

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA -

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



3/97, vol. 26

Tässä numerossa

Ydintekniikan kehitysnäkymiä	1
RÉSUMÉ: Outlook for the development of nuclear power	2
Ydinenergian globaalisen käytön tulevaisuus	3
Kiehutusvesireaktorit vahvistavat asemaan	5
Uusia painevesireaktoreita vuosituhannen vaihteessa	8
EUR: Eurooppalaista ydinvoimaa	11
ITER-fuusioreaktorin suunnittelu loppusuoralla	15
Kiihdytinavusteinen transmutaatio Los Alamosissa	19
Ydintekniikkaa tarvitaan myös lääketieteessä	22
Otaniemen tutkimusreaktoria valjastetaan syövän hoitoon	24
Jäsenpalsta	29
ATS sai toimintansa tueksi neuvottelukunnan	30
ATS:n kesäekskursio: Koko Suomen ydinjätteet mahtuvat eduskuntataloon	31
Sigyn keräsi Loviisassa 6000 vierailijaa	33

ATS

YDINTEKNIikka

3/97, vol. 26

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

TOIMITUS

Päätoimittaja
DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
Loviisan voimalaitos
PL 23, 07901 Loviisa
p. (019) 550 3070
jorma.aurela@ivo.fi

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

Erikoistoimittaja
DI Arto Isolankila
Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
p. (09) 7598 8314
arto.isolankila@stuk.fi

Erikoistoimittaja
DI Olli Nevander
IVO Power Engineering Oy
01019 IVO
p. (09) 8561 2613
olli.nevander@ivo.fi

Erikoistoimittaja
TkL Eero Patrakka
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
p. (02) 8381 3300
eero.patrakka@tvo.tvo.elisa.fi

JOHTOKUNTA

Puheenjohtaja
TkT Seppo Vuori
VTT Energia
PL 1604, 02044 VTT
p. (09) 456 5067
seppo.vuori@vtt.fi

Varapuheenjohtaja
TkT Ilari Aro
Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
p. (09) 7598 8296
ilari.aro@stuk.fi

FK Anneli Nikula
Energia-alan Keskusliitto ry
FINERGY
PL 21, 00131 HELSINKI
p. (09) 6861 6222
anneli.nikula@finergy.fi

Rahastonhoitaja
DI Virpi Kouhia
Lappeenrannan Teknillinen
Korkeakoulu
PL 20, 53851 Lappeenranta
p. (05) 621 2781
virpi.kouhia@lut.fi

DI Tapio Saarenpää
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
p. (02) 8381 4312
tapio.saarenpaa@tvo.tvo.elisa.fi

Sihteeri
DI Vesa Tanner
VTT Kemiantekniikka
PL 1404, 02044 VTT
p. (09) 456 6354
vesa.tanner@vtt.fi

DI Olli Nevander
IVO Power Engineering Oy
01019 IVO
p. (09) 8561 2613
olli.nevander@ivo.fi

TOIMIHENKILÖT

Kansainväl. asioiden sihteeri
DI Jussi Palmu
Posiva Oy
Mikonkatu 15 A
00100 Helsinki
p. (09) 2280 3750
jussi.palmu@posiva.fi

Ekskursios sihteeri
DI Jaakko Pullinen
IVO Power Engineering Oy
01019 IVO
(09) 8561 4123
jaakko.pullinen@ivo.fi

UUODEN 1997 TEEMAT

1/97
Käyttöluvat ja käyttöikä

2/97
Ydinjätehuolto

3/97
Ydintekniikan
kehitysnäkymät

4/97
Ekskursio
Ranskaan ja Sveitsiin

ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 2000 mk
1/2 sivua 1400 mk
1/4 sivua 1000 mk

TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka
c/o Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
Loviisan voimalaitos
PL 23
07901 Loviisa
p. (019) 550 3070 (suora)
telefax (019) 550 4435

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

Lehdessä julkaistut artikkelit
edustavat kirjoittajien omia
mielipiteitä, eikä niiden kai-
kissa suhteissa tarvitse vasta-
ta Suomen Atomiteknillisen
Seuran kantaa.

ISSN-0356-0473



Ydintekniikan kehitysnäkymiä pohtiessamme törmäsimme yllättäen ei-tekniisiin tekijöihin: rahaan, politiikkaan ja yleiseen mielipiteeseen. Tutkimus vaatii rahaa. Suomessa apurahoja jakaa pääasiassa valtio, ja yleinen mielipide valitsee demokraattisesti mielensä mukaiset päättäjät. Shakkitermiä käyttäksemme tässä on pattitilanne, jos aikomus olisi käsitellä tekniikan kehitystä vain tieteelliseltä kannalta.

Tekn. yo **Vesa Hakanen** opiskelee Teknillisessä Korkeakoulussa pääaineenaan palo- ja turvallisuustekniikka. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1995.
E-mail: vesa.hakanen@hut.fi

Tekn. yo **Ulriikka Katila** opiskelee Tampereen Teknillisessä Korkeakoulussa pääaineenaan teknillinen fysiikka. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1996.
E-mail: k135327@ee.tut.fi

YDINTEKNIIKAN KEHITYSNÄKYMÄ

Nykysuuntaus suosii ympäristöystävällisiä ja vähemmän luontoa rasittavia energianlähteitä. "Uusille" energianlähteille näytetään vihreää valoa. Olisi luontevaa suosia fissiovoimaa, joka on sekä perusvoimaratkaisuna että ympäristökysymysten kannalta Churchillin tapaan "ei hyvä, mutta paras tunnettu vaihtoehto". Suuri yleisö kuitenkin kokee fissiovoiman lähinnä uhaksi turvallisuudelleen. Tällaisen mielipiteen vahvistuminen ei voi olla vaikuttamatta energiapoliittiseen päätöksentekoon. Tuloksena voi olla lyhytnäköisiä ja epärealistisia poliittisia myötäilyjä Ruotsin ydinvoimaloiden sulkemispäätösten tapaan. Samalla saatetaan hidastaa uuden ydintekniikan asiantuntijasukupolven syntyä, sillä jatkuvuuden ollessa uhattuna ei alalle enää helposti hakeudu uusia, osaavia ihmisiä.

Fissioenergiatekniikassa mullistavimmat keksinnöt on jo tehty. Kehitys tulee olemaan lähinnä vanhojen laitosten modernisointia. Uudet reaktorityypit tuskin tulevat menestymään markkinoilla, ja rakennettavat ydinvoimalat tulevat olemaan parannettuja versioita jo olemassa olevista laitoksista, joilla on hyvät käyttökokemukset.

Hyvin pitkällä aikavälillä positiivisia kehitysmahdollisuuksia voi liittyä uusien ydinpolttoaineratkaisujen ja niihin liittyen runsasaktiivisiin jätteisiin sisältyvien pitkäikäisten radionuklidien transmutointi- ja jätteenkäsittelyteknologioiden kehittämiseen ja tutkimukseen. Varsin mutkikasta teknologiaa edellyttävällä transmutaatiolla voitaisiin joidenkin loppusijoitettavien radionuklidien elinikää lyhentää merkittävästi. Ratkaisuvaihtoehdon käyttökelpoisuuden vertaileva arviointi edellyttää kuitenkin vielä laaja-alaisia systeemitarkasteluja, joissa otetaan huomioon eri käsittelyvaiheiden ja loppusijoituksen turvallisuus ja kustannukset.

Fuusiotutkimus herättää edelleen toiveita "ehtymättömistä energiarvaroista, joita voitaisiin ympäristöystävällisesti ja turvallisesti hyödyntää". Fuusioreaktoritutkimuksen kaksi valtasuuntausta, magneettikoossapito ja inertiaalifuusio, elävät juuri nyt vahvaa kasvukautta. Magneettikoossapitomenetelmällä toimivan Tokamak-reaktorityypin kehitykseen panostava kansainvälinen ITER-projekti tähtää toimivan testireaktorin valmistamiseen. Ikävä kyllä fuusioreaktori on parhaimmillaankin mahdollista saada kaupalliseen käyttöön vasta vuosikymmenien kuluttua. Viime aikoina kiinnostus myös inertiaalifuusiotutkimusta kohtaan on kasvanut. Tähänastiset saavutukset ovat olleet jokseenkin vaatimattomia.

Ydintekniikan kaikilla aloilla riittää paljon tutkittavaa ja kehitettävää. Jatkuvan kehityksen edellytyksenä on tutkimustulosten hyödyntäminen hankkeiden toteuttamisessa. Paljon hyviä tuotteita on saatu markkinoille, mutta paljon vahvoja tuotteita on myös jäänyt odottamaan yleisön myönteisempää suhtautumista. Nyt kun yleisen mielipiteen teho on yleisesti todettu, tuntuu järjenvastaiselta, että viidennen ydinvoimalan kaltaista vahvaa tuotetta ei saada myydyksi päättäjille, vaikka järkisyyt puoltavat lisärakentamista.

RÉSUMÉ: OUTLOOK FOR THE DEVELOPMENT OF NUCLEAR POWER

The debate around the outlook for the development of nuclear power surprisingly brought up certain non-technical factors: money, politics and public opinion. Money is necessary for the research work; in Finland most of the grants are awarded by the State; and public opinion elects the decision-makers in a democratic way. In chess terms, this is a stalemate situation, if the technical development should be considered from the scientific viewpoint only.

The present trend is towards environmentally friendly energy sources that cause a smaller stress on nature. Green light is given to "new" sources of energy, although it would be natural to favour fission power, which is environmentally-friendly and as a base-load solution and environmentally "not good, but the best one of the known options", to use Churchill's words. However, the general public sees fission power mostly as a threat to security; nuclear power plants are "area 51" with nuclear bombs and a hypothetical ecocatastrophe, if not aliens from the outer space. The strengthening of this type of opinion necessarily influences energy decisions, and this may result in the favouring of short-sighted and unrealistic political solutions, such as the decision to close the Swedish nuclear power plants. This may retard the arising of a new generation of nuclear experts, as new competent people do not easily strive for this career, because the future of this industry is threatened.

The most revolutionary inventions have already been made in the fission energy technology, and the

future development work will mainly concern the modernisation of the existing plants. It is hardly probable that any new reactor types would be successful on the market, and the nuclear power plants to be built in future will be improved versions of the existing plants which have good operating experience.

The long-term outlook for development of new innovative fuel cycle concepts including the transmutation and the pertinent waste treatment and separation technologies deserves research and development efforts in the future. The transmutation technology could shorten considerably the lifetime of some key radionuclides contained in the high-level waste to be disposed of in geological repositories. The feasibility and benefits of the new options should be evaluated and compared with present options in comprehensive system analysis taking into account the safety and cost aspects of the various treatment and disposal stages.

The fusion research still raises hopes about "inexhaustible sources of energy that could be used in an environmentally-friendly and safe way". The two mainstreams of the fusion reactor research, magnetic cohesion and inertial fusion, are growing rapidly today. The international ITER project, aiming at the production of a functioning test reactor, invests in the development of the Tokamak reactor using the magnetic cohesion method. Unfortunately it will not be possible to put the fusion reactor into commercial operation until after several decades. Recently there has been increasing interest towards research into inertial fusion. So far the results have been

quite modest when compared with those achieved with the magnetic cohesion method. The reason for this interest probably comes from the possibility of continuing the nuclear weapon research in parallel with the research into peaceful use of nuclear power after the nuclear test ban treaty.

There is a lot to be researched and developed in all sectors of nuclear technology. Continuous development requires the use of these research results in the implementation of the projects. Several good products have been launched on the market, but there are a lot of strong products which are pending until the public's more favourable attitude. Now that the impact of public opinion has been generally acknowledged, it is unreasonable that decision-makers cannot be convinced of such a strong product as the fifth nuclear power plant, even though all the rational arguments are in favour of the building of this plant.

Vesa Hakanen, Student of Technology studies at the Technical University of Helsinki majoring in fire and safety technology. Member of ATS since 1995. E-mail: vesa.hakanen@hut.fi

Ulriikka Katila, Student of Technology studies at the Technical University of Tampere majoring in technical physics. Member of ATS since 1996. E-mail: k135327@ee.tut.fi

YDINENERGIAN GLOBAALISEN KÄYTÖN TULEVAISUUS

Joukkopsykologinen ongelma



Ydinenergian tulevaisuutta voidaan tarkastella vain perustamalla käyttökenaariot ydintekniikan synnyn historiaan ja liittämällä se yleiseen globaaliseen kehitykseen sekä maailmanlaajuisten energiajärjestelmien rakenteeseen. Tärkeimmät vaikuttavat tekijät ovat tällöin olleet kehityksen alkuvaiheiden yhteys ydinaseeseen, tieteellisen tutkimuksen ratkaiseva osuus ydinenergian syntyyn, energiahuoltoon liittyvät strategiset näkökohdat ja eri maiden paikalliset energiapolitiittiset ratkaisut.

Ydinenergia syntyi asetuotannon sivutuotteena ja aluksi erillisinä ideoina asekehittelijöiden aivoissa. Syntyy vaikutti varmasti myös ydinaseen kehittäjien huono omatunto heidän työnsä onnistumisesta ja luodun aseiden valtavan tuhovoiman inhimillisestä dimensiosta.

Maailman energiatuotannon häiriintymättömyyden takaaminen kaikissa olosuhteissa ja kohtuuhintaisen energian saatavuus olivat ydintekniikan rauhanomaisen käytön jaloja tavoitteita, joilla nälkäänäkevät ja yhä väkierikkaammat kansat johdettaisiin paratiisiin. Tällainen messiaaninen ajatus tuli selvästi esiin ensimmäisessä YK:n järjestämässä Geneven ydinenergian rauhanomaista käyttöä käsitelleessä konferenssissa vuonna 1955, jossa selvä atomivoimaeuforia oli vallitseva ajattelumuoto.

Ydinenergia syntyi varsin erillään muusta energiantuotannosta. Heti ei tajuttu, mitä ehtoja sen tulee täyttää tullakseen osaksi energiantuotantojärjestelmää. Sen tuli olla toimintavarmaa, taloudellisesti kilpailukykyistä muiden energialähteiden kanssa. Se ei saanut johtaa ydinaseiden leviämiseen ja sen tuli olla poliittisesti hyväksyttävää.

Öljykriisi vauhditti ydinenergiaohjelmia

Kysymys olikin usein olemassaolevan energiantuotantojärjestelmän heikkouk-

sien poistamisesta ydinenergiaa soveltamalla. Erikoisesti liian suuri riippuvuus öljyn saannista koettiin ongelmaksi, koska öljyreservit ja kulutus jakautuivat epätasaisesti maapallolla. Pelättiin, että öljyntuottajavaltiot voivat öljyllä kiristää itselleen liikaa valtaa ja poliittista painoa. Kivihiilen tuotanto oli myös työtaistelujen vuoksi usein uhattua. Ydinenergia tarjosi näihin ongelmiin ratkaisun.

Erikoisesti Suezin sota ja vuonna 1973 puhjennut energiakriisi pakottivat pikaisiin toimiin. Kaikissa teollistuneissa maissa ryhdyttiin toteuttamaan nopeutettuja kunnianhimoisia ydinenergian rakennusohjelmia. Jälkeenpäin voidaan todeta, että vain Ranska on kyennyt menestyksellisesti selviytymään tavoitteistaan itse suunnittelemillaan kevytvesireaktoreilla. Nopeiden reaktoreiden kehitystyössä sekkin on kohdannut ylittämättömiä vaikeuksia. Kaikissa muissa maissa rakennussuunnitelmat toteutuvat vain osittain.

Todellisuus on ollut pettymys

Hyvin alkaneet rakennusohjelmat törmäsivät heti vaikeuksiin. Kaikki reaktori-tyypit olivat prototyyppisiä, ja ne edustivat liian monia teknillisiä ratkaisuja, joten sarjajalvistuksen eduista ei voitu nauttia. Laitokset toimivat myös osittain epäluotettavasti. Eräiden käyttöön otettujen tyyppien kohdalla reaktorin dynaa-

minen käyttäytyminen oli turvallisuutta heikentävää, sillä ne olivat syntyneet ilman suurempia modifikaatioita plutoniumin tuottoreaktoreista. Ne soveltuvatkin huonosti siviilipuolelle energiantuotantoon.

Ei vain tekniikka vaan myös sen liittäminen muuhun energiantuotantojärjestelmään ontui. Lisäksi tapahtui kaksi vakavaa onnettomuutta, TMI ja Tshernobyl, joista jälkimmäinen on ihmiskunnan teollisuushistorian pahimpia. Aineelliset vauriot olivat niissä suuria, ihmishenkien menetykset kumminkin siedettäviä. Nämä tapaukset tekivät voimantuottajat varovaisiksi, ja läntisissä teollisuusmaissa uusien laitosten rakentaminen hiipui. Kaukoidässä sen sijaan ydinenergian osuus sähköntuotannosta on jatkuvasti kasvanut.

Ydinenergia joutui myös maailmanlaajuiseen ja taitavan vastustuskampanjan kohteeksi. Vastustajien julkisuuteen toimittama materiaali oli kumminkin usein väärää tai se sisälsi puolitotuuksia, joiden oikaiseminen osoittautui miltei mahdottomaksi medioiden "tasapuolisen" julkistamispolitiikan vuoksi. Myös ydinvoimalaitosten rakentajat ja käyttäjät syyllistyivät virheisiin. Ei tajuttu yleisen mielipiteen keskeistä merkitystä koko toiminnalle. Turvallisuusanalyysit, jotka perustuivat todennäköisyysmenetelmiin, olivat liian teoreettisia ja vaikeatajuisia yleisölle. Lisäksi niihin tiettenkin aina sisältyi todellisia tai kuviteltuja virheitä, joihin vedoten voitiin kumota kaikki rationaaliset argumentit. Niinpä käytetyn polttoaineen loppusijoitus muodostui suurimmaksi julkisuuden ongelmaksi, vaikka sen aikaansaamat riskit ovat selvästi monta kertalukua pienemmät kuin muun ydinenergiatoiminnan vaaratekijät.

Käyttökokemuksen karttuessa on nykyisten laitosten luotettavuus ja turvalli-

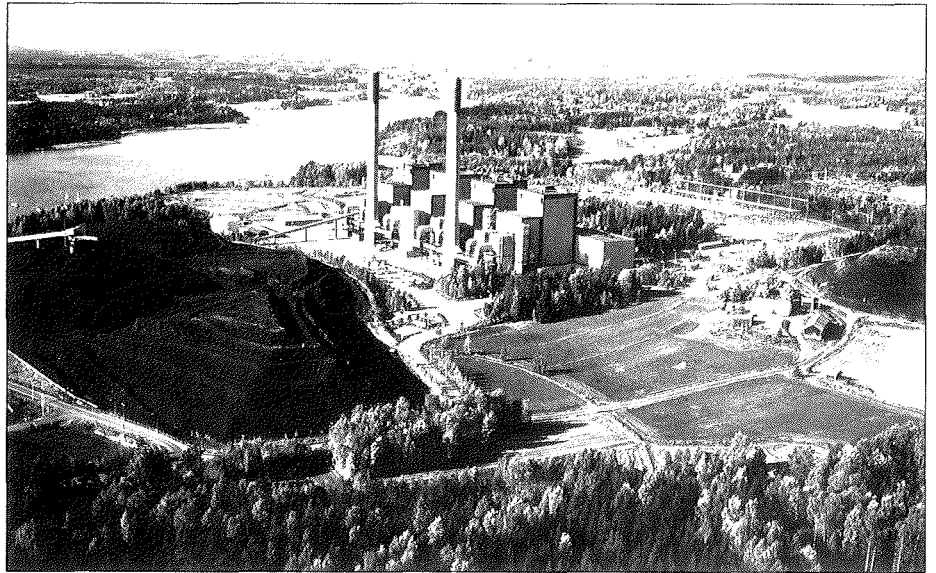
suus koko ajan parantunut. Jos nyt suunniteltaisiin kevytvesireaktori, olisi sen turvallisuus kertalukuja parempi kuin käytössä olevien tyyppien. Voisi olettaa, että ydinenergian käyttö olisi yleisesti hyväksyä. Tämä edellyttäisi toki sitä, että laitos rakennetaan korkeimpien modernien turvallisuusvaatimusten mukaisesti, ja että sitä käytetään asiantuntevasti pätevien turvallisuusviranomaisten valvonnassa. Myös sijoitukseen poliittinen rakenteen on oltava riittävän stabiili takaamaan pitkäaikaisen järkevän toiminnan.

Miksi ydinenergiaa tarvitaan myös tulevaisuudessa?

Ydinenergian tarpeellisuutta on mahdollista perustella hyvin voimakkaain rationaalisin argumentein. Tosiasia on, että koko ihmiskunnan tulevaisuus on häiriöttömän energiantuotannon varassa. Ilman energiaa joutuisimme suunnattoman kriisin ja nälänhädän kohteeksi. Ihmismäärä maapallolla on yksinkertaisesti niin suuri, ettei se voi tulla toimeen ilman liki nykyisen suuruista energiankulutusta.

Olemme siis joutuneet irreversiibelille polulle. Fossiilisia energialähteitä on kyllä riittävästi lähivuosisikymmeniksi. Niistä öljy on selvästi tärkein ja kriittisin, sillä se on keskeinen sekä energiantuotannolle, kemialliselle teollisuudelle ja myös liikenteelle. Öljy voidaan helposti korvata vain maakaasulla. Ongelmiksi muodostuvat USA:n omien öljy- ja kaasulähteiden ehtyminen, Pohjanmeren reservien väheneminen ja uusien suurien esiintymien puuttuminen. Parisa kymmenessä vuodessa ovat Eurooppa, Aasia, USA ja kehitysmaat suurelta osalta Lähi-idän suurien reservien varassa. On helppo kuvitella, mihin kriiseihin tällainen tilanne voi johtaa.

Kehitysmaiden kasvava väestö voi tyydyttää energiatarpeensa vain kivihiihellä ja öljyllä; kaasu- ja ydinenergia vaativat hyvin toimivaa infrastruktuuria ja suuria pääomia. Vain teknillisesti kehittyneet maat voivat soveltaa turvalisest ja taloudellisest ydinenergiaa. Sen tulisikin muodostaa näiden maiden huomattavan sähköenergian tuotantotavan. Voi myös sanoa, että tämä on rikkaiden maiden moraalinen velvolli-



Kehitysmaan voimalaitosvaihtoehto.

suus ja keino tukea kehitysmaita niiden suunnattomissa vaikeuksissa.

Ydinenergiaa on puollettu myös ympäristösyillä. Voimalaitosten hiilidioksidi-, typpioksidi-, rikkioksidi- ja pölypäästöt muodostavat kasvavan terveys- ja ympäristöriskin. Näitä emissioitahan ei ydinenergialla sanottavasti ole. Mielestäni ydinenergian kumminkin tulisi olla jo rakenteeltaan riittävän ympäristöedullista, vaikka kasvihuoneilmiön vähentämistä ei otettaisikaan huomioon. Tämä siksi, että kasvihuoneilmiön todellinen luonne on vielä epäselvä, ja käytettyjen mallien tarkkuuden suhteen on viimeaikoina esitetty painavia huomautuksia.

On siis punnittava ydinenergian päästöjä normaalitoiminnan aikana ja verrattava niitä fossiilisten energiantuotantomuotojen päästöihin. Vertaus on ydinenergialla suotuista.

Jäljelle jäävät siis vain erikoistilanteet, onnettomuuksien ja eriasteisten häiriöiden aiheuttamat päästöt. Tällöin palataan ongelmaan käytettyjen laskentamenetelmien ja kokeellisten mittausten luotettavuudesta ja uskottavuudesta. On pyrittävä löytämään reaktorikonstruktiot, joissa turvallisuus on mahdollisimman suuressa määrässä passiivisten toimintojen varassa ilman, että tarvitaan ihmisen puuttumista asiaan. Uskon, että tämä tilanne on mahdollista saavuttaa nykyisten reaktoreiden käytöstä saadun kokemuksen perusteella.

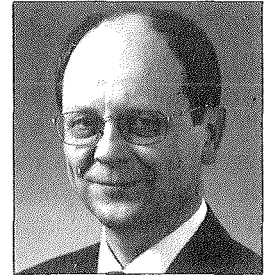
Valitettavasti ydinenergian kohdalla eivät loogiset argumentoinnit ole riittäviä. Lopullinen ratkaisu demokratioissa tulee perustumaan yleiseen mielipiteeseen. Sen on oltava ydinenergialle riittävän myönteinen, jotta poliittinen päätös rakentamisesta olisi mahdollinen.

