



ATS

YDINTEKNIikka

SISÄLTÖ:

Tshernobyl-turma lyhyesti	1
Loviisan prosessitietokonehankinta	2
Ydinvoiman taloudellisuus ja kotimaisuus puntarissa	2
Ydinpolttoaineen uutiskatsaus	3
Stipendimatka ENC '86:een	6
Kääntöpuoli	7
Nuclear power, Lord Marshall of Goring	8
Tshernobylin ydinvoimalaitos (RBMK)	11
Grafiittireaktori — Tshernobyl-turma	22
Radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen ...	23
Sademääräanalyysi Suomessa	26
Tshernobylin jälkeinen säteily Suomessa	27
Pelastuspalvelu yvl-onnettomuudessa	32
Loviisan laitoksen onnettomuusvalmius	33
IAEA:n asiantuntijakokous Wienissä	35
Termohydrauliset koelaitteistot	36
Liikeriskien hallinta	41
ATS:n johtokunnat 1966—1986	44
Liite: Loviisan turvajärjestelmät	

ATS

YDINTEKNIikka

3/86

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

TOIMITUS

Päätoimittaja
FT Mikko Kara
P. 90-790500

Imatran Voima Oy
Viikintie 3, PL 138
00101 Helsinki

Erikoistoimittaja
DI Klaus Sjöblom
P. 915-550431

Imatran Voima Oy
07900
Loviisa

Erikoistoimittaja
DI Ahti Toivola
P. 938-3811

Teollisuuden Voima Oy
27160
Olkiluoto

Toimittaja
FM Launo Tuura
P. 90-6172471

Helsingin kaupungin energialaitos
Kampinkuja 2
00100 Helsinki

JOHTOKUNTA

Pj TKT Erkki Aalto
Imatran Voima Oy
PL 138
00101 Helsinki
Puh. 6160250

Jäs. DI Antti Hanelius
Suomen Voimalaitosyhdistys ry.
Lönnrotinkatu 4 B
00120 Helsinki
Puh. 602944

Vpj TkL Jukka Laaksonen
Säteilyturvakeskus
Kalevankatu 44
00180 Helsinki
Puh. 6167283

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

Rh DI Seppo Salmenhaara
VTT/REA
Otakaari 3 A
02150 Espoo
Puh. 4566330

Jäs. TkL Björn Wahlström
VTT/SÄH
Otakaari 7 B
02150 Espoo
Puh. 4566400

Siht DI Esko Tusa
Imatran Voima Oy
PL 138
00101 Helsinki
Puh. 6958324

TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri
FK Lauri Rantalainen
Puh. 90-6090949
Imatran Voima Oy
PL 138
00101 Helsinki

Ekskursios sihteeri
DI Pertti Salminen
Puh. 90-4564148
VTT/Ydinvoimatekniikan lab.
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki

Kans.väl.yhteyks.siht.
DI Klaus Kilpi
Puh. 90-648931
VTT/E-osaston kanslia
Vuorimiehentie 5
02150 Espoo

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

LEHDESSÄ JULKAISTUT ARTIKKELIT
EDUSTAVAT KIRJOITTAJIEN OMIA
MIELIPITEITÄ, EIKÄ NIIDEN KAIKISSA
SUHTEISSA TARVITSE VASTATA ATS:N KANTAA.

Tshernobyl-turma lyhyesti

Huoltoseisokkia varten tapahtuneen alasajon yhteydessä 25. huhtikuuta valmistauduttiin Tshernobyl-4 voimalaitosyksiköllä kokeilemaan generaattorin kykyä tuottaa sähköenergiaa turbiinin alarullauksen aikana. Seuraavassa esitetään tapahtumat aikajärjestyksessä neuvostoliittolaisten tiedemiesten Wienin kokouksessa julkistaman selvityksen perusteella.

25. huhtik.
- 01.00 Tehonlasku aloitetaan.
 - 13.05 Toinen turbiini kytketään irti. Reaktorin teho 50 %. Kuusi kahdeksasta pääkiertopumpusta käynnissä.
 - 14.00 Häätäjähdytysjärjestelmä kytketään irti koeohjelman mukaisesti. Käytön valvonta ilmoittaa laitokselta tarvittavan edelleen tuotantoa 50 % teholla, minkä takia ajoa jatketaan (häätäjähdytysjärjestelmä poiskytketynä).
 - 23.00 Saadaan lupa tehon laskemiseen 22—32 %:n tasolle, jolla koe ohjelman mukaan on tarkoitus suorittaa.
26. huhtik.
- 00.28 Reaktorin teho laskee 1 %:iin nimellistehosta, koska automaattinen tehonsäätöjärjestelmä on kytketty pois toiminnasta. Tehon nostaminen on vaikeaa reaktorisydämen voimakkaan Xenon-myrkytyksen takia.
 - 01.00 Reaktori saadaan 7 %:n tehotasolle vetämällä ulos runsaasti säätösauvoja, jolloin joudutaan poikkeamaan normaalista säätösauvakuviosta.
 - 01.03 Kaksi seisovaa pääkiertopumpua käynnistetään. Neljä kahdeksasta pääkiertopumpusta saa sähkönsyötön laitoksen turbiinigeneraattorista, neljä muuta ulkoisesta sähköverkosta. Reaktorin pitäminen käynnissä kokeen jälkeen oli tärkeää aikataulusyistä ja haluttiin varmistua, että riittävästi pääkiertopumppuja jää käyntiin laitoksen oman generaattorin pysähtyessä. Suuri pääkiertovirtaus johti reaktorissa alhaiseen aukko-osuuteen (höyrypitoisuuteen) minkä kompensoimiseksi oli edelleen vedettävä ulos säätösauvoja, johtuen kyseisen reaktorin siitä erikoisominaisuudesta, että reaktiivisuus vähenee jäähdytysveden aukkojen (höyrykuplien) vähentyessä.
 - 01.07 Ajotapa johti vedenpinnan laskuun höyrylieriössä. Höyrylieriön alhainen pinta aiheuttaa reaktorin pikasulun, mutta pikasulkuehto kytkettiin pois koska reaktorin joutuminen pikasulkuun haluttiin estää.
 - 01.19 Höyrylieriöiden vedenpintaa nostetaan syöttövesipumppujen käsiohjauksella. Kun kylmä vesi saavuttaa reaktorisydämen, laskee aukko-osuus ja reaktorin teho edelleen. Lisää säätösauvoja vedetään ulos tehon ylläpitämiseksi. Säätösauvat on tässä tilanteessa jouduttu vetämään asentoon, jossa niiden reaktiivisuusvaikutus on vähäinen. Tehokkaalla alueella olevien sauvojen lukumäärä alittaa sallitun minimirajan.
 - 01.20 Pikasulkuehto, joka sammuttaa reaktorin kun molempien turbiinien säätöventtiilit ovat yhtäaikaan kiinni ohitetaan. Kokeesta aiheutuva pikasulku haluttiin estää, jotta reaktori jäisi toimintaan lisäkokeita varten.
 - 01.22 Syöttövesipumput pysäytetään höyrylieriöiden pinnan noustua. Veden lämpötila reaktoriipiirissä nousee, ja kasvattaa reaktoriveden aukko-osuutta, joka nostaa reaktorin tehoa. Automaattiset säätösauvat menevät sydämeen tehonnousun kompensoimiseksi.
 - 01.23.04 Koe aloitetaan sulkemalla toiminnassa olevan turbiinin säätöventtiili. Paine höyrylieriöissä kasvaa, koska höyryn kulutus lakkaa ja reaktorin pikasulku on estetty. Turbiinigeneraattorista sähkönsä saavat pääkiertopumput pysähtyvät. Pääkiertovirtaus pienenee jyrkästi. Lähelle kiehumispistettä lämmentyneessä vedessä syntyy runsaasti höyrykuplia ja reaktorin teho alkaa nopeasti kasvaa.
 - 01.23.40 Tehon nousu havaitaan ja pikasulku laukaistaan käsin. Säätösauvat alkavat työntyä reaktoriin, mutta niiden vaatima aika (20 s) on liian pitkä estämään nopeaa tehonnousua.
 - 01.23.43 Hälytys reaktorin korkeasta tehosta.
 - 01.23.44 Teho nousee noin 100 kertaiseksi reaktorin nimellistehoon verrattuna. Tehopulssi murskaa polttoaineen murusiksi. Teho laskee noin 1 sekunnin kuluttua polttoaineen lämpötilakertoimen (Dopplerkertoimen) vaikutuksesta.
 - 01.23.45 Hienoksi jakautunut polttoaine höyrystää kaiken veden polttoainekanavissa, mikä positiivisen aukkokertoimen takia johtaa uuteen tehonnoussuun, jonka huippu on 400—500 kertaa reaktorin nimellisteho. Tämän voimasta reaktorin 1000 tonnin painoinen suojakansi lentää pois paikaltaan ja katkaisee kaikki 1700 jäähdytyskanavaa.
 - n. 01.23.50 Muutaman sekunnin kuluttua ensimmäisestä räjähdyksestä kuultiin toinen räjähdys, joka todennäköisesti aiheutui metalli-vesi reaktiossa syntyneen vedyn räjähtäessä päästyään reaktoria ympäröivän suoja-kaasuvaipan (moderaattoritankin) vaurioituttua kosketuksiin reaktorirakennuksen ilman kanssa. Räjähdys sinkosi avoimeksi jääneen reaktorin osia ympäristöön ja hajotti voimalaitoksen rakenteita, joista osa syttyi palamaan. Tulipalot rakennuksissa saatiin sammumaan runsaan kolmen tunnin kuluttua, mutta reaktorissa olleen grafiitin palo jatkui lähes viikon kunnes se oli peitetty noin 5000 tonnin hiekkamassan alle.

