



ATS

YDINTEKNIikka

3/88

vol. 17

SISÄLTÖ

TURVALLISUUS

Turvallisuuden oltava uskottavaa	1
Vakavat reaktorionnettomuudet todennäköisyysperusteisen turvallisuusanalyysin osana	2
Vakavan onnettomuuden varalta — SAM on lisävarmistus	4
Varautuminen vakaviin reaktorionnettomuuksiin Loviisan voimalaitoksella	6
Vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimus VTT:ssä	7
Poikkeuksellinen polttoaineallastyö Loviisan voimalaitoksella	9
Ydintekniikan opetus Suomessa	12
Ydinenergiaan perehtyneisyyttä ja perusteellisuutta	14
Väitös reaktorien termohydrauliikasta	16
Vuosihuollot 1988	17
Energiatalous vuonna 2030	18
WANO — uusi maailmanlaajuinen käyttökokemusten vaihtojärjestelmä	20
Sihteerin sana — Yhteinen tulevaisuutemme puntarissa	21
Ytimekkäät	23
Lyhyesti maailmalta	25
English Abstracts	27

ATS

YDINTEKNIikka

3/88, vol. 17

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

TOIMITUS

Päätoimittaja
DI Heikki Raumolin
P. 90-609 0281

Perusvoima Oy
PL 138, Malminkatu 16
00101 Helsinki

Erikoistoimittaja
TkL Klaus Sjöblom
P. 915-550431

Imatran Voima Oy
PL 23
07901 Loviisa

Erikoistoimittaja
FK Osmo Kaipainen
P. 90-605022

Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53
00100 Helsinki

Toimitussihteeri
DI Pertti Salminen
P. 90-456 4148

VTT/E-osasto
Vuorimiehentie 5
02150 Espoo

JOHTOKUNTA

Pj TKT Erkki Aalto
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-508 2410

Jäs. FK Hannu Koponen
Säteilyturvakeskus
Kumpulantie 7
00520 Helsinki
P. 90-70 821

Vpj DI Antti Hanelius
Suomen Voimalaitosyhdistys ry.
Lönnrotinkatu 4 B
00120 Helsinki
P. 90-602944

Jäs. DI Ilkka Mikkola
Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53 B
00100 Helsinki
P. 90-605022

Rh DI Seppo Salmenhaara
VTT/REA
Otakaari 3 A
02150 Espoo
P. 90-4566330

Jäs. TkL Björn Wahlström
VTT/SÄH
Otakaari 7 B
02150 Espoo
P. 90-4566400

Siht. DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-508 2426

TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri
DI Jussi-Pekka Palmu
P. 90-530 1647
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa

Ekskursios sihteeri
TkL Eero Patrakka
P. 90-605022
Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53 B
00100 Helsinki

Kans.väl.yhteyks.siht.
DI Klaus Kilpi
P. 90-648931
VTT/Ydinvoimatekniikan lab.
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki

ATS-Info puheenjohtaja
TKT Seppo Vuori
P. 90-648931
VTT/Ydinvoimatekniikan lab.
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki

Professori Antti Vuorinen on Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja, p. 90-70 821.

Antti Vuorinen, Säteilyturvakeskus

Turvallisuuden oltava uskottavaa

ATS YDINTEKNIikka (17) 3/88

TURVALLISUUS

Vuoden 1988 numeroiden teemat:

No. 4 "Japani"
artikkelit viimeistään 11.11.

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin ATS:n jäseniltä: 200 mk

Ilmoitushinnat: 1/1 sivua 1300 mk
1/2 sivua 800 mk
1/3 sivua 600 mk

Toimituksen osoite:

ATS Ydintekniikka
c/o Pertti Salminen
VTT/E-osasto
Vuorimiehentie 5
02150 ESPOO
p. 90-456 4148
telex 122972 vttha sf
telefax 90-460419

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

ISSN-0356-0473

ATS Ydintekniikka (17) 3/88

Suhtautumisessa ydinenergiaan tultiin 1980-luvulla vaiheeseen, jolloin arviointi ydinenergian turvallisuuden riittävydestä siirtyi suhteellisen pieneltä asiantuntijajoukolta suurelle yleisölle ja poliitikoille. Näin teknillistieteellisen vaikean ongelman punnintaan on tullut uusi ulottuvuus — uskottavuus. Perustana uskottavuudelle täytyy olla vankka tieto, mutta se ei riitä vaan objektiiviseen tietopohjaan nojautuen on kyettävä muodostamaan kriittisenkin tarkastelun kestävä välttämättä subjektiivisiksi muodostuvat käsitykset mahdollisimman totuudenmukaisten ja ymmärrettävien mielikuvien synnyttämiseksi.

Ydinenergian turvallisuustekniikka on elänyt erityisesti TMI-onnettomuuden jälkeisen ajan voimakasta kehitysvaihetta. Päälinjana on ollut entiset peruskonseptit säilyttäen pyrkimys hyvään eli mahdollisimman virheettömään toteutukseen.

Periaatteelliset täydennykset liittyvät lähinnä varautumiseen vakavien onnettomuuksien osalta. Nähtäväksi jää milloin ja missä määrin usein toivottu sisäisesti turvallinen suuri reaktori onnistutaan kehittämään. Tähän liittyviä vaikeuksia pohdittaessa voidaan aiheellisesti kysyä onko reaktorien koon kehittämisessä edetty liikaa taloudellisten tavoitteiden ohjaamina. Eikö olisi luonnollista vakuuttautua käytännöllisesti katsoen täydellisesti sisäisestä varmuudesta pienemmillä tehoilla toimivilla reaktoreilla.

Ympäristöasiantuntijoiden keskuudessa ollaan käytännöllisesti katsoen yksimielisiä fossiilisten polttoaineiden käytön jatkamisen aiheuttamista globaalista uhista. Ydinlaitoksen katastrofaalinenkin onnettomuus, kaikessa pelottavuudessaan koskee sittenkin edelliseen verrattuna vain rajoitettuja alueita.

Ydinenergian turvallisuustavoitteita pohdittaessa kysytään edelleen "How safe is safe enough". Tyydyttävään tulokseen ei päästä enää DBA (Design Basis Accident) -pohjaisella mitoituksella. 1990-luvulla lähtökohtana turvallisuustavoitteita asetettaessa on SAHARA (Safety As High As Reasonably Achievable) -ajattelutapa. Käytännössä tulosten saavuttamisen edellytyksenä on elävän turvallisuuskulttuurin kasvattaminen koko siihen yhteisöön, jonka panosta tarvitaan ydinlaitosten toteuttamisessa.

Kun tosiasiaksi on tullut, että päätökset tehdään hyvin suuressa määrin subjektiivisten käsitysten pohjalta edellyttää ydinteknologian jatkuminen myönteisten tunteiden yleistä kehittymistä. Yhtenä tärkeänä kulmakivenä tässä kehityksessä on asiantuntijajoukon korkea laadullinen taso yleisen luottamuksen tehokkaana kasvualustana. □

Vakavat reaktorionnettomuudet todennäköisyysperusteisen turvallisuusanalyysin osana

Todennäköisyysperusteinen turvallisuusanalyysi, Probabilistic Safety Analysis (PSA), jaetaan yleensä kolmeen tasoon. Tason tarkasteluissa arvioidaan reaktorisydämen vaurioitumiseen johtavien onnettomuusketjujen esiintymistodennäköisyys. Tasolla 2 analysoidaan tällaisten onnettomuuksien fysikaalinen eteneminen ja määritetään lähetermi, suojarakennuksesta vapautuva fissiotuotepäästö. Tason 3 tarkasteluissa arvioidaan radioaktiivisten aineiden leviäminen laitoksen ulkopuolelle ja niiden ympäristö- ja väestövaikutukset. Vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimus liittyy varsinaisesti tason 2 PSA-tarkasteluihin. Tutkimuksessa selvitetään onnettomuudessa esiintyviä ilmiöitä ja kehitetään onnettomuuksien kulua analysoivia tietokoneohjelmia.

Todennäköisyysperusteinen turvallisuusanalyysi tuli yleiseen tietouteen ja osaksi reaktoriturvallisuustutkimusta 1970-luvun alkupuolella. Alan pioneereja ovat englantilainen Farmer ja USA:n Rasmussen. Vuosikymmenen puolivälissä ilmestyi USNRC:n laajasti tunnetuksi tullut Reactor Safety Study, WASH 1400, ns. Rasmussenin raportti. Siinä arvioitiin todennäköisyyslaskennan menetelmin reaktorisydämen vaurioitumiseen johtavien onnettomuuksien esiintymistodennäköisyyttä sekä arvioitiin onnettomuuksista aiheutuvat lähetermit ja ympäristövaikutukset. Lähetermin arviointimenetelmät olivat tuolloin vielä erittäin karkeita.

Käsite vakava reaktorionnettomuus on vakiintunut reaktoriturvallisuuden sanastoon 1980-luvulla. Alkusuosituksen tutkimukselle antoi Yhdysvalloissa vuonna

DI Klaus Kilpi ja TkL Risto Sairanen ovat VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion ydinvoimaloiden prosessitekniikan jaoston erikoistutkijoita, p. 90-648 931.

1979 tapahtunut TMI 2-laitoksen onnettomuus, jossa tunnetusti reaktorisydän ensimmäisen kerran vaurioitui merkittävässä määrin. Onnettomuuden seurauksena reaktoriturvallisuustutkimusta suunnattiin uudestaan. Yleisesti todettiin, että sydämen vaurioitumisonnettomuudessa tapahtuvia fysikaalisia ilmiöitä ei riittävästi tunneta, minkä johdosta kokeelliseen tutkimukseen ja onnettomuuden etenemistä laskevien tietokoneohjelmien kehitykseen oli välttämätöntä osoittaa tutkimusvaroja.

Eri maissa, ensimmäisenä erityisesti USA:ssa, vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimusohjelmat tulivat merkittäväksi osaksi reaktoriturvallisuustutkimusta, ollen sitä yhä edelleen. Myös jo meillä olevia kokeellisia tutkimusohjelmia muutettiin, esimerkkinä mm. LOFT-projekti, jossa painopiste siirtyi suurista jäädytteen menetysonnettomuuksista pieniin vuotoihin.

Vuonna 1986 tapahtunut Tshernobylin onnettomuus ei niinkään vaikuttanut tutkimuksen volyyymiin, tutkimus oli jo kaikkialla käynnistynyt ja vakiintunut. Eräissä maissa oli tosin jo havaittavissa tutkimuksen lopettamisaikaita, joista ei enää puhuta. Tshernobylin onnettomuus on kylläkin osittain suunnannut uudelleen tutkimusta. Merkittäväksi on tullut inhimillisen toiminnan tutkimus, erityisesti onnettomuuden hallinta, accident management, sekä myös suojarakennuksen rakenteellisen kestävyuden tutkimus.

Vakavan reaktorionnettomuuden kulku

Sydämen vaurioitumisen edellytys on, että jäädytysveden pääsy reaktorisydämeen syystä tai toisesta estyy. Sydämen osittainkin paljastuessa se alkaa kuumeta. Aluksi vapautuvat helpoimmin haihtuvat fissiotuotteet, jalokaasut, jodi, kesium ja telluuri, myöhemmin myös muut, ja alkavat kulkeutua primaaripiirissä. Fissiotuoteinventari tunnetaan hyvin, samoin suhteellisen hyvin fissiotuotteiden vapautuminen. Tutkimus on jo 1970-luvulla ollut mittavaa erityisesti USA:ssa, Saksan liittotasavallassa ja Japanissa.

Mikäli jäädytystä ei saada palautettua, sulaminen etenee reaktoripaineastiassa. Sydän vaurioituu entistä enemmän ja romahtaa lopulta paineastian pohjalle. Vaurioitumisvaiheen aikana vesihöyry hapettaa polttoainesauvojen suojaorien zirkoniumia, jolloin vapautuu vetyä. Arviot hapettuvan zirkoniumin määrästä vaihte-

levät suuresti, jopa alueella 10...90 % zirkoniumin kokonaismäärästä.

Fissiotuotteet ja sula sydänmateriaali kulkeutuvat primaaripiirissä pidättyen osaksi putkien seinämiin, erityisesti putkimutkisiin, sekä mahdollisiin vesilukkoihin. Kulkeutuessaan primaaripiiriin kylmempiin osiin useimmat kaasumaiset fissiotuotteet muodostavat jäähtyessään aerosoleja. Veteen liukenevat aerosolit kasvavat huomattavasti ympäröivän vesihöyryn liuetessa tai kondensoituessa niihin. Suurempien aerosolien (muutama mikrometri tai enemmän) pidättyminen primaaripiiriin eri osiin on voimakasta pienempien aerosolien pysyessä vesihöyry/kaasuvirtauksessa. Marvikenissa, Ruotsissa tehdystä laajassa koesarjassa on tutkittu aerosolien pidättymistä primaaripiirissä. Tulokset osoittivat pidättymisen vaihtelun alueella 30...70 % olosuhteista riippuen.

Primaaripiiriin puhkeaminen saattaa tapahtua kahdella eri tavalla. Sydänsula voi sulattaa paineastian pohjan ja romahtaa reaktorikuiluun. Seinämiin pidättyneet fissiotuotteet voivat toisaalta jälkilämmöllään puhkaista ohuemman materiaaleinämän muualla primaaripiirissä. Puhkeamiskohdan luotettava määrittäminen on vielä erittäin epävarmaa. Ongelman selvittäminen olisi kuitenkin tärkeää, sillä onnettomuuden kulku riippuu huomattavasti purkautumistavasta. Joissakin onnettomuusketjuissa on primaaripiiriin paine puhkeamishetkellä korkea. Mikäli primaaripiiri puhkeaa paineastian pohjalta, seuraa sydänsulan purkaus korkeasta paineesta, mikä saattaa olla suojarakennukselle kohtalokas. Mikäli vuoto tapahtuu paineastian ulkopuolella, saattavat jo pidättyneet fissiotuotteet lähteä uudestaan liikkeelle ja vuotoa suojarakennukseen. Vuoto saattaa tapahtua myös ohi suojarakennuksen, esim. PWR-laitoksen höyrygeneraattorin sekundaaripuolelle.

Joissain arvioissa paineastia ei lopulta puhkeakaan. Yleisimmin kuitenkin arvioidaan paineastian sulavan puhki ja sulan romahtavan reaktorikuiluun. Aikaa onnettomuuden alusta paineastian pohjan puhkeamiseen kuluu laitoksesta riippuen alle tunnista muutamaan tuntiin. Sydänsula reagoi betonirakenteen kanssa, jolloin vapautuu vesihöyryä, vetyä ja hiili-monoksidia. Reaktio on oleellisesti hitaampi, mahdollisesti jopa pysähtyy, mikäli betoni on veden peitossa. Tällöin höyrystyvä vesi voi kuitenkin paineistaa suojarakennusta nopeasti. Aihepiirin kokeellinen tutkimus on mittavaa (mm. me-

neillä oleva ACE-projekti). Kysymys onkin tämän hetken tärkeimpiä kansainvälisesti.

Onnettomuudet jaetaan kahteen eri luokkaan suojarakennuksen murtumishetken mukaan. Suojarakennus saattaa murtua varhaisesti (0... muutama tunti) tai myöhäisesti (muutama tunti... useita vuorokausia). Onnettomuuden hallintatoimenpitein pyritään ensi vaiheessa välttämään varhainen murtuminen ja täten maksimoidaan suojarakennuksen ilmatilassa olevien fissiotuotteiden pidättäminen suojarakennukseen. Myöhemässä vaiheessa myöhäinen murtuminen pyritään estämään, t.s. onnettomuus pysäytyksi.

Suojarakennuksen varhainen murtuminen riippuu oleellisesti onnettomuuden historiasta. Mahdollisia syitä voivat olla korkeapaineinen sydänsulapurkaus, höyryräjähdys, vetyräjähdys ja ns. direct heating, fissiotuotteiden sulaminen läpi suojarakennuksen seinämän. Mikäli purkaus korkeasta paineesta voidaan esim. hallitulla paineenalenuksella välttää, suojarakennuksen varhaisen murtumisen todennäköisyys pienenee yleensä oleellisesti. Mainittujen fysikaalisten ilmiöiden tutkimus on USA:ssa mittavaa. Mielipiteet eri ilmiöiden merkityksestä vaihtelevat vielä suuresti.

Onnettomuuden viimeisessä, suojarakennuksessa etenevässä vaiheessa on lukuisia määriä eri fysikaalisia ilmiöitä, jotka vaikuttavat onnettomuuden lopulliseen vakavuusasteeseen. Aerosolien poistoprosessit vähentävät jatkuvasti ilmatilassa leijuvia fissiotuotteita. Tärkein poistumistie on painovoimainen sedimentaatio, joka on sitä nopeampaa, mitä suurempia aerosolit ovat. Vesihöyryn kondensoituminen aerosolien pinnalle ja veteen liukenevien, hygroskooppisten aerosolien kyky imeä itseensä massaansa nähden moninkertaisen määrän vettä kasvattaa aerosoleja huomattavasti, tunnin parin kuluessa useiden mikrometrien kokoluokkaan. Fissiotuotteet ovat kaikiksi onneksi enimmäkseen hygroskooppisia, joten muutaman tunnin kuluessa valtaosa fissiotuotteista on poistunut suojarakennuksen ilmatilasta. Viimeaikainen tutkimus on osoittanut aerosolien hygroskooppisuusominaisuuksien olevan keskeisen tärkeä aerosolien poistumiselle (mm. LACE-projekti USA:ssa). Vesialtaat ovat tehokkaita aerosoliloukkuja. Fissiotuotteiden muuttumista vesialtaissa uudelleen kaasumaisiksi pyritään estämään kemiallisin menetelmin mm. nostamalla pH-arvoa emäksiseksi.

Onnettomuuden seurausvaikutukset riippuvat oleellisesti suojarakennuksen kestävydestä. Tutkimusta on huomattavasti kohdistettu luotettavien laskentamenetelmien kehittämiseksi toisaalta suojarakennuksen kuormituksen toisaalta kuormitettavuuden määrittämiseksi. Viime aikoina on kasvavassa määrin panostettu vety- ja -räjähdysten tutkimukseen, koska vedyn kehitys voi olla vaarallisen runsaasta vakavissa onnettomuuksissa. Koikeellinen tutkimus on runsasta, mm.

Taulukko. PSA:n sisältö ja sovellukset (Ydinenergiatutkimuksen tarve Suomessa vuosina 1988—1995, KTM/E, Sarja C:17, 1987).

PRA/PSA taso	Sisältö ja tavoite	Sovellukset turvallisuustyössä
I	vaarallisten tapahtumaketjujen tunnistaminen turvajärjestelmien luotettavuusarviot onnettomuusketjujen todennäköisyysarviot	muutostöiden suunnittelu huollon ja käytön ohjaus turvallisuusteknisten käyttöohjeiden suunnittelu ja arviointi laadunvalvonnan ohjaus operaattorien koulutus
II	onnettomuuksien fysikaalinen analyysi lähdetermin arviointi radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen laitoksen sisällä ulkoisten tapahtumien analyysi	hätätilanneohjeiden suunnittelu ja arviointi pelastuspalvelun suunnittelu operaattorien koulutus
III	radioaktiivisten aineiden leviäminen ympäristöön ympäristö- ja väestövaikutuksen arviointi ulkoisten tapahtumien analyysi	pelastuspalvelun suunnittelu hätätilanneohjeiden suunnittelu ja arviointi onnettomuuksien seurausten rajoittaminen vertailu yhteiskunnan muiden riskien kanssa

HDR Phase III-projekti Saksan liittotasavallassa, samoin laskentamenetelmien kehitys. Merkittävin keino paineen pitämiseksi riittävän alhaisena on onnettomuuden hallintatoimenpiteet, mm. suojarakennuksen hallittu ja suodatettu paineenalennus.

Mikäli suojarakennus räjähdysten aiheuttaman ylipaineen tai jatkuvasti tapahtuvan hitaan paineenousun vuoksi kuitenkin murtuu, suojarakennuksen ilmatilassa olevat fissiotuotteet purkautuvat ympäristöön muodostaen lähdetermin. Poistumisprosesseista johtuen on päästöosuus vain epätodennäköisissä erityistapauksissa suurempi kuin muutama prosentti sydäninventaarista (vrt. Tshernobyl-onnettomuuden 15...30 % fissiotuotteesta riippuen).

PSA tasot 1, 2 ja 3

Taulukossa on kuvattu PSA tasojen aihepiiriä ja sovelluskohteita. Tason 1 tarkasteluissa arvioidaan sydämen vaurioitumiseen johtavien ketjujen todennäköisyys. Tietyssä mielessä useimmat, jos nyt ei aivan kaikki onnettomuustilanteet, ovat potentiaalisesti sydämen vaurioitumiseen johtavia, joten tarkastelun piiriin tulisi ottaa lähes rajaton määrä onnettomuuksia. Käytännön syistä on kuitenkin pidädyttävä muutamassa tuhannessa onnettomuusketjussa. Sydämen vaurioitumisen kokonaistodennäköisyys vaihtelee tyypillisesti alueella 10^{-4} ... 10^{-5} /reaktorivuosi laitoksesta riippuen. Onnettomuuden eri alkusyiden merkitys vaihtelee laitoskoh-

taisesti erittäin paljon. Ei voida puhua edes tyypillisistä PWR- tai BWR-laitosten onnettomuuksista. Voidaan ehkä kuitenkin karkeasti arvioida sähkönmenetysonnettomuuden olevan yleisin vakavaan sydänvaurioon johtava onnettomuus, seuraavina jäädytteenmenetysonnettomuudet ja ATWS (transientti ilman pikasulku). Suomessa tason 1 PSA-tarkastelu on meneillään sekä Loviisan että Olkiluodon laitoksissa. Tuloksia on odotettavissa vuonna 1989. Alkusyiden merkitys suomalaisissa laitoksissa voi poiketa oleellisesti muissa maissa saaduista tuloksista.

Tason 2 tarkasteluissa saattaa onnettomuuksien alkusyitten merkitys muuttua tason 1 tuloksiin verrattuna dramaattisesti. Jokin alkusyy saattaa olla esim. 1 % kaikista tapauksista, mutta johtaa monta dekadia suurempaan lähdetermiin kuin useimmin esiintyvät onnettomuudet. Tason 2 tarkastelut tuovat turvallisuuskysymykset painotetusti esiin. Mikäli ainoastaan tason 1 PSA-tarkastelut suoritetaan, laitokseen mahdollisesti tehtävät muutostyöt voidaan optimoida lähinnä vain taloudellisten tekijöiden perusteella. Tason 2 (ja 3) tarkastelujen avulla myös turvallisuusaspekti voidaan paremmin ottaa muutostöiden ja turvatoimenpiteiden suunnittelussa huomioon.

Jo valmistuneista tason 2 PSA-tarkasteluista on havaittavissa, että suurempien (prosenttien suuruusluokkaa) lähdetermien todennäköisyys on tyypillisesti dekadia tai kahta pienempi kuin pienempien (huomattavasti alle prosentti sydän-

inventaarista) lähdetermien todennäköisyys. Vaikka fissiotuotteita vapautuisi polttoaineesta vaikkapa kymmeniä prosentteja kokonaisinventaarista, eri tyyppiset fysikaaliset ilmiöt, turvajärjestelmät ja -toimenpiteet onnistuvat pidättämään fissiotuotteita laitoksen sisälle siinä määrin, että lähdetermi jää pieneksi. Vain erittäin epäsuotuisissa olosuhteissa voi eri toimintojen samanaikainen vikaantuminen aiheuttaa suuren lähdetermin. Todennäköisyys on sitä pienempi, mitä useampi toiminta oletetaan jäävän pois. Eräänä raja-arvona suuren ja pienen lähdetermin välillä voitaneen pitää 0,1 % sydäninventaarista, Ruotsin viranomaisen asettamaa kriteeriä enimmäispäästölle.

Ympäristövaikutusten arvioiminen suoritetaan tason 3 PSA-tarkasteluissa. Lähdetermin lisäksi tarvitaan tiedot sääolosuhteista, väestöjakaumasta sekä toteutettavista evakuointitoimenpiteistä ja ravinnonrajoituksesta. Tuloksina saadaan arviot radioaktiivisten aineiden leviämiseen ympäristöön sekä arviot varhaisille ja myöhäisille terveysvaikutuksille. Jälleen huomataan todennäköisyyden pienenevän, mitä suuremmista terveysvaikutuksista on kysymys. Vain murto-osassa kaikista tapauksista suojaustoi-

menpiteet epäonnistuvat ja sääolosuhteet ovat samalla epäedullisimmillaan. Todennäköisyydet pienenevät tyypillisesti tekijällä $10^{-2} \dots 10^{-3}$ /reaktorivuosi vakavimpien onnettomuuksien suhteen siirryttäessä tasolta 2 tasolle 3.

Yhteenveto

Vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimusaihepiiri liittyy nimenomaan PSA-tason 2 aihepiiriin. Kytkentä tasoihin 1 ja 3 on kuitenkin vahva. Hyvin suoritettu tason 1 tarkastelu edellyttää iteratiivista prosessia, jossa välillä suoritetaan suppeita tason 2 tarkasteluja. Tason 3 tarkastelut saavat herkkyydeltään luonteen, mikäli lähdetermiä ei ole määritetty mahdollisimman realistisesti.

PSA-tarkastelut lisäävät merkittävästi tietämystä ydinvoimalaitosten turvallisuustasosta. Suuri epäkohta on vielä eri tasojen tarkasteluihin liittyvät epävarmuudet. Tasolla 1 nämä johtuvat erityisesti luotettavuus- ja vikaantumistietojen sekä ihmisten tekijöiden arvioinnin puutteellisuudesta, tasolla 2 erityisesti ilmiöiden ennustettavuuden epävarmuuksista. Tasolla 3 epävarmuutta taas aiheuttavat tilastolliset, nimenomaan sääolosuhteisiin

liittyvät tekijät. Epävarmuuksien matemaattinen yhdistäminen on ongelmallista, osittain myös epätarkoituksenmukaista. Voitaneen kuitenkin sanoa, että kokonaisepävarmuus tietyn ympäristövaikutuksen todennäköisyydessä voi olla useita dekaadeja.