Tämä edellyttää tietenkin, että uusia suuronnettomuuksia ei enää tapahdu nyt toimivissa laitoksissa. Niiden toiminnan turvallisuuden parantamiseen on siis kiinnitettävä jatkuvaa huomiota ja mahdollisesti vähemmän turvallisiksi havaitut laitokset tulee sulkea. Laitosten sulkemiseen voidaan tarvittaessa vaikuttaa kansainvälisellä painostuksella ja taloudellisella tuella. Näin voidaan varmistaa ydinenergian uusi tuleminen myös sen synnyn kehtoihin, teollistuneisiin rikkaisiin maihin. Näin säästynyt öljy voidaan antaa kehitysmaiden käyttöön, ja samalla teollisuusmaat selviävät paremmin omista jo sovituista päästörajoituksistaan.

Loppujen lopuksi, kaikesta loogisesta argumentoinnista huolimatta, ydinenergian tulevaisuus on viimekädessä joukopsykologian hallitsemisen varassa.

Akateemikko **Pekka Jauho** on maamme ydintekniikan uranuurtajia ja Atomiteknillisen Seuran perustaja- ja kunniajäseniä.

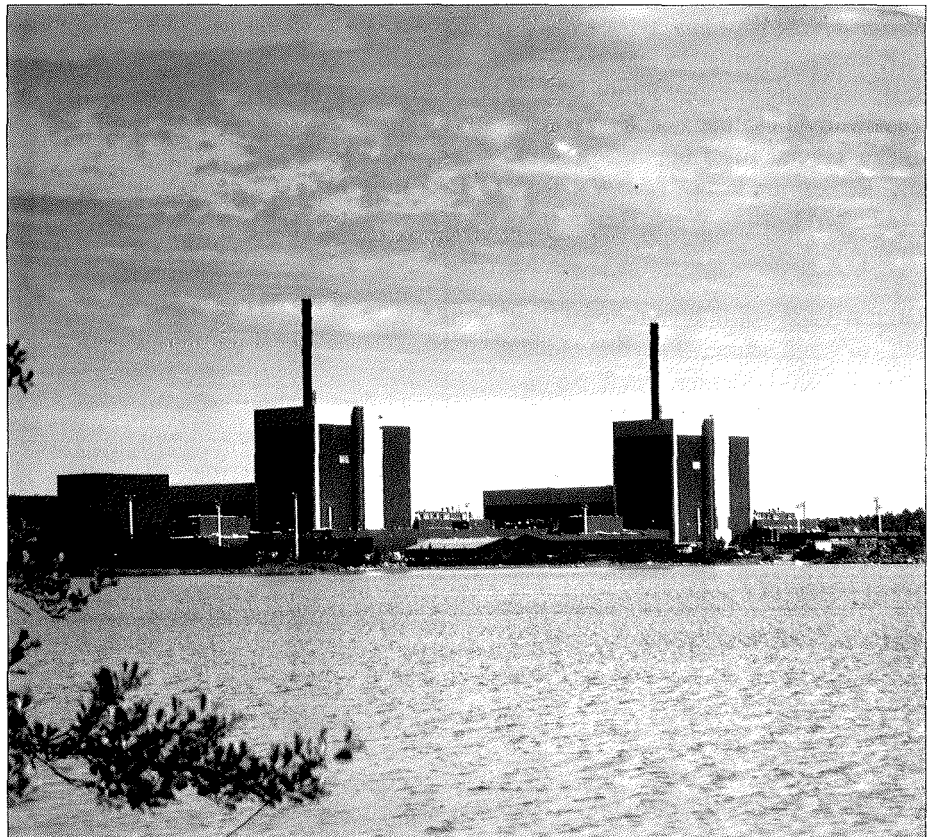
KIEHUTUSVESIREAKTORIT VAHVISTAVAT ASEMAAN



Kevytvesireaktoreilla on hallitseva asema maailman ydinvoimatuotannossa. Molempien kevytvesireaktorityyppien, kiehutusvesireaktori (BWR) ja painevesireaktori (PWR), perusratkaisut kehitettiin 1950-luvulla. BWR:n etuna oli sen perusratkaisun yksinkertaisuus: turbiinia pyörittävä höyry kehitetään suoraan reaktorissa eikä erillisiä höyrystimiä tarvita. Haittana pidettiin turbiinille tulevan höyryn on aktiivisuutta, mikä edellyttää säteilysuojellisia toimenpiteitä turbiinilaitoksella.

Ensimmäinen kaupalliseen sähkön-
tuotantoon tarkoitettu BWR oli
General Electricin (GE) toimittama
Dresden 1 (200 MW), joka käynnistyi
vuonna 1960 Yhdysvalloissa.

Muissa maissa ensimmäisiä kaupallisia kiehutusvesireaktoreita otettiin käyttöön seuraavasti: Italiassa Garigliano (GE, 150 MW) vuonna 1964, Saksassa Gundremmingen A (AEG, 252 MW) vuonna 1967, Hollannissa Dodewaard (GE, 55 MW) vuonna 1969, Intiassa Tarapur 1 (GE, 150 MW) vuonna 1969, Japanissa Tsuruga 1 (GE, 341 MW) vuonna 1970, Espanjassa Santa Maria de Carona (GE, 438 MW) vuonna 1971, Ruotsissa Oskarshamn 1 (ASEA, 445 MW) vuonna 1972, Sveitsissä Mühleberg (GE, 355 MW) vuonna 1972, Taiwanissa Chinshan 1 (GE, 604 MW) vuonna 1978, Suomessa TVO I (ASEA-ATOM, 660 MW) vuonna 1979 ja Meksikossa Laguna Verde 1 (GE, 654 MW) vuonna 1990.



Olkiluodon laitokset ovat BWR- eli kiehutusvesireaktoreita.

Käyttökokemukset kelvollisia

Nykyisin on käytössä yhteensä 94 kiehutusvesireaktoria kymmenessä maassa. Käyttökokemukset ovat olleet suhteellisen hyviä. Huomattavia maa- ja laitostyypin eroja kuitenkin on. Kiehutusvesireaktorien keskimääräinen käyttökerroin on viime vuosina ollut noin 75 %, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin painevesireaktoreilla.

Merkittävimmät kiehutusvesireaktorien ongelmat ovat liittyneet jännityskorroosioon. Sopivalla vesikemialla ja oikeilla materiaalivalinnoilla ongelma on kuitenkin hallittavissa.

Henkilökunnan säteilyannokset olivat ensimmäisillä kiehutusvesilaitoksilla suhteellisen korkeat. Uusimmissa BWR:issä säteilyannokset ovat pienentyneet oleellisesti ollen samaa luokkaa PWR:ien annosten kanssa. BWR:ien kehityksen alkuvaiheessa esillä olleet aktiivisen höyryn aiheuttamat ongelmat on saatu hallintaan.

Alkuperäiset toimittajat jatkavat

Alkuperäiset kiehutusvesireaktoreita toimittaneet organisaatiot ovat säilyneet markkinoilla, vaikkakin yhtiöiden nimissä on tapahtunut muutoksia. Eniten

reaktoritoimituksia, yhteensä 78, on GE:llä. Aikaisempi AEG:n kiehausvesi-reaktoritoiminta on yhdistetty Siemensiin. Sillä on ollut yhteensä kahdeksan BWR-toimitusta Saksaan. ABB Atom (aiemmin ASEA ja ASEA-ATOM) on toimittanut yhteensä 11 BWR:ää Ruotsiin ja Suomeen.

GE:n viimeisimmät BWR-toimitukset ovat vuosina 1996 ja 1997 Japanissa käynnistyneet Kashiwazaki Kariwa 6 ja 7, joiden kummankin teho on 1 315 MW. Japanilaiset yhtiöt Hitachi ja Toshiba ovat osallistuneet keskeisesti niiden rakentamiseen ja laitetöihin. Reaktorit edustavat ABWR (Advanced Boiling Water Reactor) -tyyppiä.

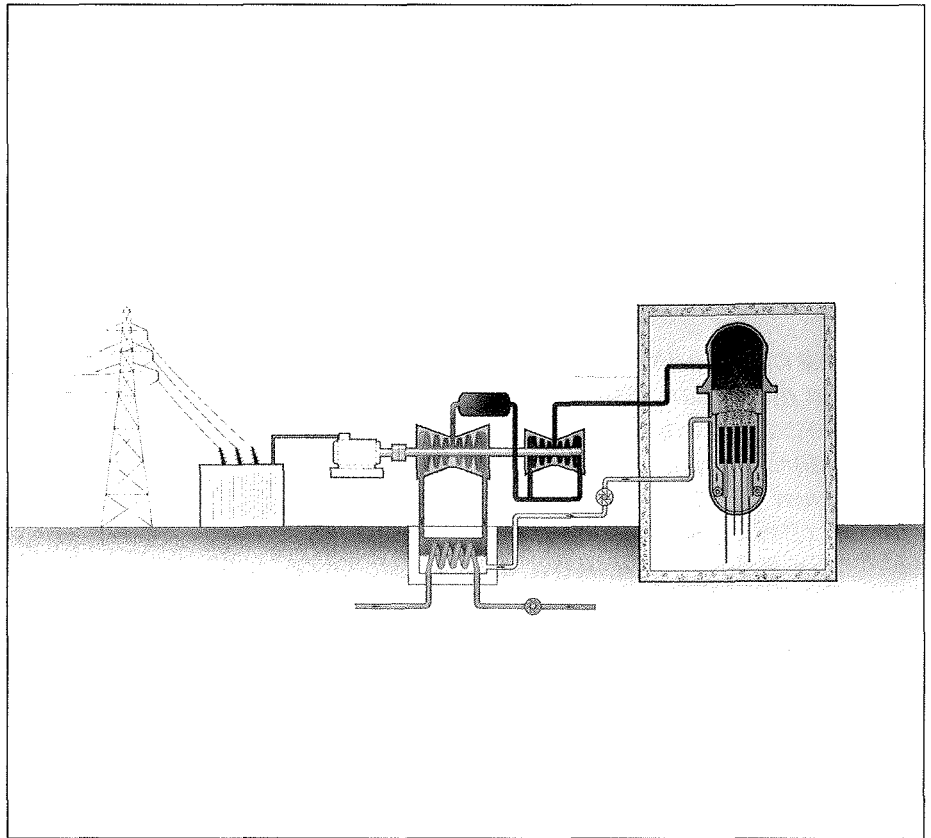
GE:n ABWR voitti 1996 tarjouskilpailun Taiwanin seuraaviksi ydinvoimalaitosyksiköiksi Lungmen 1 ja 2. Ne on tarkoitus ottaa käyttöön vuosina 2003 ja 2004. Loppusuoralla tarjouskilpailussa olivat mukana ABB Combustionin ja Westinghousen painevesireaktorivaihtoehdot.

Yhdysvaltain turvallisuusviranomaisen NRC antoi ABWR:lle huhtikuussa 1997 laatuaan ensimmäisen tyyppihyväksynnän (Design Certification), joka on voimassa 15 vuotta. Tänä aikana rakennettavan ABWR:n luvittamiseksi Yhdysvalloissa tarvitaan vain laitospaikka-kohtaisia lisäselvityksiä. Rakenne on muilta osin jo hyväksytty.

Siemensin viimeisimmät kiehausvesi-reaktoritoimitukset ovat Gundremmingen B ja C (1 284 MW ja 1 288 MW), jotka käynnistyivät Saksassa vuosina 1984 ja 1985. Niiden käyttökokemukset ovat olleet erittäin hyviä.

ABB Atomin viimeisimmät laitostoimitukset ovat Ruotsissa vuonna 1985 käyttöönotetut Forsmark 3 (1155 MW) ja Oskarshamn 3 (1160 MW). Ne kuuluvat perusratkaisuiltaan samaan BWR 75-sarjaan, jota muun muassa Olkiluoto 1 ja 2 edustavat. Uusimpien ABB Atomin toimittamien laitosten käyttökokemukset ovat olleet erinomaisia.

Tekniset perusratkaisut kaikkien kolmen BWR-toimittajan viimeisimmissä laitoksissa ovat yllättävän samanlaisia. Muun



BWR-laitoksen toimintaperiaate.

muassa seuraavat kehittyneet piirteet ovat yhteisiä:

- reaktorin sisäiset pääkiertopumput,
- hydraulisen ja sähkömekaanisen toiminnon omaavat säätösauva-koneistot,
- esijännitettävä betonirakennetta oleva suojarakennus.

Kehitys evoluutiota tai innovaatiota

Tulevaisuuden reaktorityyppien kehityksessä on erotettavissa kaksi linjaa: evoluutiolinja ja innovatiivinen linja. Evoluutiolaitokset pohjautuvat teknisiltä perusratkaisuiltaan nykyisiin laitoksiin. Uusien vaatimusten mukainen turvallisuustaso saavutetaan riittävällä määrällä rinnakkaisia (redundanssi) ja toimintaperiaatteeltaan erilaisia (diversiteetti) turvallisuusjärjestelmiä. Myös reaktorisydämen vakavan vaurioitumisen mahdollisuus otetaan huomioon suunnittelussa. Evoluutiolaitosten koko on suuruusluokassa 1 200–1 500 MW.

Innovatiivisissa laitoksissa sovelletaan uusia ratkaisuja erityisesti turvallisuusjärjestelmien osalta. Niissä pyritään passiivisuuteen muun muassa painovoimaa ja luonnonkiertoa hyödyntäen. Innovatiivisten laitoskonseptien koko on suuruusluokkaa 600–1 200 MW.

Kummallakin kehityksellä on hyviä ja huonoja puolia. Evoluutiolinjan vahvuutena on sen pohjautuminen koeteltuun tekniikkaan. Heikkoutena on teknisen rakenteen monimutkaisuus. Vastaavasti innovatiivisen reaktorin etuna on yksinkertainen rakenne. Negatiivisena puoleena ovat uudentyyppiset tekniset ratkaisut, joiden toimivuus edellyttää usein kokeellista varmentamista ja prototyyppien rakentamista.

Riittävä turvallisuustaso on saavutettavissa molempien kehityksien kautta. Mielenkiintoisempi kysymys onkin taloudellisuus. Innovatiivisten reaktorikonseptien yksinkertaisuus ja laitteiden pienempi lukumäärä ovat omiaan vähentämään investointikustannuksia. Toisaalta evoluutioreaktorien suurempi teho pienentää ominaiskustannusta (mk/kW). Taloudellisuus onkin keskeisenä tavoit-

teena nykyisissä kehityshankkeissa. On tiedostettu entistä selvemmin, että uusi reaktorikonsepti, kuinka turvallinen tahansa, on hyödytön, jos se ei ole taloudellisesti kilpailukykyinen muiden sähköntuotantomuotojen kanssa.

Tällä hetkellä on käynnissä sekä evoluutiolinjan että innovatiivisen linjan mukaisia BWR-kehityshankkeita. Kiehutusvesireaktorin perusratkaisu sopii erittäin hyvin innovatiivisiin reaktorikonsepteihin, koska siinä reaktorisydämen jäädytys esiintyy kahdessa olomuodossa (vesi ja höyry). Tämä on hyvä lähtökohhta toimivan ja tehokkaan luonnonkierron aikaansaamiselle. Seuraavassa on tarkasteltu lyhyesti tärkeimpiä BWR-kehityshankkeita.

BWR 90+

ABB Atom tarjosi 1990-luvun alussa Suomen viidenneksi ydinvoimalaitosyksiköksi BWR 90 -konseptia, jonka kehittämiseen TVO on osallistunut vuodesta 1987 lähtien. BWR 90 on Forsmark 3 / Oskarshamn 3:een perustuva evoluutiolaitos. Eduskunnan kaadetun hallituksen periaatepäätöksen syksyllä 1993 käynnistettiin vuonna 1994 ABB Atomin ja TVO:n kesken uusi yhteistyö BWR 90:n edelleenkehittämiseksi. Tässä BWR 90+ ohjelmassa kehitys kohdistuu lähinnä suojarakennusratkaisuun. Myös passiivisuuden lisäämistä turvallisuustoiminnoissa selvitetään.

BWR 90:lle ollaan myös laatimassa EUR (European Utility Requirements) -vaatimuskokoelman mukaista yksityiskohtaista vaatimusmäärittelyä (Vol.3) ottaen huomioon BWR 90+:n piirteitä. Tähän työhön osallistuu TVO:n lisäksi voimayhtiötahoja myös Hollannista ja Ruotsista EUR-sääntöjen mukaisesti.

IER

Tokyo Electric Power Companyn, GE:n, Hitachin ja Toshiba yhteistyönä käynnistyi vuonna 1991 Japanissa hanke GE:n ABWR:ään pohjautuvan IER:n (Improved Evolutionary Reactor) kehittämiseksi. Kehitysaikataulu on pitkä tähdäten siihen, että ensimmäinen IER otettaisiin käyttöön 2010-luvulla. Reaktorin teho on tarkoitus nostaa ABWR:n nykyisestä 1350 MW:sta 1500 MW:tiin.

Turvallisuusjärjestelmät perustuvat osittain passiivisiin ratkaisuihin. Polttoaineen osalta suunnitellaan siirryttäväksi nykyistä suurempiin nippuihin, mikä merkitsee myös säätösauvojen lukumäärän oleellista pienentymistä. Reaktorin sisäosia on tarkoitus muuttaa myös muilta osin. Esimerkiksi hidastinsäiliö poistetaan ja korvataan pääkiertopumpujen yläpuolisilla imuputkilla.

ESBWR

GE käynnisti vuonna 1982 tutkimuksen 600 MW:n innovatiivisen kiehutusvesireaktorin SBWR (Simplified Boiling Water Reactor) kehittämiseksi. Kehitykseen osallistui sittemmin Electric Power Research Institute'n (EPRI) organisoiman projektin puitteissa useita tahoja Yhdysvalloista, Euroopasta ja Japanista.

SBWR:ssä on muun muassa seuraavia erityispiirteitä:

- reaktorisydämen jäädytys tapahtuu luonnonkierrolla ilman pääkiertopumppuja,
- turbiinille menevien höyrylinjojen sulkeutuessa johdetaan höyry eristyslauhduttimeen ja sieltä vetenä takaisin reaktoriin,
- putkikatkotilanteissa reaktorin paine lasketaan automaattisesti, minkä jälkeen hätäjäädytysvesi virtaa painovoiman vaikutuksesta reaktoriin,
- suojarakennuksen jäädytys tapahtuu passiivisesti.

Uusien teknisten ratkaisujen testaamiseksi on tehty mittavia kokeita Yhdysvalloissa, Japanissa, Sveitsissä ja Italiassa.

SBWR:lle käynnistettiin myös tyypillisyysmenettely Yhdysvalloissa. Se kuitenkin keskeytettiin keväällä 1996. Pääasiallisena syynä tähän oli se, että kyseisen kokoluokan reaktorille ei nähty markkinoita, joilla se olisi voinut ollut kilpailukykyinen.

Taloudellisen kilpailukyvyn lisääminen oli yhtenä syynä Eurooppaan soveltuvan SBWR:n kehittämisen käynnistämiseksi vuonna 1995. Lähtökohdaksi tässä ESBWR (European Simplified Boiling Water Reactor) -kehitysohjelmassa on otettu vajaan 1 200 MW:n tehotaso. Ohjelmassa pyritään pienentämään

investointikustannuksia muun muassa yksinkertaistamalla rakennetta edelleen ja pienentämällä rakennustilavuuksia. Ohjelmaan on osallistunut GE:n lisäksi eräitä eurooppalaisia tahoja, muiden muassa TVO.

SWR 1000

Siemens aloitti vuonna 1992 yhteistyössä saksalaisten voimayhtiöiden kanssa noin 600 MW:n tehoisen innovatiivisen kiehutusvesireaktorin kehitystyön. Sittemmin teho on nostettu noin 1 000 MW:hen. Kyseisen SWR 1000-konseptin kehitystyöhön on tullut mukaan myös eräitä muita eurooppalaisia tahoja mukaan lukien TVO. SWR 1000:ssa on säilytetty reaktorin sisäiset pääkiertopumput. Muilta osin konseptiin sisältyy samoja erityispiirteitä kuin ESBWR:ssä. Tosin laite- ja järjestelmätekniset ratkaisut ovat täysin erilaisia.

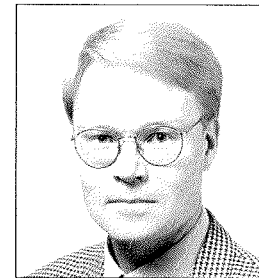
Selkeä perusratkaisu vahvistaa asemaa

Kiehutusvesireaktorit ovat näyttelleet ja tulevat jatkossa näyttellemään merkittävää osaa ydinvoimatuotannossa. Reaktorityyppiin kehityksen alkuvaiheessa kohdistetut epäilyt ovat osoittautuneet aiheettomiksi. Yksinkertainen perusratkaisu puhuu BWR-tekniikan puolesta uusien reaktorien kehitystyössä, koska ydinvoimalaitosten taloudellisuuteen joudutaan jatkossa kiinnittämään entistä enemmän huomiota. BWR-tekniikka tarjoaa myös hyvän lähtökohdan innovatiivisille ratkaisuille.

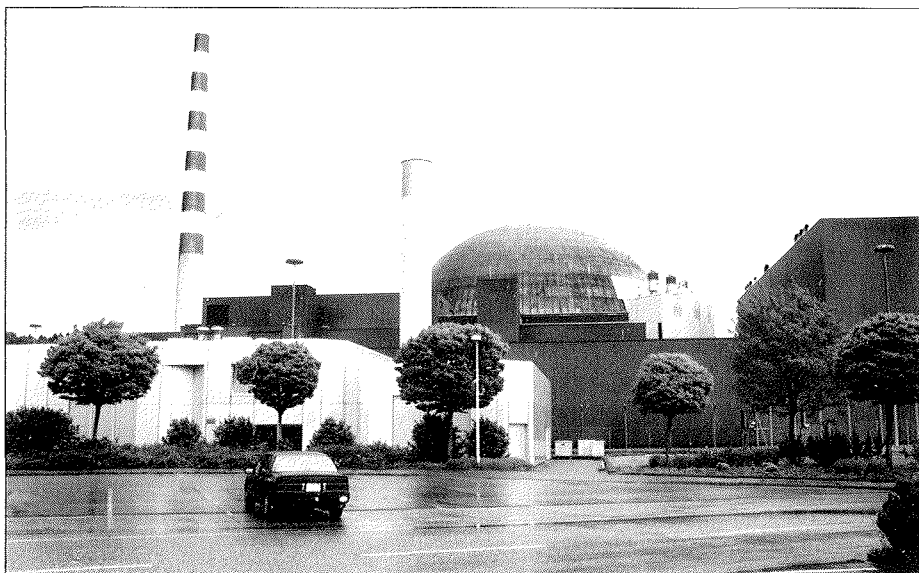
Kiehutusvesireaktorien kehitys on jatkunut sekä evoluutiolinjan että innovatiivisen linjan mukaisesti. Tosin evoluutiolinjan mukaiset konseptit ovat lähestymässä innovatiivista linjaa. Pitkällä tähtäimellä innovatiivinen linja vieneekin voiton. Tarkkaa ajankohtaa tälle on kuitenkin vaikea arvioida.

TkL Ami Rastas on Teollisuuden Voima Oy:n tekninen johtaja, p. (02) 8381 3100.

UUSIA PAINEVESIREAKTOREITA VUOSITUHANNEN VAIHTEESSA



Uusien ydinvoimalaitosten markkinat Euroopassa ovat tällä hetkellä hiljaiset. Voimalaitostoimittajat kehittelevät kuitenkin kaiken aikaa uusia laitoskonseptiaan, joiden pitäisi olla tilattavissa vuosituhannen vaihteen tienoilla. IVO on seurannut tilannetta osallistumalla mm. EUR-vaatimusten laatimiseen yhdessä TVO:n kanssa sekä EPP- ja EPR-laitosten kehitystyöhön.



Suomessa uuden ydinvoimalaitoksen valmistelutyö loppui käytännössä vuoden 1993 eduskunnan äänestykseen. Sen jälkeen ydinvoimayhtiöt ovat keskittyneet pääasiassa olemassaolevien laitostensa käyttöön ja modernisointiin. Voimayhtiöt ovat kuitenkin ylläpitäneet T&K-hankkeita, joiden puitteissa on seurattu teknologian kehitystä ja pidetty kosketusta uusien potentiaalisten ydinvoimalaitostyyppien kehitykseen maailmalla. Työ on enimmäkseen ollut osallistumista erilaisiin yhteishankkeisiin sekä voimalaitostoimittajien että muiden eurooppalaisten voimayhtiöiden kanssa.

EUR - Eurooppaan soveltuva standardilaitos

Molemmat suomalaiset ydinvoimayhtiöt ovat vuoden 1996 alusta lähtien olleet mukana eurooppalaisten voimayhtiöiden yhteisten, ns. EUR (European Utility Requirements) -vaatimusten laadinnassa. EUR-vaatimukset ovat EU-maiden ydinvoimayhtiöiden teknisiä, uusia ydinvoimalaitoksia koskeavia vaatimuksia. Niiden tavoitteena on auttaa voima-

laitostoimittajia mahdollisimman standardityyppisten, Eurooppaan soveltuvien laitosten suunnittelussa. EUR-vaatimukset ovat tällä hetkellä yhdeksän laadintaan osallistuneen maan viranomaisten kommentoitavana.

