin laajuiselle alueelle. Voimalaitosyksikkö käsittää reaktorirakennuksen ja turpiinirakennuksen sekä joukon tuki- ja apurakennuksia. OL3:n tarkka paikka valittiin maaperätutkimusten perusteella. Uuden yksikön rakennukset tullaan perustamaan tukevalle, suomalaiselle peruskalliolle.

OL3:n rakennukset voidaan karkeasti jakaa kolmeen rakennuskompleksiin: "reaktorisaarekkeeseen", "turpiinisaarekkeeseen" ja muihin rakennuksiin ja rakenteisiin.

Reaktorisaarekkeen rakennukset ja merivesijärjestelmät kuuluvat ydinturvallisuuden kannalta pääosin luokkiin 2 ja 3, kun taas muilla rakennuksilla ei ole turvallisuusmerkitystä. OL3:n suunnittelussa on otettu huomioon myös mahdollinen maanjäristys sekä ison matkustajalentokoneen törmäys ja lentokoneen täyden polttoainekuorman palaminen. Myös hävittäjälentokoneen vauhdikkaaseen törmäykseen on varauduttu.

Reaktorirakennuksen ulkohalkaisija on noin 57 m, nettotilavuus noin 80 000 m³

ja kokonaiskorkeus maanalaiset tilat mukaan luettuna noin 70 m. Rakennuksen poistoilmapiippu kohoaa noin 100 m:n korkeuteen maanpinnasta.

Rinnakkaiset järjestelmät kaukana toisistaan

Laitoksen turvajärjestelmät sijaitsevat neljässä erillisessä turvajärjestelmä-rakennuksessa. Näistä rakennukset 2 ja 3 ovat reaktorirakennuksen ja turpiinirakennuksen välissä ja rakennukset 1 ja 4 on sijoitettu reaktorirakennuksen vastakkaisille sivuille. Turpiinirakennuksen kanssa vastakkaisella puolella reaktorirakennusta sijaitsee käytetyn polttoaineen säilytysaltaat sisältävä polttoaineraken-

nus. Heti polttoainerakennuksen vieressä ovat reaktorin apurakennus ja jäterakennus. Näiden päärakennusten lisäksi laitosalueelle sijoittuvat erilliset dieselrakennukset, merivesijärjestelmien pääosin maanalaiset rakennukset ja joukko pienempiä tukirakennuksia.

Turvajärjestelmä-rakennusten pituus on noin 30 m, leveys 20 m ja korkeus vajaa 30 m. Polttoainerakennuksen pituus on noin 50 m, leveys noin 20 m ja korkeus hiukan yli 40 m.

Reaktorirakennukseen liittyvän turpiinirakennuksen pituus on lähes 100 metriä, leveys lähes 60 m ja korkeus maanalaiset tilat mukaan luettuna hiukan yli 40 m. Rakennuksen tilavuus on noin 250 000 m³.

Kuusi dieseliä

Laitoksessa on ulkoisten sähköyhteyksien menetyksen varalta neljä turvajärjestelmiä syöttävää onnettomuustilannedieseliä sekä kaksi riippumatonta dieseliä vakavia onnettomuuksia varten. Kaksi dieselarakennusta sijaitsevat symmetrisesti reaktorirakennuksen itä- ja länsipuolella kaukana toisistaan ja irti päärakennuksesta. Apujärjestelmien merivesipumppaamot ovat yhteydessä diesel- ja turvallisuusrakennuksiin sekä meriveden suodatinrakennukseen tunnelien välityksellä.

Uuden yksikön lauhdeveden sisäänotto ja ulospurku tapahtuvat samassa lahdessa kuin OL1:n ja OL2:n. Jäähdytysvesitunnelit merestä meriveden suodatusrakenteen sisältävään rakennukseen ja aaltoilualtaasta takaisin mereen ovat kalliotunneliteita OL1:n ja OL2:n tapaan. Lisäksi suodatusrakennuksen ja apuvesipumppaamojen välissä on omat tunnelit, samoin pohjoispuolen apuvesipumppaamoiden ja länsipuolen dieselarakennusten välillä on kalliotunnelit, joissa merivesi kulkee putkissa. Muut tunnelit tullaan rakentamaan teräsbetonirakenteisina. Tunnelien suuri lukumäärä verrattuna moniin muihin laitoksiin johtuu neljän turvallisuusjärjestelmän täydellisestä erottelusta.

Rakennusten kokonaistilavuus on noin 950 000 m³. Julkisivu tulee olemaan pääasiassa pinnoitettua teräsohutlevyä.

Täysipaineinen suojarakennus

OL3-yksikkö on varusteltu täyden kaksipäisen pääkiertopiirin tai höyryputken murtuman aiheuttavan onnettomuustilanteen paineen kestäväällä kaksinkertaisella suojarakennuksella. Suojarakennus on suunniteltu eristymään automaattisesti onnettomuustilanteessa. Suojarakennuksen vuotoja valvotaan ja sisemmän suojarakennuksen vuodot välitilaan johdetaan suodatettuina ilmastointipiippuun.

Ilmastointipiippu on 100 m korkea OL1:n ja OL2:n tapaan. Reaktoriraken-

nus on 64 m korkea sylinterimäinen rakennus, jonka katto on puolipallomainen. Reaktorirakennuksen ulkoseinän ja suojarakennuksen muoto on valittu lujuusteknisin ja rakennusaikataullisin perustein. Reaktorirakennuksen ulkoseinä, kaksi metriä paksu ulompi suojarakennus, toteutetaan betoniteräsrakenteisena. Sisempi suojarakennus on jännitetty toista metriä paksu teräsbetonirakenne, joka mitoitetaan kestävästi sisäpuolelta tulevat rasitukset, kuten mahdollisista putkikatkoista aiheutuvat paine- ja lämpötilakuormat.

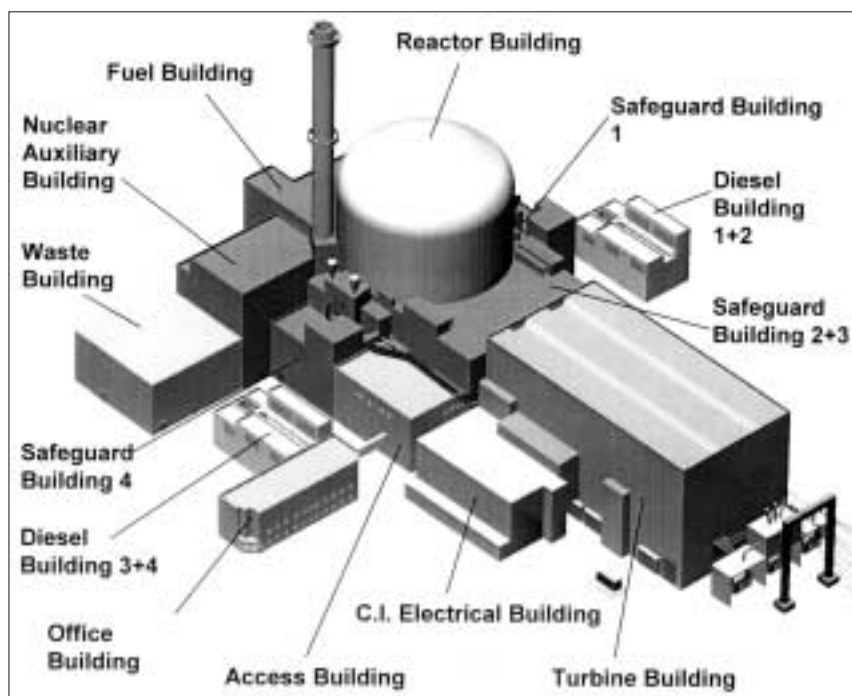
Reaktorisydämen sulamiseen on varauduttu

Suojarakennuksen suunnittelun perusteena on ollut myös ns. vakava reaktorionnettomuus.

Erittäin epätodennäköisessä vakavassa reaktorionnettomuudessa reaktorisydämen oletetaan sulavan kaikkien turvajärjestelmien toiminnan epäonnistuessa. Monissa vanhemmissa ydinvoimalaitoksissa sydämen sulamiseen ei ole varauduttu, koska sitä pidetään hyvin epätodennäköisenä.

OL3-laitoksen suunnittelussa on varauduttu siihen, että sydän sulaa ja puhkaisee paineastian pohjan. Sydänsula ohjataan erilliseen suojattuun kanavaan, josta se valuu reaktorirakennuksen alaosassa olevalle 170 m²:n leviämisalueelle. Leviämisaluetta on mahdollista jäähdyttää passiivisesti purkautuvalla hätäjäähdytys-säiliön vedellä. Hätäjäähdytysveden säiliön sijoitus reaktorirakennuksen sisäpuolelle mahdollistaa passiivisen jäähdytyksen käynnistyksen. Säiliön vettä ja suojarakennuksen rakenteita voidaan edelleen jäähdyttää erillisellä kaksinkertaisella jäähdytysjärjestelmällä.

Suojarakennuksen tiiveyttä parannetaan asentamalla suojarakennuksen sisäpintaan teräksinen tiiviyslevy. Sisään kulku suojarakennukseen tapahtuu henkilösulkujen kautta maanpinnan tasolta tai noin 19 metrin korkeudessa olevalta hoitotasolta. Iso materiaaliluukku sijaitsee hoitotasolla, josta rakennusaikana tuodaan kaikki komponentit ja laitteet suojarakennuksen sisään. Suojarakennuksen hoitotason yläpuolella on 750 tonnin Polar-nosturi, jolla voidaan nostaa reaktoripaineastia ja neljä höyrystintä yksitellen paikalleen. Myös pääkom-



Rakennusten sijoittelu Olkiluodossa.



OL3-yksikö sijoittuu kuvassa vanhojen laitostyösköiden vasemmalle puolelle.

ponenttien vaihtoon nosturin avulla on varauduttu.

Polttoainerakennus ja neljä turvallisuusrakennusta

Valvomotilat sijaitsevat yhteen rakennetuissa turvallisuusrakennuksissa 2 ja 3. Turvallisuusrakennusten 2 ja 3 kyljessä on kulunvalvontarakennus, jossa sijaitsevat pukutilat. Rakennuksessa on myös säteilyvalvonta-alueen rajaksi ja suojavaarusteiden vaihtoon suunniteltu kulkupaikka, jota kutsutaan laitoksella myös nimillä "valvonta-alueen raja" ja "tossu/kenkäraja". Kulunvalvontarakennuksesta on kulkusilta toimistorakennukseen, jossa on vuosihuollon aikana myös valvotun alueen toimistotiloja.

Apujärjestelmä rakennus sijaitsee turvallisuusrakennuksen 3 ja polttoainerakennuksen kyljessä. Polttoainerakennuksessa on tuoreen ja käytetyn polttoaineen varastojen lisäksi myös korjaamotiloja. Aktiivisten komponenttien korjaamotilat on sijoitettu suojarakennuksen materiaaliluokun läheisyyteen. Jäterakennus, jossa käsitellään matala- ja keskiaktiivisia jätteitä, sijaitsee apurakennuksen vieressä. Käsitteilyn jälkeen jätteet viedään kaikille kolmelle Olkiluodon yksikölle yhteiseen keski- ja vähäaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoitustilaan (ns. VLJ-luolaan).

Turpiinirakennuksen kyljessä ovat meriveden suodatus- ja kytkinlaitosrakennus. Muuntajat sijaitsevat turpiinin

pohjoispuolella. Turpiini muodostuu korkeapaineturpiinista ja kolmesta matalapaineturpiinista sekä näiden perässä olevasta generaattorista ja magnetoimiskoneesta. Koko turpiini sijaitsee massiivisen "turpiinipöydän" päällä.

Vaatimukset Suomesta ja Euroopasta

Reaktorisaarekkeen konseptisuunnittelu on laadittu ranskalais-saksalaisena yhteistyönä. EPR:n suunnittelun pohjaksi laadittiin Euronormeihin perustuva normisto, joka kattoi sekä ranskalaiset että saksalaiset normit. Samalla muodostuivat vaatimukset Eurooppaan rakennettavalle ydinvoimalaitokselle. Mahdollisille laitostoitimittajille lähetetty tekninen kyselyaineisto muodostui eri voimayhtiöiden yhdessä laatimasta asiakirjasta EUR (European Utility Requirements)-vaatimukset, jota täydennettiin suomalaisilla viranomaisvaatimuksilla. Vaatimukset yksikön sijoittelulle ja rakennesuunnittelulle määritettiin myös kyseisessä asiakirjassa.

Suunnittelutyön edetessä on voinut havaita, että suomalaiset vaatimukset täydentävät hyvin EPR:n konseptivaiheen suunnittelua. Tosin jotkut vaatimukset ovat olleet ristiriidassa suomalaisten ydinturvallisuus- ja henkilöturvallisuussäännösten tai Suomessa vaaditun kulunrajoitus- ja turvajärjestelytason kanssa. Yksi tällainen vaatimus on mm. poistumistilalle asetetut vaatimukset Suo-

men rakentamismääräyskokoelmassa. Kaikki vaatimukset on kuitenkin otettu huomioon suunnittelussa, mutta ne ovat usein vaatineet muutoksia alkuperäiseen sijoittelusuunnitelmaan.

Nykyaikaiset suunnittelumenetelmät

Turpiinilaitoksen rakennusten sijoittelun suunnittelu- ja kehitystyö tapahtuu täysin 3D-avusteisena. Konseptisuunnitteluvaiheessa varataan laitteen vaatima tila rakennuksen sisällä. Tilan varaus vaatii suunnittelijalta tietoa ja kokemusta, että rakennuksen koko muodostuu optimaaliseksi. Laitteen vaatiman tilan koko täsmentyy suunnittelun edetessä ja tarkentuu lopullisesti laitteen hankintahetkellä.

Rakennettavaa riittää

Rakennusten ulkopuolelle on tällä hetkellä rakenteilla ns. rengastie ja tekninen rengas, josta saadaan myös rakentamisen aikainen sähkö, vesi ja palovesi sekä jossa on talousvesiviemäröinti. Tekninen rengas liittyy Olkiluodon saaren muita rakennuksia palvelemaan infrastruktuuriin ja apujärjestelmiin. Näitä on laajennettu vastaamaan paremmin OL3:n tarpeita.

Uuden laitoksen myötä Olkiluodon alueille rakennetaan myös uusi porttirakennus, vierailukeskus ja palovesipumppaamo. Muista syistä alueelle rakennetaan myös 1 MW:n tuulivoimala sekä 110 MW:n kaasuturbiinivoimalaitos.

TVO osallistuu sijoittelusuunnitteluun kommentoimalla suunnitelmia eri vaiheissa. Tällä tavalla saadaan myös TVO:n näkemykset mukaan suunnitteluun. TVO:n layout-ryhmän tavoitteena on ottaa esille ongelmakohtat ja tarvittaessa ehdottaa muutoksia.