Yksittäisen laitoksen kannalta PSA-tarkasteluilla on epävarmuuksista huolimatta kiistaton hyötynsä mm. siksi, että laitosuunnittelu ja muutostyöt voidaan toteuttaa sen jälkeen tasapainoisesti ja käyttöhenkilökunta oppii syvällisemmin tuntemaan laitoksen. Toisin sanoen laitoksen turvallisuutta voidaan merkittävästikin lisätä, ilmaistakoon turvallisuuden lisäys sitten todennäköisyydellisten, lähdetermin tai seurausvaikutusten pienemisenä.

Mikäli tavoitteena on laitoksen turvallisuustason eri arvonäkökohdat huomioon ottava nosto, tulee PSA-tutkimuksen olla mahdollisimman kattava. Täydellinen PSA antaa sekä voimayhtiölle että viranomaiselle runsaasti käyttökelpoista tietoa, jolla laitoksen muutostöiden ja hätätilaneohjeiden suunnittelu voidaan toteuttaa kustannusten ja turvallisuuden kannalta tasapainoisesti. □

Seppo Koski, TVO

Vakavan onnettomuuden varalta — SAM on lisävarmistus

TVO:n laitossyksiköiden suunnittelun lähtökohdana on, että reaktorisydämen sulamisonnettomuus estetään moninkertaisin turvallisuusjärjestelmin. Jotta turvallisuutta voitaisiin vielä entisestäänkin lisätä, on uudeksi lähtökohdaksi otettu se äärimmäisen epätodennäköinen tilanne, että moninkertaiset turvallisuusjärjestelmät eivät toimisi onnettomuustilanteessa. Uusi ajattelutapa edellyttää laitossyksiköillä eräitä muutoksia, joita varten on perustettu ns. SAM-projekti.

TVO:n laitossyksiköillä on tämän vuoden revisioiden yhteydessä suoritettu joukko muutostöitä, joiden tarkoituksena on lieventää mahdollisen vakavan reaktorionnettomuuden vaikutuksia laitoksen ympäristöön. Nämä muutostyöt perustuvat Säteilyturvakeskuksen kesäkuussa 1986 esittämään vaatimukseen, jonka mukaan

Suomen ydinvoimaloissa on suunniteltava ja toteutettava toimenpiteet vakaviin reaktorionnettomuuksiin varautumiseksi huolimatta siitä, että tällaisten onnettomuuksien todennäköisyys on hyvin alhainen. Tarvittavat muutostyöt on tehty ns. SAM-projektin (Severe Accident Mitigation) puitteissa.

Vakavalla reaktorionnettomuudella tarkoitetaan onnettomuutta, jossa syntyy huomattavia polttoainevaurioita — ääritapauksessa sydän saattaa jopa sulaa — ja jonka yhteydessä suojarakennuksen tiiveys on uhattuna. Näin ollen vakaviin reaktorionnettomuuksiin varautuminen merkitsee käytännössä suojarakennuksen eheyden ja tiiveyden varmistamista onnettomuuden varalta, niin että mahdolliset päästöt voidaan suorittaa hallitusti ja riittävän pitkällä varoitusajalla.

Suojarakennuksen ylipaine-suojaus

Olkiluodon laitossyksiköiden suojarakennuksen toimintaperiaate käy ilmi kuvasta 1. Mikäli kuivatilassa tapahtuu kuumaa reaktorivettä tai -höyryä sisältävän putken katkos, purkautuu suojarakennuk-

seen vapautuva höyry alaspuhallusputken kautta lauhdutusaltaaseen, jossa se lauhduttuu vedeksi.

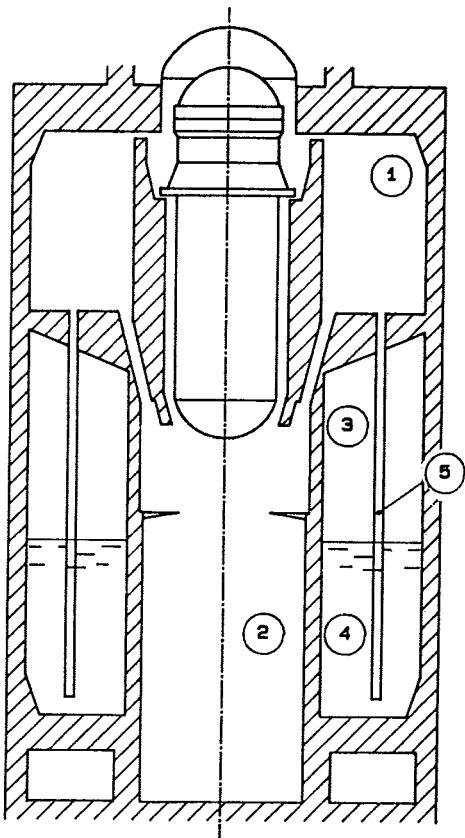
Näin suojarakennus pystyy ottamaan vastaan kaiken reaktorista purkautuvan höyryn ilman että paine silti nousee liian korkeaksi. Jos kuitenkin kuiva- ja märkätilan välisessä ns. välitasossa on syystä tai toisesta vuoto, voi osa reaktorista purkautuvasta höyrystä kulkea suoraan tämän vuodon kautta kuivatilasta märkätilaan. Koska tämä höyry ei joudu kulkemaan lauhdutusaltaan kautta, se ei lauhdu vedeksi. Tällöin märkätilan paine nousee, mistä puolestaan on seurauksena koko suojarakennuksen paineen nousu. Jos kyseessä on suuri reaktoripiirin putkikatkos ja samanaikainen suuri välitason vuoto, voi suojarakennuksen paine nousta muutamassa kymmenessä sekunnissa niin korkeaksi, että suojarakennus särkyi.

DI Seppo Koski on Teollisuuden Voima Oy:n turvallisuustoimiston reaktoriturvallisuusjaoksen päällikkö, p. 938-3811.

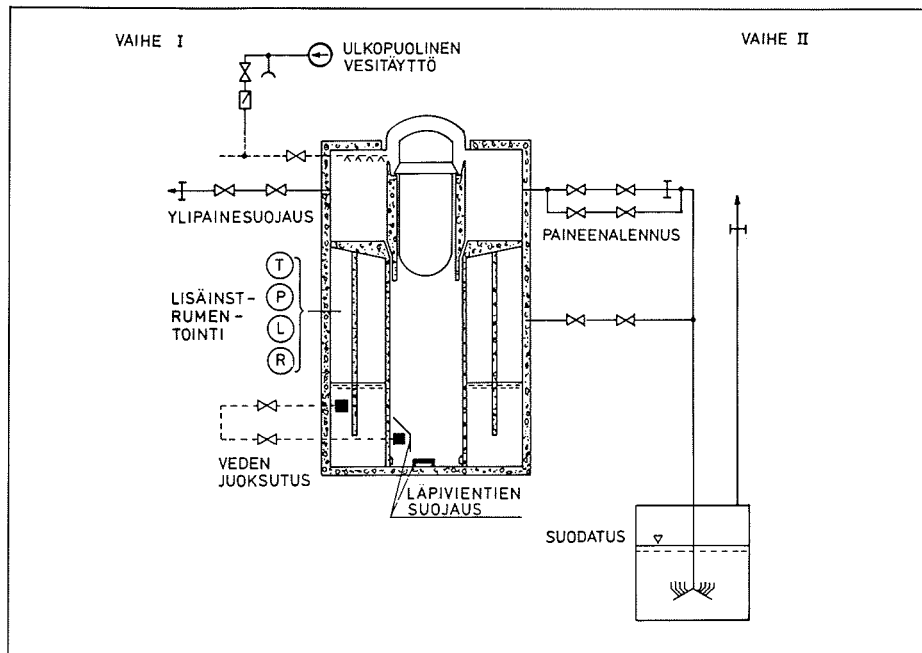
Seurauksena voi olla rakennuksen seinämien läpi kulkevien hätäjäähdytysjärjestelmien putkistojen vaurioituminen, mikä puolestaan voi johtaa vakavan reaktorionnettomuuden syntymiseen. Tällaisen tapauksen varalta suojarakennukseen on nyt asennettu ylipainesuojajärjestelmä. Sen muodostaa 600 mm ulospuhallusputki, jossa varoventtiilinä toimii murtolevy. Tämä levy murtuu suojarakennuksen paineen ylittäessä 7 bar. Järjestelmän puhallus suuntautuu suoraan ilmakehään, turbiinirakennuksen katon yläpuolelle. Koska reaktoripiirin putkikatkosonnettomuudet eivät suoranaisesti aiheuta polttoainevaurioita, jäisi radioaktiivisten aineiden vapautuminen ilmakehään vähäiseksi. Ylipainesuojajärjestelmän putkistossa on myös kaksi peräkkäistä, käsikäyttöistä sulkuventtiiliä. Niiden avulla suojarakennuksen tiiveys voidaan palauttaa murtolevyn särkymisen jälkeen. Ne voidaan myös sulkea tilanteessa, jossa suojarakennukseen on vapautunut niin paljon radioaktiivisuutta, ettei suoraan ilmakehään tapahtuvaa puhallusta voida sallia.

Alemman kuivatilan läpivientien suojaus

Mikäli halutaan estää hallitsematon radioaktiivisten aineiden päästö vakavan reaktorionnettomuuden yhteydessä, on pystytävä estämään suojarakennuksen särkyminen onnettomuustilanteessa. Koska suojarakennus on normaalisti täytetty typpikaasulla, on veträjähdysten tai -palon mahdollisuus pois suljettu. Tämä on erittäin merkittävää, koska onnetto-



Kuva 1. TVO:n laitosyksiköiden suojarakennus. 1. Ylempi kuivatila. 2. Alempi kuivatila. 3. Märkätila. 4. Lauhdutusallas. 5. Alaspuhallusputki.



Kuva 2. SAM-projektissa toteutettavat laitosmuutokset. Vaiheen I työt saatetaan loppuun vuoden 1988 ja vaiheen II työt vuoden 1989 loppuun mennessä. T = lämpötilamittaus, P = painemittaus, L = vedenpinnan mittaus, R = säteilymittaus.

muustilanteissa voi syntyä suuria määriä vetyä ns. metalli/vesi -reaktion kautta.

Alempaan kuivatilaan valuva sula sydänmassa voisi kuitenkin aiheuttaa vaurioita tässä tilassa sijaitseville lukuisille sähkö-, putkisto- ym. läpivienneille. Näiden suojaamiseksi alempi kuivatila on täytettävä vedellä ennen reaktorin paineastian puhki sulamista. Tämä voidaan tehdä olemassa olevien järjestelmien avulla käyttäen hyväksi lauhdutusaltaan vettä. Tulvitus voidaan käynnistää käsin suojarakennuksen ulkopuolelta tai sähköisesti laitossyksikön valvomosta. Tulvitusmahdollisuudesta huolimatta on SAM-projektiin puitteissa myös suunniteltu ja asennettu erityiset suojuukset alemmassa kuivatilassa sijaitseville läpivienneille. Niiden tehtävänä on estää sulaa sydänmassaa pääsemästä suoraan kosketukseen läpivientien kanssa, ja ne myös suojaavat läpivientejä putoavien esineiden aiheuttamilta mekaanisilta kuormilta.

Suojarakennuksen vesitäyttö

Pitkällä aikavälillä suojarakennuksen täyttäminen vedellä sydämen normaaliin yläreunaan saakka on varmin tapa saattaa laitosyksikkö turvalliseen tilaan vakavan onnettomuuden jälkeen. Vesitäytön mahdollistamiseksi laitoksen palovesijärjestelmä on osana SAM-projektin muutostöistä yhdistetty suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmän putkistoihin. Palovesijärjestelmän dieselmoottorikäyttöiset pumput pystyvät kumpikin pumppaamaan suojarakennukseen vettä jopa 100 litraa sekunnissa täysin riippumatta laitoksen muiden järjestelmien toiminnasta ja sähkön saannista. Pumppaus voidaan myös hoitaa siirrettävillä paloautoihin asennetuilla pumpuilla, mikä lisää huomattavasti suojarakennuksen vesitäytön luotettavuutta. Suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmän suuttimien kautta ylempään kuivatilaan pumpattu vesi pesee

radioaktiivisia aerosoleja pois ilmakehästä, mikä osaltaan pienentää päästöriskejä. Koska vesi on kylmää, se myös estää höyryn paineen kasvun suojarakennuksessa. Vesitäyttöä voidaan jatkaa, kunnes lauhtumattomien kaasujen kokoonpuristuminen pakottaa turvautumaan hallitun paineen alennukseen. Suojarakennuksen täyttäminen sydämen yläreunan tasalle vaatii 5000 m³ vettä.

Suojarakennuksen uudet mittaukset

Onnettomuuden seurausten tehokas rajoittaminen vaatii luotettavaa tietoa suojarakennuksen sisällä vallitsevista olosuhteista. Tätä varten on suojarakennuksen eri osiin asennettu uusia paineen, lämpötilan ja vedenpinnan mittauksia, jotka on suunniteltu säilyttämään toimintakykynsä vakavaa reaktorionnettomuutta vastaavissa olosuhteissa. Kaikki uudet mittaukset on kahdennettu, ja ne saavat sähkönsyötönsä omasta akkuvarmennetusta verkostaan, joka on mitoitettu 24 tunnin sähkökatkoksen varalta.

Paineen alennus ja suodatus

Mikäli jälkilämmön poistoa suojarakennuksesta ei saada onnettomuuden jälkitilanteessa käynnistetyksi, nousee paine ennen pitkää niin korkeaksi, että hallittu höyryn ja kaasun päästö ympäristöön tulee välttämättömäksi. Tätä varten laitossyksiköiden suojarakennukset tullaan varustamaan paineenalennusjärjestelmällä, jossa lisäksi on ulkoinen suodatinyksikkö radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittamiseksi. Koska kyseeseen tulevien kaupallisten suodatinratkaisujen toimintakokeet ovat vielä kesken, on paineenalennusjärjestelmän toteutusta päätetty siirtää siten, että järjestelmän tulee olla asennettuna ja toimintakunnossa vasta vuoden 1989 loppuun mennessä. □

Varautuminen vakaviin reaktori-onnettomuuksiin Loviisan voimalaitoksella

Loviisan voimalaitoksen reaktorin hätäjähdytysjärjestelmien, polttoaineen ja suojarakennuksen suunnittelun perustana on ollut varautuminen suureen jäähdytteenmenetysonnettomuuteen. Kansainvälinen kehitys sekä Suomen viranomaismääräysten kiristyminen 1980-luvulla on johtanut siihen, että suunnitteluperustan lisäksi on varauduttava vakaviin reaktorin vaurioitumiseen ja sulamiseen johtaviin onnettomuuksiin.

Three Mile Islandin onnettomuuden jälkeen on Loviisan suojarakennuksessa varauduttu suureen vedyn kehittymiseen polttoaineen suojarakennuksen kehittäessä. Tätä varten uusittiin reaktorirakennuksen ilmatilan vedynmittausjärjestelmä, asennettiin hehkutulppiin perustuva vedynpolttajärjestelmä sekä muutettiin vedyn rekombinointijärjestelmää.

Tshernobylin onnettomuus antoi lisävauhtia vakaviin reaktorionnettomuuksiin liittyvälle selvitystyölle. Keskeisinä asioina on tutkittu onnettomuusolosuhteiden kehittymistä suojarakennuksessa sekä keinoja suojarakennuksen eheyden varmistamiseksi. Päätavoitteena on vakavien reaktorionnettomuuksien ehkäiseminen sekä ympäristövaikutusten minimointi.

Suojarakennus

Loviisan molempien yksikköjen suojarakennukset ovat vapaasti seisovalla terässuojarakennuksella varustettuja jäälahdutinrakennuksia. Terässuojarakennus on ympäröity ulkovaipalla, joka muodostuu teräsbetonisesta ulkosylinteriseinästä ja teräsrakenteisesta vesikatosta (kaksoisuojarakennus). Reaktorirakennuksen ulkoseinän ja terässuojarakennuksen välinen ns. ulompi välitila pidetään pienessä alipaineessa, jotta mahdolliset vuodot suojarakennuksesta kulkeutuisivat ulkoilmaan välitilan ilmasuodattajajärjestelmän kautta.

DI Eero Mattila on Imatran Voima Oy:n ydinvoimatekniikan osaston laitoskehitystoimiston suunnitteluryhmän ryhmäpäällikkö, p. 90-5081.

Muihin painevesilaitoksiin verrattuna Loviisan suojarakennuksilla on seuraavia erikoisominaisuuksia:

- Jäälahdutin
- Suuri tilavuus verrattuna reaktorin tehoon
- Suuri betonirakenteiden määrä
- Reaktorikuoppa täyttyy vedellä onnettomuustilanteissa
- Alhainen suunnittelupaine
- Heikko alipaineenkesto

Tehtyjen selvitysten perusteella suojarakennus säilyttää eheydensä vielä 3,25 bar paineessa (suunnittelupaine = 1,7 bar). Suurilla paineilla suojarakennuksen tiiveys kuitenkin heikkenee. Tiiveyden varmistamiseksi tullaan molemmilla laitoksilla tekemään pieniä muutoksia. Reaktorikuopan kulkuaukko suojetaan siten, ettei mahdollisesti reaktorikuoppaan joutuva sula sydänmassa pääse kosketukseen kulkuaukon oven kanssa. Myös eräiden muiden kulkuaukkojen ja läpivientien tiiveyttä parannetaan tiivistekonstruktoilla muuttamalla.

Ylipainesuojaus

Onnettomusketjusta riippuen saavutetaan suojarakennuksen suunnittelupaine sydämensulamistapauksissa 10...40 tunnin kuluessa onnettomuuden alusta. Paineennousu aiheuttaa reaktorin jälkilämpötehon aikaansaamasta höyryntuotosta. Onnettomuuden aikana syntyvien lauhuttomien kaasujen osuus suojarakennuksen paineennoususta on pieni.

Vaihtoehtoina ylipainesuojajärjestelmiksi on tutkittu suodatettua ulospuhallusta sekä terässuojarakennuksen ulkopuolista jäähdytystä.

Ulospuhalluksessa puhalletaan reaktorirakennuksen ilmatilassa olevaa höyryä ja ilman seosta ulos. Jo yhden vuorokauden ulospuhalluksen jälkeen olisi lähes kaikki ilma poistunut reaktorirakennuksesta ja jäljellä olisi pelkkää höyryä. Jos reaktorirakennuksen sprinklerijärjestelmä tällöin syystä tai toisesta käynnistyy, pienentää höyryn lauhuminen suojarakennuksen painetta niin nopeasti, ettei alipainesuojajärjestelmän kapasiteetti riitä takamaan reaktorirakennuksen eheyttä.

Ulospuhallusjärjestelmät on tarkoitettu ensiavuksi, niiden käyttö rajoituisi ensimmäiseen onnettomuuden jälkeiseen vuorokauteen. Kuitenkin myös pitempi-aikaisesta jälkilämpöpoistosta on pysyttävä huolehtimaan. Reaktorin jälki-

lämpöteho siirtyy ilman aktiivisia järjestelmiä ympäristöön vasta noin 1–2 kk:n kuluttua onnettomuuden alusta. Tälle ajanjaksolle tarvitaan jälkilämpöpoistojärjestelmä.

Koska ulospuhallukseen liittyy alipainevaara eikä järjestelmä sovellu jälkilämpöpoistoon, ylipainesuojauksen päävaihtoehtoksi on valittu terässuojarakennuksen ulkopuolinen ruiskutus. Ulkopuolisen ruiskutuksen etuna on myös se, että suojarakennuksen paine voidaan pitää kurissa ilman, että ympäristöön jouduttaisiin laskemaan radioaktiivisia aineita.

Järjestelmä koostuu ruiskutuspiiristä sekä jäähdytyspiiristä. Ruiskutusvesi ohjataan terässuojarakennuksen kupoliosan ulkopinnalle suuttimien kautta siten, että saavutetaan mahdollisimman suuri kasteltu pinta-ala. Reaktorin jälkilämpötehon muodostama höyry lauhuu muuta ympäristöä kylmemmän terässuojarakennuksen kupoliosaan, josta lämpö siirtyy ruiskutusveteen. Lämmennyt ruiskutusvesi kerätään terässuojarakennuksen kupolissa ja sylinteriosan liittymäosassa olevasta jäykisterenkaasta, josta se johdetaan merivesilämpövaihtimeen.

Järjestelmän toiminta perustuu lämpimän terässuojarakennuksen ja kylmän ruiskutusveden väliseen tehokkaaseen lämmönsiirtoon sekä suureen lämmönvaihtopintaan. Onnettomuuden alkuvaiheessa reaktorirakennuksen betonirakenteet toimivat lämpönieluinä. Ajan myötä rakenteiden kyky vastaanottaa lämpöä pienenee, mutta samalla myös sydämen jälkilämpöteho alenee. Reaktorirakennuksesta ulos siirrettävä jälkilämpöteho on suurimmillaan vain 3 MW.

Ulkopuolisen ruiskutuksen toiminta varmistetaan mittakaavassa 1:2 tehtävillä kokeilla. Koelaitteisto rakennetaan Saksan liittotasavallassa Karlsruhessa olevaan käytöstä poistettuun HDR-tutkimusreaktoriin, jonka terässuojarakennus vastaa muodoltaan (sylinderi + puolipallo) Loviisaa. Kokeiden avulla tarkistetaan järjestelmän lämpötekninen toiminta Loviisan onnettomuusolosuhteita vastaavissa olosuhteissa.

Primääripiirin paineenalennus

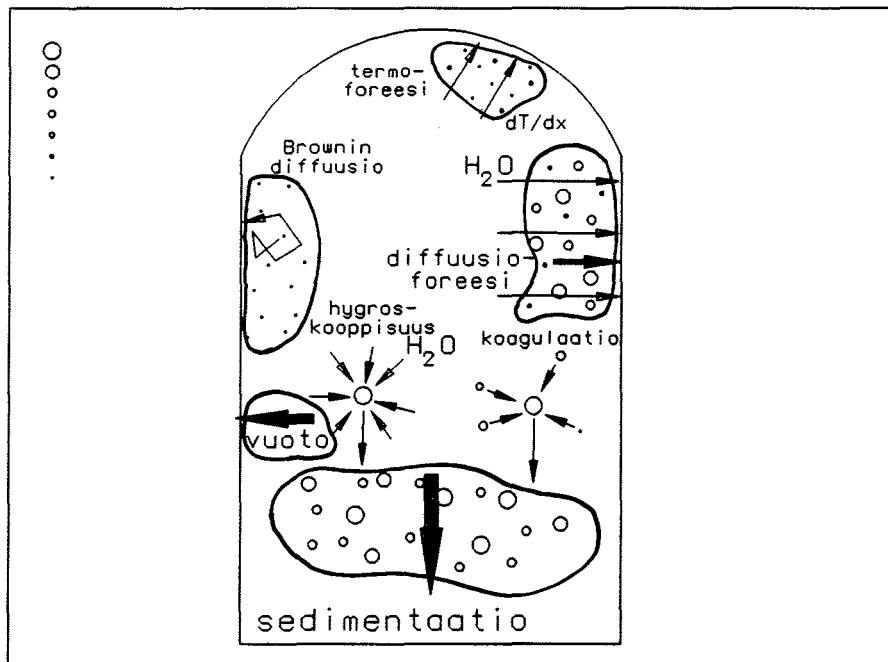
Korkeassa paineessa tapahtuva paineastian puhkisuus saattaa johtaa suojarakennuksen rikkoutumiseen. Tämän estämiseksi primääripiiriin suunnitellaan paineenalennusjärjestelmää. Suunnittelukriteerinä voidaan käyttää onnettomuuden kulun pysäyttämistä tai puhkuislamisen seurauksien lieventämistä.

Vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimus VTT:ssa

Reaktorisydämen merkittävään vaurioitumiseen asti johtavien eli ns. vakavien reaktorionnettomuuksien järjestelmällinen tutkimus käynnistyi VTT:ssa vuonna 1983. Tutkimuksen vuotuinen laajuus on ollut n. 4...5 htv. Tutkimuksen tavoitteita ovat aihepiirin kansainvälisen kokeellisen ja teoreettisen tietämyksen hankinta Suomeen ja sen edelleen kehittäminen kotimaisia tarpeita ajatellen. Erityisesti on keskitytty laskentamenetelmien hankintaan ja ohjelmien käyttöön perehtymiseen mm. kansainvälisiin vertailutehtäviin osallistamalla. Ohjelmia on välittömästi sovellettu voimayhtiöiden ja viranomaisen toimeksiantotehtävissä.

Vakavien reaktorionnettomuuksien arviointi (VARA) -projekti toteutettiin vuosina 1983...1987. Jatkoprojekti VARA II ulottuu vuoteen 1991. Rahoituksesta ovat vastanneet KTM, STUK, IVO, TVO, NKA ja VTT. Projektin tavoitteiksi asetettiin aihepiirin kokeellisen ja teoreettisen perustietämyksen hankinta Suomeen sekä erityisesti laskentaohjel-

Paineen alentaminen tarpeeksi suurella ulospuhalluskapasiteetilla mahdollistaa täydellisessä sähkömenetystilanteessa hätäjähdytysakkujen toiminnan, mikä viivästyttää sydämen sulamista ja antaa aikaa feed & bleed - jäähdytyksen käynnistämiseksi primääri- tai sekundääripiirissä. Jos tähdätään onnettomuuden seurauksien lieventämiseen, pienikin ulospuhalluskapasiteetti riittää laskemaan primääripiirin paineen siinä vaiheessa kun reaktorisydän ei veden puutteen vuoksi enää kehitä höyryä. Paineenalennuksella pienennetään reaktorikuopan painekuormitusta, estetään paineastian nouseminen puhkisulamaisvaiheessa sekä estetään höyrystimien kautta muodostuvan vuotoreitin syntyminen suojarakennuksen ulkopuolelle. □



Kuva. Fissionituotteiden luonnolliset poistumismekanismit suojarakennuksessa.

mien hankinta, käyttöönotto ja soveltaminen maamme ydinvoimalaitosten ja uusien laitoskonseptien analysointiin.

Projektissa on keskeistä ollut osallistuminen kokeellisiin ja teoreettisiin kansainvälisiin tutkimusohjelmiin ja kansainvälisten yhteistyöjärjestöjen työryhmyöskentelyyn. Lisäksi on solmittu kahdenvälisiä yhteistyösopimuksia tiettyjen tietokoneohjelmien hankkimiseksi. Omakohtainen pienen mittakaavan kokeellinen tutkimustoiminta aerosolien käyttäytymisestä käynnistettiin vuonna 1985. Myös voimayhtiöiden ja viranomaisen tilaustöitä sisältyi projektiin sen ensi vaiheen aikana, mutta nyttemmin projektin rakenne on selkeytetty siirtämällä soveltavat tilaustyöt projektin ulkopuolelle. VARA ja VARA II-projektin toiminnot esitetään oheisessa taulukossa.