On kuitenkin huomattava, että EUR-vaatimusten tarkoituksena ei ole johtaa täsmälleen identtisiin ydinvoimalaitoksiin kaikissa EU-maissa. Vaatimukset määrittelevät tietyn referenssin, josta pienin muutoksin saadaan kunkin maan omiin erityisiin olosuhteisiin ja viranomaisvaatimuksiin soveltuva laitos. Todennäköisesti EUR-vaatimuksia käytettäisiin teknisten keskustelujen pohjana myös mahdollisessa uudessa ydinvoimahankkeessa Suomessa.

Saadaanko uusille laitoksille yleinen hyväksyntä?

EUR-työn lisäksi voimayhtiöt seuraavat ja ovat mukana varsinaisten laitoskonseptien kehittämisessä. IVO:n ja TVO:n yhteisessä ydinvoimatoimikunnassa sovittujen periaatteiden mukaan IVO seuraa uusien PWR-laitosten kehitystä

Gösgenin 1015 MW:n PWR on tuottanut sähköä jo 17 vuotta. Turvajärjestelmiltään neliredundanttisen ja muutenkin hyvin modernin laitoksen 370 käyttäjää uskovat parantavansa laitoksen tuloksia edelleen ja laitoksen käyttöäksi tulevan yli 40 vuotta.

maailmalla ja TVO tekee vastaavaa työtä BWR:ien osalta. IVO onkin ollut aktiivisesti mukana kehittämässä Westinghousen AP600-laitoksen pohjalta Eurooppaan soveltuva EPP (European Passive Pressurized Water Reactor) -laitosta sekä seurannut tiiviisti NPI:n EPR (European Pressurized Water Reactor)-laitoksen kehitystä.

Tärkeimpinä syinä nykyiseen ydintekniikan lamaan Länsi-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa voidaan pitää sitä, että suurta yleisöä ei ole pystytty vakuuttamaan ydinvoiman turvallisuudesta sekä ennen kaikkea taloudellisia syitä kuten ydinvoiman vaatimaa suurta investointia ja sen pitkää takaisinmaksuaikaa verrattuna markkinoiden nopeaan rytmiin.

Monissa maissa ydinvoima ei nykyisin ole taloudellisesti riittävän kilpailukykyinen fossiilisten polttoaineiden kanssa pitkälläkään takaisinmaksuajalla. Tämän vuoksi uusien laitosten kehittämisessä keskeisimpinä tavoitteina ovat ensinnäkin entistä parempi turvallisuus ja sen demonstroitavuus sekä toisaalta hyvin olennaisena seikkana laitosten taloudellisuuden varmistaminen ja parantaminen.

Yleisesti ottaen uusissa konsepteissa on laitoksen turvallisuuden parantamiseksi sovellettu kahta erilaista filosofiaa. Esimerkiksi EPR:ssä turvallisuuden maksimointiin on pyritty käyttämällä perusperiaatteeltaan samanlaisia turvajärjestelmiä kuin nykyisen sukupolvenkin reaktoreissa, maksimoimalla niiden käyttökokemuksista saatu oppi sekä parantamalla niiden fysikaalista erotte-
lua ja komponenttien luotettavuutta.

EPP:ssä (ja AP600:ssa) on valittu toisenlainen lähestymistapa. Suuri osa perinteisistä PWR:n turvajärjestelmistä on korvattu yksinkertaistetuilla, ns. passiivisilla järjestelmillä, joista useimmat

toimivat painovoiman avulla ja joiden ainoita aktiivisia komponentteja ovat muutamat venttiilit. Perusajatuksena on se, että turvajärjestelmien yksinkertaistaminen pienentää olennaisesti niiden vikaantumistodennäköisyyttä ja parantaa luotettavuutta.

Kaikkien uusien kevytvesireaktorityyppien turvallisuusajattelussa yhteistä on nykyään kuitenkin se, että vakavat onnettomuudet, ts. sydämen sulamis-
onnettomuudet on otettu jo suunnittelussa huomioon.

Uusien laitosten taloudellisen kilpailukyvyn varmistamisessa on nähtävissä kolme selvää pyrkimystä. Kaikki laitostoitimattajat pyrkivät selkeästi standardilaitoksiin, joita tarjotaan mahdollisimman pienin muutoksin kaikille asiakkaille. Myös EUR-vaatimukset tähtäävät samaan asiaan.

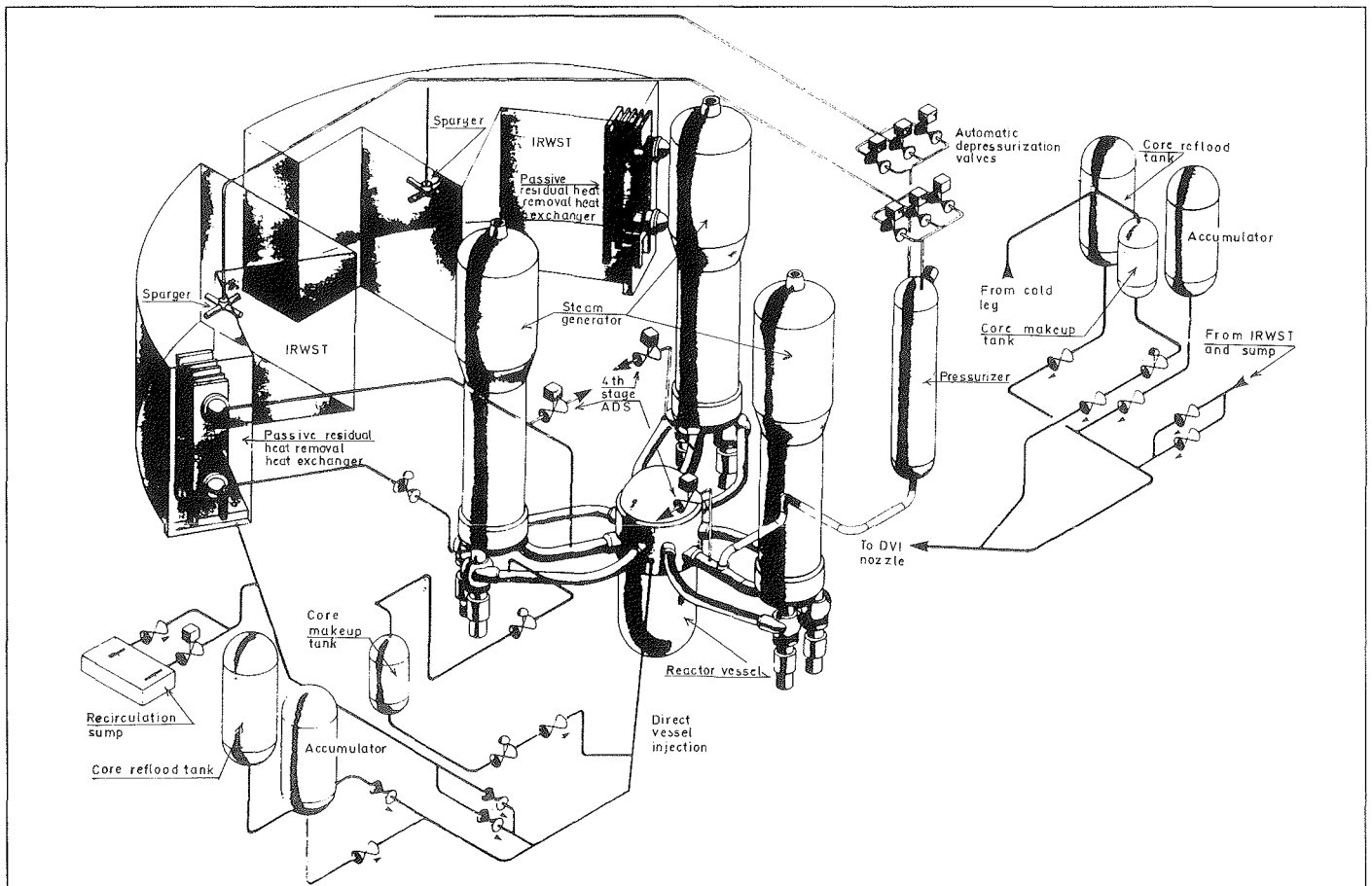
Laitoksen sisällä standardointi tarkoittaa sitä, että eri järjestelmissä pyritään käyttämään mahdollisimman paljon samanlaisia komponentteja. Toisaalta yksikkökustannusten alentamiseen

pyritään myös nostamalla laitoksen tehoa. Tämä piirre näkyy selvästi esimerkiksi EPR:n suunnittelussa. Kolmanneksi järjestelmiä pyritään yksinkertaistamaan, mistä selvimpiä esimerkkejä ovat AP600:n ja EPP:n passiiviset turvajärjestelmät.

EPR - Saksan ja Ranskan yhteisponnistus

Eräs kiinnostavimmista uusista painevesireaktorityypeistä Euroopan ja mahdollisesti myös Suomen "markkinoilla" on EPR, joka on Siemensin ja Framatomen yhteisyrityksen NPI:n (Nuclear Power International) parhaillaan kehitteillä oleva reaktori. Tarkoituksena on lähitulevaisuudessa korvata Siemensin ja Framatomen nykyiset päätuotteet Konvoi ja N4. EPR-laitoksesta ja -projektista on aiemmin ollut artikkeli ATS Ydintekniikan numerossa 2/96.

EPR on selkeästi ns. evoluutiotyyppinen reaktori, jonka lähtökohtana ovat nimenomaan Konvoi ja N4. Sähköteho on melko korkea, noin 1500 MW_e. EPR:n



Kaavio EPP:n hätäinjektointijärjestelmästä.

kehityksessä on pyritty sovittamaan yhteen Saksan ja Ranskan varsin erilaiset turvallisuusfilosofiat ja suunnittelukäytännöt. Laitos on täysin nelireduntantainen ja siinä on ranskalaistyyppinen betoninen kaksoissuojarakennus. Myös vakavat onnettomuudet on otettu suunnittelussa todella vakavasti ja laitos on varustettu mm. suurella suojarakennuksen pohjalla olevalla 160 m²:n sydänsulan leviämistilalla.

EPR on monimutkaisempi ja tilavuudeltaan suurempi kuin Konvoi ja N4. NPI:n edustajille onkin toisinaan esitetty huolestuneita kysymyksiä laitoksen hinnasta. Aiemmin NPI on kertonut, että EPR olisi periaatteessa tilattavissa tämän vuosikymmenen aikana. Yleisesti odotetaan, että ensimmäisen tilauksen tekisi Ranskan EDF.

EPR:n kehittämisessä ovat voima-yhtiöistä olleet kiinteästi mukana vain ranskalaiset ja saksalaiset. IVO on seurannut EPR-suunnittelua lähinnä EUR-työn kautta, jonka puitteissa IVO on ollut mukana laatimassa EUR:n EPR-spesifisiä vaatimuksia eli EUR volume 3:a EPR:lle. NPI:n edustajat ovat pitäneet myös suoraan yhteyttä Suomeen ja informoineet EPR:n kehitystyön tilanteesta. Keväällä 1996 myös ATS:n tilaisuudessa kuultiin esitys EPR:stä.

EPP - painopiste passiivisessa turvallisuudessa

EPP on Westinghousen ja sen teollisuuspartnereiden sekä seitsemän eurooppalaisen voimayhtiön (joista IVO on yksi) yhteishanke, jonka tarkoituksena on kehittää Westinghousen AP600-reaktorin pohjalta Euroopan olosuhteisiin soveltuva ns. passiivisia turvajärjestelmiä soveltava painevesilaitos.

Merkittävimpänä erona AP600:aan on se, että EPP:n teho on AP600:aa korkeampi, noin 1 000 MW_e, mikä on saatu aikaan nostamalla primäärikiertopiirien ja höyrystimien lukumäärä kahdesta kolmeen. Korkeampaa tehoa sekä EUR-vaatimusten ja amerikkalaisen käytännön erojen aiheuttamia muutoksia lukuunottamatta EPP:n suunnittelu muistuttaa hyvin paljon AP600:n suunnittelua.

Olennoisimpana erona EPP:n (tai AP600:n) ja "tavanomaisten" PWR:ien välillä on EPP:ssä käytetyt ns. passiiviset turvajärjestelmät. EPP:ssä esimerkiksi koko hätälämmönsiirtoketju perustuu järjestelmiin, jotka eivät venttiilien avaamisen lisäksi tarvitse toimiakseen ulkoista energiaa. Laitos yksinkertaistuu tämän vuoksi huomattavasti, koska esimerkiksi turvaluokitettuja dieselgeneraattoreita ei tarvita ollenkaan.

Esimerkiksi tavanomainen korkea-paineinen hätäjähdytysvesijärjestelmä on korvattu hätäsisävesitankilla (core makeup tank, CMT), joka on yhdistetty paineentasauslinjalla kylmään haaraan ja syöttölinjalla reaktorin alasmenotilaan. Pienessä jäähdytteenmenetysonnettomuudessa, vettä injektoidaan sydämeen ensin CMT:stä. CMT:n pinnan lasiessa aloitetaan primääripiirin paineenalennus. Paineen lasiessa hätäjähdytysakut, erityiset ns. sydämen tulvitusakut (core reflood tank, CRT) sekä lopulta painovoimalla tapahtuva valuminen suojarakennuksen paineessa olevista tankeista varmistavat jäähdytteen syötön sydämeen.

Luonnollisesti myös lämmönsiirto suojarakennuksesta ulos tapahtuu onnettomuustilanteissa ilman aktiivisia järjestelmiä. Samoin kuin AP600:ssa jälkilämpö siirretään suoraan teräksisen suojakuoren läpi, jota jäähdytetään ulkopuolelta suojarakennuksen katolla olevasta säiliöstä ruiskutettavalla vedellä sekä kierrättämällä ilmaa suojarakennuksen välitilassa.

IVO Power Engineering on osallistunut EPP:n suunnitteluun lähinnä suojarakennuksen, nestemäisten sekä kiinteiden jätteiden käsittelyjärjestelmien ja vakavien onnettomuuksien hallinnan suunnittelun osalta. EPP:n suunnittelu ei kuitenkaan ole vielä yhtä pitkällä kuin esimerkiksi EPR:n, joten EPP-laitos on näillä näkymin teoriassakin tilattavissa vasta vuosituhannen vaihteen tienoilla.

Maailmalla useita mielenkiintoisia PWR-laitoksia

EPR:n ja EPP:n lisäksi maailmalla on tarjolla useita muita kiinnostavia painevesireaktorityyppejä. Yhdysvalloissa ABB Combustion Engineeringin System

80+ on saanut (kuten General Electricin ABWR:kin) jo NRC:n tyyppisertifikaatin (Design Certificate). ABB Combustion Engineering on viime vuosina menestynyt hyvin erityisesti Koreassa, jossa on käynnissä tai rakenteilla tällä hetkellä kuusi ABB:n tekniikkaan perustuvaa painevesireaktoria.

AP600:n ja EPP:n rinnalla Westinghousekaan ei ole toki luopunut perinteisempää turvallisuustekniikkaa soveltavien laitostensa markkinoinnista. Lähimpänä referenssinä näistä voidaan mainita Englannin ensimmäinen PWR, Sizewell B. Japanin Tsurugaan on suunnitteilla aktiivisiin järjestelmiin ja Westinghousen teknologiaan perustuva laitos, jota Westinghouse kutsuu nimellä APWR (Advanced PWR).

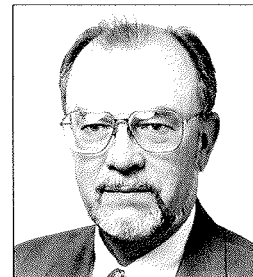
Venäjällä VVER-konseptien kehitystyö on jatkunut. IVO Internationalin sekä AEE:n kehittämän ja vuosikymmenen alussa Suomeen tarjotun VVER-91-mallin edelleen kehitettyä versiota on tarjottu Kiinaan. Kiina ja Venäjä ovat solmineet voimalaitoskaupasta maiden välisen sopimuksen. Myös suunnittelusopimus venäläisten ja kiinalaisten organisaatioiden kesken on jo solmittu. Varsinaisen toimitussopimuksen allekirjoituksen odotetaan tapahtuvan lähiaikoina. IVO Power Engineering on myös ollut aktiivisesti mukana Kiina-hankkeessa.

T&K-työn tulosten soveltaminen

Edellä kuvattujen laitoskonseptien kehitystyössä mukanaolemista on pidettävä ennen kaikkea teknologiankehityksenä, eikä työllä sinänsä ole suoraa liittymäkohtaa mahdolliseen uuteen ydinvoimalaitoshankkeeseen Suomessa. Sen sijaan uudet EUR-vaatimukset mitä ilmeisemmin tulisivat todelliseen hyötykäyttöön mahdollisessa uudessa hankkeessa.

DI Olli Kymäläinen tutkii termohydrauliikkaa ja vakavia reaktorionnettomuuksia IVO PE:ssä,
p. (09) 8561 5388;
E-mail: olli.kymalainen@ivo.fi

European Utility Requirements: EUROOPPALAISTA YDINVOIMAA



Ydinvoiman lisärakentaminen edellyttää niin Suomessa kuin koko Euroopassakin kahden välttämättömän ehdon toteutumista: ydinvoiman on saavutettava julkinen hyväksyntä ja sen on oltava taloudellisesti kilpailukykyistä. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi julkaistiin voimayhtiöiden yhteiset suunnitteluvaatimukset.

Ydinvoimateollisuus on Euroopassa toiminut toistaiseksi ahtaissa maakohtaisissa ympyröissä, kun samaan aikaan maailmanlaajuisen kaupan esteitä on poistettu ja kansainvälinen kilpailu on kiristynyt — myös sähkön tuotannossa. Euroopan ydinvoimayhtiöt ovat ottaneet haasteen vastaan ja päättäneet omaksua johtavan roolin pyrkimyksessä varmistaa ydinvoiman hyväksyttävyyttä ja kilpailukykyä myös tulevaisuudessa.

Keinoksi valittiin voimayhtiöiden yhteisten suunnitteluvaatimusten julkaiseminen: näin syntyi asiakirja European Utility Requirements (EUR). EUR-asiakirja ei kuitenkaan ole voimayhtiöiden sanelema, vaan sen laatimisessa on pyritty ottamaan huomioon sekä laitostoimittajien että eri maiden viranomaisten näkemykset — toivottavasti menestyksellä tavalla.

Mihin EUR:llä pyritään?

EUR-asiakirja määrittelee vaatimukset uusille ydinvoimaloille. Mallia työlle saatiin Yhdysvalloista, jossa EPRIn johdolla on laadittu Utility Requirements Document (URD). Koska vaatimukset kohdistuvat rakennettaviin ydinvoimaloihin, niissä on pyrittävä ennakoimaan tuleva kehitys niin teknikan kuin viranomaisvaatimustenkin kannalta.

EUR-työn perimmäisenä tavoitteena on yhdenmukaistaa ydinvoimaloiden keskeiset suunnitteluperusteet. EUR-asiakirja on spesifikaatiokokoelma, jonka perusteella ydinvoimalaitoksen suunnittelija voi kehittää oman standardilaitoskonseptinsa. Tällaisen standardikonseptin tulisi soveltua mihin tahansa EUR-yhteistyössä mukana olevaan maahan mahdollisimman pienin maakohtaisiin muutoksiin. Voimayhtiön kannalta tämä tarkoittaa, että ydinvoimalan tarjouskyselyn tekninen osa voitaisiin lähes kokonaan korvata viittauksella EUR-asiakirjaan.

Yhdenmukaistamispyrkimys kohdistuu seuraaviin laitosten ominaisuuksiin:

- turvallisuus: tavoitteet, kriteerit ja arviointimenetelmät
- ympäristövaikutukset: reunaehdot ja menetelmät
- pääjärjestelmät ja -laitteistot: suunnitteluperusteet
- laitteistospesifikaatiot ja standardit (rajoitetusti).

Kuinka sitten yhdenmukaistaminen tuo hyötyä ydinvoiman kilpailukykyyn ja julkisen hyväksynnän kannalta? Ydinvoiman kilpailukyky voimistuu, koska

- rakennuskustannuksia voidaan pienentää suunnitteluvaiheessa standardoinnin, yksinkertaistamisen ja kunnossapitovaatimusten optimoinnin avulla,
- laitostoimittajat voivat kehittää standardikonsepteja koko Euroopan markkinoita varten
- Euroopan Unionin alueelle syntyvät stabiilit kilpailuolosuhteet laitostoimittajille
- varmistetaan, että hyväksyttävät käyttö- ja polttoainekustannukset ovat saavutettavissa
- määritellään kunnianhimoiset, mutta järkevät käytettävyyttä- ja elinikätaavoitteet.

Julkinen hyväksyntä merkitsee sekä viranomaisten taholta saatavaa hyväksyntää että yleisen mielipiteen hyväksyntää. Tätä edistetään

- harmonisoimalla turvallisuuteen liittyvät vaatimukset, ts. asettamalla yhteiset tavoitteet ja vaatimalla yhteisiä teknisiä ratkaisuja turvallisuuskykyisyyksiin
- asettamalla “hyvän naapurin” vaatimukset laitoksille, kuten pieni ympäristöarastus, kevennetyt valmiusvaatimukset ja käytöstäpoiston huomioon ottaminen suunnitteluvaiheessa.

Tähdet: viidestä yhdeksään

EUR-asiakirjojen kansissa on EU:n tähtitunnusta muistuttava EUR-tunnus, joka sisältää yhtä monta tähteä kuin on voimayhtiöitä mukana EUR-työssä. Kun työ alkoi vuoden 1991 lopulla, mukana oli viisi voimayhtiötä ja tunnuksessa viisi tähteä.

Aloitteen EUR-asiakirjan laatimiseksi teki Electricité de France (EDF), ja EDF on myös huolehtinut työn vaatimasta sihteeristöstä. Muut alkuperäiset EUR-voimayhtiöt ovat Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) edustaen Saksaa, Tractebel (TBL) edustaen Belgiaa, British Energy plc (BE) (aluksi Nuclear Electric) edustaen Iso-Britanniaa ja Agrupación Eléctrica para el Desarrollo Tecnológico Nuclear (DTN) (aluksi Unidad Eléctrica SA) edustaen Espanjaa.

Kaksi muuta voimayhtiötä, ENEL SpA edustaen Italiaa ja KEMA Nederland BV edustaen Alankomaita, tulivat mukaan ensin liittäntäjäjäsenenä vuonna 1993 ja täysjäsenenä seuraavana vuonna.

Suomessa seurattiin kiinnostuksella EUR-työn alkuvaiheita, ja ensimmäisiä EUR-asiakirjoja kommentoitiin sekä IVO:n että TVO:n toimesta vuonna 1994. Suomen ja Ruotsin liittyttyä vuonna

1995 EU:n jäseniksi avautui lopullisesti mahdollisuus liittyä EUR:n jäseneksi. Liittymisprosessissa noudatettiin EUR-sopimuksen mukaista menettelyä: Suomi ja Ruotsi hyväksyttiin liittäntäjäjäseniksi vuoden 1995 lopulla ja täysjäseniksi vuotta myöhemmin. Suomea edustavat EUR-työssä tasaveroisesti IVO ja TVO. Ruotsia taas edustaa Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA). Näin tähtien lukumäärä EUR-tunnuksessa kasvoi nykyiseen määräänsä yhdeksään.

Volyymit ja revisiitot

Laajan asiakirjan laatiminen ei käy hetkessä ja edellyttää vaiheittaista työskentelyä. *Volume 1* ja *Volume 2* julkaistiin *Revision A* -versiona maaliskuussa 1994. Tässä vaiheessa asiakirja käsitteli lähinnä suuria evoluutiotyypin PWR-laitoksia, ts. lähtökohtana oli EPR. *Revision A* lähetettiin laajalle lausuntokierrokselle, jonka perusteella laadittiin *Revision B*. Se julkaistiin tammikuussa 1996. *Revision B* on *Revision A*:ta kattavampi, koska siinä on otettu huomioon myös BWR-laitokset ja passiiviset LWR-laitokset. Mahdollisuuksien mukaan otettiin huomioon myös URD-asiakirja, vaikka sen lähtökohta on erilainen kuin EUR:n: se käsittelee nimenomaisia laitoskonsepteja.

Volume 4 julkaistiin *Revision A* -versiona vuoden 1996 lopussa. Myös siitä on tarkoitus tehdä *Revision B* myöhemmässä vaiheessa.