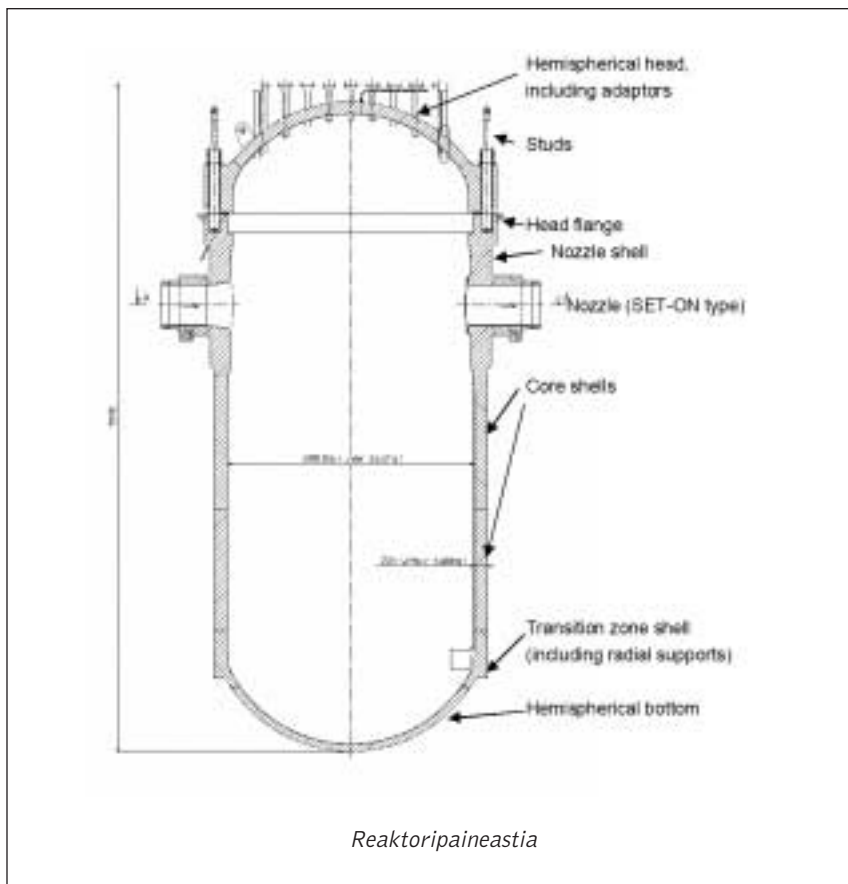
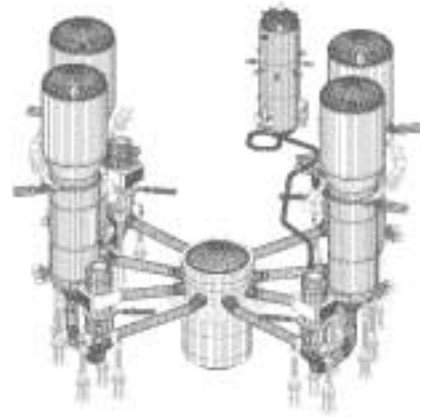
DI Timo Kukkola
projektiin rakennussuunnittelu
Teollisuuden Voima Oy
timo.kukkola@tvo.fi



Mika Hassinen

Laitoksen pääkomponentit

Olkiluotoon rakennettava kolmas laitousyksikkö edustaa ranskalais-saksalaista ydinteknologiaa. Laitos on tyypillinen länsimainen, neljällä primäärikiertopiirillä varustettu painevesireaktori (PWR). Painevesireaktorissa korkeapaineinen vesi toimii neutronien tarvitsemana hidastimena sekä reaktorisydämen jäähdytteenä. Painevesilaitoksen prosessit jakautuvat kolmeen erilliseen kokonaisuuteen: primääripiiri käsittää reaktorin ja sen jäähdytysjärjestelmän apujärjestelmineen, sekundääripiiri käsittää varsinaisen, sähkön tuottavan voimalaitosprosessin ja merivesipiiri toimii laitoksen ensisijaisena lämpönieluna. Rakennettavassa EPR (European Pressurized Reactor)-laitoksessa on kooltaan suuri, onnettomuustilanteen kehittämän maksimipaineen kestävä kaksoissuojarakennus sekä nelinkertaiset suojaus- ja turvajärjestelmät. Tässä artikkelissa kuvataan laitoksen pääkomponentit ja niiden erityispiirteet.



Reaktoripaineastia

Reaktoripaineastia muodostaa osan reaktorin jäähdytysjärjestelmää. Reaktorin paineastian painetta kantavien osien perusmateriaali on vähäseosteinen ferriittinen 16MND5-teräs. Reaktoripaineastia on hitsattu 15 takeesta, joista 8 on yhteitä primääripiirin putkistoon. Paineastian sisäpuoli on pinnoitettu 7,5 mm paksulla ruostumattomalla teräsvuorauksella.

Paineastian mitoitus perustuu sydämen kokoon. Sydämessä on 241 polttoaine-elementtiä ja sydämen aktiivisen osan korkeus on 4 200 mm. Reaktoripaineastian materiaalivalinnalla ja painavalla heijastimella rajoitetaan seinämämateriaaliin kohdistuvan neutronivuon vaikutuksia. Heijastin suojaa myös sydänalueelle sijoittuvaa kriittistä hitsisaumaa liialta neutronivuon aiheuttamalta haurastumiselta. Hitsisauvojen lukumäärä on minimoitu tarkastuksien helppottamiseksi. Reaktoripaineastia on

suunniteltu tarkastettavaksi sekä sisä- että ulkopuolelta. Paineastian ulkoseinämän ja lämpöeristyksen väliin on suunniteltu riittävä tila NDT-tarkastuksia varten.

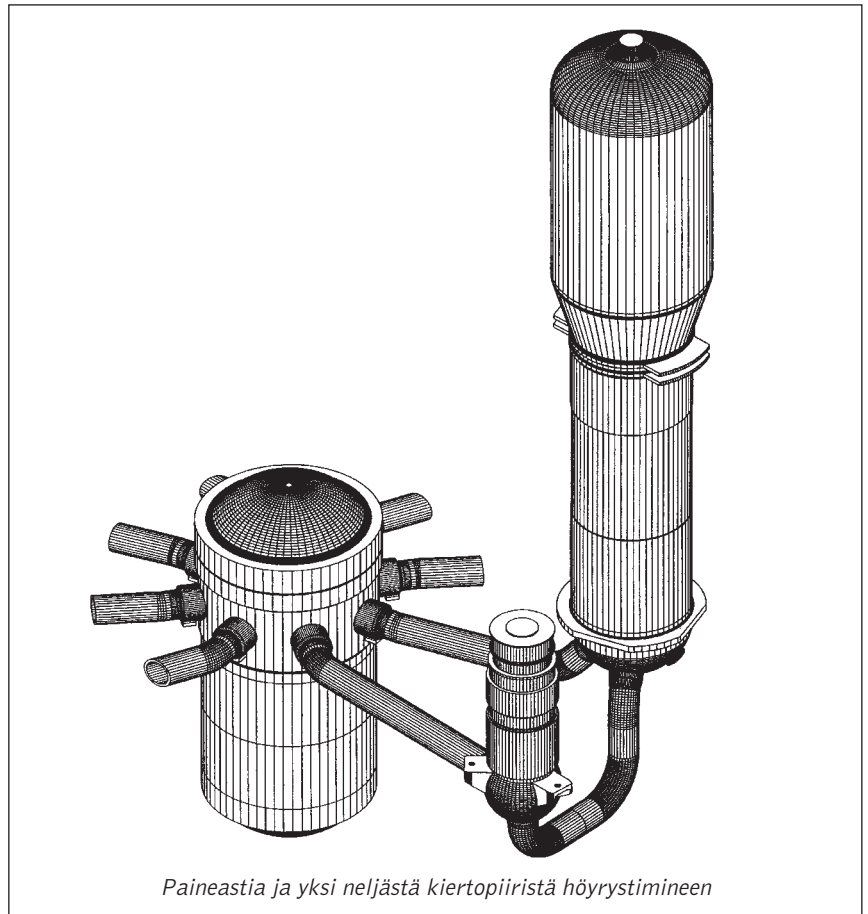
Reaktoripaineastian ja höyrystimien väliset yhteensä kahdeksan putkiyhdistystä on sijoitettu paineastian laipassa tarkalleen samaan linjaan. Tämä ratkaisu helpottaa paineastian tuentaa mm. onnettomuuksien ja maanjäristysten kannalta. Paineastian kanteen on hitsattu yhteet 89 säätösauvakoneistolle sekä 17 yhdistystä instrumentoinnille. Kaikki yhteet putkistoille sijaitsevat reaktorisydämen yläpuolella.

Reaktoripainesäiliö sisältää reaktorin sisäosat ja polttoaineen säätösauvoineen. Sisäosat ovat mekaanisia rakenteita, joiden tehtävänä on tukea reaktorisydäntä ja polttoainetta kaikissa tilanteissa. Sisäosat myös suuntaavat jäädytteen virtausta sydämen läpi, ohjaavat säätösauvat sydämeen ja vähentävät reaktoripainesäiliöön kohdistuvaa neutronivuota. Sisäosien mekaaninen rakenne on suunniteltu siten, että ne voidaan purkaa reaktorista huoltotoimenpiteitä varten.

Paineistin

Paineistimen tehtävänä on toimia reaktorin jäähdytysvesijärjestelmän paisuntasäiliönä. Paineistin myös hallitsee siihen liitettyjen muiden laitteiden ja järjestelmien avulla primääripiirin jäähdytysveden tilavuutta, lämpötilaa, painetta sekä ylipainesuojausta. Tilavuuden hallinnassa paineistin toimii passiivisena paisuntavarastotilavuutena. Lämpötilan ja paineen säätöä varten paineistin on varustettu vesitilassa olevilla sähkövastuksilla ja paineistimen höyrytilassa olevilla ruiskutuslaitteilla.

Paineistimen normaali ruiskutus tapahtuu kahdella ruiskutusventtiilillä, jotka saavat kylmän ruiskutusvetensä erillisistä linjoista ja on kytketty primääripiirin kahteen kylmään haaraan. Lisäksi paineistin on varustettu apuruiskutusjärjestelmällä, joka saa vetensä primää-



Paineastia ja yksi neljästä kiertopiiristä höyrystiminee

ripiirin tilavuudesta ja boorinsäätöjärjestelmästä.

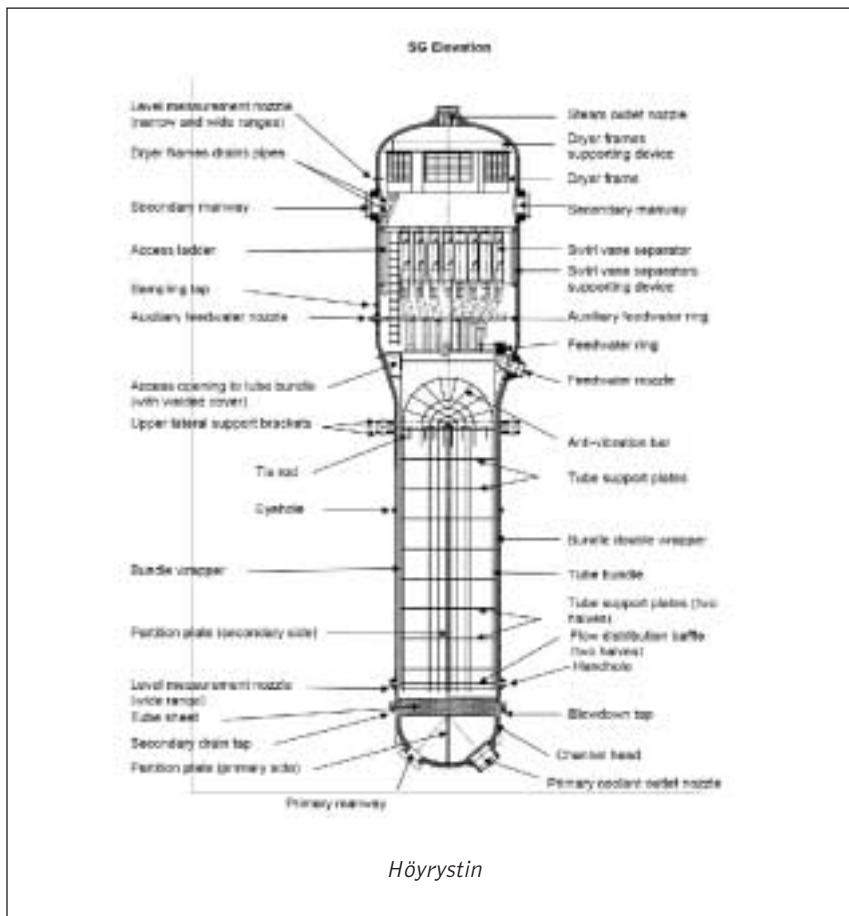
Primääripiirin ylipainesuojaus on toteutettu paineistimen yhteydessä olevilla paineistimen varo- ja ulospuhallusventtiileillä. Paineistimessa on kolme varoventtiiliä, jotka liittyvät paineistimen yläosaan omilla yhteillään. Vakavissa onnettomuuksissa paineen alentamiseen tarvittavat ulospuhallusventtiilit on liitetty neljänteen yhteeseen. Erilliseen ulospuhallussäiliöön menevä vakavan onnettomuuden puhalluslinja jakautuu edelleen kahteen rinnakkaiseen haaraan, joissa kummassakin on kaksi moottoritointista sulkuventtiiliä.

Höyrystin

Höyrystimien tehtävänä on kehittää turbiinilaitokselle syötettävä höyry siirtämällä reaktorin kiertopiireistä tuotava lämpöteho höyrystimen syöttöveeten. Höyrystin on pystyrakenteinen ja läm-

mönsiirto primääripiirin vedestä sekundääripiirin veteen tapahtuu U-tuubien kautta luonnonkiertoperiaatteella siten, että lämmönsiirtoputkien sisäpuolella kiertää primääripiirin vesi ja höyrystimen vaippapuolella on höyrystettävä sekundääripuolen syöttövesi. Höyrystimet on hitsattu yhdeksästä takeesta. Primääripiirin veden kanssa kosketuksissa olevat osat on pinnoitettu ruostumattomalla teräksellä.