Aerosolitutkimukset olennaisia päästön arvioinnissa

TMI-onnettomuuksien seurauksena kävi ilmi, että radioaktiivisten aineiden päästöä arvioitaessa on keskeisessä asemassa aerosolimuoitoisten aineiden käyttäytymi-

nen sekä primaariapiirissä että suojarakennuksessa. Oheisessa kuvassa on esitetty tärkeimmät fissionituotteiden poistumismekanismit. Marvikenissa, Ruotsissa tutkittiin primaariapiirin ilmiöitä Aerosol Transport Tests -projektissa (MX-V-ATT). Pääosin suojarakennuksen, mutta myös primaariapiirin putkivirtauksen ilmiöitä selvitettiin LWR Aerosol Containment Experiments (LACE) -projektissa Hanfordissa Yhdysvalloissa.

Fissionituoteaerosolien pidättyminen primaariapiiriin oli huomattava, vaihdellen olosuhteista riippuen 30...70 % sisään syötetystä määrästä. Pidättyminen on erittäin voimakasta putkimutkien jälkeen.

DI Klaus Kilpi on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion ydinvoimaloiden prosessitekniikan jaoston erikoistutkija.
TkT Lasse Mattila on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorionjohtajan variamies, p. 90-648 931.

Kesäkuussa 1988 pidettiin workshop, jossa tarkasteltiin yhdessä Marviken- ja LACE sekä myös saksalaisten DEMONA-suojarakennuksen aerosolikokeiden tuloksia. Todettiin, että aerosolin fyysikaalisen käyttäytymisen tuntemus on jo hyvällä tasolla, mutta aerosolikemian puolella tietämyksessä on edelleen huomattavia puutteita. Vielä ei tiedetä riittävän hyvin, minä eri kemiallisina yhdistelminä fission tuotteet ovat primaariipiirissä, miten ne muuttuvat yhdisteistä toisiksi lämpötilasta, ajasta ja virtauksen ainesosien koostumuksesta riippuen. Kemiallinen koostumus ratkaisee, mitkä ovat aineen fyysikaaliset ominaisuudet, erityisesti höyryn paine, liukoisuusominaisuudet veteen, t.s. onko aine herkästi kaasuntuva vai aerosoleja muodostava, ja siten edelleen aerosolien kasvu- ja pidättymisominaisuudet.

LACE-kokeiden tuloksena tiedetään nyt, että aerosolien vesiliukoisuusaktiivisuus on ehkä tärkein tekijä vaikuttamassa aerosolien kasvuun ja tätä kautta niiden poistumisnopeuteen erityisesti suojarakennustarkasteluissa. Myös Kuopion yliopistossa suoritetuissa pieneen mittakaavan kokeissa on havaittu hygroskooppisten aerosolien nopea kasvu. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa ilmiö todennettiin kvalitatiivisesti ja nyt käynnissä olevan toisen vaiheen odotetaan antavan tarkempia tuloksia, jotka ovat käyttökelpoisia myös teoreettisten mallien validointiin.

Tietokoneohjelmat

Tärkein käytössä oleva ohjelma on MAAP (Modular Accident Analysis Package), joka on kehitetty USA:n teollisuuden toteuttamassa IDCOR-projektissa (Industry Degraded Core Rulemaking Program). MAAP laskee koko onnettomuusketjun ja antaa lopputulokseksi lähetermin, fission tuotteiden päästön ajallisen, paikallisen, määrällisen ja kemiallisen koostumuksen jakauman. Ohjelman kehittämisessä on korostettu erityisesti käyttäjäystävällisyyttä ja tietokoneajan kulutuksen kohtuullisuutta. Maailmalla on tällä hetkellä ainoastaan kaksi muuta ohjelmistoa, jotka laskevat koko onnettomuusketjun, USNRC:n STCP ja MELCOR. STCP on monessa suhteessa MAAP-ohjelmaan verrattavissa ja on rutiinikäytössä useassa maassa. MELCOR on vielä kehitys- ja kokeiluvaiheessa ja vapautettaneen NRC:n yhteistyöorganisaatioiden käyttöön ensi vuonna. Myös Saksan liittotasavallalla, Ranskalla ja Japanilla on oma mittava ohjelmistonkehitys käynnissä.

MAAP:n lisäksi on hankittu ja suunniteltu hankittavaksi ohjelmia, jotka laskevat yksityiskohtaisesti vakavan reaktorionnettomuuden tiettyä osaa. Aerosolien käyttäytymistä primaariipiirissä voidaan laskea EPRI:n (Electric Power Research Institute) RAFT-ohjelmalla ja IDCOR:n RETAIN-2C -ohjelmalla. Suojarakennuksessa tapahtuvia aerosoli-ilmiöitä varten on KfK:n (Kernforschungszentrum Karlsruhe) NAUA-ohjelma, johon VTT:ssä on kehitetty yhteistyössä EPRI:n kanssa aerosolien hygroskooppisuusmalli

Taulukko. VARA- ja VARA II -projektin toiminnot.

	VARA (1983...1987)	VARA II (1988...1991)
Kansainväliset kokeelliset tutkimusprojektit	MX-V-ATT (1982...1985) LACE (1985...1987)	ACE (1987...1990) USNRC SFD (sopimus 1988...1991) HDR Phase III (1988...1991)
Kansainväliset "teoreettiset" soveltavat tutkimusprojektit	IDCOR (1981...1987, liitettiin mukaan 1983) NKA/AKTI (1985...1989)	NKA/AKTI (1985...1989)
Muut kansainväliset yhteistyösopimukset	EPRI (1985...1988) KfK (vuodesta 1985)	EPRI (1985...1988) KfK (vuodesta 1985) EPRI/MAAP Users Group (1987...1989)
Osallistuminen kansainvälisten yhteistyöjärjestöjen toimintaan	NEA: CSNI/PWG 4, PWG 4/GREST, PWG 2 & PWG 4/TMI-2	NEA: CSNI/PWG 4, PWG 4/GREST, PWG 2 & PWG 4/TMI-2
Omakohmainen kokeellinen tutkimus	Kuopion yliopistossa aerosolien hygroskooppisuus-kokeita, vaiheet 1 ja 2 (1985...1988)	Uusi toimeksianto KY:lle alkamassa (kesto 2 vuotta). Aiheet: aerosolien pidättäminen putkimutkiiin, resuspensio ja säteilyn vaikutus aerosolien nukleatioon
Sovellukset voima-yhtiöiden ja STUK:n toimeksiannosta	Onnettomuusanalyysijä: PWR 920, VVER 440, VVER 1000, BWR 735; Lo 1 & 2, TVO 1 & 2 Valikoidujen onnettomuusketjujen analyysit ja ympäristövaikutusten arviointi: LO 1 & 2, TVO 1 & 2	Toteutetaan VARA II-projektin ulkopuolella
Erytysaiheet	Korkeapaineinen sydänsulapurmaus ja direct heating (diplomityö) Operaattorin toiminta onnettomuuden estämiseksi tai hidastamiseksi (diplomityö) Suojarakennuksen kuormitettavuus	HDR Phase III -projektiin liittyen: Vedyn jakautuminen ja vety-palot HDR-suojarakennuksessa Suojarakennuksen ulkopuolinen ruiskutus
Ohjelmistot	MAAP, MARCH, RAFT, RETAIN 2 C, NAUA 5, NAUA-HYGROS, SIAM, MATADOR, SUPRA, SOLGASMIX	Jo hankittu: HECTR, RELAP 5/SCDAP, SIAM. Suunniteltu hankittaviksi: MELCOR, CONTAIN

(NAUA-HYGROS). Aerosolien pidättymistä vesialtisiin voidaan laskea EPRI:n SUPRA-ohjelmalla, joka lienee aihepiirin parhain saatavilla oleva ohjelma. Juuri käyttöön on saatu NRC:n HECTR (vedyn jakautuminen ja vety-palot suojarakennuksessa) ja RELAP 5/SCDAP (primaariipiirin termohydrauliikka ja sydämen sulaminen) sekä EPRI:n SIAM (primaariipiirin termohydrauliikka ja aerosolien käyttäytyminen sekä sydämen sulaminen).

Henkilöstö- ja tietokoneressurssit rajoittavat ohjelmien käyttämistä. Laajassa käytössä MAAP:n lisäksi ovat lähinnä RAFT ja NAUA ja jatkossa varmaankin myös HECTR.

Hankittavaksi suunnitelluista ohjelmista erityisesti MELCOR tulee laajaan käyttöön. Se korvannee suurelta osalta aikanaan MAAP-ohjelman. Myös CONTAIN näyttää hyvin kiinnostavalta, koska siinä yhdistetään realistiselta tuntuvalla tavalla suojarakennuksen termohydrauliset ja fission tuotteiden käyttäytymisilmiöt. Fysikaaliselta mallinnukseltaan parhaiden tieto-

koneohjelmien käyttö on nyt tietokoneressurssien voimakkaan kehityksen myötä tulossa meilläkin mahdolliseksi.

Projektin jatkonäkymiä

VARA II -projektiin sisältyvien kansainvälisten sopimusten käsittely on vielä osittain kesken, mutta käytännössä yhteistyö on jo kaikilla alueilla käynnistynyt. Kaikista kolmesta kokeellisesta tutkimusprojektista, joihin osallistutaan, odotetaan saatavan merkittävää uutta tietoa. EPRI:n ACE (Advanced Containment Experiments) -projekti käsittää kolme eri tutkimuskohdetta: suojarakennuksen suodatinkokeet, joiden käyttäytyminen suojarakennuksessa ja sydänsula-betoni-vuoro-vaikutuksessa vapautuvat kaasut ja aerosolit. KfK:n HDR Phase III -ohjelmassa on kaikkiaan neljä osaprojektia, joista yksi liittyy VARA-aihepiiriin. Aluksi suoritetaan vedyn jakautumista suojarakennuksessa tutkivia kokeita, seuraavaksi tutkimuskohteena ovat vety-palot ja lopuksi mahdollisesti vielä suoritettaviin aerosolien jakautumista suojarakennuksessa käsitteitä kokeita yhdistettynä vety-

paloihin. Vedyn jakautumiskokeiden yhteydessä tutkitaan myös suojarakennuksen paineenalennusta ulkopuolisella ruis-kutuksella. Kokeet suoritetaan täyden mittakaavan HDR-laitoksella, jossa suo-jarakennuksen tilavuus on 10 000 m³. USNRC SFD-ohjelmaan sisältyy suuri määrä erilaisia kokeellisia tutkimuksia. Kannaltamme kiinnostavia ovat mm. jodin kemia, sydänsula-betoni-vuoro-vaikutus, sydämen kuumentuminen ja vedyn vapautuminen.

Uusien ohjelmien asiantunteva käyttö opetellaan olennaiselta osalta osallistu-malla kansainväliseen ohjelmien validoin-tityöhön. Tässä hyödynnetään uusimpia koetuloksia. LACE-projektin yhteydessä toteutettiin sekä aerosoli- että termohyd-raulisten ohjelmien etu- ja jälkikäteis-sokkoanalyysien vertailu. Työ oli hyvin koordinoitu ja kokemukset olivat erittäin myönteiset. Uusi koodivertailu järjeste-tään myös ACE-projektin yhteydessä niissä tutkimuskohteissa, joissa toteutus nähdään realistiseksi. HDR-koetuloksien avulla validoidaan vetypalo-ohjelmia. CSNI:n TMI-2-standardiprobleematyössä validoidaan mm. MAAP-ohjelmaa. IDCOR-ohjelman jatkoksi EPRI on orga-

nisoanut MAAP Users Groupin, joka oh-jaa MAAP-ohjelman validointia ja hyö-dynnettävyyden parannustoimenpiteitä.

OECD/NEA:n työryhmissä valmistellaan mm. tärkeiden tutkimusaihepiirien State-of-the-Art -raportteja. Ohjelmassa ovat mm. onnettomuustilanteen hallinta, suo-jarakennuksen käyttäytyminen ja lähde-termin epävarmuus. Pohjoismainen NKA/AKTI -tutkimusohjelma päättyy ensi vuonna, joten nyt on käynnistymäs-sä intensiivinen raportointivaihe. Ohjel-massa on selvitetty fissiotuotekemian ja aerosolien käyttäytymisen kysymyksiä ja onnettomuusanalyysikoodien ominaisuuksia.

Kuopion yliopistossa käynnistetään seu-raavaksi koeohjelma, joka selvittää aero-solien pidättymistä putkimutkiin, aeroso-lien resuspensiota ja aivan uutena aihepii-rinä säteilyn merkitystä aerosolien muo-dostumisprosessiin.

Tulosten hyödynnettävyys Suomessa

Johtavana toimintaperiaatteena on ollut, että projekteissa hankitaan Suomeen laaja-alainen perusosaaminen vakavien reaktorionnettomuuksien aihepiiristä. Oh-jelmistojen käyttöominaisuuksien ja tieto-koneressurssien kehittymisen sekä aihepii-riin syventyneiden asiantuntijoiden mää-rän lisääntymisen myötä tietämystä sovel-tava käyttäjäpiiri voi laajentua. MAAP-ohjelma on jo käytössä Imatran Voima Oy:ssä ja tietyt NRC:ltä saadut ja saata-vat ohjelmat pyritään ottamaan käyttöön myös STUK:ssa.

Tähän mennessä suoritettavat analyysit ovat osaltaan auttaneet suunniteltaessa maam-me laitoksilla muutostöitä, joilla varau-dutaan sydämensulamistilanteiden tehok-kaaseen hallintaan. Jo nyt käytettävissä olevin työkaluin voidaan huomattavasti tukea laitoskohtaisten PSA-hankkeiden laajentamista tasolle 2 eli käsittämään suojarakennuksen toiminnan ja lähde-termin arvioinnin. Tärkeä odotettavissa ole-va soveltamiskohde on myös onnetto-muuden hallinta-toimenpiteiden suunnit-telu, erityisesti hätätilanneohjeiden laa-jentaminen ja parantaminen. □

Björn Wahlström, IVO

Poikkeuksellinen polttoaineallastyö Loviisan voimalaitoksella

Loviisa 1 voimalaitosyksiköllä tehtiin keväällä 1988 poikkeuk-sellinen työ. Polttoainealtaasta poistettiin ensimmäistä kertaa kaikki polttoaineniput ja kaikki vesi. Sen jälkeen työskennel-tiin radioaktiivisesti kontami-noituneessa altaassa useita viikkoja. Tarkastus- ja puhdis-tustyöt olivat menestykselliset ja säteilyannokset jäivät pie-niksi.

Loviisan voimalaitoksen reaktoriraken-nuksessa reaktorin välittömässä läheisyy-dessä sijaitsee ns. polttoaineallas. Altaan nimellisvesitilavuus on 385 m³. Altaassa on tilaa 506 polttoainenipulle. Ennen reaktorin vuotuista polttoaineenvaihtoa altaaseen tuodaan tuoreet polttoaineniput ja samassa altaassa säilytetään käytetty polttoaine latauksen jälkeen vuoden ajan. Polttoaineniput pidetään pystyasennossa altaan alaosassa olevassa telineessä, joka koostuu pohjatasosta, välitasosta ja ylä-tasosta sekä tasoja kannattavista tukitan-

goista. Lisäksi tasot on pultattu kiinni seiniin.

Työn syyt ja valmistelut

Koko allas on sisäpuoleltaan verhoiltu tii-viiksi hitsatulla ruostumattomalla teräsle-vyllä. Kun Loviisa 1:n allas oli ollut käy-tössä yli kymmenen vuotta ja määrääi-kaistarkastukset olivat paljastaneet altaan pohjassa korroosiota edistävää "mustaa rautaa" mm. hiomapölyn muodossa, päätettiin tyhjentää allas kaikesta poltto-aineesta, telineistä ja vedestä altaan puh-distusta, sataprosenttista tarkastusta ja mahdollisia korjaustoimenpiteitä varten. Muuten helpolta kuulostavaan työhön liittyy — kun se tehdään ydinvoimalai-toksella — paljon töitä hankaloittavia seikkoja. Näitä olivat mm.

- ennen normaalipituisten jäädytysjak-sion poiskuljettavan polttoaineen eri-koisjärjestelyt lupakäsittelyineen
- säteilyturvallisuus. Altaan kautta oli kuljetettu yli 1000 kpl käytettyjä polt-toainenippuja.
- radioaktiiviset jätteet. Puhdistusjät-teen tiedettiin sisältävän mm. polttoai-nenippujen pinnoista irronnutta voi-

makkaasti aktivoitunutta oksidikerros-ta.

- telineen purku-, irroitus- ja kokoamis-työt sekä säilytys reaktorihallissa
- onnettomuustilanteessa tarvittavan jat-kuvasti kierrettävän sprinkleriveden altaaseen katoamisen estäminen sekä ko. suunnitelman hyväksyttäminen.

Joulukuussa 1987 laadittiin työseloste, jossa yksityiskohtaisesti kuvattiin mm. te-lineiden purkutyön ja kokoamistyön eri vaiheet ja jossa luettiin viranomaiskäsit-telyn edellyttämät turvallisuusvelvitykset, säteilysuojelu- ja muut suunnitelmat sekä mekaanisten töiden vaatima ennakkotar-kastusaineisto.

FL Björn Wahlström on Loviisan voi-malaitoksen säteilysuojelupäällikkö, p. 915-550 420.

Tietoja hankittiin Ruotsista

Tiedossa oli, että Ruotsissa oli Ringhalsin ja Forsmarkin voimalaitoksilla imuroitu pohjalietettä vastaavista altaista, tosin tyhjentämättä altaita vedestä. Telineitä ei ollut purettu, mutta puhdistustekniikasta ja radioaktiivisuudesta oli saatavissa tarkkoja tietoja. Raportit viidestä eri puhdistuskampanjasta saatiin, ja niistä ilmeni, että edessä saattoi olla todella vaativa työ, jos se tehtäisiin alunperin tarkoitettussa laajuudessaan. Pelkästään lietteen imurointi oli yleensä kestänyt 1–3 viikkoa ja imurointijätteenä oli muodostunut kymmeniä — yhdessä tapauksessa jopa 66 kpl — erittäin radioaktiivisia suodattimia. Yleensä säteilyn annosnopeus eri suodattimista oli alueella 100–1000 mSv/h (10–100 rem/h). Suurin mitattu arvo oli 4000 mSv/h (400 rem/h). Suodattimet oli kerätty kuutiometrin kokoisin betonikokilleihin, joihin päivittäin valettiin betonia. Kokillien seinämäpaksuus oli 25 cm. Kuitenkin kokillit jouduttiin eräissä tapauksissa vuoramaan 50 mm:n vahvuisella lyijykerroksella jotta ulkopuolinen annosnopeus ei olisi jäänyt liian korkeaksi. Näitä kiinteitysjetille tarkoitettuja betonikokilleja on saatavana hyllytavarana ruotsalaisilla voimalaitoksilla. Loviisassa ei sellaisia ole yhtään.

Vedenalaiset säteilymittaukset

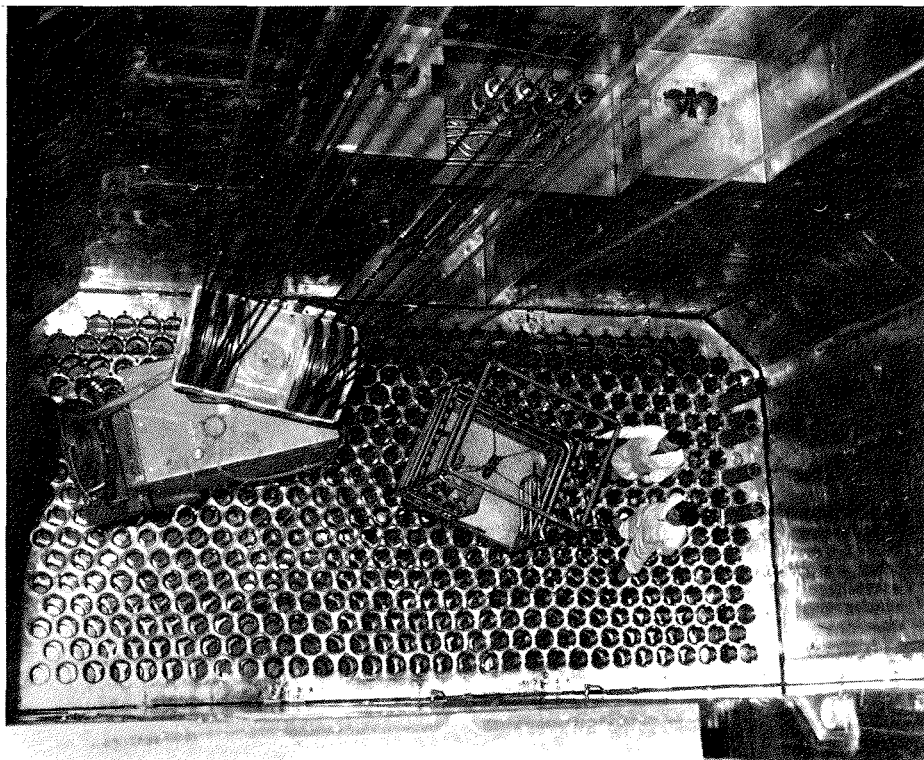
Tässä vaiheessa ruvettiin Loviisassa tutkimaan mahdollisuuksia tehdä työ "fiksummin" kuin naapurit ja helpommin kuin alunperin oli ajateltu. Miten allasta voitaisiin puhdistaa tuottamatta hankalasti käsiteltäviä irrallisia jätteitä? Olisiko sataprosenttinen tarkastus suoritettavissa purkamatta polttoainetelineitä? Ja, olisiko mahdollista selvittää altaan säteilyolosuhteet etukäteen, jo ennen pinnanlaskua?

Vedenalaisiin mittauksiin soveltuvaa mittauskalustoa ei ollut käytettävissä, joten hitsattiin alapäästään suljettu 15 m pituinen teräspankki, joka laskettiin veteen. Putken yläpäästä laskettiin kaapelinsa varassa säteilydetektori kuivana altaan pohjaan asti. Liikuttellessa pitkää putkea detektoreineen saatiin altaan pohja tutkittua 12,5 m vesikerroksen läpi. Samalla mitattiin myös päällimmäisen ja keskimmäisen teline-tason säteily. Mitatut arvot muutettiin kuivan altaan arvoiksi ottamalla huomioon veden ja putkiseinämän vaimentava vaikutus.

Päällimmäinen teline-taso oli hieman aktiivisempi kuin keskimäinen. Säteilynopeus vaihteli alueella 0,4–6,0 mSv/h ja oli yleensä n. 2 mSv/h. Pohjassa, johon laskeumaa oli kertynyt eniten mitattiin maksimipisteessä 30 mSv/h vaihteluvälillä ollessa yleensä 15–25 mSv/h (1,5–2,5 rem/h).

Uudet suunnitelmat

Ensimmäinen merkittävä helpotus oli toteutus, että pohjan imuroinnista voisi luopua ja irrallisten suodattimien käsitteilyltä välttyä, jos altaan tyhjennyslinja yhdistettäisiin tilapäisesti voimalaitoksen



1.

kiinteisiin isoihin suodattimiin. Osoitettiin mahdolliseksi tilapäisellä putkistomuutoksella saada uloslaskuvedet ohjattua laitoksen dekontaminointijärjestelmän vedenkäsittelyyn ja näin ollen kahteen suojatussa tilassa olevaan kiinteään suodattimeen.

Lisäksi telineiden purku määriteltiin nyt mahdolliseksi. Telineitä ei purettaisi, jos sataprosenttinen tarkastus onnistuisi muulla keinoin eivätkä mahdolliset pohjaverhoilun korjaukset edellyttäisi telineiden purkamista. Nämä suunnitelmat sisältyivät helmikuussa 1988 Säteilyturvakeskukselle lähetettyyn ennakkotarkastusaineistoon ja säteilysuojelusuunnitelmaan. Tavoitteeksi ilmoitettiin, ettei kenenkään henkilökohtainen säteilyannos tulisi ylittämään 10 mSv. Esitettiin arvio, että koko työstä aiheutuva kollektiivinen säteilyannos jäisi alle 100 man-mSv edellyttäen ettei telineitä purettaisi.

Pinnanlasku ja pesu alkaa

Pinnanlaskun aikana altaan seiniä pestiin korkeapaineruiskulla nosturin henkilökorista käsin. Kun pinta oli laskenut päällimmäisen teline-tason alle, miehet nousivat korista ja pesivät tason ruiskulla, saappaissa kävellen itse teline-tason päällä (kuva 2). Pinta laskettiin välitason alapuolelle, jonka jälkeen välitaso huuhdeltiin korkeapaineruiskulla ylimmän teline-tason reikien läpi. Pinnoissa oleva laskeuma oli kevyttä ja helposti irtoavaa. Kun kaikki vesi oli tyhjennetty altaasta, siirrettiin pohjassa oleva lieterkerros kohti pohjakaivoa käyttäen runsaasti vettä, joka johdettiin teline-tasojen reikien läpi pitkiä letkuja ja suutinputkia käyttäen.

Kuva 1. Polttoaineallas on 15 m syvä allas, jonka alaosassa sijaitsee "polttoaineteline". Kuvassa on vesi laskettu ulos ja telineen päällimmäinen osa näkyy. Reikien läpi näkyy myös telineen välitasoa.