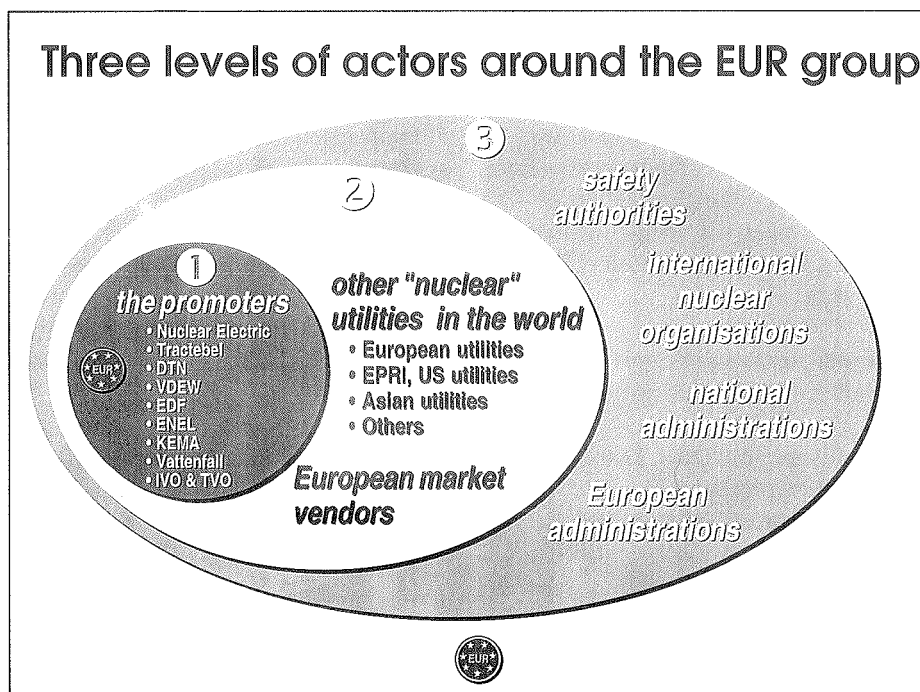
Volume 3 poikkeaa muista kansioista sillä tavoin, että niitä laaditaan useita. Tällä hetkellä ovat tekeillä kolme laitoskonseptia koskevat kansiot: EPR, BWR 90 ja EPP. Näiden kolmen kansion valmistuttua jatketaan muilla konsepteilla. Tarjokkaista ei ainakaan ole puutetta, sillä lähes kaikki laitostoimitajat ovat kiinnostuneita saamaan oman konseptinsa EUR-asiakirjan osaksi. Kussakin *Volume 3*:ssa tulee olemaan sekä laitoskonseptin kuvaus että arvio siitä, kuinka se täyttää EUR-vaatimukset.

Yhteistyö on voimaa

EUR-asiakirjan kirjoittamisesta huolehtivat EU-maiden voimayhtiöt, jotka ovat perustaneet työn suorittamista varten oman organisaation. Voimayhtiöt eivät toki toimi itseriitteisesti, vaan ne pitävät tiivistä yhteyttä muihin eurooppalaisiin ydinvoimaorganisaatioihin. Tällä varmistetaan se, että kaikki mahdolliset näkemykset tulevat otetuiksi huomioon.

EUR-työ tapahtuu fyysisesti EDF:n SEPTEN-yksikössä Villeurbannessa Lyonin vieressä. Siellä on EUR-sihteeristö, joka huolehtii asiakirjojen kokoomisesta ja viimeistelystä sekä EUR-hallinnosta. EUR-projektin johtamista varten on perustettu pysyvät elimet *Steering committee* ja *Administration group*, joista kummassakin on edustaja kaikista EUR-jäsenyhtiöistä. *Steering committee* päättää EUR-strategiasta ja EUR:ssä sovellettavista periaatteista sekä suhteista ulkopuolisiin tahoihin. *Administration group* vastaa projektin käytännön johtamisesta ja EUR-asiakirjojen teknisestä tarkastamisesta. Kantavana periaatteena EUR-työssä on konsensus-periaatteen noudattaminen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että asioista keskustellaan niin kauan, että yhteisymmärrys saavutetaan.

Pysyvien ryhmien lisäksi EUR-organisaatioon kuuluu *Topical working group* -nimikettä käyttäviä ryhmiä erilaisia aihekohtaisia töitä varten ja *Coordina-*



EUR-asiakirjat

Volume 1, Main policies and top tier requirements: keskeiset suunnitteluvaatimukset ja asiakirjaa laadittaessa sovelletut pääperiaatteet

Volume 2, Generic nuclear island requirements: kaikki reaktorilaitosta koskevat yleiset vaatimukset ja suositukset

Volume 3, Specific nuclear island requirements: joukko kansioita, joista kukin kuvaa yhden laitoskonseptin reaktorilaitoskohtaiset vaatimukset ja suositukset

Volume 4, Power generation plant requirements: turbogeneraattorilaitosta koskevat yleiset vaatimukset

tion group -nimeä kantavia ryhmiä EUR:n eri osien laatimista varten. Tällä hetkellä aktiiviset aihekohtaiset ryhmät käsittelevät instrumentointia ja PSA:ta. Lisäksi turvallisuusryhmä on aktivoitumassa. Aikaisempia ryhmiä olivat mm. BWR-ryhmä ja URD-vertailuryhmä. Koordinointiryhmät työskentelevät tätä nykyä *Volume 3:n* laatimiseksi EPR:lle, BWR 90:lle ja EPP:lle. Aihekohtaisten ryhmien työhön osallistuvat niistä kiinnostuneet yhtiöt.

Koska Suomesta osallistuvat IVO ja TVO tasaveroisina, edustukset eri ryhmissä on jaettu yhtiöiden kesken tasa- ja kiinnostusperiaatteella. Edellistä sovelletaan varsinkin pysyviin ja aihekohtaisiin ryhmiin: esimerkiksi *Steering committee*ssa on ollut IVO:n edustaja ja *Administration group*issa TVO:n. Jälkimmäinen periaate pätee etenkin koordinointiryhmiin: vakiintuneen käytännön mukaan IVO hoitaa PWR-laitokset ja TVO BWR-laitokset.

Tärkeimmät vaatimukset: jotain uutta, jotain vanhaa

Koska tavoitteena on kilpailukykyinen sähköntuotantolaitos, niin perinteisten turvallisuuden tähtävien vaatimusten rinnalle on otettu taloudellisuutta korostavia vaatimuksia. 600–1 500 MW:n laitoksen yliön investointikustannukselle on asetettu tavoitteeksi 1 100 ECU/kW vuoden 1995 rahassa. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi laitoksen tulee olla yksinkertainen standardilaitos, sen rakentamisajan tulee olla lyhyt ja sen käyttö- ja huoltokustannusten tulee olla alhaiset.

Tavoitteena on, että EUR-voimayhtiöt edistävät sellaisten laitoskonseptien kehittämistä, jotka ovat rakennettavissa mihin tahansa jäsenmaahan. Lisäsäätöjä voidaan saada, mikäli joitain laitospaikasta johtuvia vaatimuksia on mahdollista lieventää; esimerkiksi sopivat seismisyys- tai lentokoneentörmäysvaatimukset.

Laitoksen turvallisuuden tulee perustua koeteltuihin deterministisiin vaatimuksiin ja menetelmiin, joita täydennetään todennäköisyyspohjaisilla menetelmillä käyttäen hyväksi numeerisia tavoitteita ja analyyseja. Perustana on mm. INSAG-3:ssa esitetty *Defense in Depth* -periaate. Perinteisten kolmen turvallisuustason lisäksi EUR-vaatimuksissa on esitetty neljäs taso, jota kutsutaan vakavien onnettomuuksien estämiseksi ja niiden seurausten rajoittamiseksi. Tämä neljäs taso otetaan huomioon ns. *Design Extension Conditions* -tilanteiden avulla. Ne ovat monimutkaisia onnettomuusketjuja ja vakavia onnettomuuksia, jotka eivät sisälly suunnittelun lähtökohtiin ja joiden esiintymistodennäköisyys on hyvin pieni. Niiden analysoinnissa käytetään realistisia menetelmiä eikä yksittäisvikakriteeriä tarvitse soveltaa niihin varauduttaessa.

Suunnitteluperusteissa mainittujen onnettomuustilanteiden seuraukset laitoksen ympäristössä eivät saa aiheuttaa evakuointi- tai suojaustarvetta. Rajoitettu maataloustuotteiden käyttökielto sallitaan, koska EU:n asettamat aktiivisuusrajat myytävälle ruokatarvikkeille ovat erittäin alhaiset. EUR asettaa onnettomuustilanteita koskevat vaatimuksensa aktiivisuuspäästölle eikä sen

aiheuttamalle annokselle, jotta suunnittelu ei riipu laitospaikasta.

Vakavien reaktorionnettomuuksien osalta lähtökohtana on

- ettei ole tarvetta minkäänlaisille toimenpiteille ympäristössä ensimmäisen vuorokauden aikana,
- ettei ole evakuointitarvetta myöhemminkään 2–3 kilometrin etäisyyden ulkopuolella ja
- että tarve rajoittaa maataloustuotteiden käyttöä rajoitetulta alueelta saa kestää korkeintaan yhden vuoden.

Näihin tavoitteisiin pääsemiseksi jodille, ksenonille ja cesiumille on asetettu lyhyen ajan (24 h) ja pitkän ajan päästörajat. Todennäköisyyspohjaisiksi tavoitteiksi vakavien onnettomuuksien osalta on otettu IAEA:n esittämät tavoitteet:

- sydämensulamistaajuuden on oltava pienempi kuin 10^{-5} /vuosi ja
- suuren päästön todennäköisyyden (asetetut päästörajat ylittävä päästö) pienempi kuin 10^{-6} /vuosi.

Laitospaikkaan liittyvistä vaatimuksista lentokoneen törmäyksen ja paineaallon osalta on edelleen olemassa merkittäviä eroja eri maissa sovellettujen käytäntöjen osalta. Euroopassa on laitospaikkoja, joissa vaaditaan suojautumista vain pienkoneen törmäyksen varalta, ja laitospaikkoja, joissa vaaditaan suojautumista sotilaskoneen ja ison liikennekoneen törmäyksen varalta. Lähtökohtana on, että kussakin tapauksessa laitoksen turvallisuudelle tärkeät rakenteet ja laitteet asianmukaisesti suojataan.

Maanjäristyksen osalta laitokset tulee suunnitella kestäväksi *EUR Design Basis Earthquake*, European DBE. Tämä DBE määritellään suunnittelukiihtyvyytenä maanpinnan tasolla, 0,25 g, ja kolmena, erilaisia laitospaikkoja kuvaavina vastespektreinä.

Vaatimukset sisältävät myös piirteitä, joiden tarkoituksena on tehdä tulevat ydinvoimalaitokset käyttäjystävällisiksi. Tähän pyritään minimoimalla tarvittavat käyttö- ja huoltotoimenpiteet. Keinoina käytetään suurempia marginaaleja, yksinkertaisia järjestelmiä, laitoksen luontaisen käyttäytymisen optimointia ja kehittyneitä kone-ihmi-

Tärkeimmät EUR:n asettamat laitoksen suorituskytavoitteet

Laitoksen koko	600–1 500 MWe
Kuorman pudotus ja verkkoyhteyden menetys	kestettävä ilman pikasulkua
Latausväli	12–24 kuukautta
Kuormanseurantakyky	kytettävä ilman boorin laimennusta
Käytetyn polttoaineen varaston kapasiteetti	15 vuotta ja yksi sydän
Kiinteän aktiivisen jätteen tuotto	alle 50 m ³ /vuosi
Kollektiivinen annos	alle 0,7 manSv/GWvuosi
Laitoksen suunnitteluikä	40 vuotta ilman perusparannuksia
Komponenttien ja rakenteiden suunnitteluikä	60 vuotta laitteille, joita ei voida vaihtaa
Käytettävyystvoite	yli 87 % koko käyttöiälle
Keskimääräinen seisokkiaika	alle 25 päivää
Ennakoimattomat pikasulut	yksi 7 000 tuntia kohti laitoksen ollessa kriittinen

nen-järjestelyjä. Muutoinkin tavoitteena on varmistaa rakenteiden, järjestelmien ja komponenttien korkea luotettavuus.

Eräs uusi vaatimus, joka ei ainakaan toistaiseksi koske Suomea, on mahdollisuus käyttää 50 % MOX-polttoainetta. Tätä vaaditaan samanaikaisesti 24 kuukauden latausvälin ja vähäboorisen sydämen kanssa, mikä antaa uusia haasteita reaktorisydämen suunnitteluun.

Entä tästä eteenpäin?

Volume 3:n laatiminen kolmelle eri laitostyöskäytäville on suurin ja tärkein meneillään oleva työ EUR:n puitteissa. *Volume 3:n* laatiminen EPR-käytäville alkoi jo vuonna 1996 ja siihen osallistuvat EDF:n ja VDEW:n lisäksi myös DTN ja IVO varsinaisen EPR:n kehittämisprojektin ulkopuolelta. EUR:n puitteissa pidetään hyvänä asiana, jos *Volume 3:n* laadinnassa on mukana kehitysprojektin ulkopuolisia organisaatioita,

vaikka se tuottaa tiettyjä vaikeuksia suunnittelumateriaalin saatavuuden suhteen. EPR-työn arvioidaan valmistuvan vuoden 1998 aikana. Tämä ensimmäinen *Volume 3* -projekti toimii tien avaajana muille vastaaville projekteille.

Tänä vuonna on alkanut kaksi muuta *Volume 3* -projektiä, toinen ABB Ato-min BWR 90 -laitoskonseptille ja toinen Westinghousen EPP-käytäville. Ensinmainittuun osallistuvat varsinaisella työpanoksella FKA, KEMA ja TVO sekä "tukijan" roolissa EDF. Jälkimmäisessä ovat mukana kaikki ne seitsemän voimayhtiötä, jotka ovat osallistuneet käytävin kehittelyyn: EDF, TBL, ENEL, DTN ja IVO sekä Ringhalsin voimalaitos ja voimayhtiö NOK Sveitsistä. Myös näiden *Volume 3* -projektien arvioidaan valmistuvan vuoden 1998 loppuun mennessä. Vasta tämän jälkeen on tarkoitus aloittaa mahdolliset muut *Volume 3* -projektit.

Volume 4 Revision A on parastaikaa kommentteilla muilla voimayhtiöillä ja laitostoimittajilla. Kommentit saadaan tänä vuonna ja *Revision B* laaditaan myöhemmin niiden perusteella.

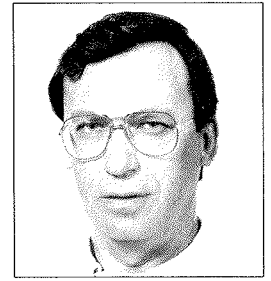
Volume 1 ja 2 ovat virallisesti jäädytetyt *Revision B* -versioiksi, eikä niiden osalta ole tässä vaiheessa menossa eikä suunnitteilla mitään kehitystyötä. Asiakirjat ovat kommentoitavina osanottajamaiden viranomaisilla, jotka käyvät niitä läpi yhteistyönä. EUR-organisaatio odottaa keskustelujen viranomaisten kanssa alkavan tämän vuoden lopulla. Mahdollisesta tarpeesta laatia *Revision C Volume 1 ja 2*:sta päätetään, kun keskustelut viranomaisten kanssa on käyty ja kun kaikki kolme meneillään olevaa *Volume 3* -projektiä on saatu valmiiksi. *Revision C* -työ alkaisi aikaisintaan vuonna 1998 ja valmistuisi vuoden 1999 aikana.

Tärkeä rooli EUR-työssä tulee jatkossa olemaan myöskin EUR International Utility Advisory Committeeella. Sen tarkoituksena on antaa EUR-työstä kiinnostuneille, EUR-organisaation ulkopuolella oleville organisaatioille tietoa EUR-työn kehityksestä ja mahdollisuus esittää näkemyksensä EUR-vaatimuksista. Tämän komitean ensimmäinen kokous pidettiin syksyllä 1995, jolloin sekä IVO että TVO osallistuiivat siihen, koska Suomi ei vielä ollut EUR:n liittännäisjäsen. Komitean kokouksiin osallistumalla kiinnostuksensa EUR-työtä kohtaan ovat osoittaneet erityisesti Aasian maat, Japani, Etelä Korea, Kiina ja Taiwan. Myös usean Euroopan maan voimayhtiö on ollut edustettuna pidetyissä kokouksissa.

DI **Matti Koms**i on IVO PE:n turvallisuus- ja polttoainetoimiston päällikkö ja EU:n Steering committeeen jäsen, p. (09) 8561 2461; E-mail: matti.koms@ivo.fi

TkL **Eero Patrakka** on Teollisuuden Voima Oy:n kehityspäällikkö ja EU:n Administration groupin jäsen, p. (02) 8381 3300; E-mail: eero.patrakka@tvo.tvo.elisa.fi

ITER-FUUSIOREAKTORIN SUUNNITTELU LOPPUSUORALLA

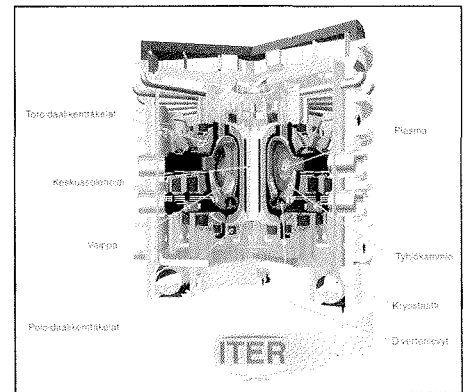


ITERin suunnitteluvaihe lähestyy loppuaan, mutta tilanne ei ole vielä kypsä rakentamispäätökselle. Osapuolet valmistelevat kolmen vuoden jatkoa ensi vuonna päättyvälle suunnitteluvaiheelle. Avoimia kysymyksiä ovat mm. lupa-asiat ja sijoituspaikkakohtaiset erityisongelmat sekä ITERin kriittisimpien komponenttiprototien testitulokset. Rakentamispäätös tulee olemaan poliittisesti vaikea, ja avainkysymys on kustannusten jako isäntämaan ja muiden osallistujien välillä.

Euroopan, Japanin, USAn ja Venäjän yhteinen fuusiokooreaktori-hanke ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) on lähestymässä yksityiskohtaisen suunnitteluvaiheen (EDA, Engineering Design Activities) loppumetrejä. Kuiden vuoden urakasta on jäljellä vajaa vuosi, sillä EDA-sopimus päättyy heinäkuussa 1998. Tähänastinen työ on raportoitu kolmessa perusteellisessa ITER raportissa (Outline Design 1993, Interim Design 1995 ja Detailed Design 1996) ja lopullinen raportti (Final Design) valmistuu vuonna 1998.

ITERin suunnittelutiimi on jakaantunut kolmeen paikkaan: projektin johto ja suunnittelun intergrounti San Diegossa USAssa, tokamak-sydämen suunnittelu Garchingissa Saksassa ja oheislaitteet Nakassa Japanissa. Projektia valvoo ja ohjaa ITER Council, jonka päämaja on Moskovassa.

Valtaosa ITER EDAn työstä tehdään kunkin osapuolen kotilaboratorioissa. Kotijoukkueet toimivat kiinteässä vuorovaikutuksessa suunnittelutiimin kanssa. Suomi hyppäsi EU:n joukkueeseen EDAn ollessa jo täydessä vauhdissa keväällä 1995 ja on aktiivisella osallistumisella lunastanut hyvin paikkansa Euroopan kotijoukkueessa.



ITER fuusioreaktorin sydän ja pääkomponentit.

ITERin ja JETin vertailu

	ITER	JET
Iso säde	8.14 m	2.96 m
Pikku säde	2.8 m	1.25 m
Plasmavirta	21 MA	7 MA
Toroidaalikenttä	5.7 T	3.45 T
Fuusioteho	1.5 GW	10-20 MW
Pulssin pituus	1000 s - ∞	10 s

ITER tokamak osoittaa fuusion mahdollisuudet

ITER on tokamak-tyyppinen fuusiolaitte, jossa plasmaa koossapitävä magneettikenttä tuotetaan ulkoisilla magneeteilla ja plasmaan indusoidavalla virralla. ITERin suunnittelussa on päädytty alla oleviin pääparametreihin. Vertailukohteenä on tämän hetken suurin tokamak JET (Joint European Torus).

ITERin toroidaalinen magneettikenttä synnytetään 20 suprajohtavalla toridaalikelalla. Plasmavirta indusoidaan keskus-solenoidilla ja plasman muotoilu ja asemointi tehdään kahdeksalla poloi-

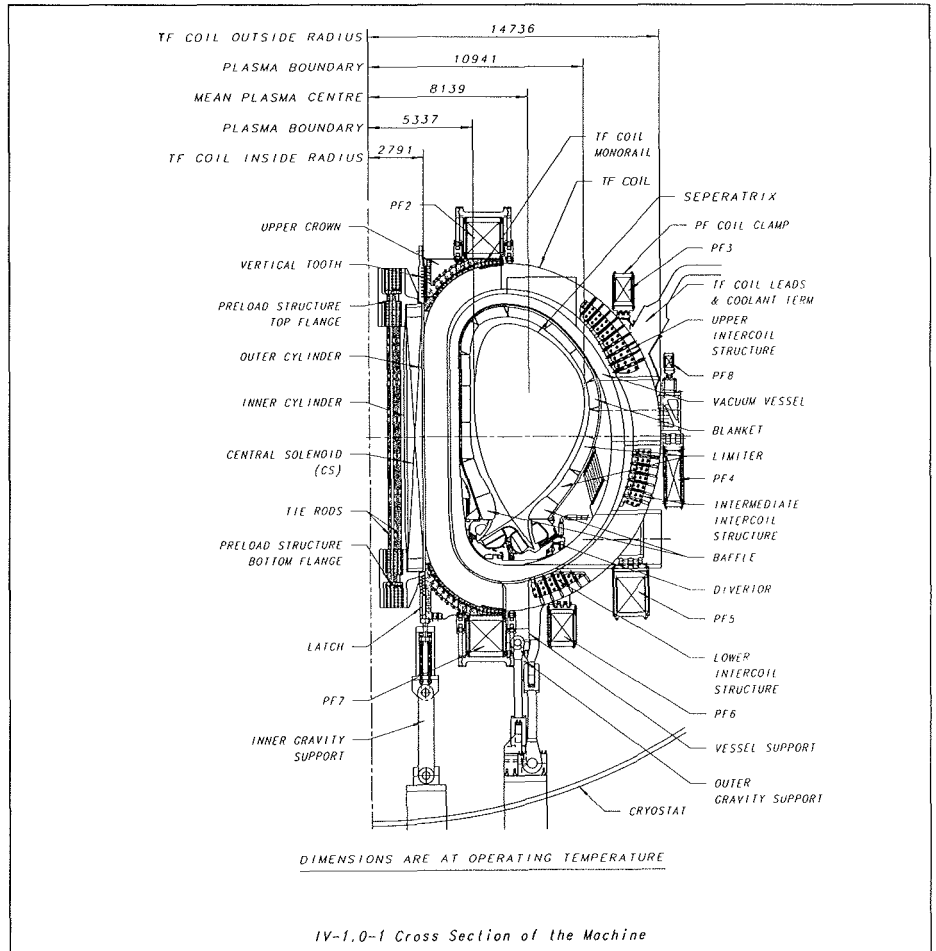
daalikelalla. Toroidaalikelojen ja keskussolenoidin suprajohteena käytetään niobi-tinaa (Nb_3Sn). Useimmissa poloidaalikeloissa selvittää niobi-titaani-suprajohteella.

ITERin yleistavoitteena on osoittaa lopullisesti fuusioenergian teknis-tieteellinen toteutettavuus. Ohjelmallisena tavoitteena on plasman sytyttäminen ja pitkä yli 1 000 sekunnin hallittu fuusio-palo tehoasolla 1 500 MW. Plasman kuumentaminen syttymislämpötilaan noin 10^8 K-astetta suoritetaan neutraali-suihkuilla ja radiotaajuusaloilla, joiden yhteisteho on 100 MW. Kuumennus-tehoa tarvitaan vain joitakin kymmeniä sekunteja, jonka jälkeen fuusio-palo ylläpitää itsensä. Lopullisena päämääränä on ITERin jatkuvatoimisuus, mikä edellyttää indukstiivisen plasmavirran korvaamista jatkuvalla virralla. Tämä on mahdollista neutraalisuihkujen ja rfaaltojen avulla.

Fysiikka hallitaan pääosin

ITERin fysiikkakysymykset ovat pääpiirteittäin hallinnassa johtuen konservatiivisesta suunnittelusta. Tärkeimpiä kysymyksiä ovat nk. H-moodin kynnysteho ja plasmapartikkelien aiheuttama divertorilevyjen lämpökuormitus. Hyvän koossapidon (H-moodi) saavuttaminen on välttämätön edellytys plasman sytyttämiselle, mikä on ITER-mission tärkein tavoite. JETin viimeisimmät DT-tulokset ennakoivat, että ITERille suunniteltu kuumennusteho riittää H-moodin käynnistämiseen. Tällöin ITER syttymismarginaali on riittävä.