Hankintasopimus Loviisan prosessitietokonejärjestelmien uusinnasta

30.5.1986 tehdyn esisopimuksen mukaisesti IVO ja Nokia Informaatiojärjestelmät ovat 29.8.1986 allekirjoittaneet hankintasopimuksen Loviisan prosessitietokonejärjestelmien uusinnasta. Samalla tehtiin esisopimus Loviisan koulutussimulaattorin simulointitietokonejärjestelmän uusinnasta.

Nokian valintaan päädyttiin tiukassa tarjouskilpailussa, johon osallistui lisäksi ASEA, Ferranti, General Electric, Siemens sekä Westinghouse.

Uusi ptk-järjestelmä on luonteeltaan hajautettu ja se perustuu DECin VAX 8200- ja mikroVAX II-tietokoneisiin sekä ethernet-väylään. Ohjelmiston pohjana on Nokian PMS-järjestelmä, joka on

käytössä mm. Nesteellä Naantalissa. Simulointitietokoneet ovat VAX 8300-tyyppiä ja ne muodostavat LOKSilla yhteisen laitekokonaisuuden simulaattorin ptk-järjestelmän kanssa.

Uusi ptk-järjestelmä otetaan käyttöön LO1:llä joulukuussa 1988 ja LO2:lla marraskuussa 1989. Simulointijärjestelmä uusitaan nykyajajaisena syyskuuhun 1987 mennessä ja uusi ptk on käytettävissä simulaattorilla kesällä 1988. Samalla simulointijärjestelmään tehdään joitakin parannuksia.

IVOlla on huomattava osuus uuden ptk-järjestelmän sovellutusohjelmiston kehittämisessä. Niinpä IVO vastaa mm. näyttöjen ja raporttien sekä laskentaohjelmis-

ton toteuttamisesta. Lisäksi useita IVOlaisia tulee työskentelemään toimittajan organisaatiossa. IVO vastaa myös osasta asennustyötä sekä ilmaston, sähkönsyötön yms. järjestämisestä.

Toteutusta varten IVOon muodostetaan n. 10 henkilön projektiryhmä joka koostuu sekä pääkonttorin että Loviisan edustajista. Projektipäällikkönä IVOssa on Teemu Manninen Sähköosaston Prosessinvalvontatoimistosta (SR).

Prosessitietokone- ja simulaattorijärjestelmien uusinnan kokonaiskustannukset ovat yhteensä n. 90 Mmk mukaanlukien IVO:n oma työpanos n. 40 htv. □

Asko Vuorinen/IVO

Ydinvoiman taloudellisuus ja kotimaisuus puntarissa

Perusvoima Oy lähetti Valtioneuvostolle alkuvuodesta 1986 periaatepäätöshakemuksen viidennen ydinvoimalan rakentamista varten. Hakemuksessa esitettiin laskelmia ydinvoiman taloudellisuudesta ja vaikutuksista Suomen talouteen. Ydinvoiman arvioitiin tuottavan hiilivoimaan nähden 4—5 p/kWh halvempaa sähköä. Energiaverotuksen muutosten jälkeen on ydinvoiman kilpailuetu nyt 2—4 p/kWh.

Ydinvoiman taloudellisuus

Uusien voimalaitosten taloudellisuuden arvioinnissa yleisemmin vertaillaan sähkön tuotantokustannuksia käyttäen laskentakorkona 5 % reaalikorkoa ja 25 vuoden käyttöaikaa. Energiaverotuksen muututtua liikevaihtoveropohjaiseksi tuotantokustannukset lasketaan lain sallimat vähennykset huomioiden.

Ydinvoima on hiilivoimaan nähden 2—4 p/kWh taloudellisempaa. Turvevoima on hiilivoimaan nähden vain hieman kalliimpaa. Energiaverouudistus on halventanut turvevoimaa 2.6 p/kWh, hiilivoimaa 2.0 p/kWh ja ydinvoimaa vain 0.5 p/kWh.

Tyyppi Teho	MW	Ydin 1000	Ydin 2×500	Hiili 2×500	Turve 2×150
Pääomakustannus	%	65	70	75	80
Polttoainekust.	%	0	0	0	95
Käyttökustannus	%	90	90	90	95
Kotimaisuusaste	%	57	61	32	90

Ydinvoiman hintaa rasittaa piilevä liikevaihtovero noin 1.0 p/kWh edestä. Liikevaihtoverolliset hinnat ovat 19 % verotomia hintoja korkeammat.

Ydinvoiman kotimaisuus

Energiatuotannon kotimaisuusaste voidaan laskea omakustannushinnan perusteella jakamalla kustannuserät kotimaisiin ja ulkomaisiin eriin. Kotimaisuusasteeksi saadaan oheisessa taulukossa esitetyt arvot. Ydinvoiman kotimaisuusasteeksi saadaan noin 60 %. Turvevoiman kotimaisuusaste on noin 90 %, kun hiilivoiman kotimaisuusaste on vain 30 % luokkaa. Ydinvoi-

man kotimaisuusaste ylittää 50 % tason, jota yleisesti pidetään kotimaisten tuotteiden kriteerinä. Onkin mielestäni väärin luokitella ydinvoima ulkomaiseksi energialähteeksi, kuten Suomen virallisissa energiatilastoissa tehdään kansainvälisen käytännön (esim. OECD:n) vastaisesti.

Ydinvoiman taloudelliset vaikutukset

Ydinvoiman käytöllä on välittömiä ja välillisiä vaikutuksia Suomen talouteen. Suuren kotimaisuusasteen ansiosta on ydinvoiman rakentamisella suuri välitön ja välillinen vaikutus työllisyyteen. Ydinvoimalan rakentaminen työllistää 1500—2000 henkilöä ja käytön aikana

tarvitaan 200—300 henkilöä vuosittain. Välillisten vaikutusten ansiosta työpaikkojen määrän vuonna 1995 on ydinvoimavaihtoehtossa arvioitu olevan noin 16000 suurempi kuin hiilivoimavaihtoehtossa.

Halvempi sähkö luo edellytyksiä teollisuuden jalostusasteen nostamiselle. Puu kannattaa pikemminkin jalostaa kalliimmiksi paperituotteiksi, kuin viedä runkopuuna tai selluna. Puunjalostusteollisuuden kannalta halpa sähkö onkin kohtalonkysymys. Kilpailijamaissa sähkö on

halpaa. Ruotsissa halpuus on suuren ydinvoima- ja vesivoimaosuuden ansiota ja Pohjois-Amerikassa halvan hiilen ansiota. Meillä ei ole varaa menettää ydinvoiman ansiosta aikaansaataavaa kilpailuetua.

Eräs osoitus ydinvoiman taloudellisuudesta lienee puhtaan ydinvoimayhtiön Teollisuuden Voima Oy:n hyvä kannattavuus. Veckans Affärer-lehti on vuoden 1985 tulosten perusteella luokitellut yhtiön erääksi Pohjoismaiden kannattavimmista voimayhtiöistä. TVO:n kokonaispääoman

tuotto vuonna 1985 oli 18 %, kun alan keskiarvo oli 10 %.

Ydinvoimaosaaminen on pitkälle viedyn koulutuksen ja kokemuksen kautta hankittu kilpailuetu, jota tulee tarkoin vaalia. Hyvä osoitus teknisestä osaamisesta on ydinvoimalaitostemme sijoittuminen länsimaisten käyttötilastojen kärkeen. Olkiluodon laitosten ansiosta Suomi sijoitui viime vuonna kärkeen kiehutusvesilaitosten tilastoissa 87.4 % käyttöasteellaan. Loviisan laitosten ansiosta Suomi oli paras maa myös painevesireaktorien tilastoissa 92.4 % käyttöasteellaan. □

Ilkka Mikkola/TVO

8.9.1986

Katsaus on koottu Uraani-Instituutin vuosikokoussymposiumissa Lontoossa 3.—4.9.1986.

Ydinpolttoaineen uutiskatsaus

1 Tausta

Uraani-Instituutin vuosikokous ja symposium keräsi Lontooseen jälleen 3.—4.9.1986 uraanin ja uraaninjalostuksen tärkeimpien myyjä- ja ostajapiirien edustajat sekä alan tuntijoita, viranomaisia ja muita vaikuttajia.