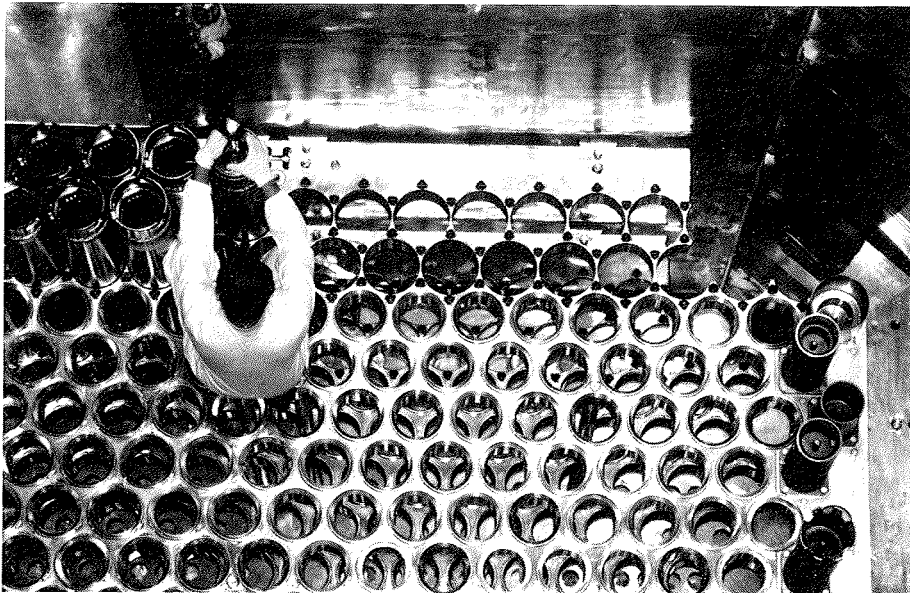
Kuva 2. Polttoainetelineen päällimmäisen tason pesu on alkanut. Pesijällä on varustuksena muovivaalari, kumisaappaat ja käsineet sekä kokonaamari.

Kuva 3. Polttoainetelineen päällimmäisestä tasosta ja välitasosta on leikattu palat pois (oikea yläkulma). Näin on muodostettu kulkumahdollisuus telineen alimmaiselle tasolle saakka.

Kuva 4. Polttoainealtaan pohjaa pestään alimman teline-tason 80 mm reikien läpi. Samoien reikien läpi tehtiin myös pohjan tarkastus- ja kunnostustyöt. Kuvassa näkyy selvästi telineitä kannattavia tukitankoja.



2.



3.



4.

Pesijät työskentelivät ylimmän telinetason päältä n. 4 m pohjan yläpuolella ohjaten suuttimia kolmen päällekkäisen reiän läpi.

Pesutyön jälkeen tehtiin visuaalisen tarkastuksen perusteella arvio, että teräsverhoilu oli yllättävän siisti. Telineiden yläpuolella ei ollut sellaisia vikaindikaatioita, joiden perusteella telineet olisi ollut pakko purkaa. Kuitenkaan altaan alaosa ei pystytty tässä vaiheessa luotettavasti tutkimaan.

Plasmaleikkuri esiin ja töihin!

Tehtiin radikaali päätös. Hankittiin paikalle plasmaleikkulaitteet, mentiin alas päällimmäiselle telinetasolle — ja leikattiin siihen miehen mentävä aukko. Laitteet ja miehet alas välitasolle — ja uusi reikä! Uhraamalla 4 polttoainenipun paikkaa 506:sta oli nyt tehty kulkuyhteydet pohjaan asti (kuva 3). Siihen vain tikkaat ja tarkastajat! Reippaalta kuulostava työ tehtiin luonnollisesti asiaan kuuluvaa hallinnollista menettelyä noudattaen tarkkojen suunnitelmien pohjalta.

Alin telinetaso on n. 30 cm pohjan yläpuolella, joten sen alle ei pääse. Siihen ei uutta aukkoa tehty vaan pohja tutkittiin telinetason reikien läpi. Epäpuhtaudet lähtivät yleensä pyyhkäisemällä. Varsinaisia syöpymiä ei ollut. Eräissä tapauksissa ruosteläikät poistettiin kemiallisesti sekä hiomalla. Työ oli erittäin hidasta, koska jouduttiin työskentelemään 506:n reiän läpi, joiden halkaisija on vain 80 mm (kuva 4). Hapotuskemikaalien poistaminen päätti työn. Toukokuun alussa oli jäljellä vain altaan lopputarkastus, vedentäyttö ja käyttökuntoon saattaminen lähestyvää Loviisa 1:n polttoaineen vaihtoa varten.

Pelkästään hyviä kokemuksia

Jälkeenpäin tarkastellen on helppo todeta, että kaikki meni hyvin. Korjauksiin ei tarvinnut ryhtyä. Suurin aiheutunut henkilökohtainen säteilyannos oli 2,2 mSv (lakisääteinen vuosiannosraja on 50 mSv), ja kaikkien työhön osallistuneiden säteilyannosten summa, eli kollektiivinen säteilyannos oli 12,5 man-mSv. Turhia työvaiheita ei tehty eikä turhaa erikoiskalustoa hankittu vain varmuuden vuoksi. Suunnitteluun ja eri vaihtoehtojen analysointiin etukäteen oli panostettu paljon. Kuitenkin tilanteen mukaisille päätöksille oli myös jätetty tilaa. Ilman vastoin käymistä tehty työ on jälleen hyvä esimerkki siitä että HYVIN SUUNNITeltu ON PUOLEKSI TEHTY. □

Ydintekniikan opetus Suomessa

Ydintekniikan opetusta annetaan Lappeenrannan teknillisessä korkeakoulussa ja Teknillisessä korkeakoulussa Espoossa. Lappeenrannassa opetus tapahtuu energiatekniikan osastolla ja Espoossa teknillisen fysiikan laitoksella ydin- ja energiatekniikan laboratorioissa. Vuosittain noin 15 opiskelijaa valitsee syventymiskohteeseen ydintekniikan. Jatko-opiskelu on keskimääräistä yleisempää ydintekniikkaa opiskelleiden piirissä. Opetukselle on ominaista kiinteä yhteistyö VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion kanssa Lappeenrannassa ja reaktorilaboratorion kanssa Espoossa.

Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu

Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu (LTKK) on teknillisistä korkeakouluistamme nuorin, se perustettiin vuonna 1969. Opetus ja tutkimus tapahtuu viidellä osastolla: tietotekniikassa, tuotantotaloudessa, konetekniikassa, kemiantekniikassa ja energiatekniikassa.

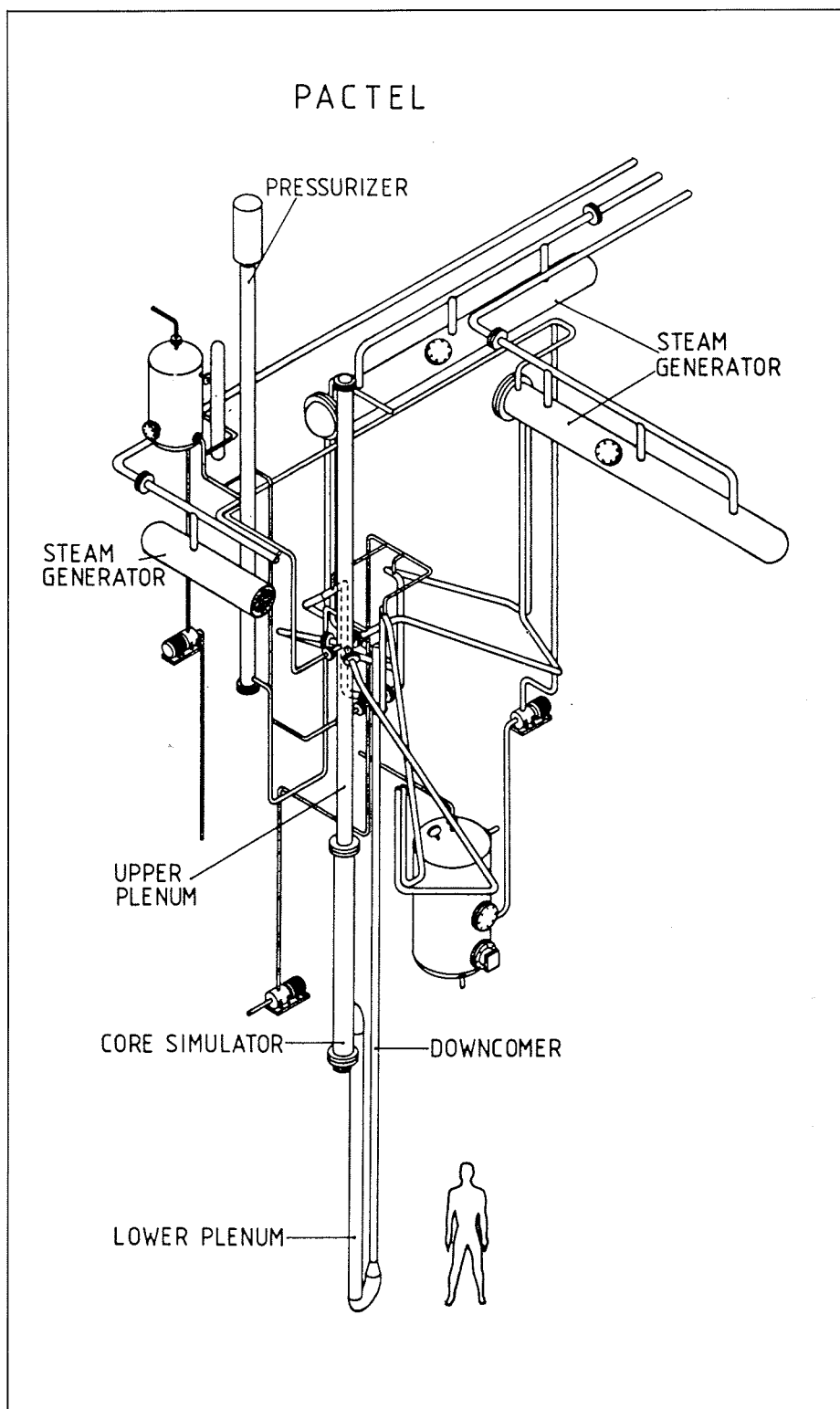
Korkeakoulun vuosiotto on noin 400 uutta opiskelijaa. Nykyinen opiskelijoiden kokonaismäärä on hieman alle 2000 kasvane edelleen ja pysähtyen tulevaisuudessa ehkä noin 3000 opiskelijaan. LTKK on siten jatkossakin suhteellisen pieni erikoistunut teknis-taloudellinen korkeakoulu.

Ydintekniikka LTKK:ssa

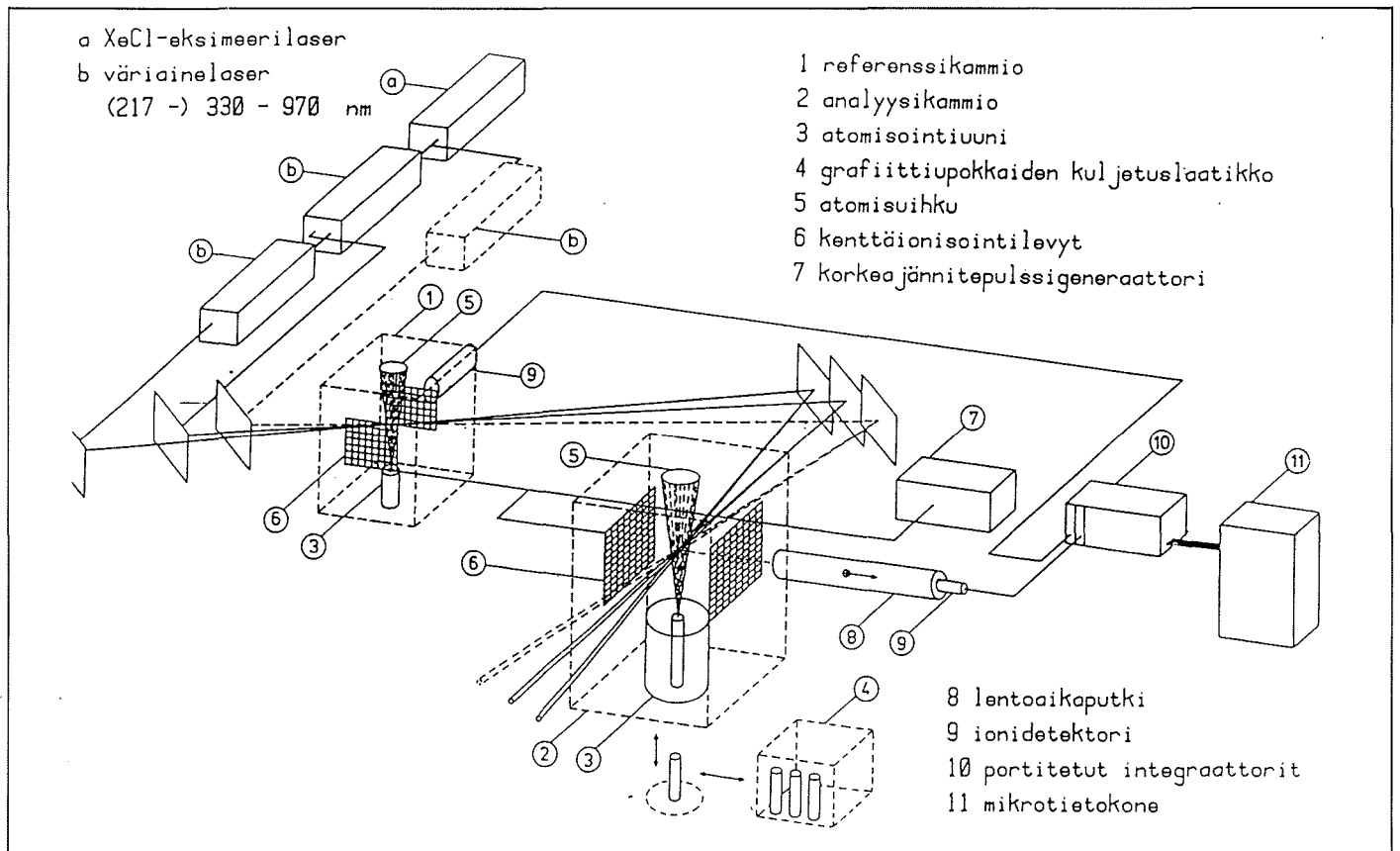
Ydinvoimatekniikka sijoittuu LTKK:ssa energiatekniikan osastolle, jonka tavoitteena on laajasti kattaa kaikki energiatekniikkaan liittyvät osa-alueet. Energiatekniikan koulutusohjelmassa opiskelija voi suuntautua voimalaitostekniikkaan,

TkT Heikki Kalli Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun energiatekniikan osaston apulaisprofessori, p. 953-27 570.

TkT Rainer Salomaa on teknillisen korkeakoulun ydin- ja energiatekniikan vs. professori ja VTT:n reaktorilaboratorion laboratorionjohtajan varamies, p. 90-451 2464.



Kuva 1. VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion ja LTKK:n yhteistyönä rakennettava PACTEL koe-laitteisto, jolla simuloidaan ydinvoimalaitoksen onnettomuuskäyttäytymiseen liittyviä termohydraulisia ilmiöitä.



Kuva 2. VTT:n reaktorilaboratorio ja TKK kehittävät yhdessä RIS-laitteistoa, jolla pystytään määrittämään erittäin pieniä alkuainepitoisuuksia erilaisista matriiseista, mm. piistä.

energiatalouteen, lämpö- ja virtaustekniikkaan sekä sähkö- ja säätötekniikkaan. Ydinvoimatekniikka on tässä koulutusohjelmassa voimalaitostekniikan osa-alue, yksi sen syventymiskohteista.

Varsinainen opetus on porrastettu siten, että ydinenergiatekniikan perustiedot annetaan kaikille energiategniikan osaston toisen vuosikurssin opiskelijoille, joita vuosittain on noin 70. Näistä (lähinnä voimalaitostekniikkaan suuntautuvat) 20–30 opiskelijaa suorittaa kolmannella vuosikurssilla kaksi lukukautta kestävä ydinvoimatekniikan jatkokurssin. Lopulta 5–6 opiskelijaa valitsee vuosittain ydinvoimatekniikan syventymiskohteeseen suorittaen joukon erikoiskursseja ja seminaarin. Erikoiskurssien aiheina ovat muun muassa luotettavuustekniikka, polttoainehuolto, isotooppitekniikka sekä ydinreaktorien fysiikka ja termohydrauliikka.

Tutkinon viimeisenä portaana on diplomityö. Ydintekniikkaan liittyvien opin- näytteiden lukumäärä LTKK:ssa on vuosittain vaihdellut kahdesta yhdeksään, suurin valmistuneiden määrä (9) saavutettiin vuonna 1986. Diplomitoissa ovat viime vuosina painottuneet ydinvoimalaitosten turvallisuuteen liittyvät aiheet: onnettomuuksien ja häiriöiden termohydrauliikka sekä luotettavuustekniikka, erityisesti todennäköisyyspohjaisten turvallisuusanalyysien osa-alueet.

Jatko- ja tutkijakoulutus LTKK:ssa
LTKK:n nuoresta iästä johtuneen, että jatko-opiskelussa ollaan vielä jäljessä val-

takunnallisista keskiarvoista. Kuitenkin erityisesti ydin- ja luotettavuustekniikan alueilla jatko-opiskelijoiksi ilmoittautuneiden määrä on kasvanut niin, että jatko-opintokursseja on voitu järjestää säännöllisesti vuosittain.

Tutkimustoiminta ja samalla myös tutkijakoulutus on suuntautunut lähinnä ydinreaktorien termohydrauliikan alueelle. Tutkimusta on jo 12 vuoden ajan tehty yhteistyössä VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion (YDI) kanssa. Tämän VTT:n laboratorion toiminta Lappeenrannassa virallistui kuluvan vuoden alussa, kun LTKK:n tiloihin perustettiin VTT/YDI:n jaosto. Yhteistyö VTT/YDI:n ja LTKK:n energiategniikan osaston välillä on tuottanut sarjan erilaisia koelaitteistoja, joilla voidaan simuloida ydinvoimalaitoksen onnettomuuskäyttäytymiseen liittyviä termohydraulisia ilmiöitä. Koelaitteistoista uusin, PACTEL nimeltään (kuva 1), on suunnitteilla LTKK:n III rakennusvaiheeseen tulevaan ydintekniikan tutkimuslaboratorioon, joka valmistuu vuoden 1989 alussa.

Teknillinen korkeakoulu

Teknillisen korkeakoulun hallinnonuudistuksessa vuonna 1987 muodostettiin kuusi osastoa (tietotekniikka, sähkötekniikka, konetekniikka, prosessi- ja materiaalitekniikka, rakennus- ja maanmittaustekniikka sekä arkkitehti), jotka jakaantuvat laitoksiin ja nämä edelleen laboratorioihin ja/tai vastualueisiin. Tietotekniikan osasto vastaa tietotekniikan ja teknillisen fysiikan koulutusohjelmista.

TKK:ssa oli 1.1.1988 tilastojen mukaan perusopiskelijoita lähes 8000 ja jatkoopiskelijoita noin 1300. Bruttovuosiotto on tänä vuonna 1330. Teknillisen fysiikan koulutusohjelman vastaavat luvut ovat: perusopiskelijoita 590, jatkoopiskelijoita 200 ja vuosiotto 110.

Teknillisen fysiikan koulutusohjelma jakaantuu suuntautumisvaihtoehtoihin (teknillinen fysiikka, teknillinen matematiikka, informaatiotekniikka sekä teknistaloudellinen sve.). Kolmannella vuosikurssilla opiskelijat valitsevat kaksi syventymiskohtetta: yhden omalta suuntautumisvaihtoehdoltaan ja toisen vapaasti esimerkiksi toiselta osastolta. Vuoden 1988 valinnoissa ydin- ja energiategniikan syventymiskohteena valitsi noin kolmannes teknillisistä fyysikoista (noin kymmenen opiskelijaa). Alan yleinen epävarmuus on aiheuttanut opiskelijakatoa; nyt tosin tilanne on parempi kuin vuosiin.

Ydin- ja energiategniikka TKK:ssa
TKK:ssa fysiikan, matematiikan, tietojenkäsittelyn ja teknistaloudellisten aineiden peruskoulutus tapahtuu kahtena ensimmäisenä opiskeluvuotena. Teknillisen fysiikan suuntautumisvaihtoehdon yhteiset aineopinnot suoritetaan kolmantena ja neljäntenä vuonna. Näistä ydintekniikkaan välittömästi liittyviä kursseja ovat säteilysuojelu, ydintekniikan laboratorio-työt, sekä ydin- ja energiategniikan perusteet (oppikirja: J.R. Lamarsh, "Introduction to Nuclear Engineering"). Tällaisen perustietopaketin saa vuosittain noin kolmisenkymmentä opiskelijaa.

Ydin- ja energiatekniikan syventymiskohteen valinneiden opiskelijoiden pakollisia opintoja ovat ydin- ja reaktorifysiikan työt; vaihtoehtoisista kursseista mainittakoon ydin- ja energiatekniikan jatko-opintojakso, energiefysiikka, plasmafysiikka ja fuusioreaktorit, ydin- ja neutronifysiikka, isotooppietekniikka, aurinkoenergiatekniikka sekä koneosaston kurssit energiatalouden ja voimalaitosopin peruskurssi ja ydinreaktorien termohydrauliikka. On korostettava että syventymiskohteen 12 opintoviikkoa on varsin pieni osa koko DI-tutkinnon 180 opintoviikosta. Teknillisten fyysikkojen koulutuksen leimaavana piirteenä on kautta aikojen ollut laaja-alaisuus: vastavalmistunut fyysikko on yhtä pätevä/epäpätevä mihin tahansa tehtävään.

TKK:n ydinteknikkojen koulutuksen erikoisetuna on VTT/REA:n F1R1-reaktori. Oppilastyöt, joissa käydään reaktorilla, on yleensä koettu kiinnostaviksi ja opettaviksi. Koulutukseen oleellisesti liittyy kesäharjoittelu. VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorio ja reaktorilaboratorio sekä voimayhtiöt ovat olleet huomattavimpia työllistäjiä kotimaassa. Ulkomaan harjoittelu ja myös osittainen opiskelu alan ulkomaisissa yliopistoissa on viime vuosina nopeasti yleistynyt. Lähes jokainen ydinteknikko jossain vaiheessa ennen valmistumistaan viettää osan kesästään ulkomailla ydinvoimalassa tai ydintekniikan tutkimuskeskuksessa.

Jatko-opiskelu TKK:ssa

Perinteisesti teknillisen fysiikan osaston opiskelijoista varsin suuri osa suorittaa jatkotutkinnon. Ydintekniikan professuurin alueelta valmistuu keskimäärin 1–2 väitöskirjaa vuosittain. Lisensiaattitutkintoja on ollut näitä hieman runsaammin. Koska lisensiaattintyötä ei enää välttämättä tarvitse tehdä tullee suoraan väittelevien osuus jatkossa kasvamaan. Ydintekniikan laboratorio järjestää vuosittain jatkokoulutusta seminaarien ja erikoiskurssien muodossa. Pienten kohderyhmien vuoksi aiheet on usein räätälöity kuulijakunnan tarpeiden mukaan. Pääkaupunkiseudun ydinenergia-alan erikoisasiantuntijoiden panos koulutuksen antajina on ollut hyvin ratkaiseva. Koulutusmääriä arvioitaessa on muistettava, että näihin sisältyvät myös ne jatko-opiskelijat, joiden ala ei välttämättä kovin läheisesti sivua traditionaalista ydintekniikkaa.

Laboratorion tutkimustoiminta jakautuu karkeasti energiefysiikkaan (uudet energialähteet, energiamallit, jne.), säteilyfysiikkaan (ilmaisin- ja mittaustekniikka, laserit, jne) ja plasmaj fuusiofysiikkaan. Reaktoritekniikkaan liittyvää koe-toimintaa laboratoriossa ei ole. Tämän tyyppiset relevantit kokeet ovat vuosien saatossa tulleet niin kalliiksi, ettei niiden suorittaminen korkeakouluympäristössä tule kyseeseen. Ainoa keino tilanteen korjaamiseksi on pyrkiä integroitumaan laajempiin kansallisiin hankkeisiin, jolloin laboratorion ehkä tärkeimmäksi tehtäväkentäksi jää koulutusvastuu — etenkin jatkokoulutus. □

Heikki Raumolin

Ydinenergiaan perehtyneisyyttä ja perusteellisuutta



Bjarne Regnell täytti kesäkuussa 60 vuotta.

Hän syntyi Munsalassa 3.6.1928, kävi keskiopoulun Uudessakaarlepyyissä, lukion Oulunkylässä ja valmistui ylioppilaaksi 1947. Hän opiskeli Teknillisessä korkeakoulussa uudella teknillisen fysiikan linjalla ja valmistui diplomi-insinööriksi 1953. Tekniikan lisensiaatin tutkinnon hän suoritti 1960.

Vuosina 1953–1969 Regnell toimi TTK:ssa ja VTT:llä erilaisissa tutkimustehtävissä. Hän oli mukana suunnittelemassa ja rakentamassa alikriittistä miilua. Edelleen hän oli valmistelemassa TRIGA-tutkimusreaktorin hankintaa, osallistui sen rakentamiseen ja ajoi sen käyntiin. Regnell osallistui miilulla ja TRIGAlla tehtyihin tutkimuksiin.

Vuodesta 1969 lähtien Regnell on ollut Imatran Voima Oy:n palveluksessa. Aluksi hän vastasi Lo1- ja Lo2-projektien turvallisuusselvityksistä perehtyen erityisesti jäälauhduintekniikkaan. Vuodesta 1977 alkaen hän toimi turvallisuustoimiston päällikkönä, kunnes siirtyi 1.2.1987 yhtiötason asiantuntijaksi ydinturvallisuusasioissa. Tähän toimeen pääsy edellyttää jo kansainvälistä asiantuntija-arvostusta alalla.

Regnell on toiminut ydinturvallisuusasioissa luottamustehtävissä ja asiantuntijana sekä Suomessa että kansainvälisessä yhteistyössä ja järjestöissä.

Bjarne Regnell harrastaa elektroniikkaa ja soittaa viulua Halsbrytarnapelimanniyhtyeessä.

Erkki Laurilan kirjassa "Atomienergian tekniikkaa ja politiikkaa" todetaan eräässä kuvatekstissä: "Ensimmäinen suomalainen atomi-insinööri, tekniikan lisensiaatti Bjarne Regnell vastaanottaa diplomin sa tohtori Hillberryltä, Argonnen reaktorikoulun johtajalta Chicagossa 1956." Nyt ensimmäinen atomi-insinöörimme on täyttänyt 60 vuotta. Lehtemme haastatteli häntä, jotta nuoremmat seuran jäsenet voisivat saada muutaman tuokiokuvan Suomen atomiajan eri kausilta.