Divertori ottaa vastaan 300 MW lämpökuorman, mikä on 20 % (alfapartikkelien osuus) kokonaisfuusiotehosta 1 500 MW. Divertorikonfiguraatiossa plasman reunan määrää nk. separatrix-pinta, jonka sisäpuolella magneettiset voimaviivat ovat sulkeutuvia. Separatrixin ulkopuoliset voimaviivat johtavat divertorilevyille. Lämpökuormitus on seurausta separatrixin ulkopuolisille voimaviivoille diffundoituneista plasman partikkeleista, jotka virtaavat voimaviivoja pitkin divertorilevyille.



ITER-tokamakin poikkileikkaus.

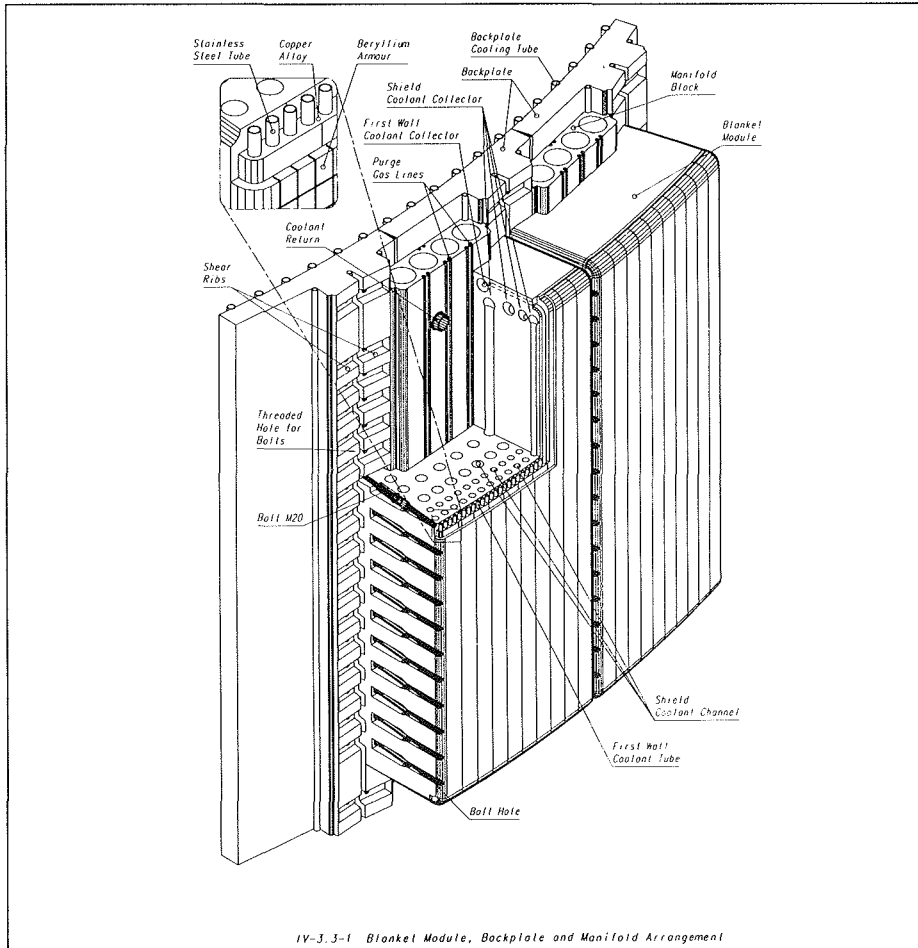
Kuormitus ilman lisätoimenpiteitä olisi peräti 30 MW/m^2 , mitä mikään materiaali ei siedä. Ratkaisuksi on tarjottu raskaan kaasun kuten neonin puhaltamista divertorialueelle. Tällöin hiukkasvirran aiheuttamat neonin eksitaation konvertoivat merkittävän osan hiukkas-ten liike-energiasta säteilyenergiaksi, joka leviää ympäri plasmakammion. Näin divertorilevyjen kuormitus voidaan pudottaa 5 MW/m^2 tasolle, mikä on juuri ja juuri siedettävä.

Menetelmä on demonstroitu saksalaisella ASDEX-tokamakilla, jolla yli 80 % divertorille tulevasta partikkelien liike-energiasta on konvertoitu säteilyksi. Pulmana on neonin ajautuminen plasmaan ja jarrutus säteilyhäviöiden kasvu, mikä ei ole suotavaa. Suljetumpi divertorikonfiguraation ja isompi plasma helpottavat ongelmaa. Tästä saataneen näyttöä lähitulevaisuuden JET-kokeista Mark II Gas-Box divertorilla, joka muistuttaa ITERille suunniteltua divertoria.

Seitsemän demonstraatioprojektia

ITER EDA -vaihe käsittää yksityiskoh- taisen laitesuunnittelun ja fysiikkaohjel- man lisäksi seitsemän suurta demon- straatioprojektia, jotka käsittelevät ITERin kriittisimpiä komponentteja. Näitä ovat toroidaalikelamalli, keskussolenoidin mallikela (kumpikin Nb_3Sn suprajohteesta), täysimittainen divertori- kasetti, divertorikasettien vaihto- ja käsittelysystemi, vaippamoduli, vaip- pamodulin vaihtorobotti ja vakuumi- kammion sektori. Euroopan vastuulla ovat toroidaalimagneetti, vaippamoduli ja divertorikasetin kauko-ohjattu käsitte- lysystemi.

ITERin tämänhetkinen arvio rakennus- kustannuksiksi on 6300 MECUa, joka jakaantuu kymmenelle vuodelle. Kus- tannusarvio on laadittu teollisuudessa, ja sitä täsmennetään kaiken aikaa suunnit- telun edetessä. Koneen valmistumisen jälkeen vuotuisiksi käyttökustannuksiksi ennakoidaan 340–430 MECUa vuodes-



IV-3.3-1 Blanket Module, Backplate and Manifold Arrangement

ITERin vaippamoduli plasmasta päin katsottuna. Plasmaa kohtaavana materiaalina on beryllium, jonka alla on jäähdytysputkistolla varustettu kuparilevy liitettyä teräsrakenteeseen. Suomessa on karakterisoitu rakenteen erimetalliliitoksia ja kupariseosehdokkaita (VTT VAL, High Speed Tech, Outokumpu Poricopper).

1998. Näin voitaisiin käydä käsiksi lupasoihiin ja muihin sijoituspaikkakohtaisiin kysymyksiin. Tämä on osoittautunut mahdolltomaksi osin poliittisista syistä ja osin suunnittelun viivästyksistä eräiden kriittisten komponenttien osalta. ITER Council käynnisti heinäkuussa pidetyssä 12. kokouksessaan Tampereella valmistelut kolmen vuoden jatko-ohjelmaksi EDAn päättymisen jälkeen. Ohjelma sisältää lupakysymykset ja edellä mainittujen prototyyppien (seitsemän demoprojektia) testaukset. Lisäksi voidaan täydentää ITERin fysiikkapohjaa mm. JETin fuusiopalo- ja divertorikokeilla. Jatko-ohjelman T&K-kustannuksiksi arvioidaan noin 200 MECUa.

Eurooppa selkeästi ITERin takana

sa. Euroopalle tämä merkitsisi suurinpiirtein JET vuotuisia kustannuksia sen aktiivisimpina vuosina.

ITERin sijoituspaikaksi Japani on tarjonnut kolmea paikkaa, ja Euroopalla on tällä hetkellä yksi virallinen ehdokas eteläisessä Italiassa. Kanada on mielenkiintoinen musta hevonen, sillä se osallistuu ITER EDAn Euroopan tiimissä ja sijaitsee lähellä Yhdysvaltoja. Kanadan valttina on tritiumin paikallinen saatavuus sijoituspaikan viereisistä Candu-reaktoreista.

Ratkaisematta on myös isäntänä toimivan osapuolen maksuosuus rakennuskustannuksista. Lähtökohtana on, että ITERin fuusiotekninen sydän (project core) jaetaan tasan osapuolten välillä ja ei-fuusiotekninen osa infrastruktureineen jää isännän maksettavaksi. Näin laskien isäntämaan osuudeksi tulee 50–70 % ja muiden osuudeksi 10–15 % rakennuskustannuksista. Siten ITERin rakentaminen Japaniin maksaisi Euroopalle 60–100 MECUa vuodessa. Tämä

vastaa pyöreästi JETin vuotuisia kustannuksia ja olisi mahdollinen toteuttaa lähes nykyisellä rahoitustasolla. Sitä vastoin ITERin rakentaminen Eurooppaan nielisi rakennusaikana 300–450 MECUa vuodessa, mikä ylittäisi selvästi nykyisen fuusio-ohjelman rahoitustason noin 220 MECUa vuodessa.

USAn epärointi on lisännyt epävarmuutta tehdä rakennuspäätös nopeasti. Siellä käydään perusteellista keskustelua fuusio-ohjelman painotuksesta joko ITERin tai kansallisen ohjelman suuntaan. ITERin kannattajien argumenttina on että, USAn kansallinen ohjelma ilman ITERiä jäisi yliopistovetoiseksi tiedepainotteiseksi ohjelmaksi ilman konkreettisia yhteisiä tavoitteita. EU:n ohjelmastrategia on Japanin ohjelman tavoin reaktoripainotteinen, jolla pyritään askeleittain kohti demonstraatiovoimaa (JET, Next Step/ITER ja DEMO).

Alkuperäisen suunnitelman mukaan ITERin sijoituspaikka pitäisi päättää jo ennen EDA vaiheen loppua heinäkuussa

“Fuusio on säilytettävä Euroopan tulevaisuuden energiavaihtoehtojen joukossa”, lausuu riippumattomista asiantuntijoista koottu Sergio Barabashin johtama raati, joka suoritti EU:n fuusio-ohjelman syvällisen arvioinnin vuoden 1996 aikana. Lisäksi raati esitti, että Euroopan tulee pyrkiä ITERin isännäksi, sillä vain siten voidaan turvata eurooppalaisen teollisuuden täysipainoinen osallistuminen hankkeeseen ja kriittisen fuusioteknologian hallitseminen Euroopassa. Raadin mukaan Euroopan tulee sitoutua vahvasti ITER-hankkeeseen ja pitää se ykkösprioriteettina myös siinä tapauksessa, että ITER rakennetaan muualle.

EU-komission ehdotuksessa viidenneksi puiteohjelmaksi on Euratom-ohjelmille fuusio ja fissioturvallisuus esitetty 7 %:n osuutta koko puiteohjelman budjetista, joka on 16 300 MECU. Tämä vastaa Euratom-ohjelmien nykytason säilyttämistä. Fuusio on yksi puiteohjelman avaintoiminnosta ja sisältyy kolmanteen temaattiseen ohjelmaan “kilpailukyky-

Suomalaisten vastuulla olevat ITER-projektit ja tekijät

ICRF-kuumentimen siirtolinja / tyhjöikkunna

VTT ENE, VTT VAL, TKK TF, Imatran Voima Oy

Cu/SS Explosion Welding

VTT VAL, High Speed Tech Oy, Outokumpu Poricopper Oy

Plasma Facing Armour Materials

HY KL, VTT KET, VTT VAL, Diarc Technology Oy

High Strength Copper Alloys

VTT VAL, Outokumpu Poricopper Oy

NbTi & Nb₃Sn Superconductor Development

Outokumpu Superconductors Oy

Divertor Refurbishment Plant / Waterhydraulic Tools

TTKK IHA, Hytar Oy

In-Vessel Viewing System (IVVS)

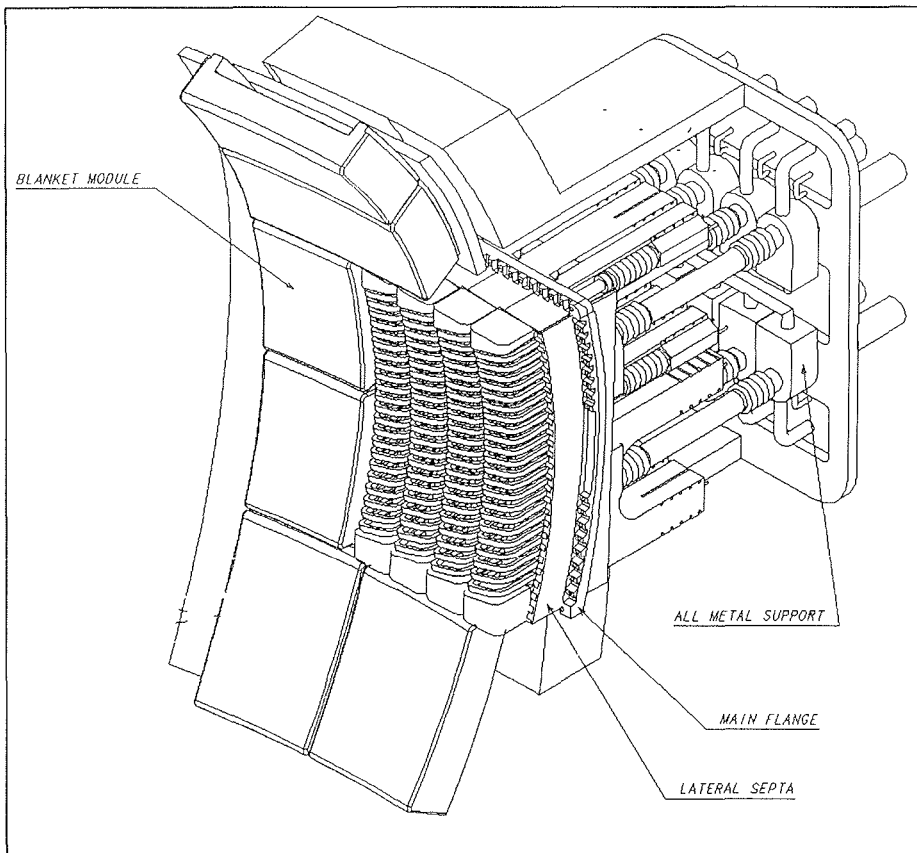
VTT AUT, VTT ELE, TKK AUT, Imatran Voima Oy

nen ja kestävä kasvu". Reaktorikeskeinen strategia jatkuu ja teollisuuden rooli tulee entisestään kasvamaan.

Suomen panos ITER EDAssa

Suomessa tehtävä fuusioteknologiatutkimus tapahtuu Tekesin kansallisessa FFUSION fuusioenergian tutkimusohjelmassa. Työhön osallistuu viisi VTT:n tutkimusyksikköä, kaksi TKK:n laboratoriota, yksi TTKK:n laitos, HY:n kiihdytinlaboratorio ja useita teollisuuslaitoksia. Ohjelmaa koordinoi VTT Energia. Suomen ohjelma on integroitu osaksi EU:n fuusio-ohjelmaa. Erikoistumisalueet on sovittu assosiaatiosopimuksessa Euratomin kanssa. Suomessa keskitytään fuusioplasmojen radiotaajuuskumennukseen, reaktorin ensiseinä- ja lämmönvaihtimen materiaaleihin ja liitostekniikoihin sekä kauko-ohjattuihin huolto- ja katselujärjestelmiin. Sopimus takaa myös komission perusrahoituksen Suomessa tehtävälle fuusiotutkimukselle. Teollisuus on mukana kaikissa Suomen ITER-projekteissa.

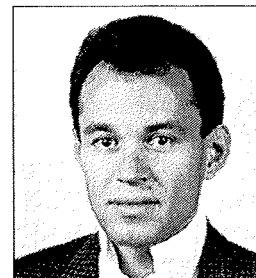
Fysiikkaohjelmassa suomalaiset osallistuvat Eurooppalaisten tokamak-kokeiden tulosten analysointiin. Kiinteää yhteistyötä tehdään tällä hetkellä JETin, Saksan ASDEX-tokamakin ja Wendelstein-stellaraattorin sekä Ranskan Tore Supran kanssa.



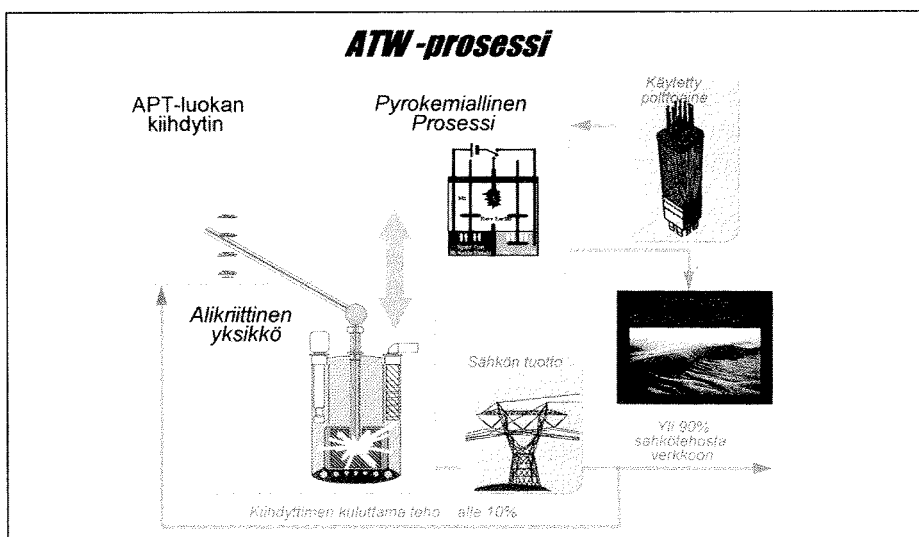
ITERin ICRF-kuumennin plasmasta katsottuna. Sillä eksitoidaan plasman kuumentamiseen käytettäviä ionisyklotroniaaltoja 50 MHz alueella. Kuumentimen siirtolinjan tyhjöikkunna-alue on suunniteltu Suomessa (VTT ENE, VTT VAL, IVO).

TkT Seppo Karttunen on
VTT Energian erikoistutkija ja
FFUSION-tutkimusohjelman
johtaja, p. (09) 456 5069;
E-mail: seppo.karttunen@vtt.fi

KIIHDYTINAVUSTEINEN TRANSMUTAATIO LOS ALAMOSISSA



Amerikkalaiset ovat jo jonkin aikaa olleet huolissaan siitä, että he ydinjätteiden jälleenkäsittelyhankkeiden lopettamisen myötä jäävät eräillä ydintekniikan aloilla jälkeen Euroopasta ja Japanista. Presidentti Carterin ajatus, että Yhdysvaltojen päätös luopua jälleenkäsittelystä toimisi esimerkinä, jota muut maat seuraisivat, ei täysin toteutunut. Nyt Yhdysvallatkin on pikku hiljaa myöntymässä MOX-polttoaineen käyttöön.



Prometallurgista erottelutekniikkaa on kehitelty pitkälle mm. Argonne National Laboratory:ssa ensisijaisesti puolustusteollisuuden tarpeisiin. Los Alamos National Laboratory:ssa puolestaan pyritään pysymään transmutaatiotutkimuksen eturintamassa.

Liekö sitten sattumaa vai tšekäläisen ydinteollisuuden alamäen seurausta, että ADTT-ryhmässä (Accelerator-Driven Transmutation Technologies) työskentelee tällä hetkellä vakituisesti tai vierailijana kiinalainen, kaksi korealaisista, ranskalainen, ruotsalainen, suomalainen, venäläinen sekä neljä amerikkalaista, joista yksi on sihteeri. Projektin johtaja, Francesco Venneri, on italialainen. Kaiken kaikkiaan projektin piirissä työskentelee vakituisesti, osa-aikaisesti tai konsultteina noin 20 henkilöä.

ADTT-projektin johtopaikka on ollut tuulinen. Johtaja on vajaan viisivuotisen historian aikana vaihtunut peräti kuusi kertaa. Edellinen johtaja Charles Bowman joutui eläkkeelle kysenalaistettuaan päivälehtien palstoilla Yucca Mountain-loppusijoitushankkeen turvallisuutta.

Bowmanin lähdön myötä taakse jäivät paitsi puheet loppusijoitusluolien tarpeettomuudesta myös kunnianhimoiset suunnitelmat on-line kemiasta ja mm. linkoamiseen perustuvasta erottelumekanismista.

Jossain määrin ADT-teknologiaa, varsinkin sen eurooppalaista variaatiota, leimaa edelleen ylioptimistiset lausunnot ydinjätteen täydellisestä hävittämisestä ja uudesta halvasta energialähteestä. Tämä on tietysti valitettavaa, mutta uudelle kehittyvälle tekniikalle tyypillistä. Samantapaista uhoja esiintyi ydinenergia-aikakauden alussa 50-luvulla, jolloin väitettiin, että reaktorien tuottama sähkö tulee olemaan niin halpaa, ettei siitä kannata edes laskuttaa.

Tänä päivänä Los Alamosin ADTT-hanke nojaa kolmen melko vankan jalan varaan: tritiumin tuotantoon kehitettävään kiihdyttimeen, venäläiseen asiantuntemukseen lyijy-vismuttisulan käsittelyssä ja IFR (Integral Fast Reactor)-hankkeen yhteydessä kehitettyyn jälleenkäsittelytekniikkaan. Hiukan yksinkertaistaen voidaan sanoa, että ADT:n toteutus edellyttää vain näiden jo pitkäl-

le kehiteltyjen laitteiden ja menetelmien yhdistämistä.

ADT-teknikka ja sen lupaukset

Yksinomaan Yhdysvalloissa tulee ensi vuosituhaten alkupuolella (vuonna 2015) olemaan 70 000 tonnia käytettyä ydinpolttainetta. ADTT-hankkeen tavoitteena on pienentää tätä määrää sekä lyhentää vaadittavaa varastointiaikaa tuntuvasti. Osa ydinjätteen haitallisimmista fissiotuotteista (Tc-99 ja I-129) sekä lähes kaikki aktinidijäte voidaan hävittää.

Kun uraani on jälleenkäsittelyn myötä erotettu muusta jätteestä, loppusijoitettavan jätteen määrä vähenee 95 %. Aktinidien polttaminen pienentäisi ydinjätteen pitkän aikavälin radiotoksisuutta tuhannesosaan verrattuna suoraan loppusijoitukseen ja mahdollistaisi jätteen tiiviimmän varastoimisen. Jätteen radiotoksisuutta 10 000 vuoden kuluttua voidaan kenties pitää ns. akateemisenä kysymyksenä, mutta tämä voi silti olla poliittisesti merkittävä asia.

Kiihdytinavusteinen transmutaatio (ADT tai ATW = Accelerator-driven Transmutation of Waste) perustuu tehokkaan protonikiihdyttimen hyödyntämiseen ulkoisena neutronilähteenä. Protonit törmäytetään spallaatiokohtioon, josta raskaiden ytimien pirstoutumisen myötä vapautuu runsaasti neutroneita. Spallaatiokohtio voi olla lyijystä, vismutista, volframista, toriumista tai uraanista. Jokainen lyijy-spallaatiokohtioon osuvaa 1,5 GeV:n protoni vapauttaa noin 50 neutronia. Nämä neutronit siroavat spallatiokohtiota ympäröivään, aktinideja ja transmutoitavia fissiotuotteita sisältävään, alikriittiseen säiliöön.

Alikriittisyys takaa sen, että laitteen toiminta on pitkälle riippumaton polttoaineen koostumuksesta. Tyypillisesti aktinidipolttoaineesta noin 86 % on plutoniumia, amerikumia on 6 %, curiumia 5 % ja neptuniumia 3 %. Luonnollisesti alikriittisyys (keff = 0,95...0,98) on myös turvallisuutta lisäävä tekijä; ketjureaktio on aina

kontrolloitavissa kiihdyttimen tehonsäädön kautta. Koska aktinidit (pääsääntöisesti) fissioituvat nopeassa neutronivuossa (hitaassa neutronivuossa neutronisieppaukset dominoivat, synnyttään uusia aktinideja) jäädyttimenä ja lämmönkuljettimena on käytettävä ainetta, joka hidastaa neutroneita mahdollisimman vähän. Lyijysula sopii tähän tarkoitukseen erinomaisesti ja korkea lämpötila takaa laitteelle hyvän hyötysuhteen.

Yksi 75 % käyttöasteella toimiva APT-luokan kiihdytin pystyy syöttämään protoneita viidelle alikriittiselle, lämpöteholtaan 3 000 MW:n, transmutaatioyksikölle. Nämä viisi yksikköä hävittäisivät vuodessa yhteensä 4,5 tonnia aktinidijätettä ja 2 tonnia fissiotuotteita sekä tuottaisivat kiihdyttimelle kierrätettävän tehon (noin 400 MW) lisäksi sähköä 5 GW:n edestä.