EPR-höyrystimen suunnitteluratkaisut ja valmistusmenetelmät perustuvat N4-höyrystimen käyttökokemuksiin sekä niiden perusteella suunniteltuihin mallikokeisiin ja analyyseihin. Tärkeimpänä erona on se, että pääsyöttövesi sekä apusyöttövesi tuodaan EPR:ssä oman yhteen kautta höyrystimen toisessa puoliskossa olevaan, erilliseen höyrystimen seinistä erotettuun puoliympyrän muotoiseen jakajaan. Syöttövesi tulee sisään syöttövesijakajien kautta, jotka sijaitsevat hie- man U-tuubiputkien yläpuolella ja noin



kaksi metriä tehokäytön aikaisen nimelispinnan alapuolella. Syöttöveden syöttökohta on sijoitettu alemmas veden nimelispinnan alle kuin ranskalaisessa N4 reaktorissa. Höyrystimen alaosassa kuumaa ja kylmää haaraa on erotettu toisistaan levyillä. Sieltä esilämmitetty syöttövesi virtaa luonnonkierron vaikutuksesta takaisin höyrystimen yläosaan samalla höyrystyen. EPR:ssä kylmään syöttövedeen sekoittuu vain 10 % lämpimämpää jälleenkierrossa olevaa vettä mahdollistaa suuremman lämpötilaeron ja tehokkaamman lämmön siirron tuubeista. Tämä parantaa merkittävästi höyrystimen termistä hyötysuhdetta.

Höyrystimet on hitsattu 9 takeesta ja primääripiirin veden kanssa kosketuksissa olevat osat on pinnoitettu ruostumattomalla teräksellä. Höyrystimien sekundääripuolella pidetään yllä emäksistä (pH > 9) vesikemiaa, jolla rajoitetaan valittujen materiaalien eroosio-korroosiota käyttöparametreilla. Primääripiiri-

rin puolella ylläpidetään kloridivapaita ja pelkistäviä olosuhteita syöttämällä vetyä primääripiiriin.

Höyrystimen yläosassa höyrystä erotetaan kosteus mekaanisesti kosteudenerottimilla. Höyrystimestä ulostulevan höyryn kosteuspitoisuus on alle 0,25 %.

Höyrystimen suunnittelu perustuu N4-reaktorilaitosten höyrystimien rakenteeseen, johon on suunniteltu mm. seuraavia parannuksia:

- Alapäätykappaleen geometriaa on optimoitu laitimmaisten tuubien tarkastusten helpottamiseksi.

- Syöttövesiyhde on sijoitettu alemmaksi, jolla vähennetään pääsyöttövesilinjoissa tapahtuvaa termistä kerrostumista ja termisen kerrostumisen aiheuttamia väsymissärojia ajattaessa osatehoilla tai käynnistettäessä laitosta.

- Syöttöveden jakaja on puoliympyrän muotoinen, jolla pyritään vähentämään virtauksen lämpökerrostumisen aiheuttamia haittavaikutuksia jakamalla syöttö-

vesi tasaisesti ja erottamalla syöttövesi höyrystimen ulkopinnoista.

- Hätäsyöttövesi johdetaan I-putkilla varustettuun jakorenkaaseen. Jakorenkaalla ja siihen hitsatuilla, virtausta jakavilla I-putkilla vähennetään kylmän hätäsyöttöveden aiheuttamia lämpöshokkeja ja vesi-iskuja.

- Höyrystimen yläsisäosien rakennetta on saatu yksinkertaistettua modifioimalla höyrnerottimia.

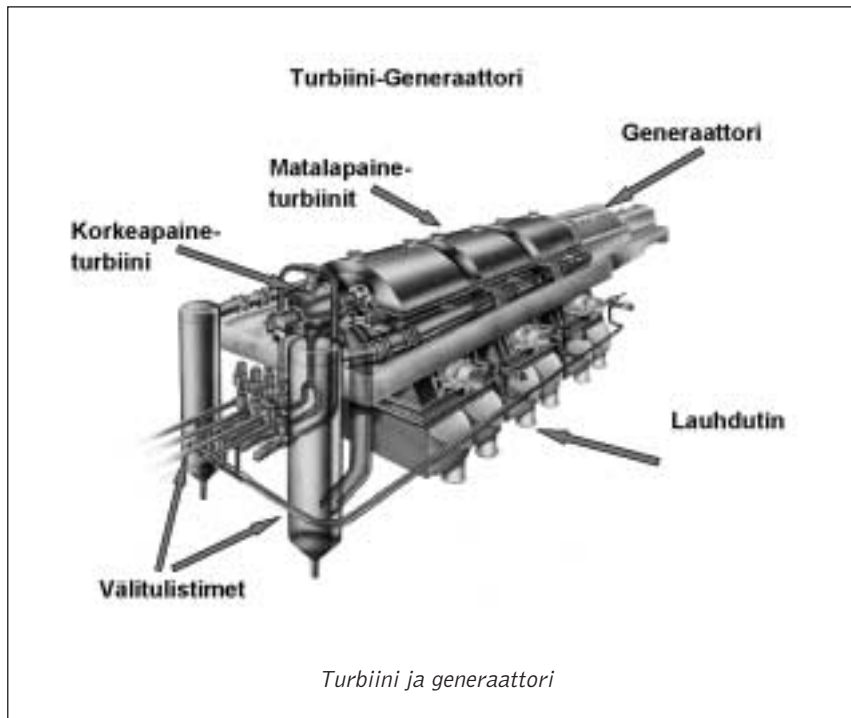
- Miesluukkujen kokoa on suurennettu helpottamaan huoltotoimenpiteitä.

- Tuubiputkien yläosan kaariosuudella putket on tuettu toisiinsa neljällä V-muotoisella värähtelyä vaimentavalla tukirakenteella.

Pääkiertopumput

Reaktorin pääkiertopumput kierrättävät jäähdytysvettä höyrystimistä reaktoriin. Jäähdytysvesikierto siirtää reaktorisydämessä kehittyneen lämmön edelleen kiertoopiiriin kuumaa haaraa kautta höyrystimien tuubiputkien sisäpuolisille lämmönsiirtopinnoille. Jokainen neljästä primäärikiertopiiristä sisältää yhden pääkiertopumpun, jotka sijaitsevat höyrystimen ulostulohaaran ja reaktorin sisäänmenohaaran välissä.

Pumppujen pesät on valettu ruostumattomasta teräksestä. Pumpun akseli on tiivistetty neljällä akselitiivisteellä, joiden tehtävänä on toimia radioaktiivisten aineiden leviämiseen. Käytön aikana tiivistys hoidetaan kolmella sarjaan asennetulla tiivisteellä ja seisokin aikana mekaanisella ns. seisokkitiivisteellä. Normaaleissa käyttötilanteissa akselitiiviste nro. 1 toimii varsinaisena tiivisteenä akselitiivisteiden 2 ja 3 toimiessa varmistuksena. Pääkiertopiiriin tilavuudesta ja boorinsäätöjärjestelmästä syötetään akselitiivisteeseen nro 1 tiivistevettä hiukan primääripiiriin painetta suuremmalla paineella. Mikäli akselitiiviste nro. 1 viikaantuu, varmistavat tiivisteet 2 ja 3 tiivisteiden siihen saakka kunnes pumppu saadaan ajettua hallitusti alas ja tiivistettyä mekaanisella seisokkitiivisteellä.



Turbiini ja generaattori

Mekaaninen seisokkitiiviste on suunniteltu vähentämään, erityisesti seisovalla pääkiertopumpulla tunnistettua, pumpun akselitiivisteen vuotoriskiä. Akselitiivisteitä suojataan primääripiirin lämmöltä erillisellä lämpökilvellä, joka saa jäähdytysvetensä komponenttien jäähdytysjärjestelmästä.

Pääkiertopumppujen moottori on 10 kV epätahtimoottori, jonka nimellisteho on 9 MW. Moottorin yläosaan on asennettu vauhtipyörä, jolla varmistetaan pumpun hallittu alasajo sähkönsyötön katketessa.

Turbiini ja generaattori

Turbiini-generaattori -yhdistelmä koostuu yhdestä korkeapaineturbiinista, kolmesta matalapaineturbiinista ja generaattorista magnetointikoneineen. Tuorehöyry johdetaan höyrystimestä korkeapaineturbiinille neljää höyryputkea pitkin. Jokainen tuorehöyrylinja on varustettu varoventtiilillä ja eristysventtiilillä, jotka sijaitsevat erillisessä venttiili-osastossa.

Korkeapaineturbiini toimii kostean höyryn alueella ja siinä on kaksi väliottoa korkeapaine-esilämmittimille. Höyry

johdetaan turbiinille keskeltä ja se paisuu turbiinin molempia päitä kohti.

Korkeapaineturbiinille johdetaan höyryä 2450 kg/s, 75 barin paineessa ja 291 °C:n lämpötilassa. Korkeapaineturbiini tuottaa noin 40 % laitoksen bruttosähkötehosta.

Matalapaineturbiineille johdetun höyryn lämpötila on 278 °C. Matalapaineturbiineille höyry johdetaan turbiinien keskeltä ja se paisuu turbiinien molempia päitä kohti. Jokaisessa matalapaineturbiinissa on neljä väliottoa matalapaine-esilämmittimille. Matalapaineturbiinin viimeisen vaiheen siiven pituus on 1 830 mm. Yksi matalapaineturbiini tuottaa noin 20 % laitoksen bruttosähkötehosta.

Neljänapainen generaattori on kytketty samalle akselille korkea- ja matalapaineturbiinin kanssa ja sen tehtävänä on muuttaa turbiinin akselin mekaaninen teho sähkötehosta. Generaattori on varustettu harjattomalla magnetointijärjestelmällä, joka tuottaa generaattorin tarvitseman magnetointivirran, jolla säädetään generaattorin jännitettä. Generaattorin roottorikäimitystä jäähdytetään vedellä ja staattorikäimitystä sekä vaiheulostuloja vedellä.

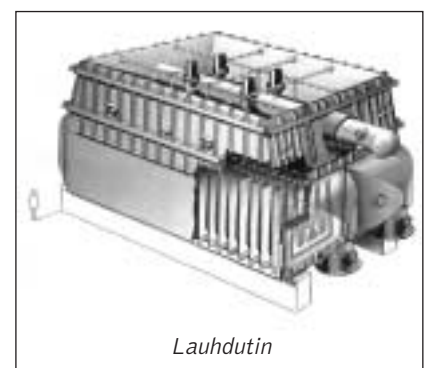
Lauhdutin

Lauhduttimen tehtävänä on lauhduttaa matalapaineturbiineilta tuleva poisto-höyry. Jokaisen matalapaineturbiinin alapuolella sijaitsee yksi lauhdutin, joka on jaettu kahteen erilliseen kammioon. Rakenteen ansiosta kunkin lauhduttimen toinen puolisko voidaan tarkastaa käynnin aikana. Matalapaineturbiinin poistohöyryn lauhduttamisen lisäksi lauhdutin toimii eri prosessijärjestelmistä hallitusti poistettavien kaasujen, höyryn, lauhteen, puhdistetun veden ja ilmausvirtauksien vastaanottajana.

Lauhduttimien tuubien jäähdytyspinta-ala on noin 110 000 m² ja materiaalina on käytetty titaania, jolla saavutetaan hyvät korroosionkesto-ominaisuudet merivettä vastaan. Lauhduttimien tuubien sijoittelua on optimoitu Suomen kylmiin jäähdytysvesiolosuhteisiin sopivammaksi. Kylmästä Pohjanlahdesta saatava jäähdytysvesi johdetaan tuubeihin vesikammioiden kautta. Jäähdytysveden lämpötilan nousu lauhduttimessa on noin 12 °C.

Lauhduttimen tuubien sisäpintoja puhdistetaan syöttämällä jäähdytysvesivirtaan pehmeitä puhdistuspalloja, jotka kerätään talteen niiden kulkeuduttua lauhduttimen tuubien läpi.

Lauhduttimen tehokkaan toiminnan takaamiseksi lauhduttimen tulee olla alipaineinen. Lauhduttimen alipainejärjestelmän tyhjöpumpuilla muodostetaan ja ylläpidetään mahdollisimman hyvä lauhduttimen alipaine poistamalla lauhduttimista sinne kerääntynyt ja siellä muodostunut ilma ja lauhutumattomat kaasut. ■



Lauhdutin

Teknisiä tietoja:

Reaktoripainesäiliö

Suunniteltu käyttöikä	60 vuotta
Suunnittelupaine	176 bar
Suunnittelulämpötila	351 °C
Jäähdytteen tilavuus	150 m ³
Paineastian korkeus	12 708 mm
Paineastian sisähalkaisija	4 885 mm
Seinämän paksuus (sydänalue)	250 mm

Paineistin

Suunniteltu käyttöikä	60 vuotta
Tilavuus	75 m ³
Suunnittelupaine	176 bar
Suunnittelulämpötila	362 °C
Lämpövästusten lukumäärä	108
Lämpövästusten sähköteho (yhteensä)	2 500 kW
Varoventtiilien lukumäärä	3
Paineistimen sisähalkaisija	2 820 mm
Paineistimen korkeus	14 400 mm

Höyrystin

Suunniteltu käyttöikä	60 vuotta
Suunnittelupaine	176 bar
Suunnittelulämpötila	351 °C
Massavirta	n. 5 790 kg/s
Tuubien lukumäärä	5 980
Lämmönsiirtopinta-ala	7 960 m ²
Höyrystimen korkeus	24 338 mm

Pääkiertopumput

Pumppuyksikön kokonaiskorkeus	9 362 mm
Pumppuyksikön pyörimisnopeus	1 500 rpm
Pumpun tilavuusvirta (pumppua kohti)	28 330 m ³ /h
Pumpun nostokorkeus	98,1 m
Pumpun suunnittelupaine	176 bar
Moottorin jännite	10 000 V
Moottorin nimellisteho	9 000 kW

Turbiini-generaattori

Pyörimisnopeus	1 500 rpm
Yhdistelmän kokonaispituus	67 m
Akselin kokonaispaino	1 330 t
Tuorehöyryn massavirta	2 443 kg/s
Tuorehöyryn paine	78 bar
Tuorehöyryn lämpötila	291 °C
Generaattorin teho	1 983 MVA
Generaattorin nimellisjännite	27 kV
Laitoksen nettoteho	n. 1 600 MW

DI Mika Hassinen
projektin prosessi-insinööri
Teollisuuden Voima Oy
mika.hassinen@tvo.fi



Deterministiset ja todennäköisyyspohjaiset riskianalyysit

Olkiluoto 3 -laitosyksikölle on tehty sekä deterministiset että todennäköisyyspohjaiset analyysit häiriö- ja onnettomuustilanteiden sekä epätodennäköisten vakavien reaktorionnettomuuksien varalle. Turvallisuusanalyysit ovat tärkein perusta laitoksen rakentamislupahakemuksen arviointiin kuuluvalla laitoksen turvallisuustason määrittämiselle. Deterministiset analyysit ja alustavan riskianalyysin (PSA) tulokset ovat osa Olkiluoto 3:n parhaillaan viranomaisen (Säteilyturvakeskus - STUK) käsittelyssä olevaa alustavaa turvallisuuselostetta (PSAR). Alustavan turvallisuuselosteen lisäksi viranomaiselle on toimitettu OL3:n suunnitteluvaiheen todennäköisyysperustainen turvallisuusanalyysi (PSA), joka sisältää alustavat järjestelmien vikaantumisen analyysit (taso 1) ja päästöanalyysit (taso 2).