Bjarne Regnellin opiskellessa silloin Suomessa uudella teknillisen fysiikan linjalla tutkintovaatimuksiin kuului kursseja atomifysiikasta ja ydinfysiikasta. "Oppikirjat eivät asiasta mitään kertoneet, mutta pienessä professori Simonsin monisteessa jotain puhetta reaktoreista oli", Bjarne muistelee.

Ydintekniikka ei kuitenkaan vielä 1950-luvulla ollut TKK:ssa keskeisesti esillä. Bjarne teki diplomityönsä analogia-tietokoneesta ja lisensiaattityönsä malmin etsintään liittyvästä aiheesta.

Genevessä vuonna 1955 pidetyn atomikokouksen innoittamana perustettu voimayhdistys Ydin lähetti Bjarnen vuodeksi 1956 Amerikkaan. Reaktorikoulu oli kaksiosainen, ensin Pennsylvania State Universityssä ja sitten Argonne National Laboratoryssa. Kurssilaisia oli kuutisenkymmentä. Joitakin heistä Bjarne on tavannut myöhemmin maidensa ydinenergiaorganisaation johto- ja asiantuntijatehtävissä.

Paljon työtä Bjarnelle teetti 1950-luvulla Otaniemessä rakennettu analogiakone, joka kuuluu nyt päätyneen tekniikan museoon. Sen aikaisista vaikeuksista Bjarne muistaa erityisesti Otaniemessä myös rakenteilla olleen reaktorisimulaattorin ongelmat. Hän sai USA:han kirjeen, jossa häntä pyydettiin tuomaan palatessaan mukanaan 10-kierroksisia Helipot-potenttiometrejä. Bjarne kävi New Yorkissa elektronisten laitteiden vähittäiskaupassa ja palasi aikanaan Suomeen mukanaan nämä kallisarvoiset komponentit.

Alikriittinen miilu

Edellä mainittuun 1950-luvun innostukseen liittyi alikriittisen miilun hankinta Otaniemeen. Erkki Laurila kokosi suhteillaan rahoituksen ja sponsorit, Ekonon, Ahlströmin ja Enso-Gutzeitin. Miilurakennus purettiin 1970-luvulla VTT:n reaktorilaboratorion tieltä ja miilu poistettiin käytöstä.

Erityisesti Bjarne muistelee miilun uraani-sauvojen hankintaa. Luonnonuranaa ostettiin Englannista ja lisäksi hankittiin Neuvostoliitosta rikastettua urania sisältäviä sauvoja. Luonnonuranaisauvat olivat kuitenkin liian paksuja (grafiittihidas-timeen sovitettuja). Ne vaihdettiin myöhemmin ohuempiin ruotsalaisiin.

Alikriittinen miilu muodosti ensimmäisen tärkeän askeleen Suomen siirtymisessä atomiaikaan. Samalta ajalta Bjarne muistaa ydintekniikan kesäkurssit. TTK:n teknillisen fysiikan osasto järjesti näitä Helsingissä useina vuosina. Bjarne toimi yhtenä luennoitsijana. Kiinnostus oli suurta. Osallistujina oli mm. opettajia.

Tutkimusreaktori

Jo vuonna 1955 oli aloitettu tutkimusreaktorin hankintaa koskevat selvitykset. Bjarne oli alusta alkaen mukana. Monet toimittajat antoivat tarjouksia. Reaktorin koosta käytiin ajoittain kiivastakin keskustelua.

Geneven toisessa konferenssissa 1958 suomalaiset tutustuiivat TRIGA-reaktoriin. Se valittiinkin sitten tutkimusreaktoriksi, aluksi 100 kW:n tehoisena. Sittemmin teho nostettiin 250 kW:iin.

Reaktorihallin rakennutti rakennushallitus ja reaktoriastian ja tukirakenteet valmisti Ahlström. Työ tehtiin erittäin huolellisesti. Betonilaidoiksikin valittiin vain ykkösluokan tavaraa ja betonin suhteen oltiin hyvin tarkkoja. Suomalaisella ydin-alan laatuajattelulla on Bjarne mielestä näin pitkäaikaiset traditiot.

Bjarne opiskeli syksyllä 1960 San Diegossa USA:ssa yhdessä Antti Vuorisen kanssa TRIGAn käyttöä. Oppeja Bjarne sovelsi käytäntöön ajamalla TRIGAn kriittiseksi ja sitten käyttöön maaliskuussa 1962. Suomi oli astunut atomiaikaan.

Loviisa

Syksyllä 1969 Kalevi Numminen pyysi Bjarnea töihin IVOon. Bjarne suostui oitis. IVO:n konttorissa Bjarne ei ehtinyt paljon istua. Ensin hän oli puolisen vuotta Ruotsissa Vattenfallilla. Tehtäviin kuu-

lui turvallisuusselosteen tekemistä ja Marvikenin suojarakennuksen tiiveyskokeita. ”Työtä tehtiin Marvikenissa yötä päivää, ja sitten koko projekti pysäytettiin,” Bjarne haikailee.

Keväällä 1970 matka suuntautui Westinghouselle, Pittsburgh’iin. Jäälauhduttimen suunnittelu käynnistyi. Tämän jälkeen jäälauhdutin aiheuttikin monta mutkaa ja monta selvitystä, ennen kuin Loviisa oli valmis. NCR asetti uusia vaatimuksia ja ratkaisua vaativia ongelmia riitti.

USA:n matkoilta Bjarnelle on erityisesti jäänyt mieleen Jacksonvillen telakka Floridasta. Valtava nosturi ja koko telakka olivat valmiina uivien ydinvoimaloiden rakentamista varten. Niihin oli suunniteltu myös jäälauhdutusuojarakennukset. Sittemmin suhdanteet kääntyivät, tilauksia ei kertynyt tarpeeksi ja uivat laitoksiköt jäivät vain suunnitelmiksi.

Turvallisuusryhmän ja turvallisuustoimiston päällikkönä Bjarne oli vastuussa turvallisuusanalyysistä ja -selosteen kokoomisesta. Neuvostoliiton matkoja oli paljon. Loviisa 1:n luvat haettiin rakennusosittain, Loviisa 2:n suurempana kokonaisuutena, mutta ruljanssi oli aina kova. ”Jotenkin aina selvittiin, eikä homma meistä jäänyt kiinni,” on Bjarne lyhyt kommentti jälkeensä.

Asiantuntijana

Loviisan laitosten turvallisuustoimikunnan puheenjohtajana Bjarne on toiminut koko sen toiminnan ajan. IVO:n ja TVO:n sopimuksen nojalla Bjarne on Olkiluodon vastaavassa elimessä tarkkailijana. Samaten hän toimii TRIGAn turvallisuuslautakunnan puheenjohtajana. Bjarne pitää tärkeänä, että tällaisiin elimiin saadaan käyttäjäyhtiön edustajien lisäksi näkemystä myös muilta henkilöiltä, esimerkiksi asiantuntijoilta korkeakouluista, tutkimuslaitoksista tai toisista yhtiöistä.

Pohjoismaisessa yhteistyössä Bjarne on päässyt käyttämään Munsalan murteeseen perustuvaa äidinkieltään. Hän on mukana NKA:ssa (Nordiska Kontaktorganet för Atomenergiåfrågor) tutkimustyössä ja toimii tällä hetkellä NKS:n (Nordiska Kommittén för Säkerhetsforskning) sihteerinä.

Kansainvälisiä tehtäviä Bjarnelle on kertynyt. Hän on jäsenenä mm. UNIPEDEN ja EC-maiden reaktoriturvallisuutta käsittelevissä työryhmissä. Lisäksi hän on toiminut IAEA:n tehtävissä, esimerkiksi viime keväänä luennoitsijana Kanadassa.

Ydinturvallisuuden kehitys

Alkuajoina tärkeintä oli kriittisyyden hallinta. Tähän vaikuttivat myös pienillä tutkimusreaktoreilla tapahtuneet kriittisyysonnettomuudet. Vähitellen painopiste siirtyi voimareaktoreilla hätäjähdytykseen. Bjarne toteaa, että kriittisyydestä huolehtimista oli opittu pitämään niin itsestään selvänä, että ennen Neuvostoliitosta saatua selvitystä ei länsimaissa tehdyissä Tshernobylin onnettomuuden syyn arvauksissa osattu ajatella kriittisyysonnettomuuden mahdollisuutta.

Lähitulevaisuudessa Bjarne näkee keskeiseksi tavoitteeksi suojarakennuksen toimintakyvyn varmistamisen kaikissa olosuhteissa. Sen jälkeen painopiste siirtynee passiiviseen, sisäänrakennettuun turvallisuuteen. Tekniikka menee koko ajan eteenpäin ja reaktorit tulevat yhä turvallisimmiksi.

Ydinenergian jatkonäkymät

Bjarne pitää suurena ongelmana sitä, että useassa maassa ei tapahdu juuri mitään. Ensin häviää laitostoimittajien valmius uusiin toimituksiin ja sitten vanhenee myös voimayhtiöiden ja viranomaisten asiantuntemus. Vähitellen menetetään ydinteknillinen kulttuuri. Sen uudistaminen vie aikaa, jota ei ole käytettävissä enää silloin, kun uusien voimalaitosten tarve iskee. Suomessa tilanne ei vielä ole näin huono.

Bjarne uskoo, että toista Tshernobyliä ei tule, mutta haavereita ei voida kokonaan sulkea pois.

Jatkossa Bjarne toivoo, että byrokraatiaa ja paperisotaa voitaisiin vähän vähentää, esimerkiksi Saksan Konvoi-laitosten malliin.

Uuden laitoksen rakentamisen osalta koroostuu yleisen hyväksynnän tarve. Sen sijaan kauppapoliittisten kysymysten Bjarne uskoo selviävän helpommin kuin 1960-luvulla.

Tshernobylin onnettomuuden aiheuttaman lykkäyksen Bjarne koki ankarana pettymyksenä. Nyt hän toivoo vielä ehtivänsä mukaan, kun seuraavaa laitosta tilataan.

Loppusanat

Toimitus kiittää Bjarnea haastattelusta ja uskoo hänen toiveensa toteutuvan. Lykyä tykö. □

Väitös reaktorien termohydrauliikasta

Teknillisessä korkeakoulussa tarkastettiin 27.5.1988 dipl.ins. Harri Tuomiston väitöskirja "Thermal-Hydraulic Studies About Pressurized Water Reactor Safety". Vastaväittäjänä toimi prof. T.G.Theofanous Kalifornian yliopistosta, Santa Barbarasta. Väitöskirjassa tarkastellaan termohydraulisten analyysien ja kokeiden sovittamista yhteen niin, että saadaan luotettavia ennusteita käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien etenemisestä. Harri Tuomisto toimii Imatran Voima Oy:n turvallisuus- ja polttoainetoimistossa pääsuunnittelijana.

Harri Tuomisto on tehnyt väitöskirjaan liittyvän tutkimustyön Imatran Voima Oy:ssä. Väitöskirjan rungon muodostavat tekniset julkaisut I—VI, jotka käsittelevät Loviisan laitoksen ja IVOn VVER-1000-konseptin analysointia. Julkaisut I—III liittyvät Loviisan todennäköisyyspohjaiseen paineistettua lämpöhokkia (PTS) tutkivaan projektiin. Ylijäähtymistransienttien termohydraulisen analysoinnin tueksi tehtyjä hätäjähdytysveden kerrostumis- ja sekoittumislmiöitä tutkittiin IVOn Virtauslaboratoriossa mallikoikeilla ja näiden pohjalta verifioitiin REMIX-tietokoneohjelma Loviisan analyysejä varten /I/. Lisäksi tutkittiin Lappeenrannan REWET-II -laitteistolla hätäjähdytysyötön indusoimia yksifaasi-luonnonkierron värähtelyjä primääripiirissä. Julkaisussa II esitetään termohydraulisten PTS-analyysien toteutuksen periaatteet. Käytettyjen systeemikoodien RELAP5 ja SMABRE (Loviisan koulutussimulaattorissa) verifiointi ylijäähtymistransienttien laskentaa varten tehtiin Loviisa-2:lla syyskuussa 1981 sattuneeseen häiriöön vertaamalla /III/.

VVER-1000 laitoksenkonseptin jäähdytysmenetysonnettomuuksien analysoinnin tueksi tehtiin suurimittakaavaisia kaksifaasivirtauskokeita IVOn Virtauslaboratoriossa. Reaktorastian ylätilaan syötetyn hätäjähdytysveden pääsyä kuumaan reaktorisydämeen polttoaineen ylätukirakenteiden läpi mitattiin yhden polttoainepinon kokoisella mallilla /IV/. Primääri



piirin vesilukon kaksifaasivirtausominaisuuksia mitattiin täyden mittakaavan mallilla /V/.

Kuudes julkaisu käsittelee vakaviin reaktorionnettomuuksiin liittyvää tutkimustarvetta Loviisan laitokselle käyttäen lähtökohtana, miten suhtautua suodatettuun ulospuhallukseen jäälauhdutinsuojarakennuksesta.

Ennusteiden luotettavuus

Onnettomuuksien analysoinnin perustyyppikaluna ovat suuret termohydrauliset ohjelmaketit, jotka verifioidaan koetuloksiin vertaamalla käytettäväksi reaktorilaskuihin. Ongelmaksi jää kuitenkin, että kokeet on yleensä tehty pienimittakaavaisilla malleilla ja että osa tapahtuvista ilmiöistä ei ole ratkaistavissa tietokoneohjelmien sisältämällä malleilla. Monidimensioiden ilmiöiden ottaminen huomioon oikealla tavalla on vaikeaa, koska käytetyt mallit ovat yksidimensioisia. Tehdyt kokeet /IV ja V/ selvittävät kaksifaasivirtausten monidimensioista käyttäytymistä ja niiden avulla voidaan päätellä, onko yksidimensioiden laskenta kussakin tapauksessa riittävän tarkkaa.

Toinen koodeille vaikea alue on virtausten kerrostuminen, jolla on oleellinen osa ylijäähtymistransienttien analysoinnissa. Loviisan mukaan rakennetulla mallilla /I/ on selvitetty laitokselle ominainen käyttäytyminen ja puettu muotoon, josta REMIX-erillisanalyyseillä voidaan täydentää systeemikoodien tuloksia.

Harri Tuomiston julkaisut

- I H. Tuomisto; Experiments and analyses of thermal mixing and stratification during overcooling accidents in a pressurized water reactor, ANS Proceedings of 24th ASME/AICHE National Heat Transfer Conference, Pittsburgh, Pa., August 9—12, 1987, p. 201—215.
- II H. Tuomisto, B. Mohsen, H. Kantee and J. Miettinen; Thermal hydraulic analyses of selected overcooling transients in the probabilistic PTS study of the Loviisa reactor pressure vessel, Transactions of the ENC'86 Conference, Geneva, Switzerland, June 1—6, 1986, Vol. 3, p. 475—483.
- III H. Tuomisto, H. Kantee, P. Vuorio, J. Miettinen and V. Yrjölä; Computing methods assessment analyses of the Loviisa Unit 2 overcooling incident on September 1, 1981, Proceedings of Topical Meeting on Anticipated and Abnormal Transients in Nuclear Power Plants, Atlanta, Ga., April 12—15, 1987, Vol. 1, p. II-35.
- IV H. Tuomisto; Large-scale air/water flow tests for separate effects during LOCAs in PWRs, Nuclear Engineering and Design 102 (1987) 171—176.
- V H. Tuomisto and P. Kajanto; Two-phase flow in a full-scale loop seal facility, to be published in Nuclear Engineering and Design 107 (1988).
- VI H. Tuomisto; Filtered venting considerations of an ice condenser containment, Proceedings of Post-Conference of SMiRT-9: Containment of Nuclear Reactors, Lausanne, Switzerland, August 24—25, 1987, p. 114—126.

Vakavat reaktorionnettomuudet

Reaktorilaitoksen yksilöllisten piirteiden huomioon ottaminen on ensiarvoisen tärkeää vakavien reaktorionnettomuuksien kannalta. Erillisiä ilmiöitä esiintyy hyvin suuri määrä, joita käytettävissä olevat

Vuosihuollot 1988

LOVIISA

Loviisan ydinvoimalaitoksen ykkösyksikön ns. pitkä vuosihuolto on saatu päätökseen ja laitos kytkettiin valtakunnan sähköverkkoon 5.8.1988. Tarkastusten yhteydessä ei havaittu vikoja, jotka olisivat vaatineet suunnitelmista poikkeavia korjaustoimia. Kakkösyksikön vuosihuolto päättyi ja yksikkö tahdistettiin valtakunnan sähköverkkoon perjantaina 19.8.1988 puolelta päivin. Molempien yksiköiden vuosihuollot sujuivat suunnitelmien mukaisesti.

Kaikkiaan noin 9 viikkoa kestäneeseen Loviisan voimalan vuosihuoltoon osallistui yhteensä 1200 henkilöä, joista noin 400 oli IVO:n omaa väkeä.

Ykkösyksiköllä oli vuorossa neljän vuoden välein toistuva ns. pitkä vuosihuolto, jonka aikana reaktorista poistettiin kaikki sisäosat tarkastuksia varten. Reaktorille ja primääripiirin muille paineastioille tehtiin laajoja tarkastuksia tv-kameroilla, ultraääni- ja pyörrevirtatekniikkaa apuna käyttäen.

analysointiohjelmat eivät välttämättä kuvaa tyydyttävästi. Tämä edellyttää erillisiä analyysejä ja mahdollisesti koesarjoja, joilla tapahtumien fysiikka opetellaan ymmärtämään ennenkuin tehdään kokonaisanalyysejä suurilla tietokoneohjelmaketeilla. Tämä tutkimustyö on luonteeltaan pitkäjänteistä, mutta tuloksia olisi saavutettava nopeasti jotta vakaviin reaktorionnettomuuksiin varautumistoimenpiteet olisivat oikein perusteltuja /VI/.

Laajaa yhteistyötä

Vaikka väitöskirja on syntynyt pääosin IVOssa rehdyistä tutkimuksista, taustalla on laajaa kotimaista ja kansainvälistä yhteistyötä. Ylijäähtymistransienttien analysointi oli IVO:n ja VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion yhteistyötä. Kokeellinen tuki saatiin IVO:n Virtauslaboratoriosta sekä Lappeenrannan TKK:n ja VTT:n REWET-II-projektista. Osa sekoittumiskokeista tehtiin yhteistyönä USA:n ydinvoimaviranomaisen NRC:n kanssa. Painetein lämpöshokin riskitutkimuksen menetelmät omaksuttiin NCR:n avulla Oak Ridgen kansallisesta laboratoriorista ja Purduen yliopistosta. REMIX-ohjelman verifiointia varten vaihdettiin koetuloksia saksalaisen HDR-projektin kanssa. Niin sekoittumis- kuin kaksifaasikokeisiinkin on saatu arvokasta asiantuntemusta Säteilysturvakeskuksesta. □

Vuosihuollossa tehtiin kaikkiaan lähes 2700 erilaista työtä, joista runsaat 1500 olivat tarkastus-, koestus- ja ennakkohuoltotyötä. Loviisa 1:n huolto kesti 41 vuorokautta. Aikaisemmin ns. pitkä vuosihuolto on tehty lyhimmillään 47 vuorokaudessa.

Huollon yhteydessä tehostettiin myös laitoksen paloturvallisuutta. Reaktorirakennukseen asennettiin mm. uusi varahätäsyöttöjärjestelmä sekä vahvistettiin eräitä sähkö- ja tietoliikenneyhteyksiä kestävämmän myös mahdolliset onnettomuustilanteet, Vuorenmaa totesi.

IVO rakentaa vastaavan varahätäesyöttöjärjestelmän myös Loviisan kakkösyksikönsä voimalaan. Molempien järjestelmien on tarkoitus olla käyttökunnossa vuoden 1989 loppuun mennessä.

Loviisa 2:lla oli vuorossa lyhyt vuosihuolto, jonka yhteydessä mm. yksikön reaktori avattiin uraanipolttoaineen vaihtoa varten. Vuosihuolto kesti suunnitellut 20 vuorokautta.

Vuosihuollon aikana laitoksella tehtiin runsaat 2000 erilaista työtä. Niistä runsaat puolet oli erilaisia tarkastus- ja ennakkohuoltotyöitä. Tärkeimpiä muutostöitä olivat 12 venttiilin sekä 28 sähkö- ja instrumentointiläpiviennin vaihto onnettomuusolosuhteet paremmiksi.

OLKILUOTO

Olkiluodon laitosten seisokit kestivät tänä vuonna yhteensä 35 vuorokautta. Kustannuksia syntyi noin 54 milj. mk ja ulkopuolista työvoimaa työllistettiin 120 henkilötyövuoden verran.

Seisokkikausi alkoi Olkiluodon laitoksilla tavallaan vapun tietämissä, tänä vuonna aloittajana oli kakkösyksikkö. Töiltään rutiininomaisen seisokin pituudeksi muodostui 15 vrk 20 h. Ulkopuolista työvoimaa oli jonkin verran normaalia runsaammin, korkeimmillaan 960 henkilöä.

Tämän vuoden huoltoseisokissa TVO II sai samanlaisen höyrykuivaimen kuin TVO 1:lle oli asennettu viime vuonna. Kuivuri poistaa vesipisarat korkeapaineturbiinista tulevasta höyrystä antaen muutaman megawatin lisätehon. Kosteuden aleneminen suojaa höyryjärjestelmää lisäksi eroosiovaurioilta, mistä saadaankin uudisasennuksen suurin hyöty.

Tuoretta polttoainetta ladattiin 122 nippua, kaikki ABB ATOMin toimittamaa SVEA-63 tyyppiä. Latausmäärä riittää pyörittämään generaattoria täydellä teholla 315 vuorokautta.

Seisokissa työskennelleiden kollektiivinen annos oli 1,3 mansievertiä. Se on edellisvuosia melkoisesti korkeampi ja johtuu ainakin osaksi höyryjärjestelmän kohonneesta kontaminaatioitasosta, jonka syytä ei täydellisesti ole vielä selvitetty. Höyryn kosteuspitoisuus on kuitenkin yksi kontaminaatioitasoon vaikuttava tekijä.

TVO I:n huolto- ja polttoaineenvaihtoseisokki alkoi 20. toukokuuta ja kesti 19 vrk 5 h. Ulkopuolista työvoimaa oli enimmäkseen 910 henkilöä. Seisokin pituudeksi oli suunniteltu runsaat 15 vuorokautta, mutta käynnistysvaiheessa esiintyneet turbii- nin säätö-öljyjärjestelmän ongelmat viivästyttivät laitoksen kytkemistä verkkoon yli kolmella vuorokaudella.

Polttoainelataus käsitti 120 tuoretta nippua. Käyttöjakson laskettu pituus on tälläkin yksiköllä 315 täystehovuorokautta.

Tämän vuoden huoltoseisokeissa asennettiin kummallekin laitokselle ensimmäiset ns. SAM-ohjelmaan (Severe Accident Mitigation) kuuluvat laitteet. Vakavien onnettomuuksien hallitsemiseen tähtäävillä laitteilla on tarkoitus varmistaa suojarakennuksen säilyminen ehjänä myös suunnitteluperusteita vakavammissa onnettomuuksissa, mm. sydämen sulamistilanteissa. Suojarakennuksen äkillisen paineen nousun hallitsemiseksi asennettiin murtolevyn rikkoutumisella avautuva ulospuhalluslinja. Suojarakennuksen alaosassa vahvistettiin läpivientien suojausta, kestävämmän sulaneen sydänmateriaalin vaikutusta. Lisäksi suojarakennukseen lisättiin paineen, lämpötilan, vedenpinnan ja säteilyn mittauspisteitä, jotta onnettomuustilanteissa saadaan enemmän tietoa siellä vallitsevista olosuhteista.

SAM-projektin jatkovaiheena tullaan vuoden 1989 aikana kummallekin yksikölle asentamaan suodatinyksikkö, jonka kautta suojarakennuksen ylipaine voidaan purkaa puhdistamalla poistokaasut vähintään 99 %:sesti jodi- ja kesium-isotoopeista. □

Toimittaja Arto Henriksson toimii Imatran Voima Oy:ssä uutispäällikkönä, p. 90-609 0578.
DI Ahti Toivola on Teollisuuden Voima Oy:n turvallisuustoimiston päällikkö, p. 938-3811.

Energiatalous vuonna 2030

Kauppa- ja teollisuusministeriön tuoreessa raportissa "Energiatalous vuonna 2030" on piirretty energiatalouden kuvaa hyvin pitkälle aikavälille, vuoteen 2030. Työssä on esitetty yksi perusskenaario sekä arvioitu kansainvälisessä ja Suomen energiajärjestelmässä nähtävissä olevia uhkia, mahdollisuuksia ja haasteita. Hahmoteltu perusskenaario ei missään tapauksessa ole ennuste, vaan käytettävissä olevan tiedon ja nykyisten kehityssuuntien pohjalta piirretty tulevaisuudenkuva, yksi monista mahdollisista. Tarkastelusta lähes puolet on käytetty Suomen energiatalouden "uhkien ja mahdollisuuksien" kartoittamiseen.

Pitkän ajan energia-arviot poikkeavat näkökulmaltaan lyhyemmän aikavälin (10...20 vuotta) tarkasteluista, joissa pääpaino on vallitsevissa energian käytön kehitystrendeissä, markkinoilla olevien energiajärjestelmien hintasuhteissa, olemassa olevan tuotantokapasiteetin laajenustarpeissa jne. Pitemmän ajan tarkasteluissa avainsanoiksi nousevat

- resurssit
- teknologian kehitys
- ympäristörajoitukset
- yhteiskunnan kehityssuunnat

Energiatalouden perusrakenteet muuttuvat varsin hitaasti. Ainoastaan pitkän ajan tarkasteluissa perusrakenteen muutokset ovat mahdollisia.

Perusskenaario

Perusskenaario kuvaa nykyisen talous- ja energiapolitiikan viitoittamaa kehitysuraa. Useita tekniikan mahdollisuuksia on niiden spekulatiivisuuden tai kehittyneen keskeneräisyyden vuoksi jätetty tarkastelematta.

Maamme väestömäärä kääntyy laskuun vuosituhaten vaihteen jälkeen. Vuonna 2030 Suomen väkiluku on 4,6 miljoonaa. Suomen talous kehittyy suotuisasti. Koko bruttokansantuotteen arvo on vuonna

2030 yli kaksinkertainen nykyiseen verrattuna. Kuitenkin vuoden 2000 jälkeen BKT:n kasvu on hidasta ja vuosina 2010—2030 lähes olematonta.