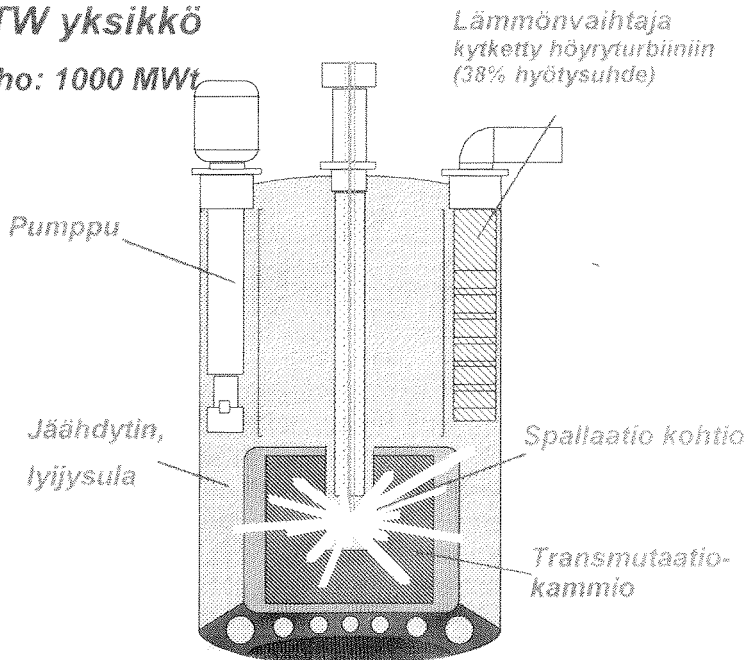
Kiihdyttimen kehitystyö sidoksissa aseellisuuteen

On vielä ratkaisematta tuleeko USA jatkossa tuottamaan vetypommiensa tritiumin ydinreaktorissa vai protonikiihdyttimellä. Kiihdytimeen perustuva vaihtoehto joka tapauksessa selvitetään, ennen kuin lopullinen päätös mahdollisesti jo ensi vuonna tehdään. APT-hanke (Accelerator-driven Production of Tritium), jonka puitteissa kiihdytin suunnitellaan ulottuu vuodelle 2002 ja sen vuosittainen budjetti nousee nykyisestä runsaasta 100 miljoonasta dollarista aina 200 miljoonaan. Eräiden arvioiden mukaan tritiumin tuottaminen entiseen tapaan reaktorissa tulisi selvästi halvemmaksi. Reaktorin rakentaminen tähän tarkoitukseen saattaa kuitenkin olla poliittisesti mahdotonta, koska Yhdysvalloissa on perinteisesti vastustettu laitoksia, jotka yhdistävät sotilaallisen ydintekniikan ja energiantuotannon.

Alikriittinen ATW-yksikkö

ATW yksikkö

Teho: 1000 MWt



● Tehontuotto on aina säädettävissä kiihdyttimeltä käsin

● ATW-laite hävittää aktinideja tehokkaasti

● Alikriittisen laitteen toiminta on riippumaton polttoaineen koostumuksesta

Transuraanit transmutoituvat fissioitumalla

Fissiotuotteet transmutoituvat neutronisieppauksen kautta

APT lineaarikiihdyttimen on määrä tuottaa jatkuva 100 mA:n protonivirta. Protonit saavuttavat 16 kilometrin mittaisessa kiihdyttimessä 1,7 GeV:n energian ja hiukkassuihkun tehoksi tulee siten 170 MW. Vaikka tritiumille ei ole muuta kuin sotilaallista käyttöä sen tuottaminen on kuitenkin luokiteltu siviiliohjelmaksi, joten kehitettävä teknologia tulee olemaan vapaasti myös ADTT-hankkeen ulottuvilla. Toisin kuin esimerkiksi CERN:n ja JAERI:n transmutaatiohjelmissä ADTT-projektin piirissä ei siis suunnitella itse kiihdytintä, mutta kylläkin sitä, miten se mahdollisimman hyvin saadaan liitettyä osaksi kokonaisuutta.

Sotilaallisen kytkennän ja jo myönnetyn rahoituksen perusteella voitaneen pitää melko selvänä, että kiihdyttimen piirustukset ovat käytettävissä silloin, kun niitä ADT-hankkeen toteuttamiseksi ensi vuosituhannen alkupuolella tarvittaisiin. Presidentti Clintonin vaatimuksen mukaan uuden tritiumlähteen on oltava käytettävissä vuonna 2005, on se sitten kiihdytin tai reaktori. Koska APT-laite pystyy tuottamaan tritiumia runsaasti yli tarpeen on myös spekuloitu, että sama protonisuihku voisi palvella sekä transmutaatiota että tritiumohjelmaa.

ADTT-projektin ja IPPE (Institute of Physics and Power Engineering, Obninsk) instituutin välisen sopimuksen mukaan venäläiset toimittavat koekäyttöön tarkoitettua 1 MW lyijy-vismutti spallaatiokohtion vuonna 2000. Sopimuksen arvo on miljoona dollaria ja sen rahoittajana toimii ISTC.

Venäläiset taitavat lyijy-vismuttisulan

Venäläisillä on usean vuosikymmenen kokemus lyijy-vismuttisulan käytöstä ydinsukellusveneiden reaktoreiden jäädyttimenä. Heillä on siten vaadittava tietotaito mm. korroosio-ongelmien hallitsemiseksi. Noin 250 C lyijy-vismuttisulan käsittely on joka tapauksessa tekninen haaste. Sekä Saksalaiset (Forschungszentrum Karlsruhe) että venäläiset tutkijat väittävät, että ongelma on paljon suurempi kuin mitä esimerkiksi lyijyn konvektioon perustuvan EA:n (CERN) kehittäjät uskovat.

Argonne National Laboratoryn Integral Fast Reactor -konsepti, jonka kehittäminen alkoi jo 50-luvun lopulla, tarjoaa itse asiassa pitkälle samat edut kuin ADT-teknologia. IFR-ohjelma kuitenkin lopetettiin proliferaatiohuolten takia pari vuotta sitten. IFR:n etuja olivat (ovat) suljettu polttoainekierto, passiivinen turvallisuus ja korkea polttoaineen hyödyntämisaste. IFR:n käyttämä metallinen polttoaine helpottaa jälleenkäsittelyä merkittävästi. ADTT-projektin on tarkoitus hyödyntää tätä kertynyttä tietotaitoa sekä jälleenkäsittelyssä että polttoainesauvojen valmistuksessa. Yhtä ADT-laitosta palvelevan jälleenkäsittelylaitoksen tulisi pystyä käsittelemään 600 tonnia käytettyä polttoainetta vuodessa.

Tavoitteena toimiva laitos vuonna 2002

ADTT-projektin lähiajan tavoitteena on kehittää transmutaatiotekniikkaa niin pitkälle, että edellytykset päätöksen tekemiselle täyden mittakaavan laitoksen rakentamisesta olisivat olemassa vuoteen 2002 mennessä. Kansainvälinen yhteistyö tulee jatkumaan nykyisellään tai vielä laajempaan. Syksyn kuluessa on mm. tarkoitus järjestää työkokous CERN:n EA-tutkimusryhmän kanssa.

Yllä kuvatuskaltaisen, jokseenkin monimutkaisen, laitteen lopullisia rakennuskustannuksia on luonnollisesti vaikea ennakoita. ADTT-ryhmän arvio, joka kiihdyttimen osalta perustuu APT-projektin ilmoitukseen, on että kiihdyttimen hinnaksi tulee noin 1,5 miljardia dollaria, jälleenkäsittelylaitos maksaa miljardi dollaria ja transmutaattorit 2 miljardia dollaria kappale, siis viiden yksikön laitoksessa yhteensä 10 miljardia. Kokonaiskustannukseksi tulisi täten 12,5 miljardia.

Arvioidaan, että kolmen ATW-laitoksen ja loppusijoitusluolan hinnaksi tulisi noin 60 miljardia dollaria. Jos suoran loppusijoitusohjelman kokonaiskustannuksiksi arvioidaan 50 miljardia (kaksi loppusijoitusluola) ja huomioidaan, että ATW-laitokset tuottavat vuosittain — noin 40 vuoden ajan — 5 miljardin dollarin edestä sähköä, ATW-projektista saadaan taloudellisesti kannattava.

Koska ylitsepääsemättömiä teknisiä vaikeuksia ei ole näköpiirissä, suurin epävarmuustekijä on poliittinen ilmapiiri. Tuoreen tiedon mukaan APT-hanke on joutunut liittovaltion budjettileikkausten myötä vastatuuleen, mikä luonnollisesti heijastuu uhkana myös ADTT:lle. ATW ei olisi suinkaan ensimmäinen edistysellinen ydintekniikan konsepti, joka puuttuvan poliittisen tuen takia jäisi toteutumatta. ATW:n etuna tässä suhteessa on kuitenkin ennenkaikkea alikriittisyys ja myös se, että se tarjoaisi tehokkaan ja (kenties) taloudellisesti kannattavan keinon päästä eroon paitsi osasta ydinjätteistä myös suuriksi paisuneista aseplutoniumvarastoista.

FT Mikael Björnberg vierailuva tutkija Los Alamos National Laboratoryssa,
E-mail: bjornberg@lanl.gov tai mikael.bjornberg@helsinki.fi

YDINTEKNIIKKAA TARVITAAN MYÖS LÄÄKETIETEESSÄ



Nopeiden tietokoneiden avustuksella kerätään ihmiskehosta hyvin tarkkaa tietoa röntgen-, magneetti- ja isotooppitutkimusmenetelmillä. Diagnostiikan osuvuus on parantunut oleellisesti kehittyneen tekniikan ansiosta, mutta kuvien ja työn määrä sekä röntgentutkimuksen säteilyannokset ovat samalla kasvaneet. Isotooppitutkimus on saanut käyttöönsä yhä paremmin kudoksiin selektiivisesti hakeutuvia merkkiaineita, mutta toisaalta kilpailevat menetelmät ovat vallanneet siltä alaa. Diagnostisten menetelmien nopea kehitys on hyödyntänyt myös sädehoitoa, jossa laitteisiin ja menetelmiin on tulossa merkittäviä uudistuksia. Suomalainen teollisuus ja tutkimus ovat menestyneet varsin hyvin lääketieteellisen teknologian alalla.

Yksi lääketieteen keskeinen lähtökohta on, että kaikki biologinen toiminta on biokemiallisten reaktioiden tulosta, ja kaiken sairauden takana on reaktiivirhe. Isotooppilääketieteen diagnostiset ja terapeuttiset menetelmät perustuvat merkkiaineisiin, jotka hakeutuvat selektiivisesti kudoksiin ja antavat tietoa elinten ja kudosten toiminnoista ja niitä ohjaavista reaktioista.

Wilhelm Conrad Röntgen keksi vuonna 1895 röntgensäteet, joilla voitiin ensi kertaa katsoa ihmiskehon sisälle. Tämä maailmankuvaammekin vaikuttava keksintö palkittiin ensimmäisellä fyysikan Nobelin palkinnolla vuonna 1901. Kymmeniä vuosia myöhemmin keksittiin tietokonetta apunaan käyttävä leikekuvausmenetelmä, josta tuli radiologian toinen kulmakivi ja monen myöhemmän innovaation esikuva. Fyysikko Allan Gormack ja insinööri GN Hounsfield saivat Nobelin palkinnon tietokonetomografian (TT) kehittämisen vuodelta 1979.

Leikekuvausmenetelmä osoittautui diagnoosien osuvuudessa oleellisesti tehokkaammaksi kuin perinteinen tasofilmille kuvaaminen erityisesti kallotutkimuksissa, joissa aivokudosta joudutaan kuvaamaan paksun luun lävitse. Magneettikuvaus, joka tuli monissa sairaaloissa käyttöön 1980-luvulla, kykenee erottamaan eräitä hyvin vähän toisistaan eroavia kudoksia vielä paremmin kuin tietokonetomografia. Kaikuehli ultraäänitutkimus on toinen röntgentutkimuksen kanssa kilpaileva menetelmä. Se on osoittautunut tehokkaaksi menetelmäksi erityisesti vatsa- ja suolis- toaluuen tutkimuksissa.

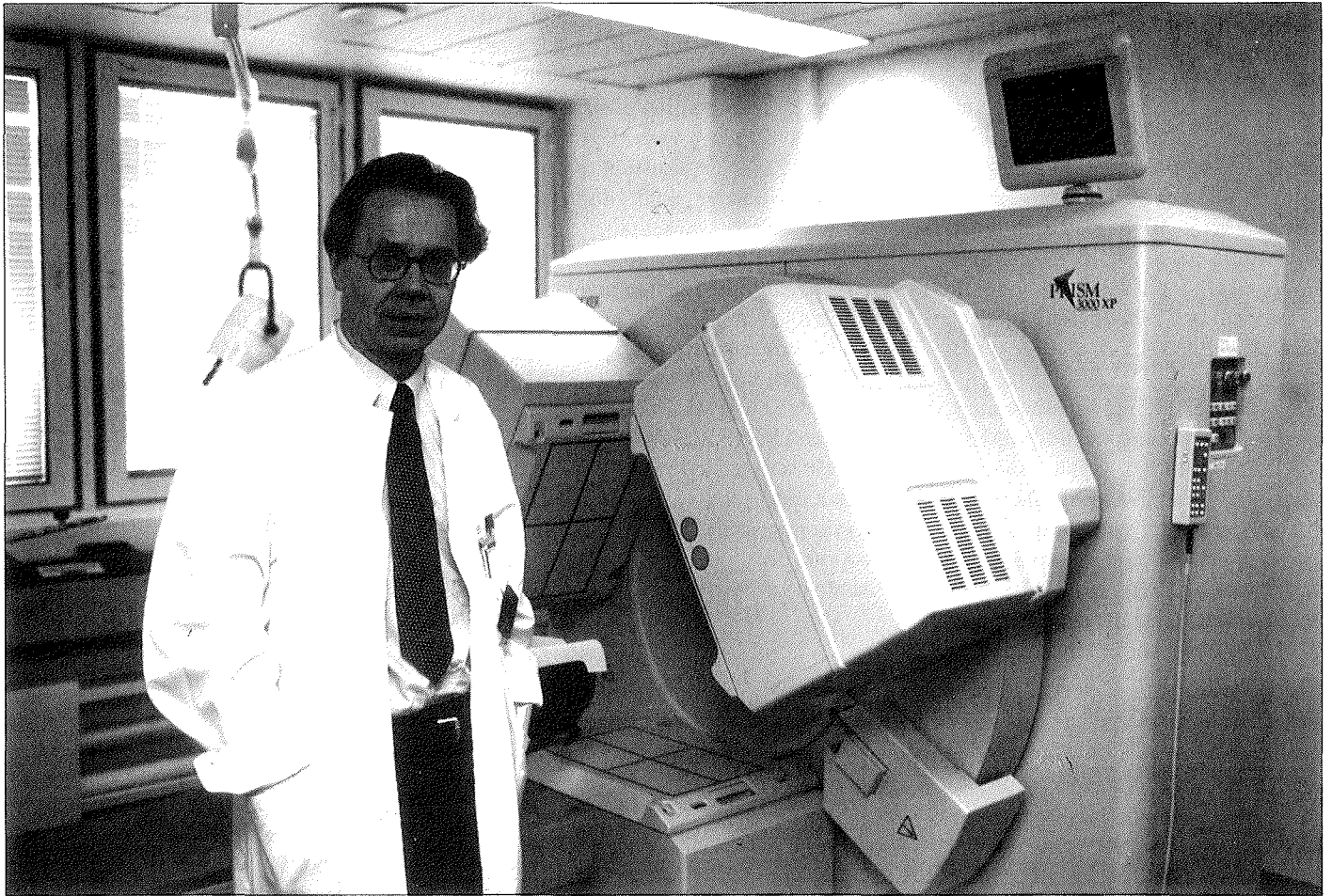
PETissä merkkiainetekniikka ja tarkka kuvantaminen kohtaavat

Positroniemissiotomografia (PET) käyttää hyväkseen kemiallisia yhdisteitä, joilla on haluttu biologinen toiminta ihmiskehossa ja jotka on merkitty positroneja emittoivalla radionuklidilla. Positroni (β^+) yhtyy elektroniin jo kul-

jettuaan muutaman millimetrin matkan kudoksessa. Tällöin syntyy kaksi vastakkaisiin suuntiin lähtevää gammakvanttia, joiden energia on 511 keV.

PET-kamerassa on säteilyilmaisinten rivi renkaana potilaan kehon ulkopuolella. Ilmaisimet on kytketty havaitsemaan vain kahden ilmaisimen samanaikaisia signaaleja. Signaalit aiheuttaneiden fotonien syntypaikka on siis samanaikaisesti toimineiden ilmaisinten yhdistyksellä. Tämän vuoksi PET-kamera ilmaisee hyvin tarkasti aktiivisuusjakaumia kehossa. Kun signaalipareja on riittävästi voidaan edelläkuvatun tiedon perusteella laskea tutkittavana olevaa kehon poikkileikkausta kuvaava tietomatriisi ja muuntaa matriisi poikkileikkauskuvaksi samaan tapaan kuin tietokonetomografiassa.

Positroniemissiotomografiassa käytetään radionuklideja, joiden puoliintumisaika on minuuttien luokkaa (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F). Nämä alkuaineet ovat kehon normaaleja rakennusaineita, ja niillä voi-



daan merkitä esimerkiksi sokereja, aminohappoja ja rasvahappoja. Nämä luonnonläheiset merkkiaineet ovat yksi PET-menetelmän etu. Kun otetaan huomioon myös kohtuullisen tarkka aktiivisuuden ja siten biokemiallisten toimintojen kolmiulotteinen kvantifiointi kudoksissa, voidaan todeta PETin tuoneen kokonaan uuden ulottuvuuden lääketieteelliseen tutkimukseen.

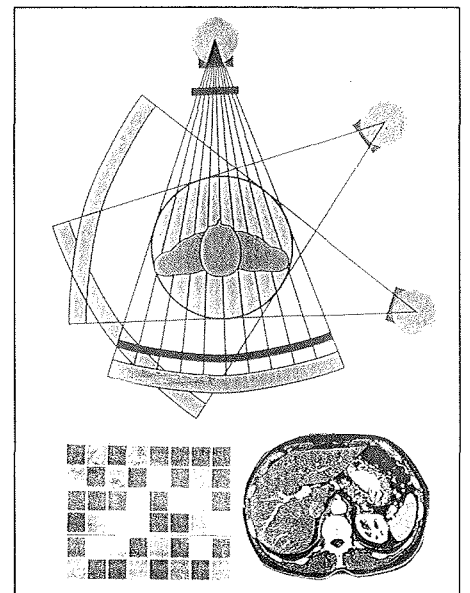
PET-menetelmän käyttöä rajoittaa kudosläheisten positroniemittereiden lyhyt puoliintumisaika, jonka johdosta radionuklidi on tuotettava aivan lähellä tutkimuspaikkaa. Merkkiaineen valmistukseen tarvitaan lisäksi nopea automaattinen radiokemiallinen prosessi, ja PET-kamera on hyvin kallis. Näistä syistä PET on ensisijaisesti kehityksen moottori, joka tuottaa arvokasta tietoa, josta hyöttyy myös rutiinitutkimus sellaisilla laitteilla ja menetelmillä, jotka ovat kaikkien sairaaloiden ulottuvilla. Ainoa suomalainen PET-tutkimuskeskus on Turun yliopistollisessa keskussairaalsassa.

Työhevosina gammakamera ja teknetiumlehmä

Euroopassa tehdään päivittäin kymmeniätuhansia tutkimuksia gammakameroilla ja teknetiumilla (^{99m}Tc), joka on sidottu sopivaan kantaja-aineeseen.

Röntgenputki ja säteilyilmaisinjono kiertävät kehon vastakkaisilla puolilla ottaen kapeita (1–15 mm) "kuvia" useista projektiosta. Säteilyilmaisinien signaalit kuvaavat kehon läpäisseen säteilyn voimakkuutta. Tietokone laskee ilmaisinojen eri projektiosta tulostamista tiedoista kudosten säteilyabsorptio-ominaisuuksia kuvaavan tietomatriisin kiertotasoon. Tietokone muuttaa matriisin numeerisen tiedon harmaasävyiksi ja esittää näytöllä niin taajan sävymatriisin, että silmä ei näe yksittäisiä ruutuja. Mustat viivat röntgenputken ja säteilyilmaisinien edessä esittävät säteilykeilan rajoittimia ja sironnutta säteilyä poistavia kollimaattoreita.

Elimistön toiminnallisia tekijöitä tutkittaessa isotooppien käyttö on usein ainoa mahdollinen tutkimusmenetelmä. Helsingin yliopistollisen keskussairaalan isotooppilaboratoriossa isotooppilääketieteen parissa on pitkään puurtanut osastonylilääkäri, professori Kristian Liewendahl.



Gammakameran säteilyilmäisimet ovat tasossa kuten filmi perinteisessä röntgenkuvauksessa, ja kuva saadaan kaksikulotteisena. Uusissa isotooppilääketieteen sovelluksissa ollaan yleensä kiinnostuneita leikekuvista, ja gammakameroita on tämän vuoksi korvautunut sairaaloissa jo 10 vuoden ajan SPECT-kameroilla (yksifotoniemissiotietokonetomografia), jotka muodostavat potilaasta leikekuvia TT-laitteiden ja PET-kameroiden lailla.

Teknetiumin (^{99m}Tc) suosioon merkkiaineissa yleisimmin käytettävänä radionuklidina on monta syytä. Puoliintumisaika (6 h) on sopivan pitkä kuvausaikoihin nähden mutta samalla niin lyhyt, että potilaan välittömälle kotiuttamiselle tutkimuksen jälkeen ei ole säteilysuojellista estettä. Gammasäteilyn energia (141 keV) on samoin kuvaukseen erittäin sopiva, ja aineen kemialliset ominaisuudet ovat hyvät moninaisten merkkiaineiden valmistukseen. Aineen helppo saatavuus sairaaloihin lisää osaltaan sen kilpailukykyä.

Teknetium on noin 10 kertaa pitempikäisen radionuklidin ^{99}Mo hajoamistuote, ja tytärnuklidin ^{99m}Tc erottaminen emonuklidista on helppo prosessi. Aine tuodaan sairaaloihin tyyppillisesti viikottain isotooppigeneraattorina ("lehmä"), josta teknetiumia eluoidaan tarpeen mukaan viikon aikana.

PET-tutkimus on tuottanut valtavasti tietoa merkkiaineista. Vaikka PET käyttää positroneja emittoivia radionuklideja, tuloksia voidaan laajasti soveltaa myös gammamerkkiaineiden valintaan ja kehittelyyn. Tältä pohjalta on syntynyt ja syntymässä uusia rutiinitutkimuksia, joissa käytetään SPECT-kameroita ja gammamerkkiaineita. Näissä positroniemissiotomografiaa korvaavissa tutkimuksissa ei luonnollisesti saavuteta PET-kuvan laatua, mutta tutkimuksen tarkkuus on silti moniin tarkoituksiin riittävä.

Syöpäkasvaimiin hakeutuvat merkkiaineet ovat nykyään suuren mielenkiinnon kohteena isotooppilääketieteessä. Nämä aineet ovat kehittyneet rohkaisevasti viime vuosina, ja eräiden kasvainten diagnostiikassa niillä saavutetaan jo tuloksia. Suomalainen radiolääkeaineita valmistava yritys (MAP Medi-

cal Technologies) on erikoistunut aivotutkimuksissa käytettäviin merkkiaineisiin, joita on onnistuttu kehittelemään esimerkiksi dementiaa ja masennusta aiheuttaviin solun vaikuttaja-aineisiin. Kehitys kulkee erikoistumisen suuntaan muuallakin isotooppilääketieteessä.

Isotooppitutkimusten vuotuiset määrät ovat kääntyneet laskuun tietokonetomografian ja magneettikuvauksen tultua kilpaileviksi menetelmiksi. Uudet aluevaltaukset saattavat muuttaa tätä kehityssuuntaa tulevaisuudessa. Hyvin nopeaan kolmiulotteiseen dynaamiseen kuvantamiseen kykenevä laite on erityinen haaste, joka voitaneen toteuttaa hyvin pian sen jälkeen kun tarkoitukseen sopivia pieniä ja herkkiä säteilyilmäisimiä on saatavilla.

Isotoopit tutkimusreaktoreilta ja kiihdyttimiltä

Molybdeeni (^{99}Mo) ja suljetuissa säteilylähteissä käytettävät radioaktiiviset aineet tuotetaan suuritehoisissa tutkimusreaktoreissa ja toimitetaan radiolääkeaineita valmistaviin yrityksiin teknetiumgeneraattoreiden ja valmiiden merkkiaineiden valmistusta varten. Pääasiassa terapiaan tarkoitettut nuklidit ^{32}P , ^{67}Cu , ^{89}Sr , ^{90}Y , ^{125}I , ^{131}I , ^{153}Sm , ^{186}Re ja ^{188}Re tuotetaan myös tutkimusreaktoreilla, kun taas biologisissa tutkimuksissa hyödylliset nuklidit ^{123}I , ^{201}Tl , ^{111}In ja ^{67}Ga tuotetaan puolestaan keskiuurilla kiihdyttimillä.