Olkiluoto 3 rakentamislupahakemuksen sisältämien laajojen, laitoimittajan (Framatome-Siemens-konsortio) toimittamien turvallisuuselostusten ja häiriö- ja onnettomuusanalyysien arviointi jatkuu vuoden 2004 loppuun. Teollisuuden Voima (TVO) ja STUK tekevät myös omia, riippumattomia analyysejään. Suunnitteluvaiheen analyyseihin sisältyvillä, alustavilla riskiarvioilla (PSA) arvioidaan turvatoimintojen syvyysuuntaisen varmennuksen riittävyttä sekä analysoidaan hankintojen ja toteutuksen laatua ohjaavaa turvajärjestelmien ja -laitteiden turvaluokitusta. Samalla todennetaan suomalaisten viranomaisohjeiden asettamien numeeristen riskitavoitteiden täyttyminen.

Rakentamislupavaiheen kommenttien ja lisäselvitysten perusteella tehdään järjestelmien yksityiskohtaiset suunnitteluanalyysit. Nämä analyysit yhdessä aiemman suunnittelu- ja käyttökokemuksen kanssa antavat lähtötiedot järjestelmäsuunnittelulle. Suunnittelun tuottamien järjestelmätietojen perusteella lasketaan lopullisen käyttöluvan pohjana

olevat, konservatiivisilla oletuksilla laskettavat lisensiointianalyysit. Suunnittelun tasapainoisuus ja turvatoimintoja toteuttavien järjestelmien riittävä rinnakkaisuus ja erilaisuus varmennetaan tason 1 ja 2 riskiarvioilla (PSA).

Onnettomuustapausten luokittelu

Onnettomuustapausten luokittelu määrittelee tarvittavat deterministiset onnettomuusanalyysit ja niiden hyväksymiskriteerit. Luokittelu asettaa myös vaatimukset tarvittaville analyysiohjelmille. Vastaavanlaista tilanteiden luokittelua käytetään mekaanisten komponenttien, kuten primääripiirin komponenttien, rakenneanalyysien pohjana. OL3:n alustavassa turvallisuuselosteessa on esitetty onnettomuustapausten laskennassa käytettyjen ohjelmien mallikuvaukset sekä validointiraportit. Validointiin kuuluvia koevertailuja on esitetty myös erillisissä, alustavan turvallisuuselosteen (PSAR) liitteenä olevissa aihekohtaisissa raporteissa.

OL3 – Käytetyt transientti- ja onnettomuusanalyysiohjelmat

Häiriö- ja onnettomuustapausten moninaisuuden takia OL3:n analyyseissä on käytetty useita koodeja. Tapauksen luonne myös määrää laskennan tarkkuusvaatimukset: tarvitaanko 3D-laskentaa. Tämä pätee niin sydäntransienttien kuin suojarakennuksen käyttäytymisen laskentaan.

OL3:n alustavassa turvallisuuselosteessa on ohjelmista mallikuvaukset sekä validointiraportit koe- ja keskinäisine vertailuineen aihekohtaisissa raporteissa.

Laajennettu turvallisuus suunnittelu

Onnettomuustapausten luokittelun ohella OL3:n suunnittelussa on käytetty laajennettua turvallisuus suunnittelua (Design Extension Cases, DEC). Käsite on lainattu EUR-dokumentista (European Utility Requirements), mutta turvallisuus suunnittelu toteutetaan pääosin YVL-ohjeiden määräyksien perusteella.

Laajennettu turvallisuussuunnittelu tarkoittaa, että laitoksen on selvittävä tietyistä suunnittelun "ulkopuolisista" tilanteista, vaikkakin lievennetyin lähtöoletuksin (esimerkiksi vikakriteerit) ja osin myös lievennetyin hyväksymiskriteerein. DEC-tapauksiin on luokiteltu ns. kompleksisekvenssit ja vakavat reaktorionnettomuudet. Vakavassa reaktorionnettomuudessa reaktorin sydän sulaa.

OL3:n vakavien onnettomuuksien analyyseissä on käytetty sekä yleisesti käytössä olevia ohjelmia että erityisesti EPR:n erityisominaisuuksia varten tehtyjä ohjelmia.

Autonomia-vaatimukset

TVO asetti YVL-ohjeiden suorien viranomaisvaatimusten lisäksi OL3 laitoksen turvatoiminnoille ja -järjestelmille omia vaatimuksiaan. Tällaisia ovat aikaan sidotut riippumattomuusvaatimukset ns. autonomisuusvaatimukset. Niiden pääasiallinen alkuperä on EUR-asiakirja. Näiden vaatimusten tarkoituksena on antaa laitoksen henkilökunnalle lisää aikaa analysoida ja toteuttaa tarpeellisia toimia harvinaisissa tai ennalta arvaamattomissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Tärkeimpiä tällaisia EPR-vaatimuksia ovat seuraavat:

1. Suunnitteluperusteisissa (DBC1-4) tai laajennetun turvallisuussuunnittelun mukaisissa tapahtumissa (DEC) ei saa syntyä tarvetta valvomosta tehtäviin ohjaajan toimenpiteisiin ensimmäisten 30 minuutin eikä valvomon ulkopuolisiin toimenpiteisiin ensimmäisten 60 minuutin aikana.
2. Kaksi tuntia kestävä täydellinen vaihtosähkön menetys ei saa johtaa polttoaineen vaurioitumiseen.
3. Tarvetta raskaan siirrettävän laitteiston (laitospaikalta tai sen ulkopuolelta) käyttöön ei saa syntyä ensimmäisten 72 tunnin aikana.

4. Vakavan onnettomuuden yhteydessä suojarakennuksen on säilytettävä ti-

veytensä vähintään 12 tuntia ilman ohjaajien toimenpiteitä.

OL3 laitoksen riippumattomuusvaatimuksiin kuuluu myös vaatimus laitospaikalla olevan veden ja sähkön riittävästä vähintään 3 vuorokauden ajaksi. Syöttövesireservit voisivat joutua koetukselle esimerkiksi jäädytykseen käytettävän meriveden täydellisessä menetyksessä, jolloin jälkilämmön poisto tehtäisiin höyrystymien ulospuhalluksen kautta. Olkiluoto 3 laitoksella on tällaista vettä valmiina syötettäväksi 24 tunnin ajaksi; lisäksi laitospaikalla on 72 tuntia riittävä lisävesivarasto. Sähkön riittävyysvaatimus tarkoittaa mm. omakäyttö-sähkön tuotantoon poikkeustilanteissa käytettävien dieselien polttoaineen riittävää varastoimista.

Vakaviin onnettomuuksiin varautuminen

Vakavassa reaktorionnettomuudessa kaikki monipuoliset vastatoimet epäonnistuvat ja reaktorin sydän sulaa. Vakavien onnettomuuksien hallinta keskittyy ympäristöpäästöjen ja niiden vaikutusten minimoimiseen. Tällöin pyritään turvaamaan kaasutiiviin suojarakennuksen eheys.

OL3 EPR-tyyppisen laitoksen suunnittelussa on aikaisempaan painevesilaitosuunnitteluun perustuen otettu huomioon seuraavien tilanteiden estäminen:

- reaktoripaineastian korkeapaineinen puhkisulamien
- vetyräjähdykset
- suojarakennuksen ohitus.

Myös muut vakavien onnettomuuksien tilanteet on otettava huomioon vakavien onnettomuuksien hallintastrategiassa.

Primääripiirin paineenalennus

Eräs painevesilaitoksen tärkeimpiä turvallisuustoimintoja on korkeapaineisen reaktoripiirin paineen ja energiasisällön hallittu alentaminen. Tällä estetään reaktoripiirin laajempi vaurioituminen ja suojarakennuksen rikkoutumisen aiheut-

tamat suuret päästöt. Olkiluoto 3 laitoksella primääripiirin paine alennetaan häiriö- ja onnettomuustilanteissa puhaltamalla automaattisesti tai käsin sekundääripiirin venttiileillä tai puhaltamalla primääripiirin paineenalennusventtiileillä suojarakennukseen.

Primääripiirin paineenalennus tehdään alle 2 MPa:iin reaktoripaineastian korkeapaineisen puhkisulamien estämiseksi. Ohjaaja aloittaa paineenalennuksen, kun reaktorista tulevan veden lämpötila nousee yli valitun rajan. Lämpötilakriteeriä tullaan tarkentamaan myöhemmillä analyyseillä.

Paineenalennuksella on seuraava turvallisuusmerkitys:

- Estää suojarakennuksen ohitus höyrystymen tuubirikon takia.
- Estää suojarakennuksen rikkoutuminen korkean paineen ja lämpötilan takia (Direct Containment Heating).
- Estää suojarakennuksen rikkoutuminen missiilien tai sydänsulan vaikutuksen takia.

Primääripiirin paineenalennus tehdään paineistimesta lähtevällä kahdenneulla vakavien onnettomuuksien paineenalennuslinjalla.

Vakavien onnettomuuksien analyytit

Analyyseissä on tarkasteltu seuraavia pääonnettomuusketjuja:

- täydellinen vaihtosähkön menetys
- syöttöveden ja feed-and-bleed toiminnon menetys
- pieni primääripiirin jäädytymenetysonnettomuus ja sydämen hätäjäädytyksen täydellinen menetys
- suuri primääripiirin jäädytymenetysonnettomuus (paineistimen yhdysputken katko) ja sydämen hätäjäädytyksen täydellinen menetys

Näiden onnettomuustilanteiden analysoinnissa on painotettu seuraavien ilmiöiden tuntemista ja hallintaa:

- vedyn syntyminen ja palaminen
- sydänsulan ja jäädytteen energgeettinen vuorovaikutus

- suojarakennuksen paineen nousu
- sydänsulan jäähdytys suojarakennuksessa
- suojarakennuksen vuoto
- suojarakennuksen vuoto höyrystintuubien rikkoutumisen takia ja
- sydänsulan uudelleenkriittisyysmahdollisuudet

Suojarakennustoiminto

OL3:ssa on täyden onnettomuustilanteen paineen kestävä kaksoisuojarakennus. Ulompi suojarakennus rakennetaan raudoitetusta betonista, ja se on suoja ulkoisia tapahtumia vastaan. Sisempi suojarakennus tehdään esijännitetystä betonista.

Suojarakennuksen tiiveys varmistetaan sisemmän suojarakennuksen sisäpuolelle asennettavalla noin 6 mm paksulla teräsverhouslevyllä. Suojarakennuksen tilavuus noin 80 000 m³. Suojarakennuksen suunnittelupaine on 0,53 MPa. Suojarakennuksen teräsverhouksen suunnittelulämpötila on 170 °C. Suojarakennuksen vuoto suunnittelupaineessa 0,5 til.-% vuorokaudessa.

Suojarakennuksen vuoto voidaan kerätä sisemmän ja ulomman suojarakennuksen väliseen tilaan. Välitila voidaan pitää alipaineessa ilmastointijärjestelmän avulla. Sähkönsyötön katketessa alipaine säilyy 6 tuntia puhaltimien pysähtymisen jälkeen. Sisemmän suojarakennuksen paine pysyy vakavassa onnettomuudessa ilman jäähdytystä 12 tuntia alle suunnittelupaineen.

Vaikka seisokitilanteesta alkava vakava onnettomuus on erittäin epätodennäköinen on siihenkin varauduttu. EPR:n alkuperäinen onnettomuustilanteiden varautumissuunnittelu perustui täysin suojarakennuksen pitävyyteen ja päästöjen välttämiseen. Suomalaisten vaatimusten perusteella on

Olkiluoto 3 laitokselle lisätty suojarakennukseen lisätty suodatusjärjestelmä, jolla pitkällä aikavälillä saadaan paine lähelle ilmakehän painetta. Järjestelmää käytetään vasta suojarakennuksen suunnittelupaineessa niissä vakavissa onnettomuustilanteissa, joissa kaikki muut hallintatoimet ovat epäonnistuneet.

Sydänsulan jäähdytys

Vakavassa reaktorionnettomuudessa sydämen oletetaan sulavan paineastian pohjan läpi. Paineastian pohjan puhjetta sydänsula virtaa reaktorikuiluun. Kuilun pohjassa oleva tulppa rikkoutuu, kun reaktorikuilun erikseen tähän tarkoitukseen suunniteltu noin 50 cm:n paksuinen betonikerros on sulanut ja sekoittanut sydänsulaan. Sydänsulan leviäminen sivuille estetään suojaamalla kuilu noin 20 cm paksulla zirkoniumoksidikerroksella. Tulpan rikkoutumisen jälkeen sula leviää passiivisesti siirtokanavan kautta leviämisalueelle (170 m²), jonka jälkeen alue tulvitetaan passiivisesti.

Leviämisalue on suojattu paineastian rikkoutumisen aiheuttamilta kuormilta. Myös mahdollisten höyryräjähdyksen aiheuttamat kuormat on otettu huomioon.

Sydänsulan jäähdytys perustuu leviämistilan tulvittamiseen vedellä. Leviämisalueen alle on sijoitettu jäähdytyskanavat. Alussa jäähdytys on siis passiivinen toiminto, mutta 12 tunnin kuluttua käynnistetään suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmä, jolla ruiskutetaan aluksi suojarakennusta ja muutaman päivän kuluttua aloitetaan leviämisalueen suora jäähdytys.

Suojarakennuksen painetta käytetään kriteerinä suojarakennuksen ruiskutuksen lopettamiseksi ja jäähdytyksen ohjaamiseksi suoraan sydänsiepparin jäähdytykseen.

Suojarakennuksen vakavien onnettomuuksien jäähdytystä varten on laitoksella riippumaton aktiivinen jäähdytysjärjestelmä, jonka kapasiteetti 2x100 %. Se saa sähkönsyöttönsä erillisiltä SBO (Station Black Out)-dieseileiltä. Järjestelmällä voidaan suoraan jäähdyttää sydämen leviämisaluetta ilman höyryn muodostumista.

Vedyn hallinta

Suojarakennus on jaettu kahteen osaan ilmastointijärjestelmillä: huoltotilavuus ja laitteistotilavuus. Suojarakennuksen tilavuus, noin 80 000 m³, ei ole yhtä tilaa. Putkikatkosonnettomuuksissa tilat tulee yhdistää suojarakennuksen paineen alentamiseksi ja vakavissa reaktorionnettomuuksissa vedyn jakamiseksi tasaisesti koko suojarakennuksen tilavuuteen.