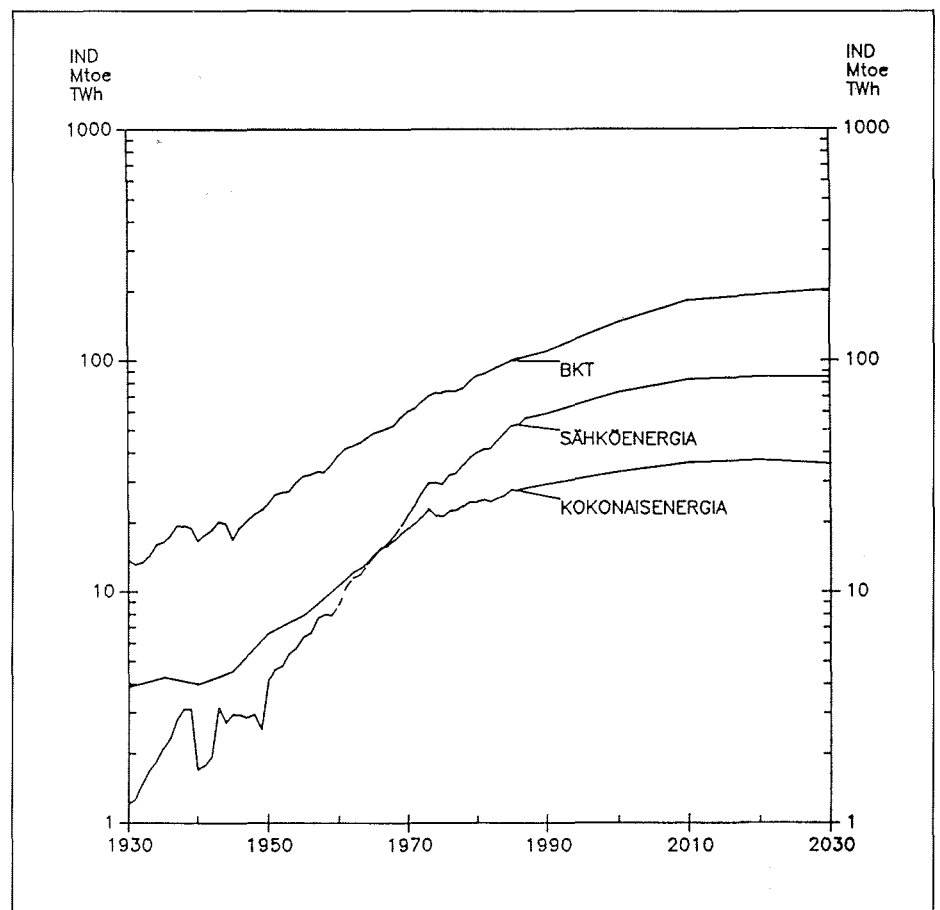
Tuontienergian hintojen oletetaan kallistuvan. Vuonna 2030 raakaöljyn reaalihintana on 2...3 -kertainen vuoden 1987 18...20 dollarin barrelihintaan. Varannoiltaan öljyä runsaammat polttoaineet, kuten maakaasu ja etenkin kivihiili, kallistuvat öljyä hitaammin. Myöskään kotimaisten polttoaineiden reaalihintojen ei uskota kallistuvan öljyn tahdissa. Sähkön reaalihintana nousee kohoavien polttoaine-, ympäristönsuojelu- yms. kustannusten seurauksena, mutta hitaammin kuin polttoaineiden.

Energiapolitiikassa energian käytön tehostaminen on edelleen tärkeä tavoite. Kotimaisen energian osuutta pyritään lisäämään, vaikka mahdollisuudet ovat rajallisia; kannattavuus tuottaa jatkuvasti ongelmia.

Sekä energian kokonaiskulutuksen että sähköenergian kulutuksen kasvu pysähtyvät vuoden 2000 jälkeen. Energian kokonaiskulutus on korkeimmillaan noin 36 Mtoe/a (vuonna 1987 29 Mtoe/a). Sähkön käyttö on suurimmillaan noin 85 TWh/a (nykyisin 56 TWh/a). Bruttokansantuotteen kaksinkertaistuksessa sähkön käyttö lisääntyy 50 % ja kokonaisenergian käyttö 25...30 % (kuva 1).

Vuoden 2030 jälkeisen Suomen energiahuolto on peruselementeiltään hyvin paljon nykyisen kaltainen. Primäärienergian hankinnan rakenne kuitenkin muuttuu merkittävästi (kuva 2):

- Öljyn käyttö vähenee
- Hiilestä tulee tärkein primäärienergian lähde
- Maakaasun käyttö lisääntyy
- Kotimaisten polttoaineiden osuus koko energiasta säilyy nykyisellään
- Tässä skenaariossa ydinvoimakapasiteetti säilyy nykyisellään.



Kuva 1. BKT:n arvo (1985 = 100) sekä primäärienergian (Mtoe) ja sähköenergian (TWh) kulutus vuosina 1930—2030.

Sähköhuoltoon mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä

Ydinpolttoaineen saatavuus

Nykyisin uraanista on ylitarjontaa. Kysynnän ja tarjonnan uskotaan saavuttavan tasapainon 1990-luvun puolivälissä. Pidemmällä aikavälillä raakauraanin saatavuus voi muodostua ongelmalliseksi, sillä mm. OECD/NEA:n arvioiden mukaan kysynnän ja tuotantosuunnitelmien välillä on selvä aukko. Myös uraanin rikastus- ja polttoaineen valmistuskapasiteetti voi rajoittaa ydinenergian lisätuotantoa. Suomen nykyisten ydinvoimaloiden polttoainehuoltoa voidaan pitää turvattuna.

Sähkön käyttöarvioiden epävarmuus

Teollisuudessa kasvuarvot voivat ylittyä, mikäli uudet sähköiset sovellutukset (mm. sähköenergian suora käyttö induktio-, infrapuna- yms. prosesseissa) syrjäyttävät polttoaineiden käyttöä arvioitua enemmän. Edelleen arviot voivat ylittyä, jos kemiallisen sellun tuotantoa korvataan mekaanisilla massaprosesseilla laskelmia enemmän; toisaalta mekaanisten massojen tuotantoon voi liittyä suuriakin sähkön käytön tehostamismahdollisuuksia.

Asumisen sähkön käyttö kasvaa yli arvion, jos kulutus ja elintaso ylittävät laskelmien "täyssähköistettyjen" talouksien mallin. Toisaalta arvion alittumisen ehtona on sähköä vähän käyttävän laitetekniikan huomattava yleistymisen.

Nykyisen kapasiteetin korvaaminen

Pääosa Suomen lauhdutusvoimalaitoksista on rakennettu varsin suppean ajan sisällä 1970- ja 1980-luvuilla, joten ne tulevat myös uusittaviksi lähes samanaikaisesti. Vuoden 2000 jälkeen jouduttaisiin vuosittain uusimaan 200...300 MW lauhdutusvoimaa ja 300 MW muuta sähköntuotantokapasiteettia. Vuoteen 2030 mennessä joudutaan kaikki lauhdutusvoimalaitokset korvaamaan tai uusimaan pääkomponenttien osalta. Mahdollisuudet pidentää voimalaitoksen käyttöikää pyritään hyödyntämään. Eliniän pidentäminen edellyttää panostusta kunnossapitoon, korjausmenetelmiin ja komponenttien kestävyyttä koskevaan tutkimukseen.

Uusi kapasiteetti

Perusskenaariossa kulutuksen kasvua varten tarvittava kapasiteetti rakentuu yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon sekä hiilivoiman varaan. Lämmön tuotantoon liittyvää sähkökapasiteettia rakennettaisiin lisää kaikkiaan yli 2000 MW vuoteen 2030 mennessä. Hiilivoimaa otettaisiin käyttöön 2000...3000 MW.

Prosessi- ja vastapainesähkön tuotantokapasiteetti

Perusskenaarion mukaan selluprosessiin perustuvaa sähkön tuotantokapasiteettia rakennettaisiin lisää vain rajoitetusti eli sen verran kuin paperin laatuvaatimukset yms. seikat edellyttävät. Sähkön ja puun hintojen suhde voi kuitenkin muuttaa tä-

tä kehityskuvaa. Prosessisähkön tuotantoa voidaan nostaa myös nostamalla sähkön ja lämmön tuotannon suhdetta maa-kaasukombilaitoksilla nykyisestä 0,2:sta aina 1,0:aan.

Perusskenaariossa vastapaine-energiaan perustuvan kaukolämpövoiman kasvu pysähtyy jo 2000-luvun alussa, jolloin nykyisin kannattavasti liitettävissä oleva rakennuskanta on yhdistetty kaukolämpöön. Rakennusten ominaislämmöntarpeen oletettu pieneneminen heikentää kaukolämpövoiman tuotantomahdollisuuksia, mutta kilpailevien lämmitysmuotojen oletettu kallistuminen voi kompensoida tätä.

Muu sähköntuotantokapasiteetti

Turvekäyttöistä lauhdutusvoimaa voitaneen turvevarojen puolesta rakentaa 300...600 MW. Turvekäyttöisen lauhdutusvoiman käyttöedellytykset voivat parantua, jos pienet (50...100 MWe) lauhdutuslaitokset saadaan kaupallisesti kannattavalle asteelle. Laitosten hyötysuhde olisi tällöin nykyistä korkeampi ja se voisi käyttää merkää polttopurvetta rajallisten suoalueiden välittömässä läheisyydessä.

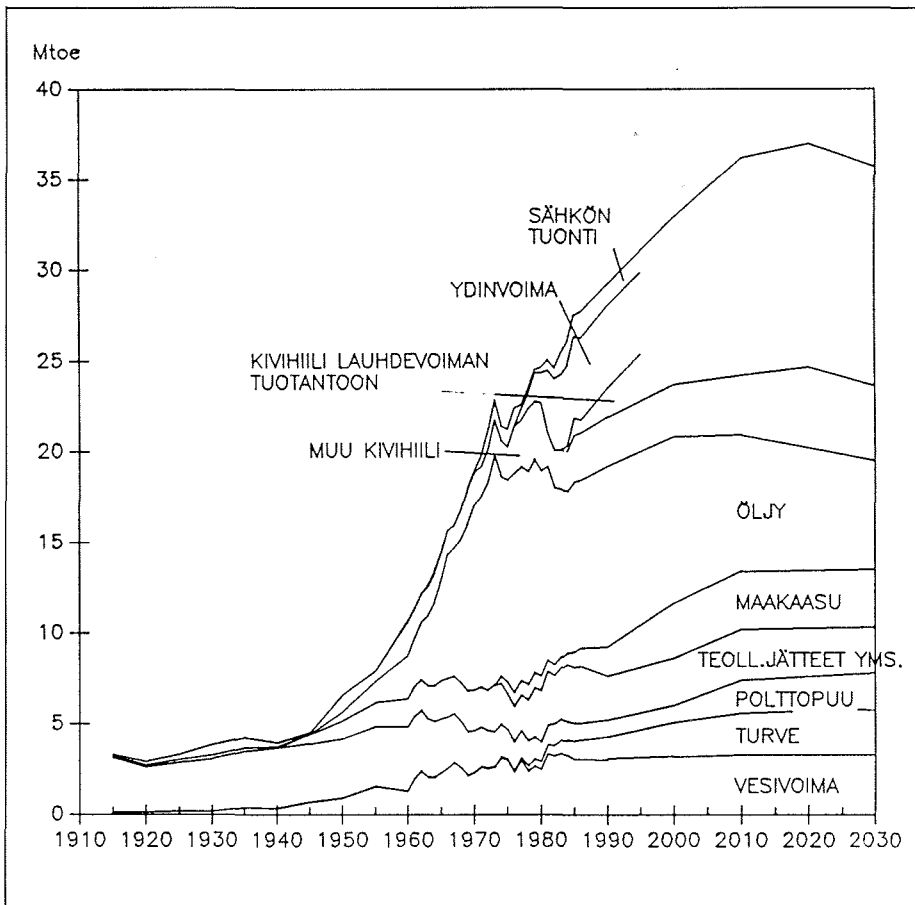
Tuontisähkön määrä sekä Neuvostoliitosta että Norjasta voi kasvaa tulevaisuudessa huomattavasti riippuen näiden maiden sekä Suomen energiapolitiittisista valinnoista.

Lauhutusvoimalla (konventionaalinen tai ydinvoima) tuotetaan loput sähköstä. Perusskenaariossa tätä kapasiteettia tarvittaisiin vuonna 2030 noin 7000 MW, josta ydinvoiman osuudeksi oletettiin nykyinen 2300 MW. Mikäli sähkön kulutus jää perusskenaariossa oletettua alhaisemmaksi ja hajautetun sähköntuotannon edellytykset paranevat ja ydinvoimaa rakennetaan lisää, ei hiililauhdukapsiteettia tarvita lainkaan. Toisaalta, jos ydinvoimasta luovutaan ja hajautetun sähköntuotannon kannattavuus ei parane, niin hiilivoiman tarve nousee paljon perusarvioita suuremmaksi.

Lupaavat tulokset suprajohdetekniikassa saattavat luoda edellytyksiä uuden, muuhun kuin nykyiseen ydintekniikkaan tai tavanomaiseen hiilenpolttoon perustuvan suurvoimalaitostekniikan, esim. fuusiotekniikan tai MHD-tekniikan kehittämiseksi kaupalliseen käyttöön.

Koko kapasiteettitarve yhteensä

Koko kapasiteetin tarve nousisi perusskenaariossa nykyisestä 10 000 MW:sta noin 17 000 MW:iin. Mikäli uudet tekniikat eivät tule edellä esitetyssä laajuudessa tarkastelujaksolla käyttöön tai tuonti vähenee oleellisesti nykyisestä, joudutaan päätöstilanteeseen: joko runsaasti lisää tavanomaisia hiilivoimalaitoksia tai lisää tavanomaisia ydinvoimalaitoksia. Seuraavassa taulukossa on esitetty nykyinen sähköntuotantokapasiteetti sekä sähkön-tuotantorakenne vuonna 2030 perusskenaarion mukaan ja vaihtelualueineen.



Kuva 2. Primäärienergian kulutus Suomessa vuosina 1915—2030 sekä sen jakautuminen energialähteittäin, Mtoe.

Tuotantotapa	1988 MW	2030 perusskenaario	2030 vaihtelualue
Vesivoima	2000	2200	2200— 2300
Teollisuuden vastapainevoima	1200	1400	0— 3000
Kaukolämpövoima	2000	4000	2000— 4500
Turvelauhdutusvoima	0	300	300— 600
Ydinvoima	2300	2300	0— 4600
Muu lauhdutusvoima	2200	4700	0—12000
Tuonti	900	900	600— 1400
Huippukaasuturbiinit	800	1200	1000— 1400
Yhteensä	11400	17000	15000—19000

Yhteenvedo

Totunnainen ajatuskuva on, että yhteiskunnan kehitykseen kuuluu erottamattomasti lisääntyvä energian kulutus. Edellä hahmoteltu yllätyksettömän, nykytrende-

jä noudattelevan suomalaisen yhteiskunnan kehityksen skenaario näyttää kuitenkin johtavan primäärienergian kulutuksen kasvun pysähtymiseen ja ennen vuotta

2030 jopa sen hienoiseen laskuun. Korkeimmillaankin primäärienergian vuosikulutus olisi vähemmän kuin 40 % yli nykytason. Sähköä käytettäisiin enimmäkseen noin 60 % yli nykytason.

Tarkastelukaudella joudutaan koko nykyinen sähköntuotantokoneisto uusiimaan. Kotimaisiin polttoaineisiin perustuvan tuotannon lisääminen yli skenaariossa ennakoitua voi osoittautua vaikeaksi.

Erityisesti ympäristötekijät kasvattavat painetta teknologiseen kehitykseen. Energian tuotanto- tai käyttöteknologian edistysaskeleet voivat etenkin tarkastelujakson loppupuolella johtaa jo radikaalisti toisenlaiseen kehityskulkuun. Vuoteen 2030 on niin pitkä aika, että siihen mennessä ”mittei mikä tahansa on mahdollista”. □

Bjarne Regnell, IVO

WANO — uusi maailmanlaajuinen käyttökokemusten vaihtojärjestelmä

Edustajia melkein kaikista maailman n. 130 ydinvoimayhtiöistä kokoontui Pariisissa 5—6.8.1987 Institute of Nuclear Power Operations'in (INPO) ja Unipeden kutsusta kokoukseen, jonka isäntänä toimi EdF, ja jossa niin Länsi kuin Itäkin olivat edustettuna. Edustetut voimayhtiöt päättivät vahvistaa olemassaolevia yhteyksiä ja yhteistyötä yritysten välillä perustamalla uusi, maailmanlaajuinen järjestö, jolle annettiin nimi ”The Word Association of Nuclear Operators (WANO)”. Tarkoitus on, että uusi järjestö voisi aloittaa toimintansa vuoden 1989 aikana. Laajamittainen valmistelutyö, johon Suomikin aktiivisesti osallistuu, käynnistettiin pian edellä mainitun kokouksen jälkeen.

Pariisin kokouksessa todettiin uuden järjestön päätehtävän olevan ”To maximise the safety and reliability of nuclear power stations by exchanging information, encouraging comparison and stimulating emulation among nuclear power station operators”. Tämän pää-

määrän saavuttamiseksi perustetaan neljä aluekeskusta, jotka sijaitsevat eri puolilla maailmaa, nimittäin Atlantassa, Moskovassa, Pariisissa ja Tokiossa. Yksittäinen voimayhtiö tai usean yhtiön muodostama ryhmä voi liittyä yhteen tai useampaan aluekeskukseen, maantieteellisistä näkökohdista riippumatta.

Aluekeskusten toiminnan koordinoimista varten ja niiden välisen tiedonvaihdon edistämiseksi perustetaan pienehkö koordinaatikeskus, jonka sijoituspaikasta ei vielä ole sovittu. Esitetyistä vaihtoehdoista Lontoo tuntuu tällä hetkellä vahvimmalta.

Toimintatavat

Tavoitteena on luoda järjestelmä joka nopeasti ja tehokkaasti välittää voimayhtiöiden kannalta hyödyllistä tietoa mahdollisimman vähällä byrokralialla. WANOsta ei saisi tulla pelkästään tilastoja keräävä datapankki, vaan käytännön toimintaa tukeva elin. Lähtökohtana onkin ollut, ettei rajoituttaisi pelkästään erilaisten ydinlaitosten tapahtumien käsitteilyyn (niinkuin eräät muut tietojenvaihtojärjestelmät), vaan oleellisen osan muodostaisivat muut toimintamuodot, joissa suorat yhteydet laitoskäyttäjien välillä olisivat etusijalla.

Ydinvoimatapahtumia koskevaan tiedonvaihtoon kuuluvat tapahtumaraportit, joita on kahdenlaisia, Event Notification Report (ENR), jotka välitettäisiin muuttaman päivän sisällä tapahtuman jälkeen, sekä Event Analysis Report (EAR), jotka

laadittaisiin viimeistään kolmen kuukauden sisällä. EAR olisi seikkaperäinen, pääasiassa voimayhtiön laatima raportti tapahtumasta, jossa syyt, seuraukset ja ennenkaikkea tapahtuman aiheuttamat toimenpiteet, ja siitä saatavat opetukset olisi selostettu ja analysoitu.

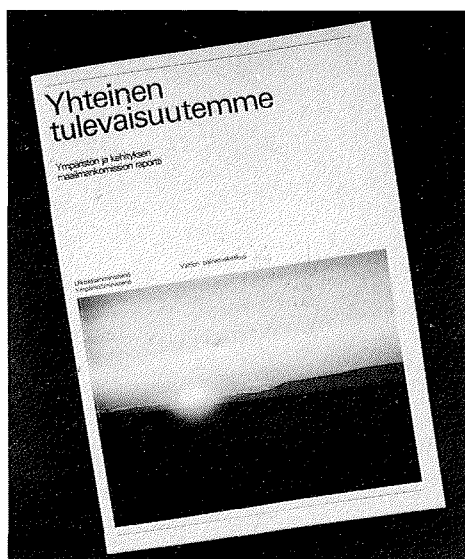
Hyviä menettelytapoja voidaan tunnistaa ja hyödyntää monella alalla: organisaatio, käyttö, huolto, säteilysuojelu, koulu jne. Näistä on tarkoitus laatia kirjallisia esityksiä jaettavaksi jäsenille.

WANO:n toiminnan suunnittelussa on korostettu laitoskäyttäjien välisen suoran kontaktin ja kokemustenvaihdon merkitystä. Tätä pyritään edistämään usealla toimintamuodolla: laitoskäynneillä, seminaareilla ja työkokouksilla, kirjallisen aineiston vaihdolla ja suoralla tiedonvaihdoilla elektronisen postin avulla, laitoskäyttäjien henkilökunnan vaihtotoiminnalla ja pienten asiantuntijaryhmien muodostamisella, jne.

Kommunikaatio

WANO:n jäsenten yhteydet keskenään ja aluekeskusten kanssa tulevat tapahtumaan dataverkon avulla. Siihen saakka kunnes oma laitteisto on saatu aikaan voidaan käyttää olemassa olevaa INPO:n tietokonejärjestelmää kansainvälisten TELENET ja TYMNET tietojensiirtoverkkojen välityksellä.

Sihteerin sana — Yhteinen tulevaisuutemme puntarissa



Toteutus

WANO-järjestön toimintaa suunnittelemaan on perustettu useita työryhmiä. Niiden työtä ohjaa ja valvoo johtoryhmä, jonka puheenjohtajana toimii Lord Marshall of Goring, CEGN hallituksen puheenjohtaja. Suunnitelmien mukaan kokoonnutaan Moskovaan ensi toukuussa WANOn perustavaan kokoukseen. Suomen liittymisestä ei ole vielä lopullisesti sovittu, mutta todennäköistä on, että IVO liittyy Moskovan aluekeskukseen ja TVO Pariisiin keskuksen. Kaikkien aluekeskusten johtajat on jo valittu. Jo ennen perustavaa kokousta, eli tämän vuoden aikana esim. Pariisin aluekeskus (WANO-PC) aloittaa toimintansa väliaikaisella pohjalla. Moskovan keskuksen valmistelut ovat edenneet hitaammin, mutta senkin toiminta lähtenee käyntiin ensi vuoden alkupuolella.

WANOn valmistelutyössä suomalaiset ovat yrittäneet vaikuttaa siihen, että perustettava järjestö tulisi olemaan todella toimiva ja jäsenille hyödyllinen. □

YK:n pääsihteerin Javier Perez de Cuellar pyysi joulukuussa 1983 entistä Norjan ympäristöministeriä ja silloista pääministeriä Gro Harlem Bruntlandia muodostamaan Ympäristön ja kehityksen maailmankomission. Komissio koostui noin kahdestakymmenestä poliitikosta, joista puolet oli kehitysmaista — näiden rooli onkin tarkoituksellisesti suuri. Mainittakoon, että Suomesta ei ollut minkäänlaista edustusta, ei edes sihteeristössä. Komission tehtäväksi tuli laatia pitkän aikavälin ympäristöstrategia, joka mahdollistaa kestävä kehityksen vuoteen 2000 mennessä ja sen jälkeenkin.

Komission tuli ehdottaa, miten huoli ympäristöstä voisi lisätä sellaista yhteistyötä kehitysmaiden ja teollisuusmaiden kesken, joka johtaisi yhteisiin, kaikkien hyväksi koitaviin tavoitteisiin, joissa otettaisiin huomioon ihmisten, ympäristön ja kehityksen keskinäiset suhteet. Komission tuli edelleen pohtia, miten kansainvälistä yhteistyötä voitaisiin tehostaa ympäristökysymyksissä sekä auttaa määrittelemään, millaisia toimenpiteitä ympäristön suojele ja parantaminen edellyttävät, millainen pitkän aikavälin toimintasuunnitelma tulevaisuuden vuosikymmeniksi tulisi laatia ja millaiset tavoitteet maapallon kaikilla kansoilla tulisi olla.

Käytännön työn mielenkiintoisena piirteenä olivat eri puolilla maailmaa pidetyt julkiset keskustelutilaisuudet, joiden antia on runsaasti myös maailmankomission raportissa. Mukana on yksilöitä ja järjestöjä, joista esiintyvät mm. Greenbelt, Greenpeace ja Friends of the Earth...

Loppuraportti jätettiin yleiskokoukselle 1987 ja komissio hajaantui saman vuoden syyskuussa. Peruspiirteensä raportissa voi aistia "maailmanmalleille" tähän asti vieraan optimismin eli raportti katsoo, että maailma voi selvitä monista ongelmistaan. Näin kuitenkin vain jos heti ryhdytään radikaaleihin toimiin. Muuten ympäristön käytön ja saastuttamisen katosaan päässeen pisteeseen, jossa se uhkaa taloudellisen elämän perustaa.

Yhteinen tulevaisuutemme — raportin sisältö

I Yhteiset huolet

- 1 Tulevaisuus uhattuna
- 2 Kohti kestävä kehitystä
- 3 Kansainvälisen talouden rooli

II Yhteiset haasteet

- 4 Väestö ja ihmisten voimavarat
- 5 Ruoan takaaminen: mahdollisuuksien ylläpitoa
- 6 Lajit ja ekosysteemit: kehityksen voimavaroja
- 7 Energia: ympäristöä ja kehitystä suosivia valintoja
- 8 Teollisuus: enemmän vähemmästä
- 9 Kaupungistumisen haaste

III Yhteiset ponnistukset

- 10 Maapallon yhteisalueiden hoito
- 11 Rauha, turvallisuus, kehitys ja ympäristö
- 12 Kohti yhteistoimintaa: insituutioita ja oikeuskäytäntöä koskevat muutosehdotukset

Liite 1 Ehdotus ympäristönsuojelun ja kestävä kehityksen oikeudelliseksi periaatteiksi

Liite 2 Komissio ja sen työskentely

Väestönkasvu ja kehitysmaiden köyhyys ovat ympäristön pahimmat uhat ja niihin on puututtava heti. Myös taloudellisen kasvun on jatkuttava. Ja tekniikan kykyyn ratkaista ongelmia raportti uskoo lujasti, joskus jopa siten, että tavallinen insinööri puistelee päätään.