Vuosikokouksen yhteydessä TVO:n varatoimitusjohtaja Esko Haapala valittiin ranskalaisten ehdotuksesta Instituutin johtolimeen Euroopan voimayhtiöiden edustajaksi.

Aattopäivänä jäsenille järjestetyssä tilaisuudessa¹ kuulumme Wienistä tulleilta sen uskomattomalta tuntuneen asian, että Tshernobylin reaktori oli ollut kerkeästi kriittinen. Teho siis nousi hallitsemattomasti kunnes polttoaine räjähti. Suomessa ja muissa länsimaissa on jatkuvasti vaikutettu, että reaktori ei voi räjähtää, että se on kaiken reaktorisuunnittelun tekninen lähtökohta. Tapahtuma on silti näkernyt uskottavuutta ydinvoimatekniikkaan myös länsimaissa.

Neuvostoliittolaiset aikovat muuttaa reaktorisydäntä siten, että höyryn aukko-kerroin on vähemmän positiivinen, ainakin niin, että kerkeä kriittisyys estyy tulevaisuudessa. (Meillähän vaaditaan negatiivinen aukko-kerroin.)

Tshernobyl loi varjonsa kokoukseen. Neuvostoliiton avoimuutta kiiteltiin, mutta muutosten jälkeenkin heidän reaktorinsa ei arvioitu täyttävän läntisiä turvallisuusvaatimuksia. Pierre Tanguy, EdF: ”Tämä onnettomuus ei voi tapahtua länsimaissa reaktoreissa, mutta siitä on silti syytä ottaa opiksi hyvin monta asiaa.”

Viime vuoden vuosikokous oli voimayh-

tiön kannalta uraanipolttoainehuollon hyvien uutisten päivät. Suotuisat näkymät jatkuvat, mutta markkinoilla tapahtuu jatkuvasti yllättäviä käänteitä, joita on seurattava tarkkaavaisesti edullisen polttoainehuollon varmistamiseksi.

2 Uraanipolttoaineen asemasta ja öljystä

USA:n hallituksen energianeuvoja prof. Stauffer analysoi, että OPEC-öljyn menekin lasku ja hinnan romahdus on pääasiassa johtunut sähkön käytön lisäämisen ja nonOPEC-öljyn tuotannon kasvusta. Öljykriisin jälkeiset toimenpiteet ovat pureet. Sekä ydinvoimaa että Pohjanmeren öljyä voidaan tällä hetkellä pitää oman menestyksensä uhrina.²

Ydinvoimaa tarvittaisiin lisää 1990-luvulla, eikä näköpiirissä ole mitään turvallisempaa ja taloudellisempaa vaihtoehtoa. Nykyisen uskottavuuspulan takia ydinvoimasta tulee olemaan puute silloin, kun sitä taas tarvittaisiin lisää.

3 Uraanimarkkinoiden yleisnäkymät

Ydinpolttoaineen saatavuus näyttää hyvältä pitkälläkin aikavälillä, mutta yllättävät käänteet kuuluvat kuvaan. Tapahtumien keskushenkilöitä oli paikalla tunnelmaa sävyttämässä. Muun muassa Australian vientikielto Ranskaan on kummottu, koska se oli ajoitettu täysin väärin (”kuten muutkin hallitusten toimenpiteet”) eikä purrut kohdetta.

Saksan voimayhtiöt ovat saaneet ensimmäisen Kiinan uraanin sopimuksen valmiiksi. Väkevoinnin lasertekniikka on nyt todennettu DOE:n johtaja Longeneckerin

mukaan koelaitteistossa siten, että sen läpimurto 1990-luvulla on tekniseltä kannalta varmistunut. Suurin kummallisuus on USA:n väkevöintisopimusten julistaminen laittomiksi Denverin piirioikeudessa sekä samassa yhteydessä aikaansaatu uraanin tuontikielto. Kannuja valettiin siitä, miten ja milloin USA:n hallintokoneisto sekaannuksen selvittää ja tuleeko lisää ruumiita ennen sitä. Lontoossa olivat paikalla tämänkin pelin konnat ja sankarit USA:sta.

Eräs markkinapiirre on se, että USA:n vanhojen, jäykkien väkevöintisopimusten aiheuttamia uraanivarastoja puretaan. Niinpä vuonna 1985 raakauraanin vuosituotanto oli ensimmäisen kerran alan historiassa pienempi kuin kulutus, joka on noin 40 000 tonnia uraania³. Spohinnat heiluvat paljonkin, mutta uraanimarkkinoiden katsotaan kypsyneen samantapaisiksi kuin monien muiden metallien markkinat.

4 Raakauranikeskukset

4.1 Kanada

Kanada jyllää maailman ykkösviejänä rikkaine kaivoksineen (kuva 1). Heidän halpa uraaninsa on mm. pysäyttänyt suurimman osan USA:n vanhoista,

¹ STUK tiedotti samoista asioista Suomessa

² EdF:n edustaja tosin laski, että öljyn hinnan tulisi olla 7,5 \$ per barreli, ennen kuin se olisi sähkön tuotannossa halvempaa kuin uraani.

³ Esityksessä käsitellään itäblokin ulkopuolisia markkinoita.

aseuraani- ja monopoliajan kaivoksista (kohdassa 3 mainitut "ruumiit"). Key Laken edullista kaivosta ajetaan maksimi-tuotannolla, jotta osakkaat saisivat alku-ajan suuret korot ja kuoletukset mak-suun. Tämä pitää uraanin spot-hintaa alhaalla. Tuotantokustannukset ovat pienet täällä samoin kuin Eldoradon Rabbit Lakella, jonka läheltä on löydetty erittäin rikkaat esiintymät Collins Bay ja Eagle Point. Rikkaat kaivokset ovat ympäris-tönkin kannalta edullisia.

Viime vuoden eräs uutispommi oli Cigar Lake: yli 10 % uraanipitoisuus ja valtavat reservit. Tuotantotekniikan vaihtoehdot on kartoitettu, ja tuotanto voi alkaa 1993 alkaen tai sen jälkeen, kunhan markkinat sallivat.

4.2 Afrikka ja Eurooppa

Euroopan kannalta oman tuotannon lisäksi — Ranska, Espanja, Portugal — mm. ranskalaisen Afrikan uraanituotanto on tärkeä. Presidentti Bongon vihreä maa Gabon, Afrikan Riviera, tuottaa rikkaasta Mounanasta noin 1000 tU/a. Nigerian kaivokset tuottavat 3000 tU/a, reservit ovat suuret ja kapasiteettia enempään, mikäli hinnat nousevat. Kemikaalien kuljetus kauas Saharaan lisää Nigerian tuotantokustannuksia. Ajoittain Ranska maksaa Nigerialle kehitysapua uraanin hinnan kautta.

Etelä-Afrikan ja Namibian vientialueet ovat Japani, Taiwan ja eteläinen Eurooppa. Pohjoismaihin on käytännössä tuontikielto. Etelä-Afrikan uraani tuotetaan pääasiassa kultakaivosten jätetasoista. Yhtiöt ovat sopeutuneet Kanadan kilpailuun randin devalvoitumisen avulla ja vähentämällä tuotantoa köyhillä malmi-alueilla.

4.3 Australia

QML saa jälleen viedä Ranskaan — toimitusjohtaja tuli Lontooseen iloisena kahden viikon neuvotteluista —, Ranger voi tarvittaessa helposti tuplata tuotantonsa ja Olympic Dam, jonka tuotanto on tarkoitus aloittaa 1988 (kuparia, kultaa, uraania), oli viimeistelemässä ensimmäisiä sopimuksiaan mm. ruotsalaisten ja japanilaisten kanssa. Australian hallituksen vientiehdot ovat viejille tosin vaikea pala, ja USA:n tuontirajoitukset uhkana.

4.4 USA

Denverin piirioikeuden päätös väkevöintikriteereihin perustuvassa oikeusjutussa, jonka USA:n uraanituottajat ovat aloittaneet, on aiheuttanut tilanteen, jossa vuoden 1987 alusta lähtien on julistettu laittomaksi ulkomaisen uraanin tuonti väkevöitäväksi USA:n kotimaista käyttöä varten. Asiasta on tosin valitettu. Juttua puidaan uudelleen 11.9.1986. Väkevöintikriteerit ovat samaan aikaan uusitavana kongressissa DOE:n aloitteesta, joka yrittää rullata oikeusjutun yli. Loppu-tulos ja sen aikataulu on hämärän peitossa. Eräät arviot esittivät, että kotimaiseksi osuudeksi määrätään lopulta 50 %, johon USA:n tuottajat pystyvät nostamaan tuotannon lyhyessä ajassa. Hinta tosin nousee jälleen ehkä alueelle 25 . . . 30 \$/lb.