Höyrystintilojen yläosassa on murtolevykalvot. Hätäjäähdytysjärjestelmien varastoaltaan ilmatilan ja välitilan väliin asennetaan luukut, jotka aukeavat: suojarakennuksen paineesta, tilojen välisestä paine-erosta tai mahdollisesti myös ohjaajan antamasta signaalista. Luukut pidetään normaalisti kiinni sähköisesti ja ne aukeavat, mikäli sähkönsyöttö menetetään.

Suojarakennuksen laitetiloihin on sijoitettu 41 kappaletta ja suojarakennuksen yläosaan kuusi kappaletta passiivista autokatalyyttisesti vetyä polttavaa rekombinaattoria. Rekombinaattoreiden paikka on määrätty laitostoimittajan tekemien virtaus- ja sekoittumisanalyysien (GASFLOW-koodi ja 100 000 noodia) perusteella. Alustavat analyysit ovat perustuneet alkuperäiseen EPR-suunnitteluun, jossa koko suojarakennus on yhtä tilavuutta. Alustavia analyysejä täydennetään parhaillaan uusilla perusteilla. Vedyn palamista tiloissa on analysoitu COM3D-ohjelmalla. Rekombinaattorit on testattu suojarakennusta vastaavissa olosuhteissa.

Vakavien onnettomuuksien instrumentointi

Vakavien onnettomuuksien instrumentoinnin turvallisuustehtävä on antaa välttämätön tieto ohjaajan toimenpiteitä varten sekä antaa tietoa laitoksen tilasta, onnettomuuden ja lieventämistoimenpiteiden vaikutuksesta onnettomuuden kulun ja mahdollisten ympäristön seurausten arvioimiseksi.

Vakavien onnettomuuksien instrumentointi jaetaan kahteen luokkaan A ja B.

Luokkaan A määritellään ne mittaukset, jotka mainitaan operaattorien hätätilan-ohjeissa tarvittavien käsitoimintojen tai erittäin tärkeiden seurantatoimintojen valvontamittauksina. Näiden mittauksen koko mittausketjut (anturit, lähettimet) tullaan kelpoistamaan ko. tiloissa vallitseviin vakavien onnettomuuksien olosuhteisiin. Luokan A mittauksia ovat muutamit ohjaajatoimiin käytettävät mittaukset.

Luokan B mittauksilla saadaan tietoa onnettomuuden etenemisestä. Luokan B mittauksen alustava valinta on perustunut YVL-ohjeisiin ja suunniteltuun vakavan onnettomuuden hallintastrategiaan.

Menetettäessä normaali käytönaikainen sekä suunnitteluperusteisten onnettomuustilanteiden sähkönsyöttömahdollisuudet voidaan vakavien onnettomuuksien mittauksien ja ohjausten sekä valvomonäyttöjen sähkönsyöttöä hoitaa vähintään 12 tunnin ajan erillisillä vakavien onnettomuuksien akuilla. Tämän ajan jälkeen mittauksen sähkönsyötöstä huolehtivat neljästä onnettomuustilanteiden hätädiekseleistä riippumattomat kaksi ns. SBO-dieseliä. Nämä dieselit on suunniteltu täydellisen vaihtosähkön syötön menetyksen varalta.

Suunnittelu- vaiheen PSA

Suunnitteluvaiheen PSA-analyysi ei perustu vielä laitoskomponenttien todellisiin vikataajuuksiin vaan niiden tilalla käytetään käyviin laitojen käyttökokeuksiin perustuvia yleisiä tietokantoja. Niinpä suunnitteluvaiheen PSA toimii enemmän laitoksen turvallisuusperiaatteita ja suunnittelupainotuksia luotaavana ja toimintasuunnittelua tukevana työkaluna.

Suunnitteluvaiheen PSA:n tason 1 analyysissä arvioidaan sydämen vakavaan vaurioitumiseen johtavan onnettomuuden taajuutta ja selvitetään siihen vaikuttavia tekijöitä. Alkutapahtumina on käsitelty tärkeimmät sisäiset alkutapahtumat, aluetapahtumat sekä ulkoiset alkutapahtumat. Sisäisillä alkutapahtu-

milla tarkoitetaan jäähdytteenmenetys-, transientti, tai yhteisvika-alkutapahtumia, aluetapahtumilla esimerkiksi laitoksen sisäisiä palo- tai tulva-alkutapahtumia ja ulkoisilla alkutapahtumilla esimerkiksi sää- tai seismisiä ilmiöitä.

Suunnitteluvaiheen PSA:n järjestelmämallit ovat alustavia, mutta yksityiskohtaisempaa tietoa kertyy koko ajan ja malleja täydennetään suunnittelun edetessä. Esimerkiksi laitoksen käyttöön liittyvä ohjeistus valmistuu melko myöhään, ja siihen liittyvät mallit saadaan lopulliseen kuntoonsa vasta vähän ennen käyttöluvan anomista.

PSA - tason 1 analyysi

Laitoksen käyttötiloissa on tarkasteltu tehoajoja (A) ja kuumavalmiustilaa (B) sekä seisokkitiloja (kuuma- (C), kylmä- (D), ja latausseisokki (E)). Polttoainerakennuksessa olevan käytetyn polttoaineen altaan jäähdytyksen menetystä on tarkasteltu erillisenä analyysinä sekä tehoajon käyttötiloissa että kaikissa seisokkitiloissa.

Alkutapahtumataajuuudet perustuvat pääosin saksalaisten käyttökokeuksiin, mutta esimerkiksi ulkoisen verkon menetyksen ja sääilmiöiden alkutapahtumien määrittämisessä on käytetty hyväksi Olkiluodon laitospaikkatietoja. Laitteiden luotettavuustiedot perustuvat sekä saksalaiseen (ZEDB), ranskalaiseen (EIREDA) ja pohjoismaisiin (T-boken) käyttökokeuksiin että yleisten voimalaitostietokantojen luotettavuustietoihin.

Suunnitteluvaiheen PSA:n tason 1 mallintaminen perustuu pienten tapahtumapuiden ja niihin linkitettyjen laajojen vikapuiden menetelmään. Laskennassa ja mallinnuksessa on käytetty työkaluna on käytetty RiskSpectrum Professional -ohjelmaa.

PSA - tason 2 analyysi

Suunnitteluvaiheen PSA:n tason 2 analyysissä eli suojarakennusanalyysissä lasketaan erikokoisiin ympäristöpäästöihin

johtavien onnettomuuksien taajuudet. Lähtökohtana tason 2 analyysille on tason 1 sydänvaurioon johtavien tapahtumaketjujen luokittelu ns. laitoksen vaurioitiloihin (PDS, Plant Damage State), joita on kaikkiaan 27 joko tehoajolla tai seisokkitiloissa.

Luokituksessa käytettyjä pääkriteereitä ovat:

- alkutapahtumaryhmäkohtainen jaotteleminen (LOCA, transientti, ulkoisen verkon menetys)
- laitoksen käyttötilakohtainen jaotteleminen (tehoajo, seisokkitilat)
- suojarakennuksen tilaa koskeva informaatio (eristetty, eristämätön)
- reaktorin primääripiirin paineenalennuksen tarve
- sydänvaurioon johtavan tapahtumaketjun luonne (sisältää ihmisen virheitä tai ei sisällä)

Tason 2 suojarakennustapahtumapuut koostuvat kolmesta peräkkäisestä vaiheesta, joista kukin on mallinnettu omalla tapahtumapuullaan. Vaiheen 1 kysymykset liittyvät pääosin reaktorin sisäisiin ilmiöihin, primääripiirin paineenalennukseen ja suojarakennuksen tilaan onnettomuuden aikaisessa vaiheessa, jolloin sydän ylikuumenee ja sulaa reaktoripaineastian sisällä. Vaiheen 2 kysymykset koskettelevat aggressiivisia ilmiöitä onnettomuuden keskivaiheessa, paineastian puhkeamista ja sydänsulan purkautumista reaktorista suojarakennukseen. Vaiheessa 3 sydänsula on suojarakennuksessa, ja kysymykset keskittyvät myöhäisiin ilmiöihin mm. sydänsulan jäähdytettävyyteen sekä suojarakennuksen integriteetin säilyttämiseen tarvittaviin järjestelmätointoihin.

MAAP4 ja COCOSYS-analyysijärjestelmät on käytetty hyväksi analysoitaessa onnettomuuden etenemistä sekä joidenkin tason 2 malleissa käytettyjen todennäköisyyksien määrittämisessä ja lähdetermien määrittämisessä. Tason 2 suojarakennustapahtumaketjut johtavat johonkin kahdeksasta päästöluokasta (RC1-RC8), joille kullekin on laskettu yksi "tyypillinen" lähde termi:

Laitostoimittajan käyttämät laskentaohjelmat

Sydäntransienttien laskenta

PANBOX on 3D-ohjelma sydämen lyhytkestoisten ja ksenontransienttien laskentaan. PANBOX on osa CASCADE-3D (Core Analysis & Safety Codes for Advanced Design Evaluation) -ohjelmapakettia, joka käsittää koko sydänlaskentaohjelmiston koppitason neutronilaskentaohjelmasta alkaen. PANBOX käyttää COBRA 3-CP -ohjelmaa sydämen termohydrauliikkamoduulinaan. ORIGIN-S -ohjelmaa käytetään CASCADE 3D-ohjelmiston rinnalla sydämen nuklidikoostumuksen ja jälkitechon laskentaan.

Laitostransienti ja onnettomuuslaskenta

S-RELAP5

S-RELAP5 on Siemens Power Corporationin (SPC, USA) RELAP5 MOD/2:n ja MOD/3:n pohjalta kehittämä kuusiyhtälötermohydrauliikkaohjelma. Se sisältää SPC:n ja FANP:n tekemiä parannuksia. Primääri- ja sekundääripiiri, järjestelmien automaattinen ja manuaalinen ohjaus sekä sydämen neutroniikka voidaan simuloida. Ohjelmalla pystyy laskemaan erilaisia turvallisuuden kannalta tärkeitä transientteja ja onnettomuuksia. Rajana polttoaineen suoja-kuoren lämpötilan laskennalle on metalli-vesi -reaktion alku, jolloin myös sydänvaurio alkaa.

S-RELAP5 käsittää veden ja höyryn kaksifaasimallin. Myös lauhtumattomien kaasujen mukanaolo on mahdollista.

Tärkein S-RELAP5:n muutos on virtauksen 2D-mallinnus. RELAP5 laskee virtauksen yhdessä dimensiossa. Mikäli tarpeellista 3D-virtausta voidaan arvioida S-RELAP5:n 2D-mallilla ja lisäämällä yksi ristivirtaussuunta.

Lisäksi S-RELAP5:ssä on tehty muutoksia energiayhtälöihin, virtausyhtälöiden ratkaisun numerikkaan, höyryn ja lauhtumattoman kaasun muodostaman seoksen käsittelyyn, faasin vuorovaikutusmalleihin, lämmönsiirtomalleihin, kuristetun virtauksen malliin, CCFL-malliin (CounterCurrent Flow Limitation), järjestelmäkomponenttimalleihin ja polttoaineen suoja-kuorimalleihin.

CATHARE

CATHARE on CEA:n, EDF:n ja FANP:n Ranskassa kehitetty kuusiyhtälötermohydrauliikkaohjelma. Sen käyttötarkoitus on sama kuin S-RELAP5:n, mutta ohjelma laskee virtauksen yhdessä dimensiossa.

NLOOP

NLOOP on FANP:n kehittämä yksinkertaistettu termohydrauliikkaohjelma laitoksen käyttäytymisen laskentaan. Ohjelma sisältää mallit primääri- ja sekundääripiirille, turvallisuus- ja reaktorilaitoksen apujärjestelmille sekä keskeisille ohjaus- ja suojausjärjestelmille.

Primääripiirissä jäähdytteen virtaus lasketaan homogeenisen virtauksen mallia käyttäen. Tasapainotilasta poikkeava tilanne lämpötilan suhteen voidaan hyväksyä vain reaktoripaineastian yläosaa, paineistimessa ja höyrystimissä. Tämän takia NLOOP-ohjelmaa voidaan käyttää vain tapauksissa, joissa primääripiirin aukko-osuus on hyvin pieni. Ohjelmalla ei voi näin laskea tyypillisiä putkikatkonnettomuuksia.

MANTA

MANTA-ohjelma (Modular Advanced Neutronic and Thermalhydraulic Analysis) on FANP:n laitostransienttien laskentaan kehittämä. Sillä lasketaan tapauksia, joissa ei menetetä jäähdytettä primääripiirin vuodon takia.

Suojarakennuslaskenta

WAVCO

WAVCO on FANP:n johdolla kehitetty suojarakennuksen termohydrauliikkaohjelma. Ohjelmalla lasketaan suojarakennuksen käyttäytyminen sekä putkikatkonnettomuustilanteissa että vakavissa

onnettomuuksissa, joissa suojarakennuksessa on vetyä. Ohjelma on alun perin tehty juuri veden käyttäytymisen laskentaan.

Ohjelmalla jaetaan suojarakennus noodeihin ja sovelletaan ns. lumped parameter -malli, jolloin noodissa on homogeeninen seos. Jos nooditus tehdään tarpeeksi tiheäksi, myös monimutkaisia ilmiöitä voidaan mallintaa.

Ohjelmalla voidaan laskea turvallisuusjärjestelmien vaikutusta suojarakennuksen olosuhteisiin, kuten suojarakennuksen ruiskutus ja jäähdytys, sumpmien toiminta ja vedyn hallinta vakavissa onnettomuuksissa.

Radiologiset seurausten laskenta

PRODOS

Onnettomuuksien radiologiset seuraukset lasketaan PRODOS-ohjelmalla.

Vakavien onnettomuuksien analysointi

COCOSYS

COCOSYS on GRS:n (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH) kehittämä ohjelma suojarakennuksen käyttäytymisen laskentaan vakavissa onnettomuuksissa. Sillä lasketaan suojarakennuksen termohydrauliikkaa, aerosolien ja fissiotuotteiden käyttäytymistä, betonin ja sydänsulan välisiä reaktioita sekä fissiotuotteiden vapautumista sydänsulasta suojarakennuksessa. Lisäksi sen avulla voidaan määrittää radioaktiivisten aineiden vapautumista ympäristöön.

OL3:n analyyseissä vakavan onnettomuuden kulku reaktoripaineastiassa ja sydänsulan siirtyminen suojarakennukseen on laskettu MAAP4-ohjelmaa käyttäen. Nämä tulokset on annettu COCOSYS-ohjelmalle.