Suomessa raporttiin on suhtauduttu vakavasti. Paitsi lehdistöä ja yksityisiä poliitikkoja, on nimenomaan ympäristöministeriö ryhtynyt toimiin. Raportti käännettiin suomeksi ja siitä ollaan ainakin suunnittelemassa myös lyhennettyä kansainpainausta. Näin siksi, että varsinaisessa raportissa on noin 350 sivua paikoin vaikeatajuista tekstiä — tai ainakin näin yleisesti sanotaan. Itse en kokenut tekstiä sinänsä vaikeatajuiseksi, mutta koska komissio on tehnyt työnsä työryhmissä, löytyy ristiriitaisuuksia helposti ja se on ehkä haitannut lukijoita.

Merkittävin Suomen toimista on eittämättä ympäristöministeri Kaj Bärlundin johdolla toimivan komitean tuleva työ,

sillä sen tehtävänä on "soveltaa" raporttia Suomessa kaikkeen taloudelliseen toimintaan. Komiteaan on mm. koottu viiden ministeriön kansliapäälliköt! Näin Suomessakin halutaan viedä ympäristöasiat raportin hengen mukaan suoraan päätöskoneistoon, eikä tyydytä vanhaan tyyliin hoitamaan vain ympäristön ongelmia niiden jo ollessa akuutteja.

Raportin asenne ydinenergiaan negatiivinen

Komitea on Tieteellisen Seuran Valtuuskunnan kautta pyytänyt myös ATS:lta lausuntoa raportista. Tätä valmistelee TkT Seppo Vuoren vetämä työryhmä. ATS on luonnollisesti kiinnostunut raportin energiaosuudesta. Sivuja aiheelle on omistettu 35 oman otsikon alle, tästä ydinvoimaa käsitellään noin kahdeksalla sivulla. Lisäksi ydinenergia on hyvin monissa sivulauseissa mukana läpi raportin, valitettavasti melkein poikkeuksetta ydinenergialle negatiivisissa toteamuksissa "...eri energiamuotoihin liittyy ongelmia: öljyvarannot ammennetaan tyhjiin, kivihiilen louhinta on erittäin vaarallista ja ympäristölle haitallista ja ydintekniikka taas on vaarallista."

Energiaosuuden kenties eniten tähän astisessa keskustelussa siteerattu kohta on vaatimus, että maailman perusergiankulutuksen tulisi 50 vuodessa laskea puoleen nykyisestä. Raportti näkee tämän vakavana haasteena, mutta esittelee toki muitakin kehitysmalleja.

Ydinvoiman kannalta maailmankomission työn ajoitus osui huobosti. Raportti on tehty Tshernobylin vaikutusten ollessa pahimmillaan ja se myös näkyy politiikkojen raportissa. Jo ydinvoimaa käsittelevän luvun otsikko kertoo olleellisen. **YDINVOIMA: RATKAISEMATTOomia ONGELMIA.** Näinä pidetään erityisesti kahta; suuren onnettomuuden seurauksia ja ydinjätteiden loppusijoitusongelmaa. Lisäksi raportti on useaan otteeseen huolissaan jätteiden upotuksesta mereen. Tuntuu siltä, että poliitikot olisivat olleet tässä kohdin reilusti ajastaan jäljessä! Otsikot ovat kyllä kovia kautta linjan, sillä esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden otsikko kertoo "jatkuvista ongelmista".

Energiaa koskevissa päätelmissään ja suosituksissaan raportti mm. edellyttää, että tarvitaan uutta kansainvälistä valvontaa, johon sisältyisivät reaktoreiden kansainväliset tarkastukset. Perustettavan uuden organisaation tulisi olla täysin erillään "ydinvoiman käyttöä tukevan IAEA:n" toimialasta.

Ovi raollaan ydinenergialle

Kestävän kehityksen pohjaksi energiaosuuden yhteenvedossa osoitetaan uusiutuva energia ja säästötoimet. Ydinenergian tuottamiselle annetaan oikeus vain, jos "sen synnyttämiin, tällä hetkellä ratkaisemattomiin ongelmiin löydetään luotettavat ratkaisut." Ovi on siis avoinna, ja ratkaisujen olemassaolostakin voidaan esittää erilaisia kantoja. Ehkäpä pian esi-

Perusergian kulutus maailmassa henkilöä kohti v. 1984

Maailman BKT:n mukainen talousryhmä	BKT/henki (v. 1984 dollareissa)	Energiankulutus (kW/henki*)	V. 1984 puolivälin väestömäärä (miljoonaa)	Kokonaiskulutus (TW)
Alhainen tulotaso Saharan eteläpuolinen Afrikka	260 210	0,41 0,08	2390 258	0,99 0,02
Keskitulotaso Alempi keskitaso Ylempi keskitaso Saharan eteläpuolinen Afrikka	1250 740 1950 680	1,07 0,57 1,76 0,25	1188 691 497 148	1,27 0,39 0,87 0,04
Korkea tulotaso Öljytuottajamaat	11250	5,17	19	0,10
Teollistuneet markkinatalousmaat	11430	7,01	733	5,14
Itä-Euroopan ei-markkinatalousmaat	—	6,27	389	2,44
Maapallo	—	2,11**	4718	9,94

* kW/henki tarkoittaa kWvuosia/vuosi henkeä kohti.

** Väestön keskimääräinen energiankulutus (kW/henki) on kolmessa ensimmäisessä pääryhmässä 0,654 ja teollistuneiden markkinatalousmaiden ja Itä-Euroopan maiden ryhmissä 6,76.

Lähde: Maailmanpankin raportti World Development Report 1986 (New York: Oxford University Press, 1986)

merkiksi kehitysmaissa tajutaan, että jos kehittyneissä maissa käytettäisiin enemmän ydinenergiaa, niin kehitysmailla "vapautuisi" hieman enemmän muita energialähteitä.

Raportin päätelmät ja asenteet edellyttävät ATS:n kaltaisilta asiantuntijayhteisöiltä kannanottoja lähitulevaisuudessa. Sillä eiköhän suurin osa seuramme jäsenistä ole vakuuttunut siitä, että esimerkiksi ydinjäteongelma on jo teknisesti ratkaistu. Mielestäni vain tiedotusongelmat, poliittiset ongelmat, aika ja järkevää taloudellinen ajattelu ovat vielä estäneet sen, että vastuulliset poliitikot eivät uskalla kirjata ydinjäteongelmaa ratkaistuksi.

Asian esille tuominen on kyllä vaikeaa, sillä esimerkiksi NEA:n uusimmasta vuosiraportista (NEA Activities in 1987) ei ydinjätteiden sijoituksen ratkaisuihin fiksuunkaan poliitikko saa mitään selvää, sillä teksti puhuttaa yksityiskohdillaan vain asiantuntijoita. Eikö tällaisten opusten pitäisi olla suunnattu juuri poliitikoillekin?

Raportti tulisikin nähdä haasteena, sillä kun se vaikkapa kertoo energia- ja talousennusteista, niin se kyllä tuntee rajansa ja myöntää erehtyvyytensä. Silti se ottaa kantaa vaikeisiin asioihin. Monet ovat jopa sen vuoksi äityneet julistamaan, että se jopa tarjoaa yksityiskohtaisen ja konkreettisen ohjelman, maailmanmallin, tulevalle kehitykselle. Raportin liitteenä onkin todella ehdotus

"ympäristönsuojelun ja kestävän kehityksen oikeudellisiksi periaatteiksi".

Tätä ehdotusta ei kyllä voi pitää kovin yksityiskohtaisena. Mutta on muistettava, että kun Yhdysvaltain vapaussodan ja Ranskan vallankumouksen yhteydessä puhuttiin ihmisoikeuksista, niin oltiin tekemässä tärkeää työtä, joka vasta nyt 200 vuotta myöhemmin on jossakin määrin realisoitunut. Ja nyt varmasti raportin herättämänä keskustellaan tosissaan sekä periaatteista että käytännön toimista.

Raporttia voi tilata Valtion painatuskeskuksesta; postimyynti PL 516, 00101 Helsinki. Puh. 566 266.

—o—

Seuran toiminnasta:

Kesäkaudesta johtuen ei uusia jäseniä ole seuran otettu. Valitettavasti jouduttiin ekskursion keväällä Lappeenrantaan ja Loviisaan peruuttamaan vähäisen osanoton vuoksi. Ilmeisesti ajankohta oli huono. Toivomuksia kuukausikokousten tai ekskursionien aiheista ja kohteista voi lisäksi ehdotella ja kritisoida sihteerille!

Jorma Aurela

Kaksi viitteellistä energiankäytön kehitysarvioita

Kehitysarvio A — runsaan energiankäytön malli

35 TW:n tulevaisuudenmalli merkitsisi sitä, että vuoteen 2030 mennessä olisi tuotettava 1,6 kertaa niin paljon öljyä, 3,4 kertaa niin paljon maakaasua ja lähes 5 kertaa niin paljon kivihiiltä kuin vuonna 1980. Tämänkaltaisen fossiilisten polttoaineiden kulutuksen kasvu edellyttäisi Alaskan öljyputkea vastaavan uuden energianlähteen käyttöönottoa joka tai joka toinen vuosi. Ydinvoimatuotantoa olisi lisättävä kolmikymmenkertaiseksi vuoden 1980 määrään verrattuna. Tämä merkitsisi sitä, että joka toinen — joka neljäs päivä otettaisiin käyttöön uusi, yhden gigawatin verran sähköä tuottava voimalaitos. Kuitenkin 35 TW:n malli alittaa reilusti sen 55 TW:n mallin, jossa oletetaan, että nykyinen teollisuusmaiden energiankulutustaso asukasta kohden saavutetaan kaikissa maissa.

Kehitysarvio B — vähäisen energiankäytön malli

11.2 TW:n mallissa, jota voidaan pitää erittäin toiveikkaana esimerkkinä voimakkaasta energiansäästöpolitiikasta, vuoden 2020 energian tarve kehitysmaissa ja teollisuusmaissa arvioidaan 7,3 ja 3,9 TW:ksi, kun vastaavat luvut vuonna 1980 olivat 3,3 ja 7,0 TW. Se merkitsi vuoteen 2020 mennessä 3,1 TW:n säästöä teollisuusmaissa ja 4,0 TW:n suuruisista käytön kasvua kehitysmaissa. Jos kehitysmaat saisivatkin käyttöönsä näin vapautuneet perusenergiavarat, niiltä jäisi yhä uupumaan 0,9 TW:n verran primäärienergiaa. Vaje olisi todennäköisesti paljon suurempikin (luultavasti kaksin — kolminkertainen), kun otetaan huomioon tämän mallin edellyttämä energiankäytön äärimmäinen tehokkuus, johon useimmat valtiot tuskin tulevat pääsemään. Vuonna 1980 perusenergiaa tuotettiin seuraavanlaisesti: öljyä 4,2 TW, kivihiiltä 2,4 TW, maakaasua 1,7 TW, uudistuvia polttoainetta 1,7 TW ja ydinvoimaa 0,2 TW. Millä perusenergian tuoton vajeus siis täytetään? Tämä karkea laskelma osoittaa mainiosti sen, että mallin edellyttämä 30 %:n keskimääräinen perusenergian kulutuksen kasvu kehitysmaissa henkeä kohti vaatii joka tapauksessa huomattavat määrät perusenergiaa, vaikka energiankäyttöjärjestelmät olisivatkin huomattavasti nykyistä tehokkaampia.

Lähteet: 35 TW:n malli on saatu International Institute for Applied Systems Analysis -instituutin energiajärjestelmäryhmän tutkimuksesta Energy in a Finite World - A Global Systems Analysis (Ballinger, Cambridge, Mass., 1981); kaikki muut laskelmat ovat peräisin artikkelista J. Goldemberg et al.: An End-Use Oriented Global Energy Strategy, Annual Review of Energy, Vol. 10, 1985.

Ytimekkäät

ALKUVAINEEN 109 LÖYTÖ VAHVISTETTU

Darmstadtissa Länsi-Saksassa sijaitsevasa ydinfysiikan tutkimuslaitoksessa Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH (GSI) onnistuttiin vuonna 1982 tuottamaan ja havaitsemaan yksi alkuaineen 109 ydin. Tätä löytöä ei kuitenkaan onnistuttu vahvistamaan ennen helmikuun 8 päivää 1988, jolloin viiden päivän yrityksen tuloksena havaittiin toinen saman alkuaineen ydin.

Kyky tuottaa, havaita ja tunnistaa yksittäisiä uuden alkuaineen ytimiä on modernin fysikaalisen tutkimuksen huippusävytöksiä. Uuden alkuaineen ydin synnyttiin ampumalla laboratorion UNILAC-nimisen raskasioneikiihdyttimen avulla rauta-58 ioneja vismuttikohtoon. Kun ionien energia on juuri sopiva, sulautuvat jotkut raudan ja vismutin ytimet täydellisesti yhteen muodostaen alkuainetta 109 (raudan järjestysluku on 26 ja vismutin 83).

Syntynyt ydin muuttuu peräkkäisten alfa-hajoamisten välityksellä aiemmin tunnetuiksi nuklideiksi. Kaikkien syntyneiden alfa-hiukkasten ja myöhempien hajoamistuotteiden tunnistaminen osoittaa sangen luotettavasti, että kyseessä oli juuri alkuaineen 109 ydin, joten kahta havaintoa voidaan pitää jo varmana osoituksena alkuaineen löytämisestä.

(Atomwirtschaft, Marz 1988)

Pekka Pirilä, VTT

IAEA:N ASIAANTUNTIJAKOKOUS ESPOOSSA

Asiantuntijoita 16 eri maasta kokoontui 27.—29.6.1988 Espoon Otaniemeen Kansainvälisen atomienergiajärjestön, IAEA:n asiantuntijakokoukseen, jossa käsiteltiin ydinvoimalaitoksissa yleisesti käytettävien austeniittisten ruostumattomien terästen rikkomatonta aineenkoetusta. Kokouksen esitelmät keskittyivät pääasiassa em. materiaalien ultraäänitestaukseen liittyviin ongelmiin ja testausten luotettavuuden parantamiseen. Erityisesti huomiota kiinnitettiin austeniittisten ja ferriittisten materiaalien välisten hitsausliitosten ns. kaksimetallisuusomien testaukseen. Tällainen hitsausliitos esiintyy yleisesti reaktoripaineastian ja primaari-piirin putkiston välillä, joten testauksen luotettavuudella on suuri merkitys reaktorin turvallisen käytön kannalta. Esitelmien lisäksi kokouksessa oli varattu runsaasti aikaa keskusteluun, jonka tavoitteena on tuottaa IAEA:lle testausmenetelyä koskevia suosituksia. Kokouksen käytännön järjestelyistä huolehti VTT.

Pertti Kauppinen, VTT

PAINEKOE SÄRÖLLISELLÄ SUURIKOKOISELLA PAINEASTIALLA

Paineastioiden ja putkistojen mahdollinen epästabili murtuminen aiheuttaa merkittäviä turvallisuusriskejä ydinvoimalaitoksissa, muussa energiantuotannossa ja prosessiteollisuudessa. Sopivalla materiaalivalinnalla ja rakenteen suunnittelulla voidaan varmistaa, että mahdollinen särö kasvaa hitaasti ja stabiilisti aiheuttaen putkistoon tai paineastiaan vuodon ennen lopullista murtumaa (n. s. leak before break, LBB, -käyttäytyminen). Jos painetta kantavien komponenttien katastrofialainen murtuma voidaan välttää, jää vuodon aiheuttama seisokki useimmiten verrattain lyhyeksi eikä henkilökunnan ja suuren yleisön turvallisuus vaarannu.

VTT:ssä käynnistyi vuonna 1985 tutkimusohjelma, jossa kehitetään menetelmiä paineenalaisten rakenteiden entistä tarkempaan mitoittamiseen. Menetelmät perustuvat LBB-tarkasteluun, jossa selvitetään valmistuksen ja käytön aikana syntyneiden vikojen vaikutusta paineastian lujuteen ja käyttövarmuuteen. Tutkimusohjelman kokonaisbudjetti on noin 7 mmk ja se toteutetaan pohjoismaisena yhteistyönä. Suomessa tehtävää työtä rahoittavat TEKES, KTM, STUK, VTT, Neste, IVO, HKE ja Huber sekä SKI Ruotsista.

Osana tutkimusohjelmaa suoritettiin Sköldvikissä 18.8.1988 Neste Oy:n käytöstä poistetulla suurikokoisella paineastiolla (pituus 16 m, halkaisija 3 m ja seinämänvahvuus 15 cm) painevesikoe. Paineastiaan oli tehty suuri sisäpuolinen keinoitekoisen särö, jonka alustavien laskelmien mukaan piti johtaa vuotoon 130 barin paineessa. Kokeen päätarkoituksena oli todentaa laskentamallien tarkkuus sekä instrumentointien ja etenkin akustisen emissiotestauksen soveltuvuus särön liikkeellelähdon ja kasvun arviointiin.

Runsaslukuinen asiantuntijajoukko oli todistamassa hyvin onnistuneen kokeen suorittamista. Usean tunnin paineennoton jälkeen vaimea pamahdus ja usean kymmenen metrin korkuinen vesipatsas ilmoittivat murtuman tapahtuneen. Murtuma oli stabiili, kuten esilaskenta ennusti, mutta se tapahtui vasta 189 barin paineessa, mikä oli merkittävästi arvioitua korkeampi. Tämä osoittaa toisaalta laskentamenetelmien olevan varsin konservatiivisia ainakin tässä tapauksessa, ja toisaalta niiden vaativan vielä merkittävästi perustavaa laatua olevaa kehitystyötä. Koetulosten analysointi ja laskentamenetelmien tarkentaminen kestää puolisen vuotta, jonka jälkeen koko tutkimusohjelman tuloksista järjestetään seminaari.

Pertti Salminen

YDINVOIMAN VASTUSTUS EDELLEEN LASKUSSA

Ydinvoimaan kielteisesti suhtautuvien määrä on edelleen pienemässä. Toukokuussa suoritetun mielipidemittauksen mukaan on myös uuteen ydinvoimalaitokseen kielteisesti suhtautuvien määrä laskenut jo alle 50 %, todetaan mielipidetutkimuksen teettäneestä Suomen Voimalaitosyhdistyksestä. Jo vuodesta 1982 jatkuneen seurantatutkimuksen suorittaja on Suomen Gallup Oy. Kyselyn otos oli 1000 henkeä.

Mielipiteet nyt vuoden 1984 tasolla

Tehtyn kyselyn mukaan suhtautuu 24 % aikuisväestöstä ydinvoiman käyttöön energialähteenä myönteisesti, 40 % suhtautuu siihen kielteisesti ja 34 % toisaalta myönteisesti, toisaalta kielteisesti. Kahden vuoden takaisessa mielipidemittauksessa, joka tehtiin heti Tshernobylin onnettomuuden jälkeen, oli kielteisesti suhtautuvia 60 % ja myönteisesti suhtautuvia 18 %.

Vastaava muutos kahden vuoden takaiseen tilanteeseen on tapahtunut suhtautumisessa uuteen ydinvoimalaitokseen. Kielteisesti suhtautuvia on nyt jo alle puolet eli 47 % vastaavan luvun olta kaksi vuotta sitten 69 %. Myönteisesti suhtautuvien määrä on vastaavana aikana nousut 14 %:sta 25 %:iin ja toisaalta myön-

Suhtautuminen ydinvoimaan energialähteenä

	toukokuu -86	joulukuu -86	toukokuu -88
myönteiset	18 %	23 %	24 %
toisaalta/toisaalta	22 %	32 %	34 %
kielteisesti	60 %	44 %	40 %

Suhtautuminen uuteen ydinvoimalaitokseen

	toukokuu -86	joulukuu -86	toukokuu -88
myönteiset	16 %	17 %	25 %
toisaalta/toisaalta	14 %	21 %	27 %
kielteisesti	69 %	61 %	47 %

teisesti, toisaalta kielteisesti suhtautuvien määrä 21 %:sta 27 %:iin. Vastaavalla tasolla mielipiteet olivat vuonna 1984. Juuri ennen Tshernobylin onnettomuutta mielipidejakautuma oli karkeasti 1/3 kunkin ryhmän kohdalla.

Alueellisessa suhtautumisessa ei ole eroja, miehet edelleen selvästi naisia myönteisempiä

Suhtautuminen sekä ydinvoimaan energialähteenä että uuteen ydinvoimalaitokseen ei poikkea maan eri osien kesken. Eroja ei ole myöskään suukaupunkien, muiden kaupunkien ja maaseudun asukkaiden mielipiteiden kesken.

Eri ikäryhmistä vain 25—34 vuotiaat poikkeavat selvemmin muusta väestöstä. Heidän joukossaan kielteisesti suhtautuvia on 10 %-yksikköä enemmän kuin koko väestössä.

Naisten asennoituminen on edelleen kielteisempää kuin miesten. Uuteen ydinvoimalaitokseen suhtautuu naisista myönteisesti 12 % ja kielteisesti 59 %, kun vastaavat luvut miesten kohdalla ovat 38 % ja 34 %. Myönteinen asennoituminen on siten jo ohittanut miesten keskuudessa kielteisen asennoitumisen.

Antti Hanelius, SVY

SAFETY SERIES NO. 75-INSAG-3

Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants. Vienna 1988. IAEA/Safety Series No. 75-INSAG-3, 74 s.

Raportin on laatinut IAEA:n International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG), jonka puheenjohtajana toimi pääjohtaja Antti Vuorinen. Kirjassa on suppeassa muodossa ja selkeästi kiteytetty ydinvoimalaitosten turvallisuuden perustavoitteet ja -periaatteet. Koska vastaavaa raporttia ei aiemmin ollut saatavilla, päätti IAEA antaa tehtävän INSAG:lle, joka koostuu vanhemman polven kokeneista asiantuntijoista. Niinpä lopputulos on selvästi pitkälle mietittyä filosofista pohdintaa ja eksakteja rajoja tai ohjeita on vältetty. Raportin tulisi löytyä jokaisen ydinenergian turvallisuuden kanssa tekemisessä olevan käsikirjastosta.

Tämän ATS Ydintekniikka -lehden takakannessa on raportista lainattu kuva. Se valaisee "strategy of defence in depth" -periaatetta, jonka mukaan eri fysikaaliset esteet ja suojaustasot ovat peräkkäisiä (eivät rinnakkaisia) ydinvoimalaitoksen turvallisuuden takaajia. Se heijastaa myös raportin luonnetta pitkälle menevän pohdinnan lopputuloksena, joka jättää tilaa erilaisille tulkinnoille. Pelkästään raportin termin suomentaminen yksiselitteisesti mm. kyseisen kuvan kohdalla on lähes ylivoimainen tehtävä.

Pertti Salminen

IAEA SYMPOSIUM ON SEVERE ACCIDENTS

Sorrentossa Italiassa pidettiin vakavia reaktorionnettomuuksia käsittelevä kokous 21.—25.3.1988. Kokoukseen osallistui lähes 400 henkilöä 42 maasta. Edustettuina olivat myös kaikki tärkeimmät kansainväliset järjestöt (mm. IAEA, NEA/OECD ja CEC/EEC).

Tärkeimpinä asioina kokouksessa olivat esillä PSA:n käyttö vakavien onnettomuuksien arvioinnissa, onnettomuuden hallinta, kansainvälinen yhteistyö, sovellettavat päästö- ja sulamistodennäköisyyskriteerit, simulaattorien käyttö, ulkoisen pelastuspalvelun uudelleen arviointi, turvallisuuskulttuuri -käsitteen korostaminen kaikilla tasoilla (suunnittelu, valmistus, käyttöönotto ja käyttö) sekä turvallisuuden saattaminen suurelle yleisölle ymmärrettäväksi ja uskottavaksi. Päätaavoitteena säilyy edelleen onnettomuuden esto, joskin mahdollisen onnettomuuden hallintaan kiinnitetään lisääntyvästi huomiota. Tällöin korostuvat erityisesti suojarakennuksen merkitys, päästön suodattaminen suojarakennuksen eheyden ja siten väestön turvaamiseksi, käyttöhenkilökunnan pätevyys, laitteiden onnettomuuskestävyys sekä hätätilanneohjeet. Kokouksessa esitettiin myös useita näihin liittyviä yksityiskohtaisia teknisiä ratkaisuja.

Yhteenvetona kokouksesta voidaan todeta, että vakaviin onnettomuuksiin varau-

tuminen on tällä hetkellä voimakkaassa kehitystilassa. Eri maiden välillä on huomattavia eroja — joissakin maissa on jo edetty pitkälle meneviin käytännön toimenpiteisiin, kun taas toisissa ollaan vasta alustavasti tutkimassa asiaa. Kaikissa maissa on kuitenkin nähtävissä selkeä pyrkimys laitosten turvallisuuspiirteiden parantamiseen. Lisäksi vakavien onnettomuuksien alueella vallitsee avoimuus ja aito kiinnostus ja on selkeästi tiedostettu onnettomuuksien hallinnan merkitys.

Pertti Salminen

SFR-JUHLAT FORSMARKISSA

Ruotsin jätehuoltoyhtiön SKB:n Forsmarkissa sijaitseva voimalaitosjätteen loppusijoitustila vihittiin käyttöön 30.8.1988. Vihkimisen toimitti maaherra Hans Alsén. Vihkimisjuhlaan osallistui noin 200 kutsuvierasta.

Vihkimistä edeltäneenä päivänä järjestettiin Tukholmassa kansainvälinen seminaari, jossa käsiteltiin ydinjätteiden loppusijoituksen tekniikkaa ja yleistä hyväksyttävyyttä.

Viisikymmentä metriä meren pohjan alapuolella sijaitseviin loppusijoitustiloihin on jo toukokuusta lähtien tuotu voimalaitosjätettä.

Osmo Kaipainen

KYMMENEN VUOTTA YDINSÄHKÖÄ OLKILUODOSTA

Syyskuun 2. päivänä tuli kuluneeksi kymmenen vuotta TVO I:n tahdistamisesta valtakunnan sähköverkkoon. TVO II tahdistettiin valtakunnan verkkoon 18.3.1980. TVO I on tuottanut 48 TWh sähköä ja yhteensä Olkiluodossa on tuotettu sähköä 88 TWh. Eurajoella onkin tuotettu enemmän sähköä kuin millään muulla paikkakunnalla Suomessa. Sähköntuotannossa Imatra ohitettiin viime vuoden joulukuussa.