Miten hinnan käy USA:n ulkopuolella, on vielä arvioitavissa. Jutun kummallisuuksiin kuuluu, että DOE:n väkevöintisopimukset on samalla julistettu laittomiksi. Silti DOE toimittaa sopimusten ehdoilla, ja ilmeisesti asiakkaat myös maksavat toimitukset.

5 Väkevöinti: uusi tekniikka säästää raakauraaania

USA:n monopoli aikana väkevöinnin hinta nousi nopeasti. Kilpailu on johtanut väkevöinti hintojen jatkuvaan alenemiseen. Sen on tehnyt mahdolliseksi tekniikan kehitys:

- kaasudiffuusiolaitosten tuotannon saneeraus,
- Urencon sentrifuugien menestys ja pieni sähkön kulutus (vain 5 % kaasudiffuusiolaitosten ominaiskulutuksesta). Urenco on kulkenut vaikeuksien kautta voittoon, alkuaikoina sentrifuugeja hajosi.

USA:n hinta oli vv. 1984—85 135 \$/SWU. Uusi hinta on 1.10.1986 alkaen 119 \$/SWU sopimusten minimimäärille ja 90 \$/SWU lisämäärille. Muiden hinnat ovat yksilöllisempiä ja salaisia, mutta "kilpailukykyisiä", kuten Cogeman johtaja Rougeau ilmaisi.

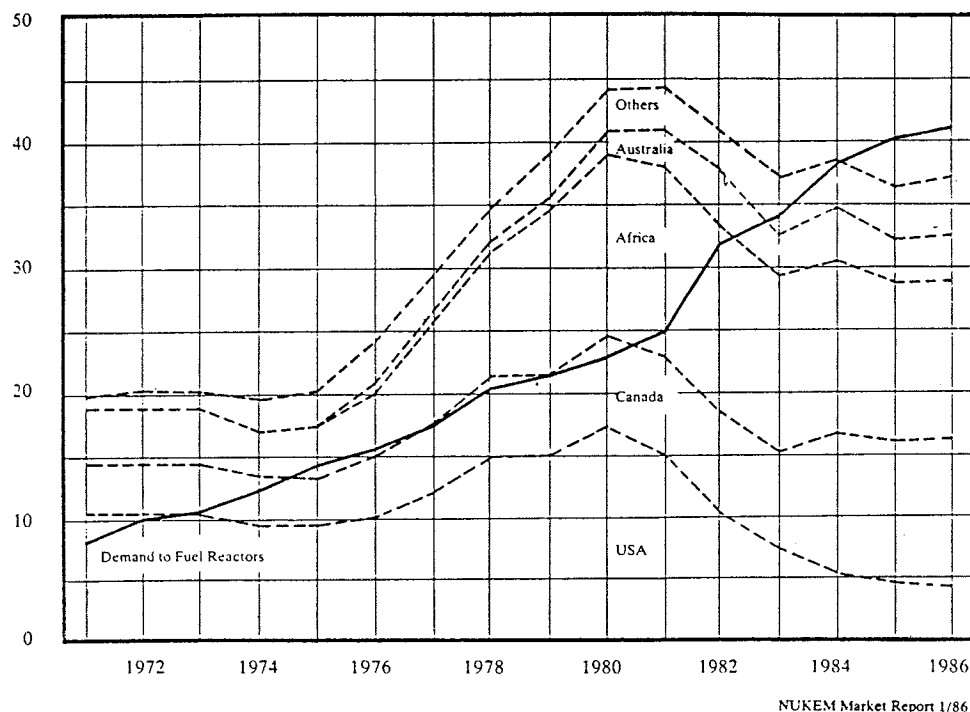
Laser-tekniikka tulee alentamaan väkevöintikustannuksia kymmenen vuoden aikavälillä lisää. Hinnan laskiessa väkevöintiin kannattaa satsata enemmän (lasketaan köyhdytetyn uraanin pitoisuutta), jolloin uraania säästyy. Niinpä raakauraanin tarve on vuonna 1995 alle 50 000 tU/a, kun se muutoin olisi reilusti yli tämän luvun. Polttoainetekniikan kehityksellä on myös osuutensa (n. 20 %) uraanin kulutuksen lisäyksen leikkaamisessa.

6 Jälleenkäsittely yms.

Nukemin johtaja Stephanyn esitelmässä päädyttiin selkeästi siihen, että jälleenkäsittely ei kannata nykyolosuhteissa, jolloin järkevintä on varastoida käytetty polttoaine ja tehdä lopullinen päätös sora-sijoituksen ja jälleenkäsittelyn välillä tulevien hintakehitysten perusteella. Hän kuulutti kansainvälisiä ratkaisuja: Kiinan tarjous tulee ottaa vakavasti, mutta yksin sen varaan ei voida jäädä, pitää kehittää vaihtoehtoja.

Kaupallisen jälleenkäsittelyn tarjonta ulkomaille on rajoittunut Ranskaan ja Englantiin, jotka ovat alennetuilla hinnoilla puhdistaneet markkinat ja kaataneet Eurochemin uuden käynnistämisen "Belgoprocess"-nimisenä. Ainakin Ranskan laitokset käyvät hyvin ja uudelleenkäyttö leikkaa jonkin verran raakauraanin tarvetta.

Mainittakoon myös, että uraanikaivosten turvallisuus on parantunut paljon Post Radiumin ajoista. Englantilainen Harwellin tohtori Bromley analysoi, että uraanituotannon riskit ovat paljon pienemmät kuin hiilikaivoksen riskit saman sähkömäärän tuotannossa. Kaivosonnettomuudet ovat suurin riski, säteily pienempi. Englannin hiilikaivoksilla pelkästään radon-annoksetkin ovat suuremmat kuin uraanikaivoksilla (saman sähkömäärän tuotantoon).



Kuva 1. Uranium Production and Demand of the Western World (1,000 tonnes U).

7 Loppusanat

Ydinvoiman tuotanto lisääntyy aikavälillä 1985—1995 noin 50 %, mutta raakauraanin kulutus lisääntyy vain 10 . . . 20 %. Tekniikan kehitys leikkaa tarvetta. Tämä UI:n komiteatyön loppupäätelmä lienee realistisin ennuste tällä hetkellä, ja perustuu reaktorikohtaisiin laskelmiin ja suunnitelmiin. Laajan selvityksen lopputulokset esitellään kuvissa 2—3.

Otteita keskustelusta

Kysymys

Millainen on laserväkevöintilaite?

Vastaus

Sen kammiot mahtunevat isoon luentosaliin. Laitteen kuvaaminen olisi hyvä ATS:n tulevan esitelmälaisuuden aihe.

Kysymys

Voiko laserväkevöintiä käyttää sotilastarkoituksiin?

Vastaus

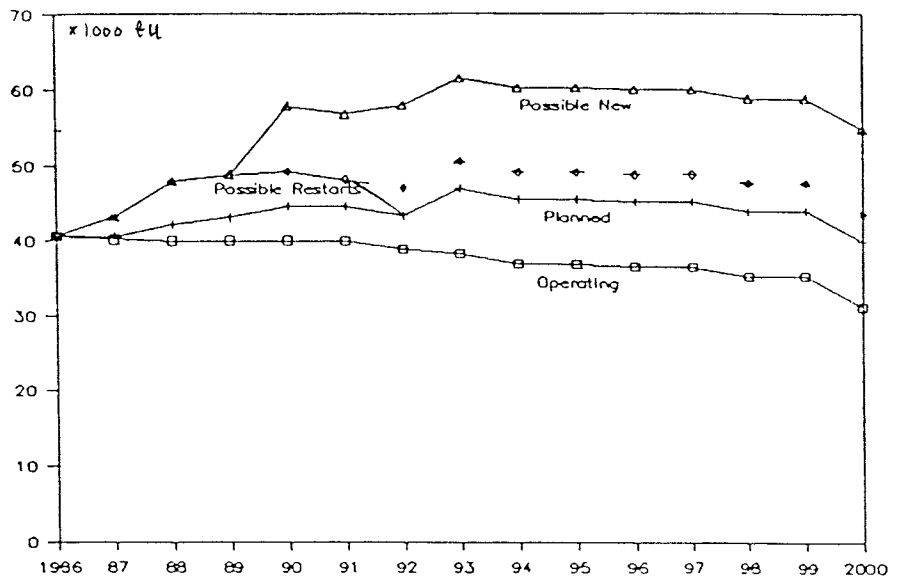
Voi. Kaikkea tekniikkaa voi. Rauha on poliittisten päätösten alaan kuuluva asia.