GASFLOW ja COM3D

GASFLOW ja COM3D-ohjelmat ovat 3D-CFD-laskentaohjelma suojarakennusten kaasuvirtauksen laskentaan. OL3:n tapauksessa niitä on käytetty vedyn jakaantumisen ja vetypalojen laskentaan. GASFLOW-ohjelmalla on laskettu onnettomuuden pitkän aikavälin kulkua. COM3D-ohjelmalla on laskettu lyhytaikaisia vetypaloja.

CORFLOW

CORFLOW on 3D CFD-ohjelma yksikomponenttisen homogeenisen virtauksen laskentaan. OL3:n tapauksessa sitä on käytetty sydänsulan leviämisen laskentaan. Ohjelmalla on mahdollista mallintaa rakenteet ja leviämisesteet.

COSACO

COSACO-ohjelmalla lasketaan oksidisen ja metallisen sydänsulan termokemiallista käyttäytymistä ja lämmönsiirtoa. OL3:n tapauksessa ohjelmaan on käytetty reaktorikuilun sydänsulan käyttäytymisen laskentaan.

MAAP 4

MAAP4 on integroitu vakavien onnettomuuksien ohjelma, joka laskee sekä primääripiiriin että suojarakennuksen käyttäytymisen. Se on lumped parameter -tyyppinen ohjelma ja se käyttää parametrisia malleja. OL3:n tapauksessa sitä on käytetty erityisesti sydämen vauroitumisen kulun ja vedyntuoton laskentaan. Tason 2 PSA-analyyseissä sitä on käytetty koko onnettomuusketjun kulun laskentaan päästä mukaan lukien ohjelman nopeuden takia.

WALTER

WALTER laskee ajasta riippuvat 1D-lämpötilaprofiilit sydänsulassa, jäähdyttävissä rakenteissa ja suojarakennuksen rakenteissa.

OL3 – Onnettomuustapausten luokittelu

Suunnittelun perustapahtumat määrittelevät tarvittavat deterministiset onnettomuusanalyysit. Ne myös asettavat vaatimukset tarvittaville analyysiohjelmille.

Onnettomuuteen johtavat alkutapahtumat jaetaan neljään luokkaan arvioidun esiintymistaajuutensa tai laitostyyppille vakiintuneen käytännön mukaisesti. Luokittelussa noudatetaan valtioneuvoston päätöksessä 395/91 sekä YVL-ohjeissa 1.0, 2.2 ja 6.2 esitettyjä periaatteita ja vaatimuksia. Luokittelu on seuraava:

Design Basis Category (DBC) 1 normaali käyttö

Normaali tehokkyttö ja siihen kuuluvat ylös ja alasajot sekä seisokkitilanteet muodostavat oman laitostilannekategoriansa, jolla on merkitystä esimerkiksi analysoitaessa komponenttien väsymistä.

DBC 2 - odotettavissa olevat käyttöhäiriöt:

DBC 2 - tilanteiden eli odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden esiintymistaajuus on vähintään 10^{-2} reaktorivuotta kohden. Lämmönsiirtokriisi on sallittu enintään 0,1 %:ssa polttoainesauvoja. Primääripiirin suunnittelupaine ei saa ylittyä. Polttoainevaurioiden todennäköisyyden oltava erittäin alhainen. Ei saa tulla tarvetta käynnistää onnettomuuksien varalle tarkoitettuja turvallisuustoimintoja.

DBC 3 - seurauksiltaan lievähöt

(YVL 6.2:n mukaiset luokan 1) onnettomuudet

Odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden esiintymistaajuus 10^{-2} - 10^{-3} reaktorivuotta kohden. Lämmönsiirtokriisi on sallittu enintään 1 %:lle polttoainesauvoista. Suojakuoren lämpötila saa olla maksimissaan 650 °C. Määritelmän mukaan tähän luokkaan kuuluvat myös tapaukset, joissa alkutapahtumana on jokin odotettavissa oleva käyttöhäiriö ja joiden yhteydessä ensimmäisenä laukeava pikasulkuehto ei toimi.

DBC 4 -suunnittelun perusonnettomuudet

(YVL 6.2:n mukaiset luokan 2 onnettomuudet)

Suunnittelun perusonnettomuudet määräävät turvallisuusjärjestelmien mitoituksen. Ne ovat useimmiten perinteisiä ajateltavissa olevia tapahtumia, kuten esimerkiksi primääripiirin putkikatkokset tai säätösauvan uloslento. Suomessa myös pikasulun epäonnistuminen (Anticipated Transient Without Scram ATWS) kuuluu tähän luokkaan. Enintään 10 % polttoainesauvoista saa vaurioitua. Suojakuoren lämpötila ei saa ylittää 1200 °C. Polttoaine ei saa siirtyä pois paikoiltaan

eikä menettää jäähdytettävyyttään. Tärkeimpien turvallisuustoimintojen tulee suoriutua tehtävästään hyväksymiskriteerien puitteissa, vaikka yhdessä rinnakkaisessa osajärjestelmässä olisi toiminnan estävä vika ja samanaikaisesti yksi osajärjestelmä olisi pois käytöstä huollon tai korjauksen takia.

Tästä seuraa turvallisuustoimintoja suorittavien järjestelmien redundanttisuusvaatimus.

Design Extension Cases (DEC) tilanteet

– suunnittelua laajentavat onnettomuudet

Suunnittelua laajentavat onnettomuudet eli kompleksisekvenssit ovat determinististen suunnitteluperusteiden ulkopuolisia, erittäin epätodennäköisiä tapahtumia, joihin kuitenkin varaudutaan laitosuunnittelussa. DEC-tilanteet on suunniteltu hallittaviksi ilman merkittäviä sydänvaurioita. DEC-tilanteisiin on määritelty kaksi alaryhmää:

- Tapahtumat, jotka ilman vastatoimia johtaisivat sydämen sulamiseen.

- Odotettavissa olevat käyttöhäiriöt ja samanaikainen koko järjestelmän toteuttavan turvatoiminnon estävä yhteisvika primäärisessä turvallisuusjärjestelmässä. Tällöin täytyy olla käytettävissä toinen samaa turvatoimintoa suorittava yksittäisvikakestoinen järjestelmä tai erilainen osajärjestelmä, joka pystyy selviämään tilanteesta onnistumiskriteerien puitteissa. Varautuminen turvallisuustoimintoja suorittavan järjestelmän yhteisvikoihin johtaa vaatimukseen laitteiden ja komponenttien erilaisuudesta eli diversiteettivaatimukseen.

Kompleksisekvenssien onnistumiskriteerit ovat osittain tapauskohtaisia. OL3:n kompleksisekvensseissä ja suunnittelun perusonnettomuuksissa käytetään samoja analyysien hyväksymiskriteerejä kuin polttoaineen eheyden analysoinnissa ja ympäristöannosten laskennassa. OL3 suunnittelussa on lähdetty siitä, että kompleksisekvenssit on pystyttävä selvittämään turvallisuusluokkiin 2 ja 3 kuuluvilla järjestelmillä. Varsinainen turvaluokan 2 suojausautomaatio ja erikseen DEC-tilanteille suunniteltu varmentava, turvaluokan 3 automaatio hoitavat tilanteet 30 minuuttia ilman operaattoria ja 60 minuuttia ilman paikallisia ohjaustoimia.

- RC1 – Suojarakennuksen eristys epäonnistuu
- RC2 – Aikainen suojarakennuksen vaurioituminen
- RC3 – Eristämätön höyrygeneraattorin tuubivuoto
- RC4 – Aikainen pieni suojarakennuksen vaurioituminen – ei suojarakennuksen ruiskutusta
- RC5 – Aikainen pieni suojarakennuksen vaurioituminen – suojarakennuksen ruiskutus
- RC6 – Suojarakennuksen ohitus – interfacing LOCA
- RC7 – Myöhäinen suojarakennuksen vaurioituminen
- RC8 – Suojarakennuksen toimii suunnitellusti

Tason 2 mallinnus on tehty Risk-Spectrum Professional -ohjelmalla, jolla

aikariippuvuuksia ja epävarmuuksia voidaan käsitellä rajoitetusti.

Jatkossa tavoitteena on siirtää tason 1 ja 2 mallit Säteilyturvakeskuksen kehittämään SPSA-ohjelmaan tai mahdollisesti siitä kehitteillä olevaan Windows-version (FinPSA). Tällöin tason 2 onnettomuuden ajallinen kehittyminen, ilmiöihin ja päästöön liittyvät epävarmuudet voidaan mallintaa täsmällisemmin ja erilaisista onnettomuusketjuista saadaan yksilöidympää tietoa. Myös nykyisten Olkiluodon laitosyksiköiden (OL1 ja OL2) PSA-mallinnus on tehty SPSA-ohjelmalla.

Riskimallien tulokset

Suunnitteluvaiheen PSA:n tulosten perusteella ohjeen YVL 2.8 mukaiset numeeriset suunnittelutavoitteet täyttyvät.

Nämä em. ohjeessa esitetyt ydinvoimalaitoksen todennäköisyysperustaiset numeeriset suunnittelutavoitteet ovat:

- Sydänvauriotaajuuden odotusarvo on pienempi kuin 10^{-5} /vuosi.
- Valtioneuvoston päätöksen (395/1991) 12 §:ssä tarkoitetun raja-arvon ylittävän päästön taajuus on odotusarvoltaan pienempi kuin $5 \cdot 10^{-7}$ /vuosi.

Järjestelmäkohtaisen arvioinnin ohella PSA:n tuloksia on hyödynnetty laitostyösköiden järjestelmien suunnittelun tukena ja turvallisuusluokituksen arvioinnissa.

DI Jari Pesonen
Teollisuuden Voima Oy
jari.pesonen@tvo.fi

DI Heikki Sjövall
Teollisuuden Voima Oy
heikki.sjovall@tvo.fi

Magnus Weurlander

Projektin aikaohjaus

Ydinvoimalaitosprojekti on kokonaisuudessaan valtava työurakka, joten aikataulusuunnittelu ja aikaohjaus ovat projektin onnistumisen kannalta tärkeässä asemassa. Ydinvoimalaitosyksikkö Olkiluoto 3 toimitetaan kokonaistoimituksena ("avaimet käteen"), joten aikataulujen suunnittelu, laatiminen ja ylläpito on laitostoimittajan tehtävä. Laitostoimittaja on Framatome ANP:n ja Siemens AG:n muodostama konsortio (Consortium Framatome-Siemens, CFS). Asiakkaana TVO perehtyy aikatauluihin, hyväksyy ne ja seuraa niitä.

Ydinvoimalaitosyksikön Olkiluoto 3 toimitusta koskeva sopimus allekirjoitettiin ja projektin toteutuspäätös tehtiin 18.12.2003. Suunnittelun aikataulun mukaan varsinaiset rakennustyöt alkavat vuoden 2005 alku-puolella ja ne kestävät noin kolme vuotta. OL3:n sähköntuotanto alkaa vuoden 2009 ensimmäisellä puoliskolla.

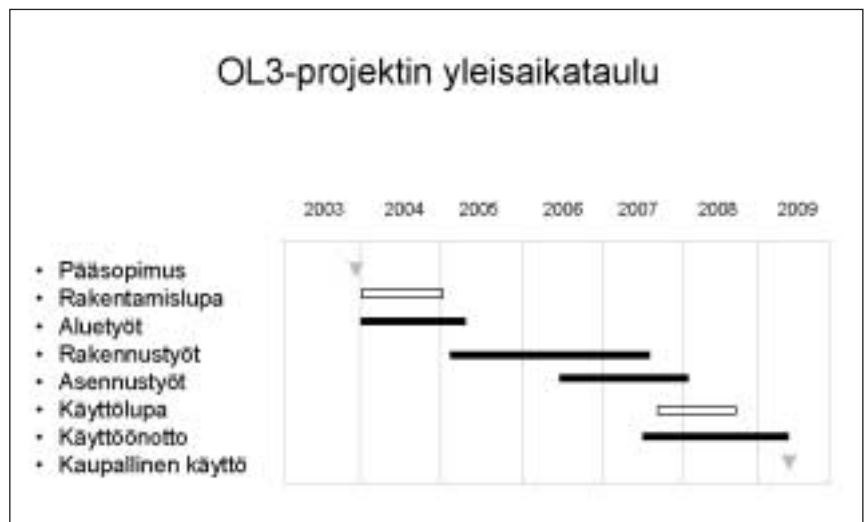
Projektin aikatauluhierarkia muodostuu pääasiassa kolmesta tasosta:

- 0 - taso projektin erikoisaikataulut
- 1 - taso pääaikataulu (MTS, Main Time Schedule)
- 2 - taso kokonaisaikataulu (OTS, Overall Time Schedule)
- 3 - taso osa-aikataulut (PTS, Partial Time Schedule)
- 4 - taso alihankkijoiden aikataulut

Pääaikataulu sisältää projektin tärkeät tavoitepäivät (milestones) ja projektin päätehtävät rakennuksittain. Kriittinen polku käy ilmi aikataulusta. Pääaikataulu on laitosopimuksen liitteenä ja tehtävien määrä siinä on 219 (neljä A4-sivua).

Kokonaisaikataulu on laaja aikataulu ja käsittää projektin kokonaisuudessaan. Pääosa sen tehtävistä on kuvattu tarkemmin vastaavissa osa-aikatauluissa. Yleisten projektivaiheiden jälkeen tehtävät on ryhmitelty rakennuksittain ja järjestelmittain/laitteittain. Aikataulun kannalta kriittiset tehtävät on erikseen merkitty aikataulussa ja sen sisältämien tehtävien määrä on yhteensä 3415 (45 A3-sivua).

Osa-aikatauluilla esitetään projektin eri osapuolten (Framatome, Siemens, TVO ja pääurakoitsijat) yksityiskohtaiset



tehtävät niin, että riippuvuudet osapuolten välillä selviävät ja pysyvät ajan tasalla.

Esimerkkejä osa-aikatauluista ovat tiedonvaihto-aikatauluhankinta-, valmistus- ja toimitusaikatauluasennusaikataulukäyttöönottoaikataulu

Aikataulutyökalut

Projektin pääosapuolet CFS ja TVO käyttävät aikataulujen laatimiseen, ylläpitoon ja seurantaan samaa tietokantapohjaista Primavera P3e/c aikatauluohjelmaa. TVO saa pää- ja kokonaisaikataulut laitostoimittajalta sähköisinä Primavera-tiedostoina. TVO:n hyväksymistä aikatauluista tehdään jäädytetyt versiot (baseline), joihin projektin edistymistä verrataan koko projektin ajan.

Raportointi

Projektin tilannetta raportoidaan pääasiassa kokonaisaikataululla. Konsortio

toimittaa päivitetyn pää- ja kokonaisaikataulun TVO:lle kuukausittain projektin kuukausiraportin osana.