Osmo Kaipainen

IWGATWR-KOKOUS OTANIEMESSÄ 6—10.6.1988

IAEA:n toukokuussa 1987 työnsä aloittanut "International Working Group on Advanced Technologies for Water + Cooled Reactors (lyhyesti vain IWGATWR) piti toisen kokouksensa Helsingissä 6—10.6. Työryhmän tehtävänä on ohjelmoida IAEA:n työtä kehittyneiden vesireaktoreiden alueella.

Virallisia osanottajia oli 27 henkeä 12 eri maasta. Puheenjohtajana on Erkki Aalto Imatran Voima Oy:stä. Kokouksen tuloksena on ohjelmaehdotus, joka käsittää keskimäärin 3 teknillistä kokousta vuodessa aina 1991 asti. Lisäksi kehitetään ns. Coordinated Research Programmia onnettomuuslaskujen vesidatan yhtenäistämiseksi maailmassa. Kokousta edelsi ohjelmaan kuuluva teknillinen kokous "Definition and Understanding of Engineered Safety, Passive Safety and Related Terms", Västeråsissa 30.5.—2.6, josta osa osanottajista tuli Suomeen. Kokouksen jälkeen osanottajat vierailivat Loviisan voimalaitoksella.

Erkki Aalto, IVO

KLAUS KILPI ENS BOARDIIN

European Nuclear Society'n Steering Committee (ENS SC) valitsi kevään ja syksyn 1987 kokouksissaan kaksi ATS:n jäsentä tärkeisiin Seuran tehtäviin. ATS:n edustaja ENS SC:ssa DI Klaus Kilpi valittiin ENS Boardin jäseneksi kaksivuotiskaudeksi 1988—1989. Varatuomari Juhani Santaholma toimii Seuran toiminnassa keskeisen tärkeän pysyvän komitean, ENS Information Committee'n puheenjohtajana kolmivuotiskauden kevästä 1988 lähtien oltuaan sitä ennen vuoden komitean varapuheenjohtajana.

Pertti Salminen

Lyhyesti maailmalta

Aihevalinnat Pekka Lehtinen, puh. 708 2385. Palstalla julkaistaan uutismaisesti tietoja ydinvoima-alan yleisistä ja turvallisuuteen liittyvistä tapahtumista.

Alankomaat aikoo rakentaa pitkäaikaisen välivaraston maan kaikelle vähä- ja keskiaktiiviselle jätteelle. Centrale Organisatie voor Radioactief Afval (COVRA) vastaa keskitetysti maan ydinjätehuollosta. Alankomaiden hallituksen kannanoton mukaan jätettä tullaan välivarastoimaan 50—100 vuotta ennen jatkotoimenpiteitä. Nucleonics Week 16.6.1988

Belgian ydinvoimalaitosten höyrystintuubeissa esiintyvää jännityskorroosiota (IGSCC) pyritään ehkäisemään pinnoittamalla ne sähköisesti nikkelillä. Ensimmäinen pinnoitus tehdään Doel 3 -yksiköllä seuraavassa vuosihuollossa. Höyrystintuubimateriaaliksi valittiin Inconel 600 puutteellisiksi osoittautuneiden tutkimusten perusteella. Inconel 600 -materiaalin pelätään aiheuttavan miljardiluokan kustannukset eurooppalaiselle ydinvoimateollisuudelle mm. höyrystinkorjausten ja -vaihtojen aiheuttamana.

Nucleonics Week 9.6.1988

Espanjan Trillo 1 PWR 1041 MW KWU-yksikkö kytkettiin ensimmäisen kerran verkkoon 23. toukokuuta maan kymmenentenä yksikkönä. Kyseessä on näillä näkymin Espanjan viimeinen ydinvoimalaitosyksikkö. Viiden seuraavan yksikön rakentaminen on jäädytetty toistaiseksi. Nucleonics Week 26.5.1988

Eurooppalaiset ydinvoimayhtiöt varustavat yksikkönsä suodatetulla suojarakennuksen paineenlaskujärjestelmällä. Japanilaiset punnitsevat sen etuja ja haittoja. Amerikkalaiset ovat alkaneet jo tutustua aiheeseen. Brittiläiset sen sijaan ovat selkeästi ko. järjestelmää vastaan ja intialaiset pitävät sitä aivan liian kalliina. Nuclear Engineering International, July 1988

IAEA tutkii keinoja ydinmateriaalivonnan kansainvälisen uskottavuuden parantamiseksi. Näitä ovat mm. tarkastusteknologian parannukset, henkilöstön uudelleenorganisointi ja yhteistyön tiivistäminen jäsenvaltioiden kanssa. Ydinmateriaalivalvontaa suorittaa nyt 170 tarkastajaa. Kahden vuoden päästä tarvittaisiin

yli 200 tarkastajaa. Tilanne on vaikea IAEA:n toimiessa nollabudjetilla.

Nuclear Fuel, 16.5.1988

Intiassa on löydetty rikkaita uraaniesiintymiä Rayalassumassa, Modhya Pradeshissa ja Meghalayassa, ilmoittaa maan tiede- ja teknologiaministeri Narayanan. Lisäksi muutamia lupaavia alueita on parhaillaan tutkittavana.

Nuclear Engineering International, July 1988

Intia ja Neuvostoliitto allekirjoittavat sopimuksen kahden VVER 1 000 -yksikön toimittamisesta. Sopimuksen allekirjoittaminen on pääsihteerin Gorbatsovin Intian vierailun tärkeimpiä aiheita. Vierailu tapahtuu vuoden 1988 lopulla.

Nuclear Engineering International, July 1988

Iso-Britannian Sizewell B PWR-yksikölle valmistettujen eristys- ja varoventtiilien koestus on aloitettu maailman ainoassa täydellisessä testauslaitteessa, BRAVOssa, CEBG:n Marchwoodin laboratoriossa. Testaus tapahtuu tulevia käyttötilanteita vastaavissa olosuhteissa. Testauspalveluja tarjotaan tulevaisuudessa myös ulkomaisille yhtiöille.

Atom, elokuu 1988

Iso-Britannian ydinvoimaohjelma tulee jatkossa käsittämään PWR-yksiköiden rakentamista aiemmin maassa suositettujen magnox-kaasu/hiilimoderoitujen yksikköjen sijaan. PWR-laitostyyppi on valittu, koska se perustuu hyvin tunnettuun teknologiaan ja siitä on ulkomailla hyviä käyttökokemuksia. Sizewell B 1180 MW PWR-yksikön rakentaminen on aloitettu ja Hinkley Point C:n rakentamislupaa on jo anottu. Kansallinen voimayhtiö Central Electricity Generating Board aikoo rakentaa lähivuosina 5—6 identtistä PWR-yksikköä, ilmoittaa CEBG:n puheenjohtaja lordi Marshall.

The British PWR by Nuclear Engineering International, 1988

Italian Latina 200 MW Magnox -ydinvoimalaitos pysäytettiin lopullisesti vuoden 1988 alussa ja sen käytöstäpoisto on jo aloitettu polttoaineen poistamisella, mikä kestää kolme vuotta. Laitoksen puhtaiden osien, kuten turpiinin, uudelleenkäyttöä tutkitaan. Latina on Italian toisenä käytöstäpoistettava reaktori. Garigliano BWR GE -yksikön polttoaineenpoisto on saatu päätökseen ja laitos

odottaa sinetöitynä jatkotoimenpiteitä, joihin ei voi ryhtyä ennen kuin Italian ydinjätteen loppusijoitus suunnitelmat ovat valmiit.

Nucleonics Week 7.7.1988

Kuuban atomienergiakomission kaksi johtovirkailijaa vierailee toukokuussa 1988 USA:ssa käyden mm. NRC:ssa. Vastavuoroisesti yhdysvaltalainen delegaatio on kutsuttu tutustumaan VVER 440 -laitostyömaahan Cienfuegon Kuubaan. Delegaatioiden vaihto on todennäköisesti ensimmäinen virallisuonteinen tapahtuma sitten vuoden 1960, jolloin maiden diplomaattisuhteet katkesivat. USA:ssa on oltu huolestuneita Kuuban VVER-laitoksen turvallisuudesta.

Nucleonics Week 5.5.1988

Neuvostoliiton ydinvoimaministeriön tilaston mukaan tapahtuu maan uusilla ydinvoimalaitosyksiköillä keskimäärin 27 pikasulkuu ensimmäisen käyttövuoden aikana. Toisesta neljanteen käyttövuoteen putoaa lukumäärä 15 pikasulkuu vuodessa. Pikasulkutiheys pienenee kahden-toista käyttövuoden kuluessa neljään vuodessa, jonka jälkeen se alkaa taas nousta johtuen laitteiden kulumisesta.

Nucleonics Week 19.5.1988

Neuvostoliitossa tutkitaan parhaillaan yhdeksää paikkaa vähäaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoittamiseksi kalliopereään. Useita paikkoja tullaan nimeämään parin vuoden sisällä, kertoo Leonid Chamjanov Atomienergian hyväksikäytön valtionkomiteasta. Korkea-aktiivisen jätteen loppusijoittamista syvälle kalliopereään selvitetään vielä viidestä kymmeneen vuotta.

Nucleonics Week 19.5.1988

Neuvostoliitto aikoo tilata ensimmäisen täysimittaisen ydinvoimalaitossimulaattorinsa vuoden 1988 aikana. Kansallinen ydinvoiman käytön tutkimusinstituutti, joka on uuden ydinvoimaministeriön alainen, suunnittelee usean simulaattorin hankkimista lähivuosina. Instituutin tehtävänä on kouluttaa Neuvostoliiton ydinvoimalaitosten käyttöhenkilöstöä useissa koulutuskeskuksissa. Varten otettavia simulaattoritarjoajia ovat unkarilais-suomalainen konsortio KFKI/IVO, Thompson Ranskasta ja Westinghouse USA:sta.

Nucleonics Week 2.6.1988

Neuvostoliiton tiedeakatemia ja koneeteollisuusministeriö ovat julistaneet kilpailun VVER 1000 -reaktorityypin parantamiseksi. Kilpailu on avoin maan kaikille ydinvoima-alan yrityksille ja yhteisöille. Tarkoituksena on löytää ideoita mm. automaattiseen käytönvalvontajärjestelmään liittyen. Palkintosumma on 40 000 ruplaa.

Nuclear Europe 8/9, 1988

Neuvostoliiton ydinvoimalaitosten energiakäyttökertoimet vuonna 1987 olivat laitostyyppittäin seuraavat: VVER 440 79,2 %, VVER 1 000 65,7 %, RBMK 1 000 71,9 % ja RBMK 1 500 50,6 %. Ignalina 2 RBMK 1 500 -yksikkö käynnistettiin vuoden 1987 aikana.

Nuclear Engineering International, July 1988

Ranskalaisten PWR-yksiköiden kykyä kestää vetyräjähdyksen epäily. Reaktorin onnettomuudessa vapautuu vetyä suojarakennukseen. Ranskassa ne on mitoitettu kestäämään äänennopeutta hitaammat räjähdyksipaineaallot, mutta ei äänennopeuden ylittäviä. Vedynpoltojärjestelmän asentamistarvetta selvitetään.

Nuclear Engineering International, toukokuu 1988

Ranskan Tricastin 4 915 MW PWR-yksikköä käytettiin kolme vuorokautta vuotavalla höyrystimellä. Primääripuolen vuotoa sekundääripuolelle mittaava laite ei hälyttänyt vuodon ylittäessä 5 l/h rajan vaan vuoto kasvoi 40 l/h:aan ennenkuin se havaittiin ja laitos ajettiin alas.

Nucleonics Week 23.6.1988

Ranskan Belleville 1 1300 MW PWR-yksikkö otettiin kaupalliseen käyttöön kesäkuussa 1988. Belleville 2 saavutti kriittisyyden toukokuussa 1988 ja otettaneen kaupalliseen käyttöön lähiaikoina.

Nuclear Europe 8/9, 1988

Ranskatar Martine Fouco, 36, nimitetään lähiaikoina päälliköksi ranskalaiseen ydinvoimalaitokseen. Hän on ensimmäinen nainen tässä tehtävässä. Martine toimi aiemmin Electricite de Francessa tutkimusryhmän johtajana vastuualueenaan inhimilliset tekijät.

Nuclear Engineering, June 1988

Ranskan Framatome ilmoittaa Belgian Doel 2 ja 3 -yksiköillä suoritettujen höyrytintuubien niklauksen onnistuneen hyvin. Uusi niklausmenetelmä kehitettiin tuubeissa esiintyvien jännityskorroosiosäröjen torjumiseksi.

Nucleonics Week 11.8.1988

Ruotsin Kärnbränslehantering (SKB) on esitellyt suunnitelman Oskarshamnin lähelle Simpevarpiin mahdollisesti rakennettavasta käytetyn polttoaineen loppusijoituslaboratoriosta. Kalliotutkimuslaboratorio louhittaisiin 500 metrin syvyydelle ja spiraalini muotoinen ajotunneli olisi 3,5 kilometriä pitkä. Ruotsin keskitetty käytetyn polttoaineen välivarasto (CLAB) sijaitsee myös Oskarshamnissa.

VTT-YDI työraportti 4.5.1988

Ruotsin Studsvikissa on otettu käyttöön vähäaktiivisen metalliromun sulattamo.

Laitoksen kapasiteetti on 10 tonnia vuorokaudessa. Sulatettaessa romu homogenisoituu, jolloin aktiivisuusmittaus yksinkertaistuu ja päätökset jatkotoimenpiteistä helpottuvat.

Swedish Nuclear News, huhtikuu 1988

Saksan liittotasavallan ydinvoimalaitosten konventionaalista työturvallisuutta valvova viranomaisilmoittaa, että työtapa-turmien määrä ydinvoimalaitoksilla on selvästi pienempi kuin muilla voimalaitoksilla tai muussa ko. viranomaisen valvomassa teollisuudessa.

Atw News, toukokuu 1988

Saksan liittotasavallan vanhempien BWR-yksiköiden suojarakennuksia muutetaan inerttikaasutäyhteiksi (tyypeä).

Kraftwerk Union (KWU) sai valmiiksi Krümmel-yksikön muutostyön maaliskuussa 1988 ja Brunsbüttel valmistuu heinäkuussa. Krümmeliin asennettiin myös suojarakennuksen suodatettu paineenlas-kujärjestelmä. Isar 1 ja Phillipsburg 1 yksiköiden inertointi on jo tilattu ja Würgassenin tilaus on tekeillä. Muutostyö maksaa noin 1 miljoona DM.

Nucleonics Week 30.6.1988

Saksan liittotasavallan hallitus on päättänyt perustaa kansallisen säteilysuojelutoimiston, joka aloittaa toimintansa ensi vuoden alusta. Henkilöstön suuruus on 350 työntekijää. Yksikköön kootaan hajalla oleva säteilysuojeluasiantuntemus mm. PTB:stä, geologian instituutista, säteilyhygienian instituutista ja GRS:stä.

Nuclear Engineering International 1988

Saksan liittotasavallan Brokdorf 1365 MW PWR-KWU-yksikkö ei ole saanut ylösajolupaa elokuun 1988 alussa päättyneen vuosihuollon jälkeen. Voimayhtiö harkitsee syytteen nostamista epäpäteviksi väittämiään viranomaisia vastaan. Vuosihuollossa useiden polttoainepippujen spacerien nurkat murtuivat pippujen ylösnostossa samoin kuin pippujen yläpään keskityspaloja irtosi sydänristikosta. Kaikkia irronneita palasia ei ole vielä löydetty sydäimestä. Aiemmat kokemukset kahdeksalta KWU-yksiköltä osoittavat, että irronneista osista ei ole ollut haittaa, väittää voimayhtiön edustaja.

Nucleonics Week 25.8.1988

Saksan liittotasavallan voimayhtiöt ovat saaneet ydinturvallisuusviranomaiselta (BMU) määräykset hankkia laitostaitset vähäaktiivisen nestemäisen jätteen käsittelyjärjestelmät kahdesta viiteen vuoden aikana. Määräys perustuu Transnuklear- ja Mol-epäselyyksiin viime vuodelta.

Nucleonics Week 25.8.1988

USA:n Almaraz 1 930 MW PWR W-yksikön höyrytimen tuubeihin on muodostunut jännityskorroosiosäröjä tavallis-

ta nopeammin. Elokuussa 1988 jouduttiin tulppaamaan 500 tuubia. Ongelman aiheuttajana pidetään uudesta lauhdesuodattimesta toisiopiiriin vuotanutta natriumia. Lauhteen natriumpitoisuus oli 60 ppb, kun sallittu yläraja on 20 ppb.

Nucleonics Week 18.8.1988

USA:n LaSalle 1078 MW BWR-yksiköllä sattui maaliskuussa 1988 häiriö, jossa neutronivuoteho nousi hetkeksi 118 % tasolle ennenkuin reaktoripikasulku laukesi. Tehon äkinäinen nousu oli mahdollista, kun reaktoriin oli johdettu kylmempää syöttövettä, jolloin reaktiivisuus muuttui positiiviseksi. NRC on kiinnittänyt huomiota BWR-yksiköiden stabiilisuuden varmuuteen em. tapauksen johdosta. Turvallisuusanalyysit, reaktori-instrumentointi ja käyttöohjeet tarkistetaan.

Nucleonics Week 30.6.1988

USA:n ydinturvallisuusviranomaisen NRC on tyrmännyt polyetyleenin käytön matala-aktiivisen jätteen loppusijoituspakkauksen materiaalina. NRC:n mukaan muovi ei kestä sille ilmoitettua 300 vuotta johtuen rakenteellisesta heikkoudesta ulkoisia voimia vastaan. Muovipakkauksia käytetään Barnwellin loppusijoituslaitoksessa.

Nucleonics Week 14.7.1988

USA. Katkaravut tukkivat 15.7. Etelä-Carolinan Brunswick-ydinvoimalaitoksen molempien yksikköjen turpiinilauhduttimen jäähdytysveden suodattimet aiheuttaneen yksikköjen alasajon pienemmälle teholle. Laitoksella on ollut aikaisemmin tukosongelmia pienkalaparvista, mutta ei nyt havaitussa laajuudessa.

Nucleonics Week 28.7.1988

USA:n Nine Mile Point 1 640 MW BWR GE-yksikkö tuottaa maan halviinta ydinsähköä jo kolmatta vuotta peräkkäin. Sama yksikkö on kärkisijoilla myös NRC:n ongelmalaitoslistalla. Yksikkö ei ole saanut vuosihuollon jälkeistä ylösajolupaa, koska NRC on löytänyt laitoksen johdos- ja puutteita sekä ongelmien analysoinnissa ja korjaamisessa.

Nucleonics Week 11.8.1988

English Abstracts

Special issue: Safety

Editorial: Credible safety

Antti Vuorinen (page 1)

The evaluation of the sufficiency of safety of the nuclear power is no more a matter of specialists only, but politicians and public in general have taken an overwhelming role in it. Consequently, **credibility** has become the key word. Credibility is both the basis of positive attitudes and the prerequisite for further development in the nuclear field.

Severe accidents as part of probabilistic safety analyses (PSA)

Klaus Kilpi, Risto Sairanen (pages 2—4)

The paper describes important phenomena which can occur during severe accidents. The three levels of the PSA are defined and typical results briefly described to illustrate the role of severe accident research as part of the PSA. Utilization of PSA results can significantly increase the plant safety. The most balanced view between various cost and safety factors is obtained by carrying out a complete 3-level PSA.

SAM adds safety

Seppo Koski (pages 4—5)

The backfits to be implemented in the TVO nuclear units under the project called SAM (Severe Accident Mitigation) by the end of 1989 are briefly described. The backfits include measures for protecting containment integrity and a system for filtered containment venting.

Mitigating severe accidents at Loviisa

Eero Mattila (page 6)

A containment overpressure protection system for the two ice-condenser PWR units is being designed. External cooling by spray of the steel containment seems to be the best solution. A primary system depressurization would delay the progress of the accident and assure the containment's integrity.

Research on severe accidents at the Technical Research Centre of Finland (VTT)

Klaus Kilpi, Lasse Mattila (pages 7—9)

The Severe Accident Assessment Project was initiated at the VTT in 1983 and it continues until 1991. Mainly through international cooperation and participation in experimental programmes the project aims to achieve its goals: to understand phenomena occurring in severe accidents and to establish and use calculational tools to analyse accident sequences in Finnish nuclear power plants and plant concepts.

Unusual work in Loviisa's fuel pond

Björn Wahlström (pages 9—11)

At the first unit of Loviisa NPS an unusual job was performed during the spring 1988. All fuel-elements and the water was completely evacuated from the fuel pond. Thereafter inspection and cleaning work, going on for several weeks in the contaminated pool, was started. The work was successful and only minor radiation doses were received.

The energy economy of Finland in 2030

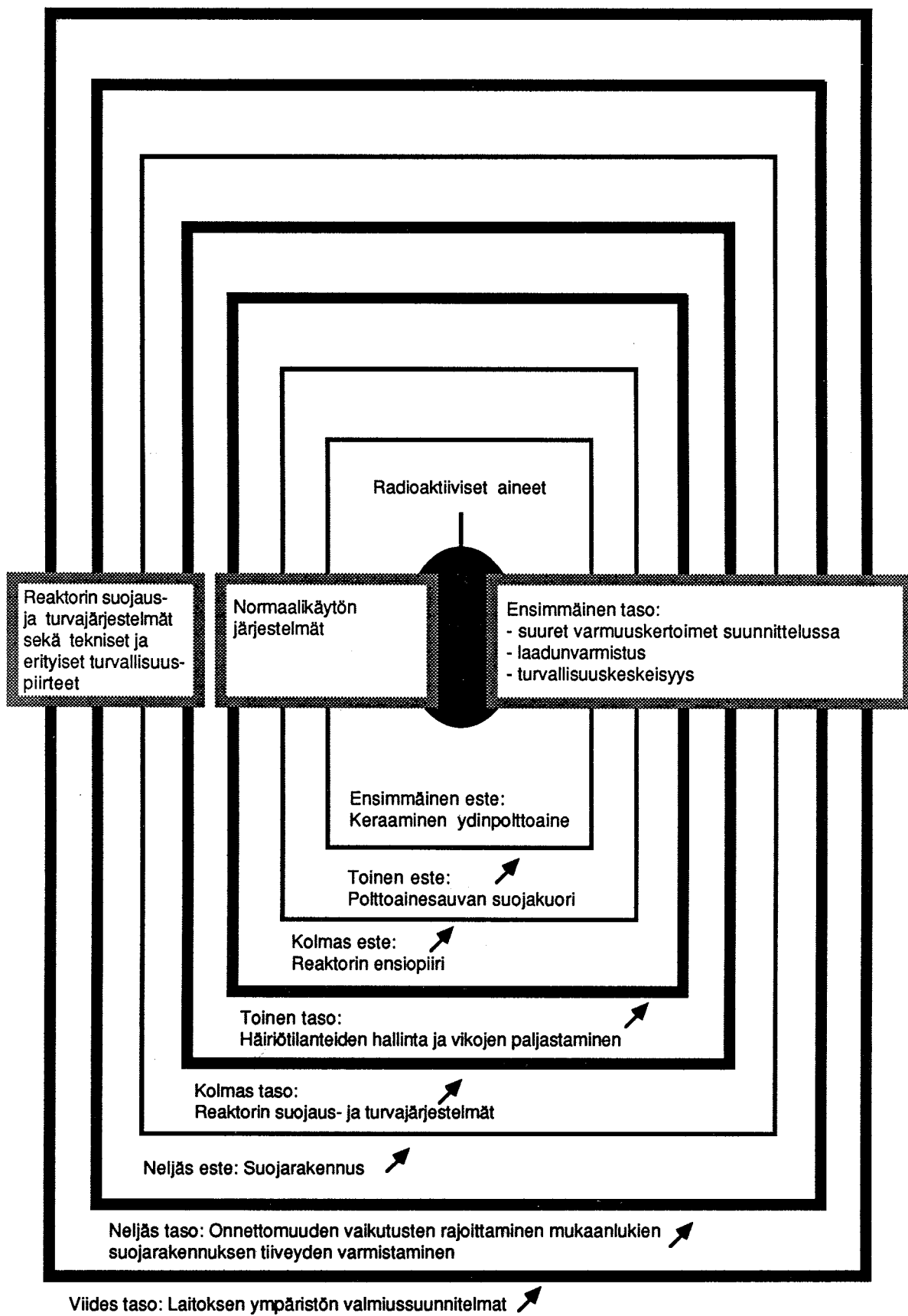
Klaus Sjöblom (pages 18—20)

A recent report of the Ministry of Trade and Industry surveys the energy economy of Finland in 2030. It presents a basic scenario and potential factors that could make variations to this. Until 2030 today's power plants shall be renewed and the energy production system depends on decision that will be made in future.

WANO- a new worldwide organisation for operation experience exchange between nuclear operators

Bjarne Regnell (page 20)

In the meeting of nuclear operators it was decided to create a worldwide organisation, the World Association of Nuclear Operators (WANO). It will consist of four regional centers, in Atlanta, Moscow, Paris and Tokyo, and a Coordinating Center. The mission of the Association is to maximize the safety and reliability of the operation of nuclear power plants by exchanging information, encouraging competition and stimulating emulation among nuclear power plant operators.



*Ydinvoimalaitosten turvallisuuden varmistaminen: Fysikaaliset esteet ja suojaustasot sisimmästä uloimpaan.
Lähde: Safety series No. 75-INSAG-3. IAEA, 1988.*



Teollisuuden Voima Oy:n palveluksessa työskentelee noin 500 henkeä erilaisissa tehtävissä. Henkilökunnan osaaminen on pääomaa, jonka merkitys ydinvoimalaitoksia käyttävässä yrityksessä on erityisen suuri. Teollisuuden Voima panostaa voimakkaasti henkilöstönsä kouluttamiseen, josta osoituksena on mm. oman koulutussimulaattorin rakentaminen voimalaitoksen yhteyteen. Käyttöhenkilökunnan korkea osaamisen taso onkin yhtenä edellytyksenä sille, että maamme teollisuus saa perusvoimansa turvallisesti, edullisesti ja tasaisen varmasti.

TEOLLISUUDEN VOIMA OY

27160 Olkiluoto