Kysymys

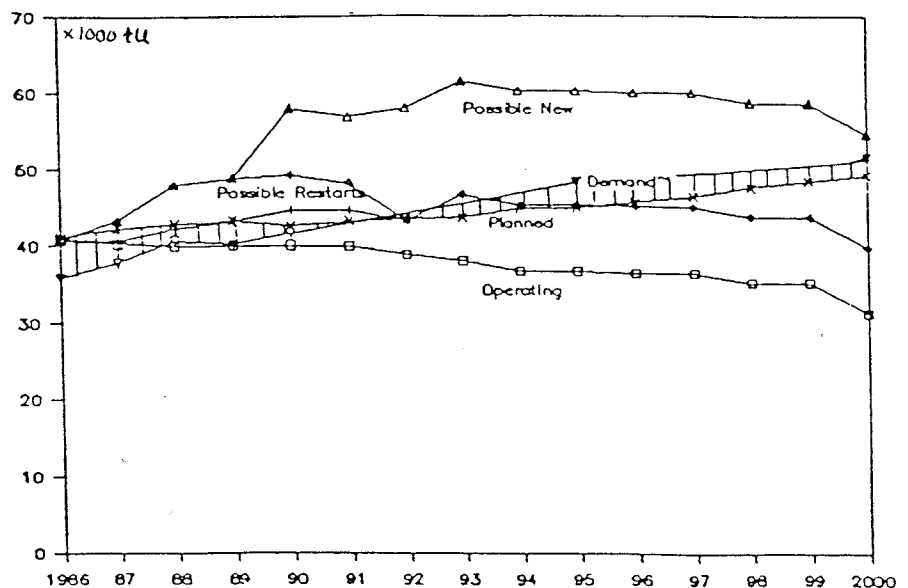
Entä, voiko pommeja käyttää rauhanomaisiin tarkoituksiin eli energian tuotantoon?

Vastaus

Kyllä. TVO:n yksiköt voisivat polttaa yhteensä noin 40 pommin aineet vuodessa, laimennettuna köyhdytettyyn uraaniin. Jos lisäksi IVO polttaisi Neuvostoliiton pommiainetta, niin saisimme maailman pommit käytetyksi 600 vuodessa. Koko maailman reaktorit kävisivät pari vuotta ydinkärkien U-235:llä. □



Kuva 2. Maximum annual uranium production capacity (at 90 % rated capacity)



Kuva 3. Uranium production capacity compared with demand — which lies somewhere between procurements and requirements (adjusted for recycling and inventory maintenance).

Stipendimatka ENC'86:een

ATS myönsi talvella 1986 stipendin joillekin seuran nuorille jäsenille. Tämä apuraha oli määrä käyttää osallistumiseen ENC'86-kokoukseen.

Saavuimme Geneveen sunnuntaina 31.5.1986. Kongressin avajaiset olivat samana päivänä. Avajaispäiväksi olivat ulkopuoliset järjestäneet mielenosoituksen kokouspaikan ulkopuolelle. Seuraavina päivinä tällaista ei enää esiintynyt ja ohjelma voitiin viedä asiallisesti loppuun.

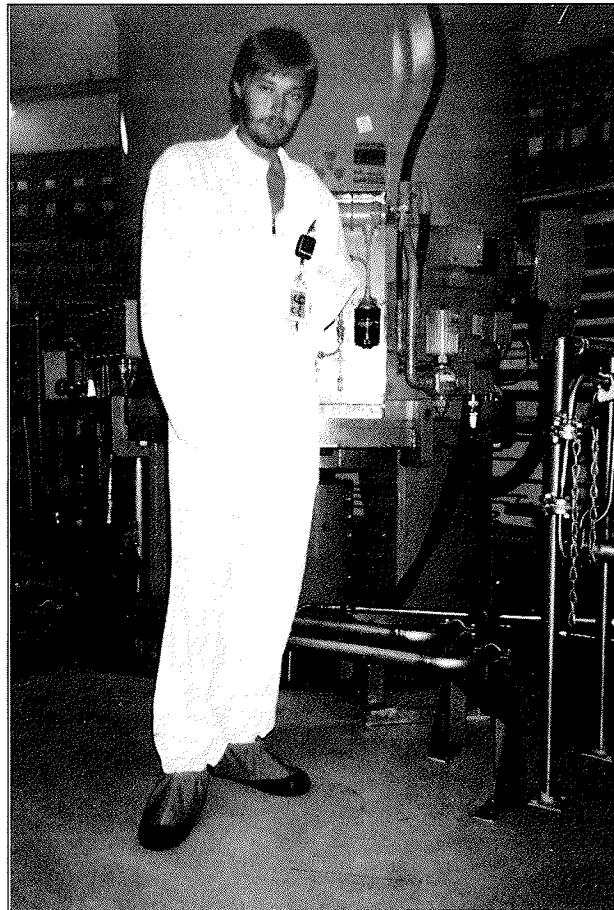
Suomesta kongressissa oli paljon osanottajia. Edustettuina olivat mm. STUK, VTT, TVO, IVO, Polartest, Nokia, Neles, MET ja TKK. Kaikki saivat tutustua näyttelyyn, joka olikin koko viikon paras anti. Tämän kannan vahvisti mm. professori Jorma Routti.

Avajaiset olivat arvokkaat; puheenjohtajan pöydän ääressä olivat mm. Blix, Fréjacques, Van den Damme, Barthelt, Caro, Baker ja Lord Marshall of Goring. He puhuivat ydinvoiman nykyisestä tilanteesta. Lord Marshall esitti surunvalittelunsa kaikkien osallistujien puolesta Tshernobylin onnettomuuden vuoksi.

Kesäkuun ensimmäisenä viikkona Grand-Saconnexin kongressikeskuksessa pidettiin suuri määrä esitelmiä. Kongressivieraita oli noin 2000. Suomalaiset olivat esillä niin esitelmissä, poster-esitelmissä kuin näyttelyissäkin. Johtaja Anders Palmgren esimerkiksi kertoi Tshernobylin reaktorin rakenteesta, vastasi siitä esitettuihin kysymyksiin ja totesi, ettei meilläkään ole siitä kovin paljoa tietoa.

Näyttely oli hyvin monipuolinen. Monesta maasta olevat yritykset esittelivät kykijään. Ranskan rooli korostui, mutta myös Yhdysvallat, Japani ja Britannia olivat vahvasti edustettuina. Neuvostoliitto oli lähettänyt Geneveen kahden yrityksen edustajat. NL olikin joidenkin länsieurooppalaisten ja yhdysvaltalaisien mielessä jatkuvasti.

Kongressi päätettiin perjantain 6.6. Koko tapahtuma, joka kesti kuusi päivää, oli sängen laaja ja monipuolinen. Se edusti varmasti ydinvoiman tämän hetken tilannetta ja antoi myös Tshernobylin jälkeiselle ajalle aihetta optimismiin.



Suomalaiset ENC'86 esitelmät

Esitelmät (Lähde ENC'86 Transactions Volume 1)

Thermal hydraulic analyses of selected overcooling transients in the probabilistic PTS-study of Loviisa reactor pressure vessel

H. Tuomisto, B. Mohsen, H. Kantee and J. Miettinen

Nordic small break LOCA code assessment and studies of heat transfer correlations

H. Holmström, J. Miettinen and H. Abel-Larsen, A. Olsen and O. Rathman (Risø National Laboratory, Roskilde, Tanska)

Decision analysis for fuel cycle policy

P. Silvennoinen, J. Niemi and T. Vieno

Safety of the disposal of spent fuel and the other LWR wastes in hard bedrock
S Vuori and E. Peltonen

Experience in plant performance and methods of improving performance including refuelling

A. Palmgren

East-west cooperation experiences of Finnish components producers on deliveries to a nuclear power plant of Soviet origin built in Finland
E. Kaukonen

Lisäksi puheenjohtajina eri istunnoissa toimivat tai panelikeskusteluihin osallistuvivat seuraavat henkilöt
(Lähde Nuclear Europe 10/1985)

P. Skyttä
A. Rastas
T. Eurola
A. Palmgren
E. Kaukonen
J. Palin



Kääntöpuoli

Juppi. Kirjoittaja on kai juppi. Ja herkkukurkku, sehän on pahinta . . . Kirjoittaa Schröder & Schülerin kolmen kympin valkkiksen kanssa pimeänä iltana Kalliossa. Yksin.

Monet oikeat kirjailijat kai kirjoittavat hengen kanssa. Me olemme kai jossakin määrin hengenheimolaisia, vai?

Jupilla tarkoitin itseäni. Pitävätköhän muut juppina? Young Urban Professional. Mitä se nyt sitten on? Nuori olen, 27-vuotias. Kaupunki on kotini, vaikka välillä asuin Klaukkalassa, ”eteläisessä Hämeessä liki Toukolan kylää”.

Mekin kuulutaan yhteiskuntaan, vaikka me kannatamme ydinvoimaa ja olemme ydinvoimainsinöörejä. Siis nuoria tosin. Loviisan ja Olkiluodon veteraanit ovat erikseen. Heitä kunnioitan, varsinkin kun ovat mun pomoina. Ja just ne ovat rakentaneet neljä laitosta, kun taas me nuoremmat: Uusia ei rakenneta pitkään aikaan.

Niin, siis ammattilainen? Kyllä sitäkin, sillä on mulla DI:n paprut Polilta! Poli on muuten vieläkin tosi paikka, vaikka veteraanien aikaan se oli vielä kovempi — karsisten vuoksi.