Tehtäväjanojen edistymistä arvioidaan tilanneviivan (time now) suhteen ja kunkin tehtävän valmiusaste annetaan prosenteissa. Toimintaverkon tehtävien keskinäisten linkitysten johdosta saattavat tehtävien ennustetut loppupäivämäärät siirtyä.

Kriittiset polut vaihtelevat projektin tilanteen mukaan, mutta tämän kokoisessa projektissa on aina jossain kiire ja aikataulupaineita. Käytännössä koko viiden vuoden ajan – aina jossain osassa projektia – joku pohtii tekemisen ja tekemättä jättämisen aikatauluvaikutuksia. ■



Hyvä Säteily – Säteilevät Naiset seminaari 2004

Säteilevät Naiset seminaari 2004 pidettiin Säätytalolla 15.9.2004. Seminaarin aiheena oli Hyvä Säteily, eli säteilyn käyttö terveydenhuollossa ja sen valvonta. Seminaari kokosi Säätytalolle runsaat kahdeksankymmentä naista yhteiskunnan eri aloilta.

Seminaarin avasi kansanedustaja ja Energiakanavan jäsen Marjo Matikainen-Kallström. Avauspuheenvuorossaan Marjo Matikainen-Kallström totesi, että Säteilyllä on kaksi erilaista, täysin vastakkaista mainetta. Energialähteenä se on negatiivinen, jopa pelottava. Terveydenhuollossa se on auttava, helpottava jopa pelastava. Kuitenkin kyse on periaatteessa yhdestä ja samasta asiasta. Säteily kuuluu aivan luonnollisena osana elinympäristöömme.

Matikainen-Kallström jatkoi, että ydinjätettä syntyy sekä voimalaitoksissa että sairaaloissa ja se on vastuullisesti myös loppusijoitettava. Suomi on asiassa edellä kävijä kun eduskunta ja valtioneuvosto tekivät loppusijoituspäätöksen vuonna 2001 ja päätöstä vielä laajennettiin 2002.

Matikainen-Kallström huomautti, että terveydenhoidosta syntyvän säteilevän jätteen käsittelystä, varastoinnista tai loppusijoituksesta ei ole paljoakaan keskusteltu.

Vaikka määrätkin ovat pienempiä myös niiden käsittelyssä noudatetaan samoja tarkkoja normeja kuin voimalajätteen osalta. Suomessa sairaalajätteet käsitellään ja loppusijoitetaan suunnitelman mukaisesti aivan kuten voimalaitosjätteen.

Matikainen-Kallström totesi asian olevan kansainvälisesti ongelmallisempi: Euroopan unionissa jätedirektiivin käsittely on kesken eikä loppusijoitus- tai käsittelypäätöksiä saati suunnitelmia ole olemassa. On maita, joilla syntyy sairaalajätettä kuten Itävalta ja Luxemburg, mutta näillä ei ole ydinvoimaloita. Nämä

maat tarvitsevat yhteistyösuunnitelmia yli maittensa rajojen.

Matikainen-Kallström painotti, että parantavat säteet on oivallinen osoitus insinööriyön ja terveyden- ja sairaanhoidon yhteistyöstä, todellista innovaatiota. Haluttiinpa tai ei, niin ydinvoimaloista saatu tietotaito on nyt hyödynnettävissä ihmisten parantamiseen. Tämä on aivan vastaavaa kuin formula ykkösistä saata-va tietotaito käytetään meidän tavallisten pulliaisten autojen kehittämiseen. Jokainen suomalainen on keskimäärin ker- ran vuodessa röntgentutkimuksessa. Lääketieteellisissä tutkimuksissa ja hoi- doissa säteilyä käytetään ihmisten hyö- dyksi. Röntgentutkimuksella on keskei- nen merkitys sairauksien tunnistamises- sa. Ultraäänitutkimukset puolestaan ovat osittain korvanneet röntgentutki- muksia tai niille on kehitetty aivan omia sovelluksia.

Matikainen-Kallström muistutti, että riskit on tunnustettava ja toimittava niiden edellyttämällä tavalla, vastuullisesti. Turhat ennakkoluulot ja peikot on pys- tyttävä poistamaan linjakkaalla ja tietoa lisäävällä toiminnalla aivan kuten lapsil- ta Röllin tai pimeän pelko.

Yhteenvedona Matikainen-Kallström totesi, että parantamalla laitteita, aset- tamalla niille laatuvaatimuksia, koulut- tamalla säteilynkäyttäjää sekä tekemällä säännönmukaisia tarkastuksia sairaa- loissa päästään annosmäärien vähentä- miseen, entistä parempiin hoitotuloksiin ja kansalaisten luottamukseen.

Matikainen-Kallström otti myös kan- taan orastavaan keskusteluun kuudennes-



Erikoislääkäri Sirkka Liukkonen esitelmöi ultraäänitutkimuksista.



Hyvää säteilyä: Outi Sipilä, Ritva Parkkinen, Laura Huurto, Leena Raulisto ja Marjo Matikainen-Kallström seminaaritunnelmissa.

ta yksiköstä todeten, että ei kuudetta ydinvoimala yksikköäkään pidä pelätä. Toiminta Suomessa on äärimmäisen vastuullista.

Mielenkiintoiset esitelmät

FL Laura Huurto Säteilyturvakeskuksesta piti yleisölle nasevan tietoiskun eri säteilylajeista pohjustuksena muihin esitelmiin. Muutama päivä seminaarin jälkeen saimme suruviestin Laura Huurton äkillisestä menehtymisestä.

Erikoislääkäri Leena Raulisto HUS-Röntgenin mammografiakeskuksesta kertoi erästä, erityisesti naisyleisölle tärkeästä säteilyn sovelluksesta, eli mammografiasta. Erikoislääkäri Sirkka Liukkonen Mehiläisestä jatkoi toisella naisia kiinnostavalla aiheella eli gynekologisilla ultraäänitutkimuksilla. Sairaalafyysikko Outi Sipilä HUS-Röntgenistä valotti omassa esitelmässään annoslas-kentaa, sädehoitoa ja erilaisia kuvanta-

mistekniikoita. Toimistopäällikkö Ritva Parkkinen Säteilyturvakeskuksesta kertoi säteilyn käytön valvonnasta terveydenhuollossa.

Esitelmät herättivät yleisössä runsaasti kysymyksiä ja keskustelua, josta osa jouduttiin tiiviin ohjelman vuoksi siirtämään seminaarin jälkeiseen cocktail-tilaisuuteen, jota juhlistettiin tänä vuonna ensimmäistä kertaa Säteilevien Naisten nimikkoviinein.

Seminaariaineisto ja kuvat ovat Energiakanava www-sivuilla, samoin kuin seminaariin valmistunut Säteilevät Naiset lehti nro. 4 vuosien 2002 ja 2003 seminaareista. Tämänvuotisen seminaarin aineiston perusteella on valmisteilla Säteilevät Naiset lehti nro. 5.

Seminaarien perinne jatkuu

Seminaarin hyvä osanotto järjestelyjä vaivanneista onnettomista kepposista (mm. suurin osa 700 kutsusta meni vä-

rään postinumeroon) huolimatta sai koordinaatioryhmän päättämään, että seminaarien perinnettä jatketaan myös ensi vuonna, ehkä hieman uudistetussa muodossa.

Energiakanavalle uusi puheenjohtaja

Fuusiotutkija, tekniikan tohtori Karin Rantamäki VTT Prosesseista aloitti Energiakanavan puheenjohtajana 1.10.2004, jolloin Eija Karita Puskan nelivuotinen toimikausi puheenjohtajana päättyi. Karin on ollut pitkään mukana Energiakanavan toiminnassa ja viimeisen vuoden ajan myös koordinaatioryhmän jäsen.

Kirjoittaja
Tkt Eija Karita Puska
on ATS-Ydintekniikan
erikoistoimittaja.





Ydinvoiman tulevaisuus Euroopassa



Ydinvoiman tilanne Euroopassa on hajanainen. Osa maista on poliittilla päätöksillä luopumassa ydinvoiman käytöstä, kun taas osa maista rakentaa lisäkapasiteettia tai ainakin harkitsee lisärakentamista. Epävarmaa tulevaisuutta vastaan nuorten houkuttelemisen alalle saattaa olla vaikeaa. ATS Young Generationin syysseminaarin aiheena oli "Ydinvoiman tulevaisuus Euroopassa - Future of the Nuclear Power in Europe". Seminaari keräsi Hotelli Vuorantaan 47 osallistujaa.

Seminaarin ohjelma oli jaettu kahteen osaan. Aamupäivällä keskityttiin ydinvoimateollisuuden ja -politiikan tilanteeseen Suomessa. Asiaa tarkasteltiin niin ydinvoiman tuottajien, ydinsähkön suurien kuluttajien kuin politiikantekijöiden näkökulmasta. Lisäksi

luotiin katsaus muuttuvaan ydinvoimapolitiikkaan Euroopan Unionin tasolla.

Iltapäivän osuudessa käsiteltiin ydinvoiman tilannetta eri Euroopan maissa. Seminaariin oli kutsuttu nuoria puhujia European Nuclear Society'n Young Generation Networkin kautta. Seminaarissa

olivat edustettuina Ruotsi, Venäjä, Ranska, Iso-Britannia ja Unkari. Eri maiden edustajat käsitelivät esityksissään maansa ydinvoimateollisuuden tilaa ja tulevaisuudennäkymiä erityisesti nuorten ammattilaisten näkökulmasta.

Suomessa vauhti päällä

Teollisuuden Voiman tuotantojohtaja **Reijo Sundellin** mukaan alalla on paras työllisyystilanne pitkään aikaan, ja on ilahduttavaa, että alalle on viimeisten vuosien aikana tullut huomattavasti nuoria työntekijöitä.

Nuorten työntekijöiden saaminen alalle ennen suurten ikäluokkien eläkkeelle siirtymistä on Sundellin mielestä tärkeää, koska alalla tarvittavan turvallisuus-

kulttuurin omaksuminen vaatii pitkäjänteistä työskentelyä ja korkeaa työmoraa-
lia. Sundell myös korosti uusien työntekijöiden omaa vastuuta ja aktiivisuutta, koska ydinvoima-alalla osaamista ei voi rakentaa kovin kapean alueen varaan eikä mahdollisuuksia nopeaan urakehitykseen ole.

Painotteista balettiin

Suomea voidaan pitää monessa mielessä onnistuneen ydinvoimapolitiikan maana. Ydinlaitoksen rakentaminen vaatii pitkän ja demokraattisen prosessin läpikäymistä, mutta silti kaikesta paistaa läpi rationaalisuus ja käytännönläheisyys. Kokoomuksen puoluesihteerin **Harri Jaskarin** mielestä vuoden 1993 hakemusta edeltäneen käsittelyn miesnäkökulma ja teollisuuden etuja korostanut lobbaaminen osoittautui raskaaksi virheeksi, mutta virheestä opittiin.

Vuoden 2002 positiivista päätöstä edeltäneessä keskustelussa esitetyt puolustavat näkökannat olivat pehmeämpiä ja vetosivat rationaalisuuteen, kasvun ylläpitoon ja työllisyyteen, jolloin tulos oli parempi. Jaskarin käsityksen mukaan kansanedustajat eivät haluaisi uutta periaatepäätösprosessia käynnistettäväksi. Jaskarin tähdensi ydinvoiman kamppaillevan tällä hetkellä mielipiteiden ristiaallokossa. Ydinvoima koetaan kasvottoman suurteollisuuden ja globalisaation tukipylvääksi, mutta toisaalta Kiotohaasteen takia ydinvoima koetaan hyväksi asiaksi.

Ydinsähköpaperia?

Energiaintensiiviselle paperiteollisuudelle energian hinnan ennustettavuus ja saannin luotettavuus ovat UPM Kymmene energijahtaja **Risto Viitase**n mukaan tärkeitä tekijöitä. UPM Kymmene pitää energian hintaa yhtenä avainkustannustekijänä, jonka hallinta on ensiarvoisen tärkeää. Nykyisin energiakustannukset ovat 8 % kokonaiskustannuksista. Tästä syystä UPM Kymmene on valinnut strate-

giakseen toimia aktiivisena osapuolena energiasektorilla. Strategiana on pitää sähkön omavaraisuusaste korkeana ja energiapaletti monipuolisena.

Viitanen ei pitänyt leimautumista ydinvoimalla paperia tuottavaksi yhtiöksi suurena ongelmana. Suomalainen paperiteollisuus on ollut aika ajoin ympäristövän hampaissa hakkuukysymyksissä, mutta keskustelu tuskin siirtyy ydinsähköön. Viitaseen mukaan UPM Kymmene tuotannon energiatehokkuutta on parannettu jo paljon ennen Kioto-sopimuksen tuloa, mistä yhtiö kärsii päästöoikeuksien alkujaossa.

EU:ssa entistä enemmän ydinvoimaa

Sami Tulonen esitteli Foratomin roolin eurooppalaisessa ydinvoimapäätöksenteossa ja Euroopan parlamentin tilanteen kesäkuun eurovaalien jälkeen. Tulosen mukaan ydinvoimamyönteisten osuus parlamentissa kasvoi uusien, ydinvoimaa hyödyntävien jäsenmaiden liittymisen myötä.

Toisaalta parlamentti ja komissio ovat nykyistä fragmentoituneempia, mikä hankaloittaa päätöksentekoa ja lobbaamista. Kokonaisuutena uuden parlamentin ja komission merkitys ydinvoimateollisuudelle on Tulosen mukaan epäselvä.

Juupas-eipäs -keskustelua

Ruotsin YG:n **Ernst Thulin** ja **Martin Luthander** kertoivat iltapäivän kansainvälisen osuuden aluksi maan ydinvoimatilanteen kaksijakoisuudesta. 1980 pidetyn kansanäänestyksen mukaisesti Ruotsissa suljettiin v. 1999 Barsebäckin toinen reaktoriyksikkö, mutta samalla voimayhtiöillä on meneillään mittavia tehonkorotusprojekteja, joilla Thulinin mukaan korvataan täysin yhden reaktorin sulkemisessa menetetty kapasiteetti.

Thulinin ja Luthanderin mukaan yleinen mielipide on Ruotsissa kääntymässä pikku hiljaa ydinvoimamyönteiseksi, osin

myös OL3-hankkeen ansiosta. Tässä valossa uutiset Barsebäck-2:n alasajoa viivyttävien neuvottelujen katkeamisesta ovat yllättäviä.

Ydinjätäkysymys polttopisteessä

Venäjällä ja Ranskassa poliittiset päätökset eivät rajoita ydinvoiman käyttöä. Venäjän YG:n edustajan **Sergey Tsyganovin** mukaan Venäjällä on käynnissä mittava ydinvoimaohjelma. Ydinvoimaohjelmaan kuuluu keskeisenä tavoitteena nykyisten voimaloiden käytön tehostaminen ja käytöstäpoistuvan kapasiteetin korvaaminen uudella.