Positroniemissiotomografian osatoimintona on virinnyt valtavan laaja merkkiaineiden kehittelytoiminta. Kymmeniä β^+ -emittereitä tuotetaan kiihdyttimillä ja niitä kiinnitetään vielä lukuisempiin kantaja-aineisiin. Tämän lisäksi valmistetaan isotooppigeneraattoreita niille sairaaloille, joilla on PET-kamera mutta ei ole kiihdytintä välittömässä läheisyydessä. Näistä generaattoreista lypsetään lyhytikäistä positroneja emittoivaa nuklidia samaan tapaan kuin teknetiumia gammakamerakuvauksia varten. $^{62}\text{Zn}/^{62}\text{Cu}$ -, $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ - ja $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ -generaattoreilla on huomattava käytännön merkitys.

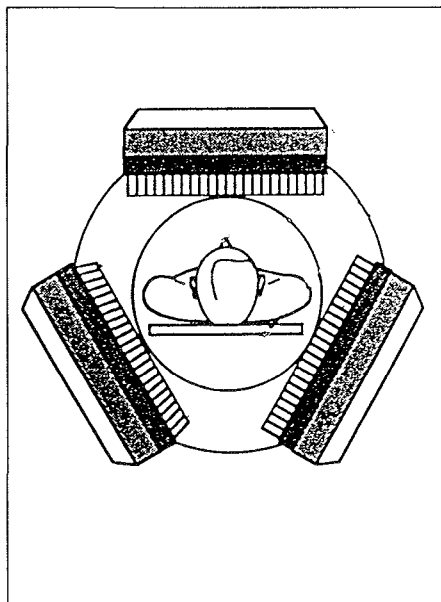
Terveys ja sen edistämiseksi tehtävät ponnistelut kiinnostavat aina ihmistä. Monet ydinfysiikan ja -tekniikan pioneerit ovat antaneet oman panoksensa myös terveystieteille. Esimerkiksi neutronin löytymisen jälkeen (Chadwick 1932) Enrico Fermi rakensi heikon neutronilähteen lyhytikäisten radionuklidien aktivoimista varten ja lainasi tätä lähdettä silloisille isotooppilääketieteen uranuurtajille. Niinikään syklotronin kehittäjä EO Lawrence (Nobelin palkinto 1939) tuotti rakentamallaan laitteella radionuklideja ja toimitti niitä isotooppilääketieteen harjoittajien käyttöön. Tällöin pystyttiin jo tuottamaan terapiaan käytettävää beetaemitteriä ^{32}P . Lawrence Berkeley -laboratorioon perustettiin myös maailman ensimmäinen radiokemistien koulu.

Säteilyaltistus on yksi tutkimustavan valintaperuste

TT-tutkimusten vuotuinen määrä on noin 130 000 ja keskimääräinen annos 3,6 mSv. Vastaavat isotooppitutkimusten luvut ovat 51 000 ja 4,2 mSv. Röntgentutkimusten ja isotooppitutkimusten vuotuiset kollektiiviset potilasannokset ovat noin 2 400 manSv ja 220 manSv. Magneettikuvaus ei aiheuta ionisoivan säteilyn annosta eikä sen ole todettu aiheuttavan muutakaan pysyvää haittaa. Kaikukuvaus ei perustu lainkaan säteilyyn ja rasittaa nopeutensa vuoksi vähän potilasta.

TT-tutkimusten osuus lääketieteellisen tutkimuksen säteilyaltistuksesta on nykyään noin 20 %, ja vuotuiset tutkimusmäärät kasvavat nopeasti. Monien muiden diagnoosien osuvuuden kannalta tehokkaiden mutta suuria potilasannoksia aiheuttavien digitaalisten röntgentutkimusten määrät ovat yhtäläillä kasvussa. Potilasannosta säästäviä toimenpiteitä tarvitaan tämän vuoksi, jotta viime vuosikymmenen aikana varsin vakiona pysynyt väestön säteilyaltistus ei kääntyisi jyrkkään nousuun. Kaikukuvaus yleistyminen ei enää ratkaise tätä ongelmaa. Nyt tarvitaan entistä monipuolisempia hyötyhaitta-analyyssejä, kun valintoja tehdään vaihtoehtoisten tutkimusmenetelmien väliltä, ja annosta säästävien työtapojen koulutusta joudutaan lisäämään.

Yksi tai useampi gammakamera kiertää kehoa, ja tulostaa signaalinsa tietokoneelle, joka muuttaa signaaleihin sisältyvän tiedon leikekuviksi. Tätä menetelmää kutsutaan yksifotoniemissiotomografiaksi.



Sädehoidon laitteet ja menetelmät kehittyvät

Uusiin sädehoidon kiihdyttimiin on tulossa säteilykeilan suodattimia ja rajoittimia, jotka tekevät intensiteetti-moduloidun sädehoidon mahdolliseksi. Tämä tarkoittaa säteilyn voimakkuuden säätämistä keilan eri osissa ottaen huomioon kudosten ominaisuuksia kasvaimen eri osissa ja sen lähiympäristössä. Kasvaimen keskimääräistä annosta voidaan näin suurentaa ilman, että komplikaatiot silti lisääntyvät. Uudistusten voidaan olettaa edesauttavan sitä positiivista kehitystä, joka muutenkin on ollut vallalla sädehoidossa diagnostisten menetelmien kehittymisen, annossuunnittelun ja hoidon tarkentumisen ja säteilybiologisen tiedon lisääntymisen ansiosta. Hoitojen tarkentuminen on osittain pitkäaikaisen ja sitkeän laadunvarmistustyön ansiota.

Protonikiihdytin on tulossa sädehoitoon. Tiheästi ionisoivan protonisäteilyn kasvainta tuhoava teho on parempi kuin gamma- tai röntgensäteilyllä. Ionisaatio on erityisen tiheää protonin kantaman loppupäässä (Braggin piikki). Protonien energijakaumaa on onnistuttu laajentamaan niin, että Braggin piikki saadaan laajenemaan niin suurelle syvyysvälille kudoksessa, että menetelmää voidaan soveltaa käytännön hoidoissa.

Immunoterapia on isotooppilääketieteen hoitomenetelmä, jossa radioaktiivinen aine kuljetetaan kantajana toimivaan vasta-aineeseen kiinnitettynä kasvaimen tai kasvaimiin. Kantaja-aineiden tutkimus on edistynyt viime vuosina, ja menetelmä on tämän johdosta tullut ajankohtaiseksi ja mielenkiintoiseksi tutkimuskohteeksi. Boorineutronikaappausterapia (BNCT) on toinen syöpäsolukkoon hakeutuviin kantaja-aineisiin perustuva hoitomenetelmä, jonka käyttöönottoa Suomessa valmistellaan parhaillaan.

Stereotaktisessa radiokirurgiassa käytetään hyvin pientä tarkasti aivokasvaimen ohjattua säteilykeilaa kasvaimen tuhoamiseen. Tämänkin menetelmän kohdalla on toteutunut tavanomainen kehityskaari. Toiminta on aloitettu ydinfysiikan suurenergiakiihdyttimien raskaiden varattujen hiukkasten suihkuissa, ja nyt se on siirtymässä sädehoidon kiihdyttimille.

Kehon sisään tai pinnalle asetettavilla umpilähteillä on yhä oma roolinsa sädehoidossa. Suorassa kosketuksessa olevalla lähteellä saadaan eräissä tapauksissa paras annosjakauma kudokseen. Tällä työsaralla on viime vuosina panostettu erityisesti laskentamenetelmiin.

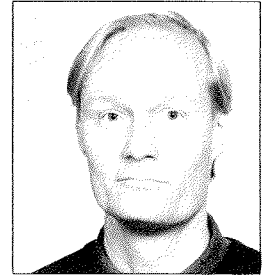
Suomessa urauurtavaa kehittelytyötä

Meillä on ollut ja on huippumodernien röntgenlaitteiden valmistusta. Erityisen ilahduttavaa on, että suomalaiset yritykset ovat mukana kuvantamislevyjien kehittelyssä ja valmistuksessa nyt kun digitaaliset menetelmät ovat alkanet syrjäyttää filmille kuvaamista, ja valtavat markkinat ovat avautumassa. Suomessa on kehitelty myös huippuluokan laitteita klinisiin laboratorioihin ja saavutettu huomattavia markkinaosuuksia niiden myynnissä. Niinikään suomalaisella yrityksellä on merkittävä asema sädehoidon annosmittauslaitteiden ja -suunnitteluohjelmistojen kehittäjänä ja myyjänä.

Instrumentarium Oy aloitti jo vuonna 1979 magneettikuvaslaitteiden kehittelyn ja tuotannon käyttäen hyväkseen Teknillisen korkeakoulun kylmälaboratorion magneettialan erikoisosaamista. Projektiin on osallistunut myös VTT ja viime vuosina amerikkalainen yritys Picker International Inc. Aivokuoren hermosolujen äärimmäisen herkkien virtojen rekisteröinti on toinen tutkimusalue, jossa TTK käyttää magneettialan erikoisosaamistaan lääketieteellisen tekniikan hyväksi.

FT **Matti Toivonen** työskentelee Säteilyturvakeskuksessa projektitutkijana, p. (09)7598 8603;
E-mail: matti.toivonen@stuk.fi

OTANIEMEN TUTKIMUSREAKTORIA VALJASTETAAN SYÖVÄN HOITOON



Otaniemen tutkimusreaktorille ollaan rakentamassa neutronikaappausterapia-asemaa pahanlaatuisten aivokasvainten hoitoon. Neutronikaappausterapia perustuu boorin kykyyn absorboida termisiä neutroneja ja tässä reaktiossa vapautuvien hiukkasten suureen LET energiaan. FiR 1:n säteilytysasemassa on onnistuttu luomaan aivokasvainhoitoihin soveltuva epitermisten neutronien kenttä, joka on ominaisuuksiltaan yksi maailman parhaista. VTT Kemiantekniikan kehittämän uuden neutronihidastinaineen (FLUENTAL) ansiosta FiR 1:llä päästään samaan kuin muualla kymmenen kertaa suuremmalla reaktoriteholla.

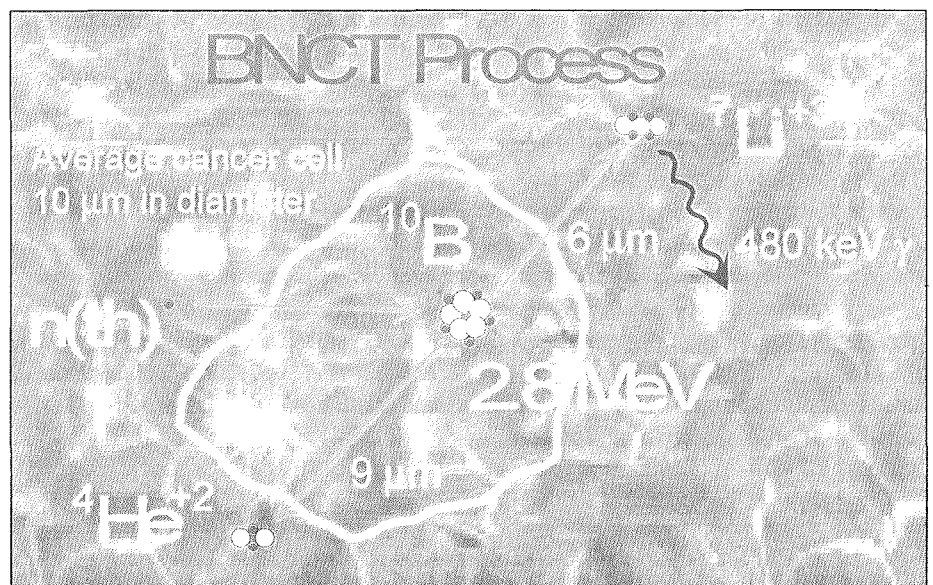
Boorineutronikaappaushoidossa (Boron Neutron Capture Therapy, BNCT) sovelletaan säteilyn kemiallista kohdentamista. Menetelmä perustuu boori-10 atomytimen ominaisuuteen kaapata suurella todennäköisyydellä termisiä neutroneja ja sen seurauksena haljeta kahtia, energieettisiksi litium- ja heliumytimiksi, jotka jarruuntuvat nopeasti ja kohdistavat tuho vaikutuksen käytännössä yhteen tai kahteen soluun.

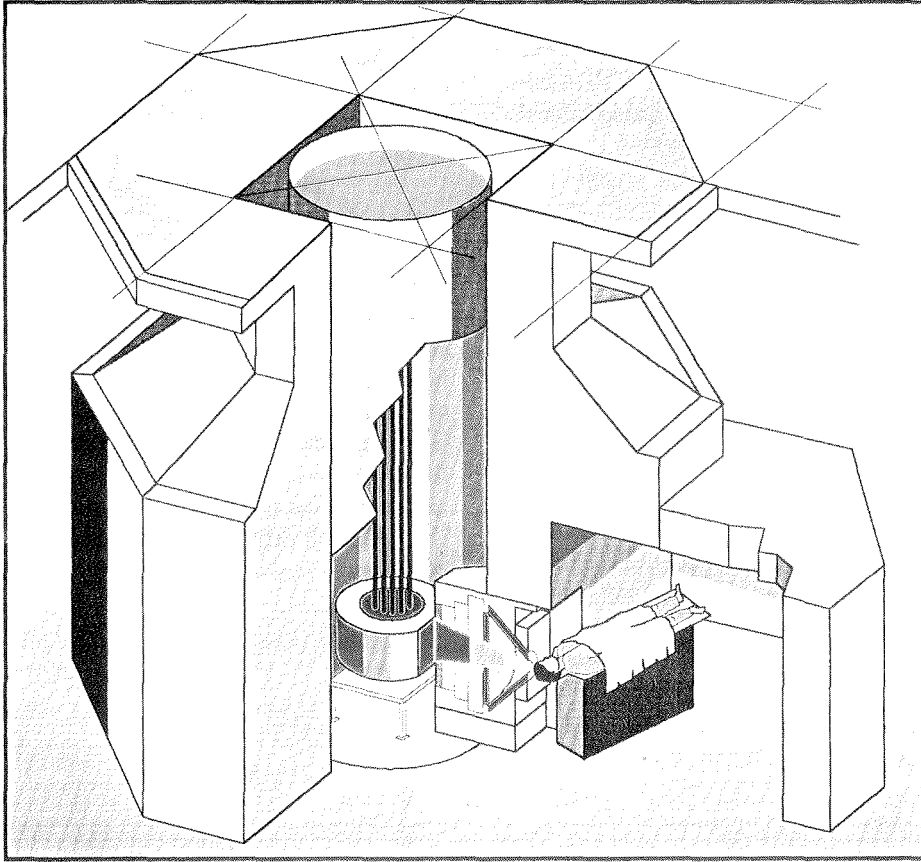
Menetelmän onnistumiseksi tarvitaan boorinkantaja-aine, joka helpoimmin verenkiertoon injektoiduna hakeutuu valikoituneesti juuri kasvainsoluihin ja aiheuttaa kasvaimen riittävän suuren boorikertymän, käytännössä vähintään suuruusluokkaa 50 ppm, ja samalla riittävän boorikontrastin terveeseen kudokseen verrattuna. Toiseksi koko kasvainalueelle on kyettävä aikaansamaan riittävän korkea termisten neutronien vuo ilman, että valikoimatta kaikkien kudokseen annosta aiheuttavien gammasäteilyn ja nopeiden neutronien määrä nousee liian suureksi.

BNCT-reaktio solutasolla.

BNCT on siis omiaan sellaisten kasvainten hoitoon, jossa syöpäsolut ovat levinneet rajatulle alueelle mutta terveeseen kudokseen sekaan niin, että kasvainta ei voida kirurgisesti poistaa tai muuten tuhota perinteisellä geometrisesti kohdistettavalla gammasädehoidolla. BNCT-kehitystyön ensimmäisenä tavoitteena Suomessa, niinkuin useimmissa

muissakin hankkeissa ulkomailla, on pahanlaatuisten aivokasvainten hoito. Näille kasvaimille ei ole tällä hetkellä parantavaa hoitoa. Kudostyypiltään pahanlaatuisimpia hermotukikudoskasvaimia sairastavien potilaiden keskimääräinen elin aika leikkauksen jälkeen on yksi vuosi.





FiR 1:n epitermisen BNCT-aseman kaaviokuva. Reaktoritankin pohjalla olevasta reaktorin sydäimestä tulevat neutronit johdetaan neutronihidastimen, gammasuojan ja kollimaattorin läpi potilaan päähän. Potilas on hoitoja varten rakennetun vahvan säteilysuojauksen sisällä.

voinut alkaa toteuttamaan 250 kW:n FiR:llä samalla tavalla modifioidulla termisellä patsaalla tuotetulla säteilytyskentällä kuin 100 kW:n TRIGA:lla Musashissa, Japanissa, missä professori Hatanakan johdolla oli toteutettu yli sata hoitoa. Halusimme kuitenkin tutkia mahdollisuuksia toteuttaa säteilytys epitermisillä neutroneilla, kuten BNL:n, MIT:n ja JRC Pettenin hankkeissa. Lähtökohta ei ollut itsestään selvä, sillä noissa paikoissa oli käytettävissä 5 ja 45 MW:n reaktorit, eli 20 ja 200 kertaiset tehot.

Alustavaan materiaaliselontaan käytettiin isotrooppista ANISN-ohjelmaa ja tarkempiin kolmidimensionaalisiin transport-laskuihin TORT-ohjelmaa. Suunnittelun tavoitteena oli hidastaa TRIGA-reaktorin sydämen tuottamat nopeat fissioneutronit hallitusti epitermiksi, energia-alueelle 1 ev...10 keV sekä vaimentaa ei toivottujen nopeiden ja termisten neutronien sekä gamma-säteilyn osuudet minimivaatimukset täyttävälle tasolle.

Uusi hidastin patentoitu

Suuren poikkipinnan (120x120 cm) patsasgeometriasta on se etu, että kerran sironneella ja hidastuneella neutronilla on vielä hyvät mahdollisuudet päästä kohteeseen, päinvastoin kuin kapeassa suihkuputki-geometriassa. Parhaimmaksi hidastinmateriaaliksi osoittautui alumiinin ja fluorin yhdistelmä, jota voidaan teknisesti valmistaa alumiini-alumiinifluoridikomposiittina ja johon voidaan haluttaessa lisätä vähäinen määrä litiumfluoridia termisten neutronien absorboimiseksi.

Jotta potilaan päähän voidaan tuottaa riittävän laajalle alueelle, tarvittaessa koko aivot kattaen, ja riittävän tasaisesti termisten neutronien kenttä, on säteilytyksessä käytettävä ns. epitermisiä neutroneja. Epitermiset neutronit (1 eV ... 10 keV) tunkeutuvat kudokseen useiden senttimetrin syvyyteen muodostaen noin kahden ja puolen senttimetrin syvyydessä laakean vuomaksimin. Käytännössä säteilytystä annetaan kahdesta tai useammasta suunnasta mahdollisimman tasaisen termisen kentän tuottamiseksi.

Hoitoa kehitetty jo vuosikymmeniä

BNCT-hoitokokeet aloitettiin ensimmäisen kerran 50-luvulla USA:ssa Brookhavenin kansallisessa laboratoriossa (BNL) ja MIT:ssä. Käytetty boorinkantaja ja säteilytystekniikka eivät kuitenkaan olleet riittäviä, vaan kokeet epäonnistuivat. 70-luvulla japanilaiset aloittivat kokeelliset hoidot paremmalla kantaja-aineella (BSH) ja paremmalla tavalla johdattaa reaktorin termisen patsaan neutronit hoitokohteeseen.

Pitkälle yli sata potilasta on saanut tällaisen kallon avaamisen vaativan säteilytyksen. Vuonna 1994 aloitettiin BNL:ssä aivokasvainpotilaiden säteilytykset epitermisellä neutronikentällä ja vähän myöhemmin myös MIT:ssä. Näissä kokeissa, joissa boorin kantaja-aineena on BPA, on osoitettu säteilyn turvallisuus ja siirrytty annosta vähitellen kasvattaen kohti varsinaisia hoitoja. Tähän mennessä on säteilytetty jo yli kolmekymmentä potilasta.

Euroopassa EU:n BNCT-rahoitus on suuntautunut tähän mennessä käytännössä JRC:n Pettenin reaktorille, jonne on rakennettu hoitoasema. Paraikaa Pettenissä ollaan siirtymässä potilas-säteilytyskokeisiin.

FiR 1:n epitermisen aseman suunnittelu

Suomessa BNCT:n mahdollisuuksia alettiin selvittämään v. 1990, jolloin silloisen VTT:n reaktorilaboratorion radiokemistit Jukka Hiltunen ja Pirkko Penttilä toivat idean Kaliforniasta Otaniemeen. Oli selvää, että hoitoja olisi

Hidastinaineen jälkeen tarvitaan vielä kerros vismuttia gammasuojaksi sekä kartiomainen kollimaattori kohdistamaan epitermiset neutronit hoitoalueelle. Kollimaattorissa on käytetty epitermisiä neutroneita heijastavana materiaalina vismuttia ja neutronit pysäyttävänä materiaalina litiumpitoista muovia. Litium absorboi muovissa hidastuneet neutronit, jolloin ne eivät pääse absorboitumaan vetyyn, mikä tuottaisi haitallista gammasäteilyä. Lähellä potilasta käytetään parhaan hidastuskyvyn ja pienimmän gammatuoton saavuttamiseksi rikastettua Li-6:tta. FiR:llä toteutetun kentäkollimaattorin ideat oli julkaistu jo aiemmin useammalla taholla, mutta Otaniemessä nämä ideat toteutettiin kokonaisuudessaan ensimmäisen kerran.

Australialaiset olivat aiemmin teoreettisissa laskelmissaan tutkineet alumiini-fluoridia mahdollisena sirottajana suun-

nitellessaan epitermistä suihkua reaktorilleen, mutta eivät olleet pitäneet sitä kelvollisena vaihtoehtona. VTT:n havainto oli, että hidastinaineeksi alumiinifluoridi soveltuu ja että edellä mainittu komposiittirakenne tekee mahdolliseksi optimoida neutronien hidastuksen kannalta alumiinin ja fluorin suhde suhteellisen tiheässä (3 g/cm^3) teknisesti käytökelpoisessa materiaalissa. Uusi neutronihidastinmateriaali (FLUENTAL) on patentoitu Suomessa ja kansainvälisesti.

Huippuluokan suoritusarvot

FiR 1:n epitermisen neutronisäteilytys-aseman lasketut ja mittauksilla verifioidut suoritusarvot ovat maailman huippuluokkaa. Hoitoannoksen saavuttamiseen kuluva aika on nykyisillä boorinkantajaineilla noin yksi tunti. Ominaisuuksiltaan asema on hyvin lähellä BNL:n

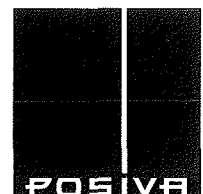
asemaa, Pettenin ja MIT:n epitermisten neutronikaappausterapiasuuhkujen puhtaudet ja intensiteetit ovat selvästi huonommat.

Vapaan kentän spektri ja intensiteetti on mitattu aktivointidosimetreilla VTT Kemiantekniikan neutronidosimetriaryhmän ja INEEL:n (Idaho National Engineering and Environmental Laboratory) BNCT-mittausryhmän toimesta. Myös hoitotilannetta mallintavissa fantomeissa on tehty neutronikentän sekä neutroni- ja gamma-annosten mittauksia. Termalisoitunut neutronikenttä määritetään aktivointidosimetrein ja litiumpinnoteilla piidetektorilla. Annosnopeudet määritetään ionisaatiokammioilla.

Syvälle menevää osaamista — jopa läpi harmaan kiven



POSIVA OY. Mikonkatu 15 A, 00100 HELSINKI. p.(09)2280 30, fax (09)2280 3719.



Hoitojen aloitus lähestyy

Suomessa sekä lääkärikunta että sairaalafyysikot ovat sitoutuneet voimakkaasti hankkeeseen. Tämän puolen tutkimustoimintaa rahoittavat HYKS ja HYKS-Instituutti, Helsingin yliopisto, Suomen Akatemian sekä Tekes. BNCT:n säteilyannosten mittaustekniikan kehittämisessä on STUK:lla merkittävä panos. Säteilysasema on toteutettu tätä tarkoitusta varten perustetun Radtek OY:n ja VTT:n varoin. Radtekissa ovat sijoittajina IVO, TVO ja Sitra sekä tuotekehitysrahoittajana Tekes.