Pääaiheeni? Niin, se oli matka Keski-Eurooppaan, Geneveen, oppimaan. Nimittäin olin oppilas. Erään seniorin mielestä näissä konferensseissa (ENC’86 jne.) käy seuraava jengi: Esitelmöitsijät, johtajat, esiintyjät, opetettavat ja jotain vielä, en muista . . .

Asiaan. Suomessa oli 26.4.86 mielenosoitus Senaatintorilla. Aiheena ydinvoima, osallistujina harvalukuinen ”seurakunta”. Paikalla oli myös ainakin viranomaisen ja voimayhtiöiden jengiä, jotka olivat tyytyväisiä ja myhäilivät.

Noin kymmentä tuntia aikaisemmin tapahtui Ukrainassa ikäviä. Se on meille tilinteon hetki, jonka jokainen muistaa. Minäkin, joka jouduin siitä vastaamaan myös EYV-läiselle kaverilleni, joka on taitava keskustelija. Ei ollut helppoa. Ei myöskään ollut helppoa eräällä toisella ystävälläni ja työtoverillani (*1960), joka joutui vastaamaan Munapirtissä Wappuna häissä kahdeksalle kunnanpampulle sodan (1939—1945) ja koskikauppojen ongelmista. En sääli häntä, kunnioitan kylläkin.

Miten tämä liittyy Geneveen ja konferenssiin? Paljonkin, sillä juuri siellä, sielläkin,

mielenosoituksessa tunsin, että nyt ME olemme tulilinjalla. Baker kertoi, että alle 1 % briteistä uskoo ydinvoimainsinööreihin. Barthelt ei puhunut hyvää saksalaisista. Lord Marshall of Goring valitti Tshernobyliä länsimaiden kannalta. Palmgren kertoi laitoksen rakenteista, eikä väittänyt tietävänsä kaikkea. Ranskalainen säteilyasiantuntija kiusasi saksalaisia viime sodan tapahtumista . . .

Me olimme sisällä konferenssirakennuksessa. Me ydinvoimaihmiset. Minäkin olen niitä. Joskus tuntuu, etten ole kotona, sillä olen omaksunut länsimaisen humanismin ajattelutavan. Silti, koska asun Kalliossa — ja muutenkin — pidän ydinvoimaa yhtenä hyvänä vaihtoehtona sähkön tekemiseksi. Ja lämmönkin . . . Mutta mihin jouduin siellä Genevessä? En voinut pysytellä sisällä linnoitetussa konferenssikeskuksessa (= Geneven poliisi), vaan lähdin ulos. Se oli helppoa. Entä sitten olo ydinvoimaa opiskelevana nuorena inssinä? Ihan OK, mutta kun nämä mielenosoittavat ihmiset ovat sellaisia yksisilmäisiä humoristeja. Ja heidän joukkoonsa on tosi tekijöitä. Wackersdorffiin en uskaltaisi mennä . . .

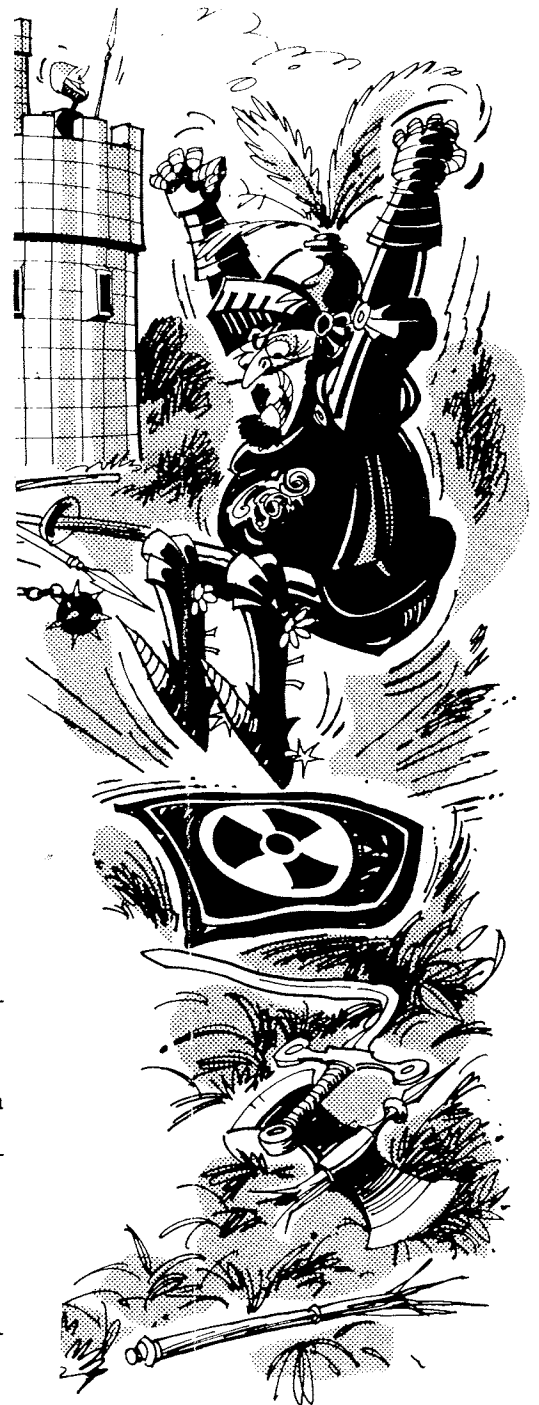
Lapset heillä on mukana. Ja he ovat vilpittömiä. Joukossa olevat ammattilaiset eivät ole sitä. He ovat ammattilaisia. Ja hyvin vaikeita. Esimerkiksi Länsi-Saksa on nykyisin yhteiskunta, jossa ydinasiat ovat vähän sekaisin. Tämän kertoi mulle ydinvoiman suhteen ison suomalaisen sähköfirman entinen BRD:n vetäjä . . .

Mitä sitten tehdä, kun mielenosoittajat käyvät kimppuun? Ja vain henkisesti, sillä naamani ja polveni ovat ehjiä. Ei voi muuta kuin keskustella heidän kanssaan. He eivät luota meihin. Olisimmeko me tehneet virheitä? Britit vastasivat tähän minun käsittäkseni kyllä . . .

Vastaus oli helppo: Olin yksin ja alistuin mielenosoittajien väkivaltaan. Mitä muuta olisin voinut? Vain filmini vietiin. Siinä oli kuvia pasifistisen mielenosoituksen väkivaltaisuuksista, siis lehtien (esim. Tribune de Geneve) mukaan pasifistisen. Eikä sekään ollut pääasia, pääasia on ihmisten pelko ydinvoimaa kohtaan. Sitä pelkoa vastaan meidän on taisteltava. Ei ole mukava pelätä. Tiedän sen. Minä todella pelkäsin, esimerkiksi Ulmin asemalla, jossa paljastuin interreilaajasta ydinvoimainsinööriksi . . .

Mitä mä yritän sanoa? Sitä samaa kun Baker ja Goring sitte lopuksi; meidän on

nyt lähdeittävä ihmisten ajatuksista ja pe-loista. Ne ovat todellisia. Yritetään nyt vaikka poistaa niitä, koska ne ei ole niin todellisia. □



Jorma Aurela

Nuclear Power: Energy of Today and Tomorrow

We have had the nuclear disaster at Chernobyl. Therefore, I want to answer the questions, where does nuclear power go now? Can nuclear power recover from the terrible set-back presented to it by Chernobyl or must we now anticipate the fading away of nuclear power throughout the world? In my opinion, we can and will recover from the set-back which Chernobyl has given us. In fact, we must recover from that set-back. But of course different countries will cope with it on different timescales. Some countries, like France, are likely to continue to expand their dependence on nuclear power. They have programmes so well established, and so well accepted by their people, that Chernobyl is almost a minor perturbation. We therefore all look forward to nuclear power going from strength to strength in that country. Let us be thankful to the French for setting us such an example.

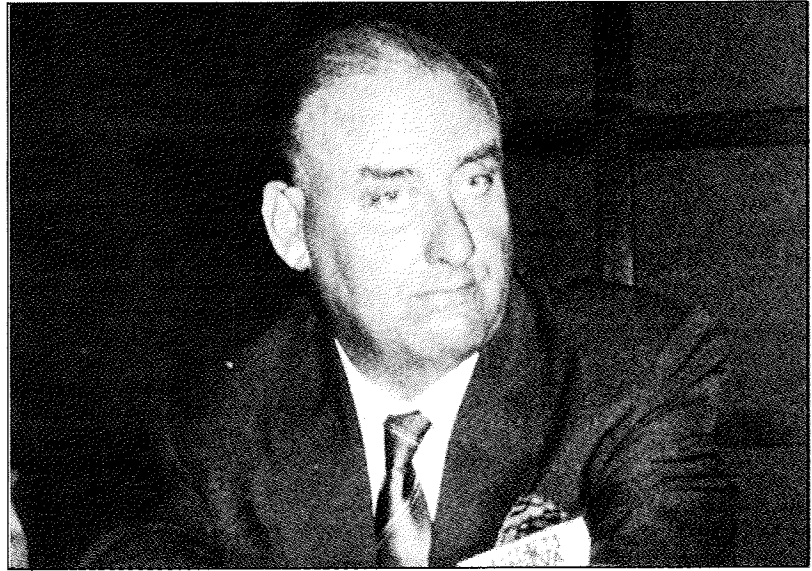
For other countries, Chernobyl is likely to produce a long term set-back for the advancement of nuclear power and, of course, most countries by definition will find themselves between these two extreme positions.