Ranskan YG:n **Bethabee Rogerin** mukaan tilanne Ranskassa ei ole nykyisellään niin selvä kuin ennen. Electricité de Francen sähköntuotantomonopoli alkaa poliittisten paineiden takia murentua, mikä saattaa hidastaa ensimmäisen EPR-laitoksen rakentamista Ranskaan. Rogerin mielestä ydinvoimaan liittyvä tiedotus on hoidettu Ranskassa valitettavan huonosti, sillä ihmiset ovat tietävät hämmästyttävän vähän ydinvoimasta ottaen huomioon teollisuuden koon maassa.

Roger näkee tärkeäksi, että ihmisille kerrotaan erityisesti ydinjätehuollon ympärillä tapahtuvista asioista, koska näiden merkitys ydinvoiman hyväksyttävyyden kannalta on ratkaisevaa.

Myös Iso-Britannian YG:n edustaja **Kelly Russell** piti ydinjätäkysymyksen ratkaisua tärkeimpänä asiana ydinvoimakeskustelussa. Iso-Britanniassa mietitään varovaisesti uusien laitosprojektien aloittamista, mikä yhdistettynä nykyisten laitosten käyttöön ja käytöstäpoistoon sekä kasvavaan panostukseen ydinjätehuollossa luo paljon mahdollisuuksia nuorille.

*DI Kai Salminen
Suunnitteluinsinööri
ATS Ydintekniikan
päätoimittaja
Fortum Nuclear Services Oy
kai.salminen@fortum.com*



KUINKA REAKTORI KESYTYTÄÄN – eli miten homma jatkuu

Yksi kerta ei ole tapa, mutta toisen kolumnin rustaaminen kirjoitusarjaan on jo huolestumista herättävää – eikä yksin omaan lukijoiden taholla. Joka tapauksessa tässä on jatkoa Olkiluoto 3-historiaan, vaikkapa motolla Herran pelko on viisauden alku. Tätä periaatetta nimittäin noudatettiin, kun TVO jätti viidennen ydinvoimalaitosyksikön periaatepäätös-hakemuksen 15.11.2000. Ei haluttu ennakoita valtaa pitävien päätöksiä, vaan odotettiin kiltisti eduskunnan kantaa. Se kannattikin, sillä melko tarkalleen puolentoista vuoden kuluttua, 24.5.2002, eduskunta vahvisti hallituksen myönteisen PAP:n varsin selvin lukemin 107 - 92. Uusi yritys lähti siis siitä, ettei mikään taho tarpeettomasti polta rahaa hankkeeseen, jonka käynnistymisen voi valtiolta estää.

Sitä saa mitä pyytää

Vaikka kilttejä oltiinkin, puolentoista vuoden väliä ei käytetty pelkkään odotteluun. TVO:ssa valmistauduttiin uuden ydinvoimalan hankintaan huolellisesti suunnitellun ja taidolla toteutetun hankeohjelman avulla. Sen keskeisiin osiin kuului suunnitteluvaatimusten kiinnittäminen ja sitä seurannut tarjouspyynnön laatiminen. Suunnitteluvaatimusten puitteet oli lyöty lukkoon ennen PAP-hakemuksen jättämistä. Hakemuksen jättäminen oli osoitus siitä, että ydinvoiman lisäkapasiteetin hankkimisessa oltiin tosissaan liikkeellä. Yhtenä merkinä tästä ryhdyttiin tarjouspyynnön kokoamiseen heti vuoden 2001 alussa.

Ydinvoimalaitoksen tarjouspyyntö ei ole aivan jokapäiväinen asia, sillä sellaisia ei länsimaissa ollut tehty pitkään aikaan. Itse asiassa edellinen meidän tuntemamme tapaus oli varsin tuttu: Perusvoiman tarjouspyyntö vuodelta 1991. Se oli tietenkin meidän käytettävissämme. Vuosikymmenen aikana tilanne oli kuitenkin muuttunut oleellisesti, sillä eurooppalaisten voimayhtiöiden yhteistyönä oli laadittu European Utility Requirements (EUR) -asiakirja, joka esitti voimayhtiöiden harmonisoidut suunnitteluvaatimukset uudelle ydinvoimalaitokselle. TVO oli osallistunut asiakirjan kehittämiseen, joten tunsimme sen sisällön ja meillä oli siihen täydet käyttöoikeudet. Mikä parasta, myös laitostoimittajat olivat olleet kehitystyössä mukana ja tunsivat EUR-asiakirjan.

Insinööri ei tee tarpeetonta työtä, joten TVO:ssa päätettiin käyttää hyväksi sekä vanhoja PEVO-pohjia että uutta EUR-asiakirjaa. Päätöksen jälkimmäistä osaa rohkenee pitää uraa uurtavana, sillä TVO oli ensimmäinen (ja luonnollisesti toistaiseksi ainoa) yhtiö, joka on ottanut EUR:n tarjouspyynnön osaksi. Rohkeus oli kuitenkin suhteellista, sillä EUR on tehty nimen omaan tätä sovellusta varten. EUR-asiakirja esittää funktio-

naaliset suunnitteluvaatimukset, ja on tämän mukaisesti yleinen, kaikille LWR-laitoskonsepteille soveltuva vaatimuskokoelma. Tästä seurasi myös se, että TVO:n tarjouspyyntö oli yksi ja yhteinen – erona PEVO:n tarjouspyyntöön, joka oli viritetty konseptikohtaiseksi. EUR-askel ei myöskään ollut vallankumouksellinen, sillä asiakirjaan tehtiin kaikki Suomen viranomaisvaatimusten (YVL-ohjeiden), erityisolosuhteiden (verkko, ilmasto yms.) sekä TVO:n omien kokemusten ja preferenssien edellyttämät muutokset.

Tarjouspyynnön tekniset osat perustuivat siis EUR-asiakirjaan. Muut osat olivat kokonaan uusia tai pohjautuivat PEVO-malliin. Tarjouspyyntöä ei laadittu sisäisyyteenä virkatyönä, vaan sen kokoaminen ja viimeistely oli iteratiivinen prosessi. Sisäisiä ja ulkoisia lausuntokierroksia oli useita, ja lopuksi – PAP:n jälkeen – myös STUK antoi lausunnon turvallisuuteen liittyvistä osista. Omaa asiantuntemusta täydennettiin konsulttivoimin. Koko prosessi kesti vuoden 2001 alusta syyskuuhun 2002, ei siis puoltatoista vuotta kauempaa. Näin lyhyen ajan mahdollisti se, että lähdedokumentteihin oli jo uhrattu eri tahoilla paljon aikaa ja rahaa.

Tarjouspyynnön monipuolinen valmistelu osoittautui varsin hyödylliseksi. Asiakirja itsessään oli valmis sopimus pohja, ja lopullinen laitossopimus perustuikin pääosin siihen. Voidaan ajatella, että laitostoimittaja oli jo etukäteen sisäistänyt sen vaatimukset, koska hän tunsikin viitedokumentit. Tarjouspyyntö oli myös sisällöltään riittävän yleinen. Se antoi toimittajalle mahdollisuuden tarjota juuri sellaista laitosta ja toimituskokonaisuutta, joka sopi hänelle parhaiten. Laitoksen tekninen kuvaus jäi esitettäväksi tarjouksessa, sillä tarjouspyyntö rajoittui ensi sijassa toiminnallisiin näkökohtiin.

Ei sikaa säkissä

Tarjouspyyntö lähti maailmalle 30.9.2002. Sen ensimmäisenä osana oli Instructions to Bidders -dokumentti, jossa tarkkaan määriteltiin, minkä muotoinen tarjous tuli tehdä ja milloin se tuli jättää. Kunniaksi tarjoajille on todettava, että kaikki tarjoukset oli laadittu annetun mallin mukaisesti ja että ne jätettiin täsmälleen haluttuna aikana 31.3.2003.

Tarjouspyynnön jättämisestä alkoi kilpailuvaihe ja samalla valmistautuminen tarjousvertailuun. Valmistautuminen kesti tarkalleen kuusi kuukautta, sillä tarjousvertailu aloitettiin heti tarjousten tultua. Jälleen kerran kaivettiin vanhat prujut esiin. Tarjousvertailu oli tehty vuosina 1991-2, ja siltä ajalta peräisin olevaa ohjeistoa voitiin varsin hyvin soveltaa uudessakin tilanteessa. Uuden voimalan keskeiset tavoitteet eivät ole muuttu-

neet millään tavoin: turvallisuus ja lisensioitavuus, kilpailukykyinen hinta, sähkön tarpeen tyydyttäminen muutamia mainitakseni. Myös vertailutyön tavoite on aina sama: työ on tehtävä tuloksellisesti ja tehokkaasti kilpailutilanne säilyttäen ja tarjoajia tasapuolisesti kohdellen.

Koska pyörää ei kannata keksiä uudelleen, vanha hankintakäsikirja kelpasi hyvin malliksi uudellekin. Uuden version sisältö vastasi otsikkotasolla entistä. Oikeastaan ainoa merkittävä ero oli siinä, että uudessa käsikirjassa oli selostettu sopimuksen valmistelua. Vanhassahan tähän ei lopulta ollut tarvettakaan. Käytännön toteutuksessa eroja oli enemmän, koska PEVO-hankkeen aikataulu ei tunnetuista syistä pitänyt. Mielenkiintoisena yksityiskohtana voi mainita, että vertailuorganisaatio muistutti (sattuneesta syystä) aika paljon entistä vertailuryhmineen ja yhteyshenkilöineen. Toki vertailuryhmien lukumäärässä pantiin paremmaksi: kahdeksan viiden asemesta. Vertailuorganisaation koko oli samaa luokkaa: pyöreästi voidaan puhua kaikkiaan sadasta henkilöstä, joista osa oli täyspäiväisiä ja osa osapäiväisiä.

Vaikka tarjousvertailu ei olekaan rinnastettavissa laitosprojektiin, siinä työskentely muistuttaa hektistä suurprojektia. Hanke oli suunniteltu ja ohjeistettu etukäteen, ja muutoksiin oli varauduttu. Alkuvaiheen tahti oli suoraviivaista marssia, mutta se kiihtyi syksyn tultua ja alkoi muistuttaa tangoa. Innostunut ja motivoitunut vertailuväki ei tästä hätkähtänyt, vaan seurasi tahtipaukkoa. Kaikki tiesivät olevansa mukana työssä, joka useimmille oli ainutkertainen kokemus koko uran aikana. Tunteja ei laskettu eikä aamulla aina tiedetty, mitä päivän mittaan tapahtuu.

Ehkä joidenkin osapuolten mielestä oli yllätys, että esitetty tavoite sopimuksen laatimiselle vuoden 2003 lopussa saavutettiin reilulla marginaalilla. Tarjousvertailuun, neuvotteluihin ja sopimuksen viimeistelyyn kului yhteensä 8 kuukautta. Tänä aikana valmistui lisäksi monta muutakin tehtävää: valittiin sijoituspaikka, järjestettiin rahoitus, suunniteltiin projektin toteutus ja valmisteltiin luvitusaineisto. TVO valitsi ensisijaiseksi laitosvaihtoehdoksi Framatome ANP – Siemens -konsortion tarjoaman EPR-laitoksen 16.10.2003. Laitostoimitussopimus tästä vaihtoehdosta allekirjoitettiin 18.12.2003.

EU:n mallioppilas

Tähän loppuun lainaan mielelläni Euroopan komission kantaa, joka on tehty Euratomin perustamissopimuksen mukaisesti uudesta laitoshankkeesta. Komissio toteaa, että hankkeen tavoitteena on vastata sähkön lisääntyvään tarpeeseen sekä korvata vanhentuvaa fossiilisia polttoaineita käyttävää sähköntuotantokapasiteettia. Tätä kautta tarkoituksena on turvata vakaat ja ennustettavissa olevat sähköntoimitukset. Komissio on lisäksi pannut merkille, että Suomella on tarkoin määritelty ja pitkälle kehitetty ohjelma ydinvoimalaitoksen toiminnasta syntyvän käytetyn ydinpoltoaineen ja radioaktiivisen jätteen pitkäaikaishuoltoa varten. "...Komissio toteaa hankkeen olevan sopusoinnussa Euratomin perustamissopimuksen eri tavoitteiden ja erityisesti ydinenergian kehittämisessä tarvittavien peruslaitosten rakentamista koskevien tavoitteiden kanssa."

TAPAHTUMAKALENTERI

ATS:n syysseminaari 17.11. / Hotelli Lord, Helsinki

EPR-tekniikka ja päästökauppa.
Minna Tuomainen, VTT Prosessit
(minna.tuomainen@vtt.fi)

UUDET JÄSENET

VARSINAISET JÄSENET

Kirsi Hassinen, Teollisuuden Voima
Kristiina Hyytinen, Teollisuuden Voima
Petra Lehtinen, Teollisuuden Voima
Petri Koistinen, Teollisuuden Voima
Tarja Nurminen, Teollisuuden Voima
Sami Saarela, VTT Tuotteet ja tuotanto
Petri Seppälä, Fortum Nuclear Services

NUORET JÄSENET

Tommi Henttonen,
Fortum Nuclear Services
Tiina Hämäläinen,
Tampereen teknillinen yliopisto
Ville Karttunen,
Fortum Nuclear Services
Pia Käll,
Teknillinen korkeakoulu
Lasse Rätty,
Fortum Nuclear Services

Suomen Atomiteknisessä Seurassa oli 30.8.2004 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 608 varsinaista jäsentä ja 42 nuorta jäsentä eli opiskelijaa. Kunniajäseniä oli 10 ja kannatusjäseniä 23.

Seuran jäseneksi pääse johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. Hakemuksen tarvitaan kahden jäsenen suositus. ATS:n jäsenhakemus internetissä: <http://www.vtt.fi/ats-fns/hakemus.rtf>.

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



Kannatusjäsenet:

Alstom Finland Oy
Fintact Oy
Fortum Oyj
Kemira Oy, Energia
Mercantile-KSB Oy Ab
Oivavoima Oy
Patria Finavitec Oy
Platom Oy
Pohjolan Voima Oy
Posiva Oy
PRG-Tech Oy
PrizzTech Oy
Rados Technology Oy
Saanio & Riekkola Oy
Siemens Osakeyhtiö
Soffco Oy Ab
Pohjoismainen Ydinvakuutuspooli
Teollisuuden Voima Oy
TVO Nuclear Services Oy
VTT Prosessit
VTT Tuotteet ja tuotanto
YIT Installaatiot

ATS internetissä:

<http://www.ATS-FNS.fi>