Valtion kiinteistölaitoksen rahoittamassa reaktorirakennuksen peruskorjauksessa talvella 96-97 on sinne rakennettu pienen sädehoitoklinikan tilat. Peruskorjaus on myös merkinnyt reaktorihallin ajanmukaistamista rakenteellisen turvallisuuden ja toiminnallisuuden kannalta. Ylätasolle rakennetun eristetyn laboratoriotilan ansiosta polttoainevuotojen tai isotooppiuotannossa tapahtuvien onnettomuuksien tai virhetilanteiden seuraukset eivät leviä koko rakennukseen.

Tavoitteena on aloittaa potilassäteilytykset vuoden 1998 lopussa. BNCT-käytön ohella FiR 1 jatkaa aktiivointianalyysissä, lyhytikäisten isotooppien tuotamisessa ja ydintekniikan koulutus- ja opetustehtävissä.

JÄSENPALSTA

ATS - SYYSSEMINAARI 28.10.1997

Atomiteknillisen Seuran vuoden 1997 syysseminaari LORD-hotellissa Lönnrotinkatu 29:ssä, tiistaina 28.10.1997 klo 13.30 alkaen. Seminaarin teemana on energiapolitiikka ja alustava ohjelma on seuraava:

- klo 13.30 Ruotsin energiapolitiittinen tilanne ja ABB:n rooli tulevaisuudessa
- klo 13.50 Kioton kokouksen etukäteistunnelmia
- klo 14.15 Kahvi
- klo 14.40 Puolueiden kannanotot hallituksen energiastrategiaan ja erityisesti ydinenergian asemaan. Vasemmistoliiton, Sosiaalidemokraattisen puolueen, Vihreän liiton, Ruotsalaisen kansanpuolueen, Keskustapuolueen ja Kokoomuksen edustajat vastaavat ATS:n jäsenistön kysymyksiin energiastrategiasta.
- klo 16.00 Suomen kanta ilmastomuutokseen
- klo 16.20 Ilmastomuutoksen haasteet energiapolitiikalle
- klo 16.45 Apurahojen jakotilaisuus
- n. klo 17.15 Pientä tarjoilua

Seminaariin voi ilmoittautua 22.10.1997 mennessä ATS:n sihteerille Vesa Tannerille VTT:lle puhelimitse p. (09) 456 6354 tai sähköpostitse vesa.tanner@vtt.fi tai Aila Tiesmäelle VTT:lle p. 456 6338, sähköposti: Aila.Tiesmaki@vtt.fi

ATS INTERNETTIIN

Atomiteknillisen Seuran www-sivujen on tarkoitus aloittaa toimintansa vuoden 1998 aikana suomen- ja englannin kielillä. Sivuille tulee seuran ja suomalaisen ydintekniikan esittelyn lisäksi määräajoin päivitettävät Ydintekniikka-lehden sisältö ja Ydintekniikan ajankohtaista asiaa -sivut sekä linkkejä ydinalan osoitteisiin. Ideoita tai kommentteja voi toimittaa osoitteeseen: virpi.kouhia@lut.fi.

VENÄLÄINEN "ATOMIENERGIA" -JULKAISU VIERAILI SUOMESSA

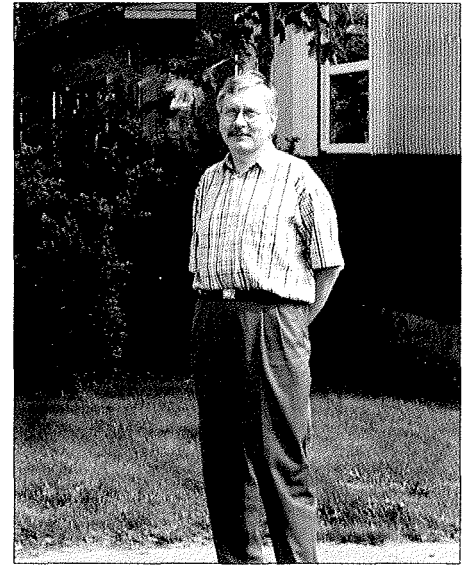
Venäjän laajimman levikin omaava ydinalan kuukausijulkaisu "Atomienenergian" varapäätoimittaja Vladimir S. Iouzgin vieraili elokuun lopussa Suomessa. Hän toivoi suomalaisilta kirjoituksia erityisesti julkaisun englanninkieliseen painokseen.

Atomienenergian taustalla ovat Venäjän ydinenergiaministeriö, Venäjän tiedeakatemia ja Venäjän ydintekniikka seura. Tieteellisiä artikkeleita eri ydintekniikan aloilta voi tarjota suoraan Vladimir Iouzginelle, joka myös on valmis antamaan lisätietoja:

Vladimir S. Iouzgin
Executive Director, Deputy Editor in Chief
Journal "Atomic Energy"
18, Myasnikskaya Street
Moscow, 101000 Russia
Tel. + 7095 9258670, fax + 7095 9235189
E-mail: vyuzgin@atis.kiae.su

DI Iiro Auterinen on VTT Kemiantekniikan erikoistutkija ja BNCT-asemahankkeen projektipäällikkö, p. (09) 456 6353;
E-mail: iiro.auterinen@vtt.fi

ATS SAI TOIMINTANSA TUEKSI NEUVOTTELUKUNNAN



Suomen Atomiteknillinen Seura on 30 toimintavuotensa aikana vakiinnuttanut asemansa maamme ydinteknisen alan merkittävänä järjestönä. ATS:n jäsen toiminta on erittäin vilkasta, ja Seura on tällä tavoin pystynyt edistämään jäsentensä ammattitaitoa ja luomaan heille toimivan foorumin keskinäiseen yhteydenpitoon. Seuran julkaisu toiminta — ATS Ydintekniikka ja erilaiset julkaisut — on tuottanut näkyviä ja pysyviä tuloksia. ATS on luonut kiinteät yhteydet European Nuclear Societyyn, ja Seuran puitteissa toimivat työryhmät ovat aktiivisesti vaikuttaneet ydinvoimatekniikan tunnetuksi tekemiseen maassamme.

ATS:n haasteellisimpia tehtäviä on ydintekniikasta ja ydinenergiasta tiedottaminen suurelle yleisölle ja päättäjille, onhan Seuran keskeisiä tavoitteita ydinvoiman käytön edistäminen Suomessa. Vaikka tällä työkentällä toimivien organisaatioita on useita, myös ATS:n piirissä tapahtuva toiminta voi edistää merkittävästi myönteistä suhtautumista ydinvoimaan. Viimeaikaiset tapahtumat — valtioneuvoston energiastategian julkaiseminen ja uudelleen virinnyt keskustelu uudesta ydinvoimalasta — ovat tehneet tämän aihepiirin erityisen ajankohtaiseksi. ATS:ssä nousi sen vuoksi esille ajatus kanavoida Seuran jäsenten vaikutusvaltaa oikean ydinvoimatietouden lisäämiseksi Suomessa.

Asiaa pohdittiin perusteellisesti talven 1996–1997 aikana, ja lopulta ATS:n johtokunta päätyi perustamaan Seuralle Neuvottelukunnan. Johtokunnan toi-

vomuksena on, että Seuran virallisen organisaation ulkopuolella toimiva, arvovaltaisista jäsenistä koostuva Neuvottelukunta pystyisi omalta osaltaan antamaan arvokkaan panoksensa ydinvoiman käytön edistämiseen.

ATS:n neuvottelukunnan perustavaan kokoukseen 21.8.1997 kutsuttiin Seuran puolesta "iskuryhmä" ATS:n ja ENS:n kunniajäsenistä. Ensimmäisen kokouksen osanottajat valitsivat Neuvottelukunnan puheenjohtajaksi vuorineuvos Kalevi Nummisen. Tässä vaiheessa Neuvottelukunnan jäsenyyden on hyväksynyt seitsemän kunniajäsenä. Neuvottelukunta voi täydentää nykyistä kokoonpanoaan sopiviksi katsomillaan henkilöillä.

Kokouksessa käytiin vilkas keskustelu Neuvottelukunnan toiminnan tavoitteista. Erityisesti mietittiin sitä, kuinka viesti ydinvoiman hyvistä puolista saataisiin perille kaikkea säätelevässä mediaympäristössä. Energiakysymysten perusongelma on siinä, että yhteiskunnallinen päätöksenteko ja tekninen asiantuntemus eivät tahdo kohdata toisiaan. Neuvottelukunnan jäsenet kehittelevät varmaan ratkaisumalleja ja toimivat yhdessä ja erikseen edellä mainittujen päämäärien puolesta.

Kokouksen erityisaiheena oli valtioneuvoston energiapolitiittinen selonteko, jossa ydinvoimaa koskevat avainlauseet löytyvät sivulta 46: "Ydinenergian rakentamismahdollisuutta ei suljeta pois tulevaisuuden vaihtoehtojen joukosta. On valmistauduttava siihen vaihto-

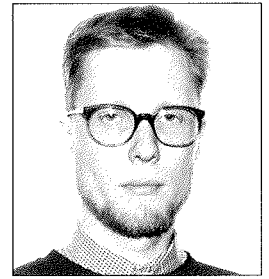
ehtoon, että ydinvoiman lisärakentaminen tulee ajankohtaiseksi. On myös tärkeää, että tähän liittyvät tiedolliset ja taidolliset valmiudet säilyvät Suomessa."

Energiastategiaan sisältyvästä päätös-aikataulusta aiheutuu se, että energiakysymys ja sen mukana ydinvoima nousee erääksi seuraavien vaalien keskeisistä teemoista. Asiat päätetään vaaleissa demokraattisesti, ja ydinvoiman kannattajien on voitettava demokraattinen prosessi, jotta ydinvoiman lisärakentaminen olisi mahdollista!

Kokouksen lopuksi minulla oli kunnia ojentaa ATS:n puolesta Seuran viiri viime vuonna nimetylle kunniajäsenelle, fil. lis. *Anneli Salolle*, joka yhteensattumien vuoksi ei aikaisemmin ole voinut vastaanottaa tätä huomionosoitusta.

TkL Eero Patrakka on Teollisuuden Voima Oy:n kehityspäällikkö ja tämän lehden erikoistoimittaja, p. (02) 8381 3300.

ATS:n kesäekskursio: KOKO SUOMEN YDINJÄTTEET MAHTUVAT EDUSKUNTATALOON



Atomiteknillinen seura järjesti ekskursion kesäkuun alussa Loviisan jäteluolaan ja UPM Kymmenen paperitehtaalle Kuusankoskelle. Retkellä 15 aktiivista seuran jäsentä tutustui Suomen ydinjättekysymyksiin ja suuren paperinvalmistajan energianhankintaan.

Ekskursioryhmä saapui Loviisan voimalaitokselle täsmällisesti sovittuun aikaan, jossa vierailun isäntä Jorma Aurela toivotti meidät tervetulleiksi. Loviisan vierailun ajaksi joukkoomme liittyi Lappeenrannan korkeakoulun vierailuryhmä, joka pääasiassa koostui ulkomaisista — ennen kaikkea italialaisista — opiskelijoista.

Loviisan jäteluolalla toimintalupa

Vierailumme alkoi tutustumisella Inforakennuksen uudistettuun näyttelyyn, jossa kävijä kuin kävijä saa käsityksen ydinvoimalasta, radioaktiivisuudesta ja jätteiden käsittelystä. Auditoriossa Aurela kertoi jäteluolalla olevan toimintaluvan, mutta lopullista käyttöilupaa sillä ei vielä ole.

Ensimmäiseen käyttötunneliin on jo varastoitu 2 500 tynnyriä keski- ja matala-aktiivisia jätteitä. Toinen käyttötunneli ja kiinteytettyjen nestemäisten



Kesän 1997 kotimaan ekskursio suuntautui Loviisaan ja Kuusankoskelle.

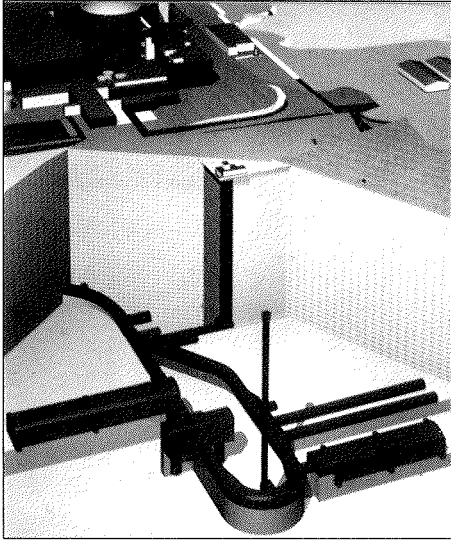
jätteiden tunneli valmistuvat ensi vuosituhannella. Lisäksi luolaan on suunniteltu voimalaitoksen purkujätteitä varten oma tunneli, jolle tarvitaan kuitenkin erillinen lupa.

On arvioitu, että matala-, keski- ja korkea-aktiivisia jätteitä kertyisi Suomen nykyisillä neljällä yksiköllä 64 200 m³, joka on vain hieman yli puolet eduskuntatalon tilavuudesta 106 000 m³. Eduskuntaan mahtuisi siis lähes kahdeksan ydinvoimalaitoksen aktiiviset jätteet.

Jäteluolaan johtaa kilometripituinen ajoramppi, joskin ryhmämme käytti 123 metriä syvää hissiä. Kävelimme luolas-

ton pääkäytävää, jonka varrella itse jätetunnelit sijaitsevat. Ensimmäinen käyttötunneli oli suljettu, koska sinne oli jo siirretty trukilla 2 500 tynnyriä jätettä.

Tynnyrit on ladottu kahteen kerrokseen ja niiden välissä on teräslevy. Kiinteytettyjen nestemäisten jätteiden varasto oli rakenteilla, mutta tunnelin aukolta oli hyvät näkymät kaivantoon. Jäteluolan seinistä tihkuu jatkuvasti 400 litraa minuutissa nykyistä Itämeren suolaisempaa, 10 000 vuotta vanhaa vettä. Vesi kerätään seiniin upotetuilla salaojaputkilla ja pumpataan mereen.



Loviisassa tutustuttiin jäteluolaan.

Luolan viielys alkoi kylmätä vähitellen osallistujia, joten isäntä suositteli omaehtoista lämmittelyä käyttämällä ylös- ja alasportaita. Parhaaksi ajaksi kello tettiin 4 min 57 s IVO:n omalle pojalle Olli Nevanderille. Mies oli suorituksen jälkeen silminnähdyn uupunut, mutta toipui voimalaitoksen ruokalan tarjoileman tukevan lounaan avulla.

UPM Kymmene – sähköntuotantotehoa 2 340 MW

Kymin tehtailla ryhmäämme vastassa olivat energiajohtaja Pertti Simola sekä Juha Kauki ja Ilkka Valtonen. Kahvin jälkeen pidetyssä yleisessä esittelyssä he kertoivat UPM-Kymmenen liikevaihdoksi lähes 52 miljardia markkaa ja henkilöstöksi noin 44 000. Paperikoneita yhtiöllä on 34, jotka tuottavat 7,5 miljoonaa tonnia paperia. Lisäksi sahatavaa valmistuu 1 000 m³ vuosittain. Päämarkkina-alueina tällä hetkellä on Eurooppa, mutta laajenemisyrittämiä on Kauko-Itään ja Amerikkaan.

Yhtiöllä on omaa sähköntuotantoa 2 340 MW, joka koostuu vesi- ja ydinvoimaosuuksista ja vastapaine- ja lämpövoimatuoannosta. Omassa energiantuotannossa he käyttävät 55 % biopolttoaineita ja turvetta. Optimoidakseen energiantuotantoa UPM-Kymmenellä on sekä osto- että myyntitoimintaa.

Kuusankoskella on kaksi höyryvoimalaitosta; Kymin sulfiittikattila ja Kuusankosken soodakattilalaitos. Prosessin jätteenä syntyvä mustalipeä on energiantuotannon pääpolttoaine.

Vierailumme paperitehtaalla päättyi kierrokseen itse paperikoneilla PK7 ja PK8, jotka ovat Wärtsilän ja Valmetin toimittamia koneita.

Verlan tehdasmuseo maailman perintölistalla

Nykyä päivän ymmärtäminen vaatii käsityksen historiasta. Ekskursiommme lopuksi tutustuimme pahvin valmistukseen 1800-luvun lopun tuotantomenetelmillä Verlan tehdasmuseossa. Tämä ainutlaatuinen museo pääsi UNESCO:n maailman perintö listalle vuonna 1996.

Tehtas tuotti pahvia vuodesta 1882 aina vuoteen 1964 parhaimmillaan 2 000 tonnia vuodessa, mikä vastaa nykyisten tehtaiden päivä tuotantoa. Energiantuotanto perustui kyläläisiltä hankittuihin halkoihin ja vesivoimaan. Kosken voima välitettiin puurattailla ja akseleilla prosessin tarvitsemiin koneisiin. Käsitettä ”työturvallisuus“ ei vielä tunnettu tehtaan toiminta-aikana. Oppaan mukaan havereita ei juurikaan sattunut vaikka, sali oli täynnä suojaamattomia pyöriviä vetohihnoja ja leikkausteriä.

Prosessi päättyi kuivaamoon, jonka ahtaissa ja kuumissa tiloissa työskentelevät vähäpukeiset naiset ripustivat pahviarkit roikkumaan. Kuivaamoon pääsy oli ankarasti kielletty tehtaan miehiltä lukuunottamatta itse mestaria, jolle se luettiin verottomaksi luontoisuudeksi.

Kesän suvinen päivä ja tehdasmuseon kuivat ja vuosikymmeniä jäähtyneet rakennukset saivat osallistujat kaipaamaan suomalaista saunaa ja mallasvirvokkeita, joiden nautintaan isännät tarjosivatkin oivan tilaisuuden heti virallisen ohjelman päätyttyä.

DI **Jaakko Pullinen** on IVO PE:n Oy:n lujuusanalyysi-insinööri ja ATS:n ekskursiosihteerin, p. (09) 8561 4123; jaakko.pullinen@ivo.fi



STUK:N ORGANISAATIO JA ILME UUDISTUNUT

Uusittu asetus Säteilyturvakeskuksesta on vahvistettu presidentin esittelyssä 27.6.1997, ja se on astunut voimaan 1.7.1997. Uusi asetus ei enää määrittele Säteilyturvakeskuksen toimialajohtajia. Myös johtajien nimittäminen on siirretty johtokunnalta pääjohtajan vastuulle.

Asetuksen perusteella uusittu Säteilyturvakeskuksen työjärjestys on astunut voimaan 1.7.1997. Näkyvin muutos on ydinturvallisuusvalvonnan jakaminen kahteen vastuualueeseen: **ydinvoimalaitosten** valvontaan (johtaja Lasse Reiman) sekä **ydinjätteiden ja ydinmateriaalien** valvontaan, (johtaja Tero Varjoranta). Muut vastuualueet ovat **säteilytoiminnan** valvonta (johtaja Heimo Kahlos) sekä **tutkimus ja ympäristön** valvonta (tutkimusjohtaja Sisko Salomaa).

Hallinto ja sisäiset palvelut muodostaa oman vastuualueensa, jota johtaa hallintojohtaja Maarit Humaloja. Tiedotus- ja valmiusyksiköt säilyvät suoraan pääjohtajille raportoivina tulosyksikköinä. Yleisjohtajissa pääjohtajan apuna ovat johtaja Hannu Koponen (talous, nettobudjetoitu palvelutoiminta, laatujärjestelmä, kansainväliset sopimukset) ja johtaja Antti Niittylä (tietohallinto, säännöstö, lakiasiat).

Myös Säteilyturvakeskuksen logo ja englanninkielinen nimi ovat muuttuneet. STUK englanniksi on nyt **Radiation and Nuclear Safety Authority**. Uuden logon värit ovat sininen ja vihreä. Sen on suunnitellut graafikko Viktor Kaltala.

Arto Isolankila, STUK

SIGYN KERÄSI LOVIISASSA 6000 VIERAILIJAA

Ruotsalainen käytetyn polttoaineen kuljetuslaiva MS Sigyn vieraili Loviisan Valkossa 14.–18. elokuuta. Laivaan tutustui noin 6 000 uteliasta. Posivan järjestämä vierailu sopi hyvin Loviisassa käytävään ydinjätekeskusteluun, sillä täydessä vauhdissa oleva YVA on eittämättä pienen kaupungin ja sen ympäristökuntien tärkeimpiä keskustelunaiheita.

Sigynillä toimi oppaina Posivan oman väen lisäksi IVO:n ja TVO:n vapaaehtoisia. Posivan loviisalaiset Björn Wahlström ja Liisa Wikström pikakouluttivat oppaat, jotka saivat ensiluokan tuntuman todelliseen ydinvoimakeskusteluun todellisten itämaalaisten parissa. Käväisipä paikalla ns. sateenkaaren sotureita, mutta vailla mainittavampaa menestystä kävijöiden parissa.

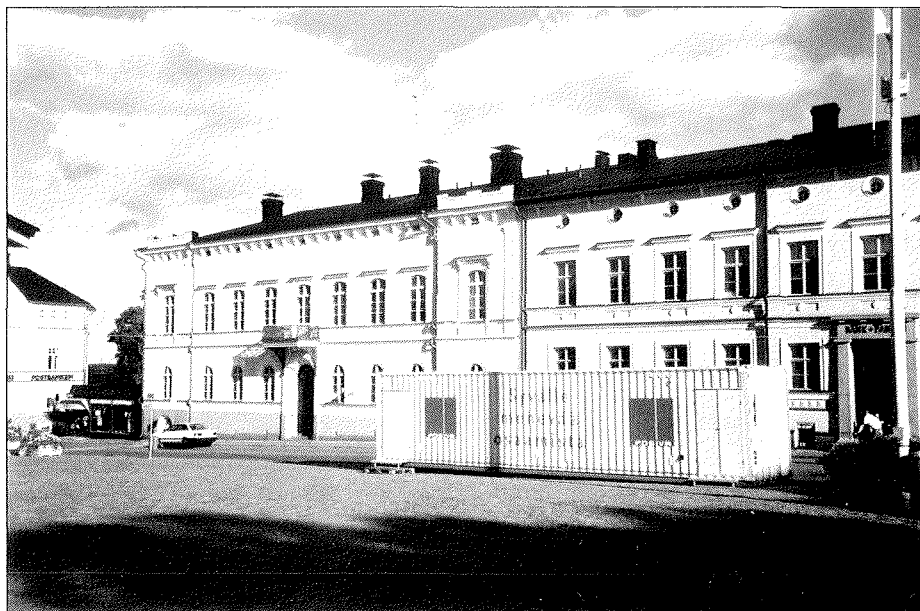
Sigyn on valmistettu Ranskassa 1982, ja sillä on nykyisin kaksi päätehtävää. Talvisin se huolehtii käytetyn polttoaineen kuljetuksista Ruotsin muilta ydinvoimalaitospaikkakunnilta Oskarshamniin, jossa Ruotsin keskitetty käytetyn polttoaineen välivarasto CLAB sijaitsee. Kuljetuksia SKB ilmoitti olevan noin 15 joka talvi.

Kesällä Sigyn muuntautuu näyttelyksi ydinjätehuollosta, ja tänä kesänä esimerkiksi Loviisan vierailua edelsi näyttely Tukholmassa, josta aluksen miehistö ja SKB:n (=Ruotsin Posiva) olivat erityisesti nauttineet. Loviisan jälkeen alus suuntasi Barsebäckiin, jossa tunnelmat varmasti ovat kireämmät.

Jorma Aurela, Loviisa



Sigynin laskuportaan ääressä vasemmalta Loviisan Posivan toimiston vetäjä Björn Wahlström, SKB:n toimitusjohtaja Sten Bjurström ja Posivan toimitusjohtaja Veijo Ryhänen. Mainittakoon, että Ruotsin ydinvoimapoliittiset vedot jatkuvat, sillä Bjurström ATS Ydintekniikan tietojen mukaan luovuttaa paikkansa lokakuussa lähinnä poliittisesti ansioituneelle seuraajalle.



Loviisan tori Sigynin vierailun aikana: tässä kontissa voi vierailija laskeutua hissillä viidensadan metrin syvyyteen tutustumaan runsasaktiivisen ydinjätteen loppusijoituksen tekniikkaan. Viikonloppuna tässäkin päivysti uskollisia sateenkaaren sotureita Posivan oppaiden ohella.

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA –

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



Kannatusjäsenet

ABB Power Oy

Fintact Oy

IVO-yhtiöt

Kemira Oy, Energia

Mercantile-KSB Oy Ab

NAF Oy

Neste Oy

Perusvoima Oy

Pohjolan Voima Oy

Posiva Oy

PRG-Tech Oy

Rados Technology Oy

Saanio & Riekkola Oy

Siemens Oy

Soffco Oy Ab

Suomen Atomivakuutuspooli

Suomen Malmi Oy

Teollisuuden Voima Oy

VTT Energia