Words from my heart to the Russian people

There are three things I would like to say to our Russian colleagues and the Russian people.

First, I would like to express my sincere sympathy to the Russian people, particularly the residents of the Ukraine, who have suffered the direct consequences of this accident. They have received some radiation, for some that has been fatal, for others it will be fatal, they have been moved from their homes, and their lives have been significantly disrupted by the civil nuclear industry. We are most sincerely sorry for that and we send them our utmost sympathy.

Secondly, I think all of us who are professionals in the nuclear business have been struck with the bravery and dedication of the operating engineers, firemen and men on the spot once the accident had occurred. Russia has many brave men — many of them now in hospital — and the whole world, owe them our grateful thanks for the strenuous and vigorous efforts they made to control the accident once it had occurred. We will all want to learn lessons from this unfortu-



Lord Marshall of Goring is a prominent spokesman for nuclear energy internationally and in England, where he is Chairman of the Central Electricity Generating Board. Building on a distinguished academic career he went on to become widely known as head of the Harwell research center, Director of the UK Atomic Energy Authority's research group, chief scientist to his country's Energy Ministry, and Chairman of the UKAEA before moving to the CEGB.

nate event. It should not have happened, we will want to find out why it did happen. We should suspend judgement on that until the facts are known. But, judging from present information, we shall be full of praise for the recovery operation itself.

Thirdly, I would like to make an appeal to the Russian authorities. Inadvertently a large number of the Russian population have received a radiation dose large enough to produce statistically significant results on the long-term health hazards of radiation. It is vitally important that the trauma of this event should be turned to whatever advantage can be found and we now inadvertently and sadly have an opportunity to add to our knowledge about the long-term health hazards of radiation. I therefore appeal to the Russian authorities to conduct the most stringent and scientific investigations into the health effects of the Chernobyl accident over the next three or four decades and, if possible, I urge that that study be done on an international basis so as to produce the maximum possible

confidence in the future application of the results. Of course in some ways it may sound cynical to regard the affected people as just part of a large scale experimental test but I hope my remarks will not be interpreted that way. It is unethical to expose people to radiation unnecessarily but, given that it has happened, it is proper, professional and scientific to learn what we can from the accident.

The Nuclear Scene

That said, how does Chernobyl change the world nuclear scene? In some ways nothing has changed at all but, in a profound sense, everything has changed. From a professional point of view we can point out that the Russian reactor at Chernobyl was of a type not used in the West. Therefore, in detail, an accident on the Chernobyl reactor provides no significant technical information about reactor systems in the West. Indeed, we can go further. Our knowledge of the Russian reactor, though sparse, is sufficient to persuade us that it could not easily, if at all, get an operating licence

inan established nuclear country in the West. Because of the technical differences between the Russian reactor and our own reactors, whether built in America, Canada, Japan, France, Germany or the UK. From a **technical and engineering** point of view, therefore, it is entirely valid to say that the Russian incident is not likely to affect nuclear power in our countries at all. I do not think we will learn from this event anything concerning reactor design or safety assessment which we did not know already. We have already had the trauma of Three Mile Island. That did teach us some lessons. I do not think Chernobyl will have such direct technical relevance.

In contrast, I think we will learn a great deal from studying the handling of the emergency itself, particularly the evacuation of people. We will learn also from the evidence upon the dispersal of the radioactive cloud. Certainly, therefore, we should review our emergency planning in the light of the lessons learnt from Chernobyl. But those lessons will be institutional and organisational rather than technical. We can also learn much about tackling big accidents and the resources required and how these can be marshalled. Finally, as I have remarked before, we can learn a great deal of scientific interest and radiological interest by studying the radiological consequences of the accident over the coming decades.

However, all that is a matter of detail, not of principle, and therefore, as I said earlier, there is a real sense in which the events at Chernobyl have changed nothing here in the West. But that, I fear, is only a narrow technical appreciation of very little relevance to the problems facing the nuclear industry today because, although nothing technical has changed, for nuclear power everything else has changed. Everything else has changed because for the public, our politicians and our Governments the public perception of nuclear power has changed and changed dramatically for the worse. Chernobyl has been the centre of worldwide attention for many weeks. The public have been shocked by the widespread effects of Chernobyl. They are appalled that an accident 1,000 miles away in the Ukraine can have effects in the quiet countryside of an English village. We all of us live in a democracy. We can do nothing without the acceptance of the public, we can do nothing without the approval of public opinion and we are in severe risk of losing that as a result of the shock which Chernobyl has given to people worldwide. What then should the nuclear industry worldwide do? What are our prospects in the future? When will we recover from this set-back and what should we do to help that recovery?

To attempt to answer those questions I feel obliged to go back to first principles. Do we really need nuclear power and when will the public realise that most forcibly in the future? To start at the beginning, do we need nuclear power?

May I remind you that world supplies of oil and gas are not finite. The number of new large oilfields being discovered has declined. Some of the oilfields in the North Sea have already passed their peak production rate. Whatever in detail the consumption of oil may be in future years, it will be an increasingly scarce commodity by the year 2030; scarce either because of physical shortage or price. Much the same can be said of gas. Let us suppose by the year 2030 the world's production of coal has multiplied by a vast factor of five in order to replace the world's dependence on oil and gas. Then even with that vastly increased coal extraction rate, we will have only enough energy, shared out equally throughout the world, to give each person the present day energy consumption of say a Mexican peasant. I do not think that would be acceptable in any industrialised country. Therefore, on this timescale of half a century or so, we must plan either to keep the third world and the developing countries short of energy and in poverty — so that we in the West can retain a disproportionate share of the world's energy or we must introduce a major new energy source. I reject the first option as unethical, energy supplies to the third world must increase and those countries must be given the chance to catch up with us. We therefore must introduce a new energy source. The only plausible new energy source is nuclear power and fission nuclear power at that.

In my opinion, the attractions of fusion nuclear power are almost entirely illusory. In the developed countries of the world the hydro power opportunities are largely exploited already, the alternative energy sources are simply inadequate to support civilised life as we know it. We do therefore need nuclear power. We need thermal fission reactors first and then we need fast breeder reactors. I remain convinced of that fact not because it is constantly reiterated by myself and my nuclear colleagues but because I have tried to find an alternative for the future and I cannot find it.

However, if we do need nuclear power and we do need fission nuclear power, when will the general public realise that? Not today and not worldwide because oil once again is cheap and Chernobyl has frightened people. Of course some countries have innate, special advantages which should enable them to maintain a policy of nuclear expansion. As I mentioned earlier, France is very special but it has four natural advantages in support of nuclear power. Let me review them for you. France has no oil, no gas and no coal. It has no choice except to have a successful nuclear programme so, of course, it has one. I think Japan is in a very similar position to France but, in contrast, my own country has plenty of oil, too much gas and a long-term supply of coal. These are important factors affecting public perception of the necessity of nuclear power and their perception of the necessity of nuclear power influences their acceptance of the risks of nuclear power.

But the price of oil will not stay low for long. Stripper wells in America are closing down daily, exploitation of the North Sea has had a significant set-back and oil companies worldwide are stretching out their exploration and development programmes. At a rough guess, by 1990 America could once again import as much oil as it produces itself. The low oil prices will stimulate the world economy and the law of the marketplace will operate once again to force up the price of oil. In the 1990's, therefore further expansion of nuclear power will be seen to be the right thing to do even if that does not become apparent before then. Therefore, in my opinion, although Chernobyl is a vast set-back to nuclear power, some countries will survive that set-back with their plans undisturbed and those that do change course now as a result of Chernobyl will renew their interest in nuclear power in the early 1990's which, after all, is not far away.

What must we do in preparation for that time? What must the nuclear industry do



The "top table" at the ENC'86 opening ceremony. Left to right are: Rafael Caro (ENS President), E. Linn Draper (ANS President), Sir John Hill (Foratom President), Howard K. Shapar (Director General of OECD/NEA), Claude Fréjacques (Chairman Barthelt (Chairman of the Board of KWU) and Lord Marshall (Chairman of the CEGB).

to win back public confidence? What must we do to persuade the public that nuclear power is the cleanest, safest form of energy known to mankind? (That is factually correct despite Chernobyl.) We must set about the process of educating the public and explaining ourselves to the public with the same dedication and professionalism that we normally apply only to our engineering. It will not be satisfactory for the world to turn back to nuclear power in the 1990s regarding it, in President Carter's words, as the energy source of last resort. They will then be accepting it as a necessity despite their fear of it. That simply is not good enough. We must do better. The public must accept back nuclear power because they understand it, because they understand that it is not risk free but because it has the smallest risks of any energy source known to man. Let me review what we must do and let me review for you how the nuclear industry has failed in its communication with the public in the past and how that failure has affected public reaction to the Chernobyl disaster.

I will make my points by way of example. First, we know that the risks of nuclear power are the risks of radiation and the risks of radiation are the risks of inducing cancer. We have a well developed science of radiological protection to consider this subject. In my view, it is somewhat over developed. We describe radiation in terms of curies, becherels, rads, rems, sieverts, grays and by the milli, micro and pico versions of those units. I am myself a rads and rems man. I cannot understand the other units and if I cannot understand them, how can I expect the public to do so. How can we have the arrogance of changing notation and changing notation to inappropriately sized units in an area where it is vital that we communicate properly with the public? That is where we as an international community have failed.

Second, even if we do get our nomenclature correct, how are we to explain the risk to the public that, in the main, finds risks and numerical assessments difficult to assimilate. This is a subject I have addressed in previous years and I have recommended that we, the industry, make a direct analogy between radiation dose and cigarette smoking. The analogy is very simple. A once-off dose of one rem is equivalent to regular cigarette smoking of 1/20 of a cigarette per week. Let us define the smoking of 1/20 of a cigarette per week as a unit of health hazard. Let us express risks of radiation in those units. There is no good reason why we do not do that. We have simply not thought it important enough in the past. We ignore this point at our peril.

Let me give you an example of how this choice of language affects public perception. When the radioactive cloud from Chernobyl drifted across Scandinavia and the United Kingdom, the reaction of the authorities and the public in both countries seemed to be broadly the same. When the public were told the radiation



Around 2000 participants at the opening ceremony.

rate was so many times above background or normal levels, they thought that was very serious. Ten times normal sounds very bad, although, of course, we know that that radiation level for a short period of time is not very serious. When the Government authorities told the British public that they need take no special safety measures, except not to drink rainwater, the public were not reassured — they thought it exposed Government complacency. When experts estimated that the radiation would cause some tens of extra cancer deaths in the United Kingdom over the next forty years, the public were terrified. When I commented that the risk was equivalent to smoking one or two cigarettes in a lifetime, it sounded so reassuring that the public concluded it was incorrect. All these statements were correct, they could all be reconciled one to the other. Collectively in Britain, we did not do that very well. We must do better in the future.

Let me give you a second example. We are all used to comparing radiation doses to the natural background radiation and we do that partly because it is convenient, partly because it is proper and partly because we think the public will find that reassuring. However, to the public, the phrase "natural background radiation" is very friendly and not something to be frightened about because it is "natural". In contrast to that, the radioactivity we produce is "nuclear waste" or "nuclear pollution". That sounds very bad. It does not sound "natural" at all and the public find it difficult to accept that our radioactivity is no different in kind from natural radioactivity. This contrast is even more important today when the public distinguishes between natural food, which it regards as healthy, and processed foods, which it regards as junk.

We must get over to the public that they live in a radioactive world. Everything is radioactive — their houses are radioactive, their gardens are radioactive, our bodies are radioactive, and unless the general public understands that, and understands that instinctively, not just part

of an intellectual exercise, we will always find the acceptance of nuclear power to be very difficult. In my own country, in the United Kingdom, I like to point out that an average Englishman's garden occupies one tenth of an acre and, by digging down one metre in that average small garden, we can extract 6 kilogrammes of thorium, 2 kilogrammes of uranium and 7 thousand kilogrammes of potassium, all of which are radioactive. In a sense, all that is radioactive waste, not our radioactive waste, but the residue left over when God created this planet. Unless the public understands that they are continually surrounded by that radioactive material and that they are bathed in radiation from it, then they will not see the risks of nuclear power in perspective. I must therefore appeal to all of you at this conference here today. We talk to ourselves too much and to the general public not very effectively. We



IAEA Director General Hans Blix, speaking during the ENC'86 Press Conference.

must do better and if we do not do better, we do not deserve to establish nuclear power in its proper place in the coming decades.

When the dreadful chemical disaster occurred at Bhopal in India, the world did not clamour for the closure of all chemical plants, but following Chernobyl, in many countries they are clamouring for the closure of nuclear plants. The public do see nuclear risks as different, they do see them as more frightening. That is not actually the case, we all know that the chemical industry, general industry and coal mining are all more dangerous than nuclear plants despite Chernobyl, but we communicate with the public so badly, they do not appreciate that.

If we calculate fatalities in the world's coal industry and the world's civil nuclear power industry, even if we start the clock on 26 April, the day of the Chernobyl accident, then already the coal industry is way ahead on fatal accidents to mankind. That will remain the case whatever the long term consequences of Chernobyl, but there is no value at all to our knowing that if the public do not appreciate it. If the public do not understand the nuclear industry, it is not their fault, it is our fault. The main lesson we will learn from Chernobyl is that we need to communicate with the public more effectively than we have ever done in the past. From now on, I want to see every nuclear conference with a session entitled "Communicating with the Public", and let us not talk amongst

ourselves about how to do it, let us actually get out and communicate with the public effectively. That is our task for the future. In my opinion, the future of nuclear power will depend more on that than on any technical factor or technical improvement we can make, important though those are.

Thus, Chernobyl presents the world's nuclear industry with a set-back, a challenge and an opportunity. For the first time, the public have a real interest to understand risk and radiation exposures. Let us do a good job of putting this accident into a proper perspective of industrial events and let us trust to the public's common sense to accept nuclear power despite the trauma and emotion of this sad event. □

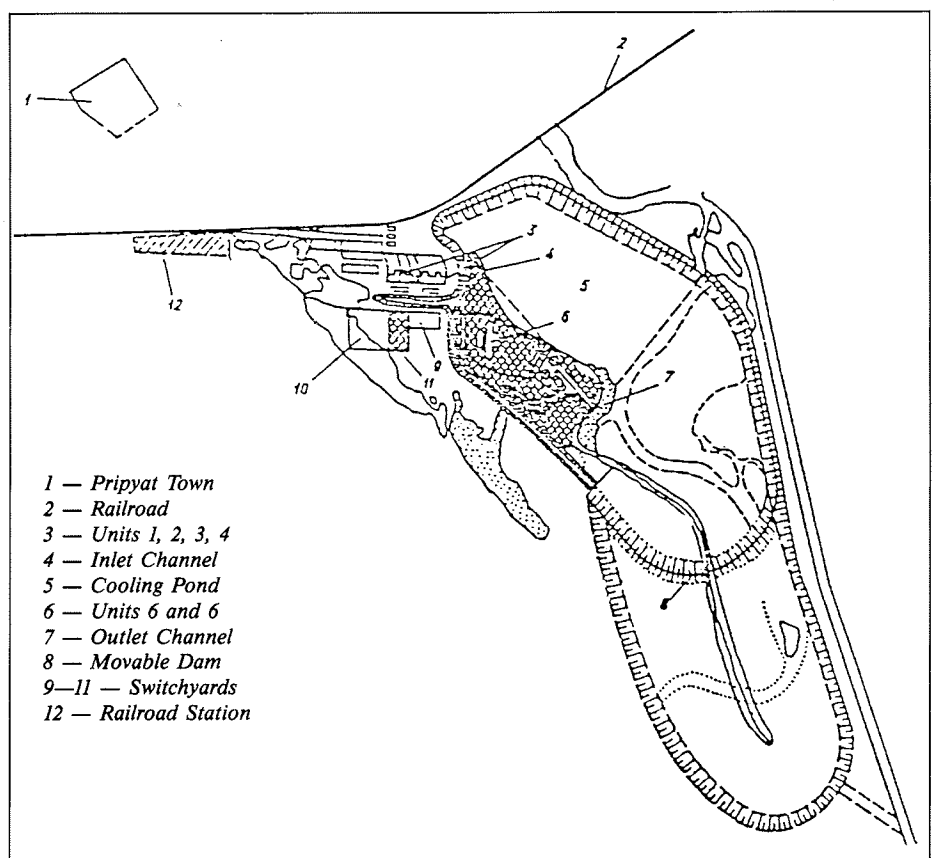
Keijo Valtonen/Säteilyturvakeskus, Ydinturvallisuusosasto 1.8.1986

Tshernobylin ydinvoimalaitoksen (RBMK) ominaispiirteet ja kuvaus laitoksella sattuneesta onnettomuudesta

RBMK-reaktori on Neuvostoliitossa yleisesti käytössä oleva reaktorityyppi ja sen rakennetta ja ominaisuuksia on kuvattu neuvostoliittolaisissa alan oppikirjoissa ja aikakauslehdissä. Neuvostoliitossa tämän tyyppiä 1000 MW:n reaktoreita on käytössä 14 yksikköä ja 1500 MW reaktoreita yksi yksikkö.

Laitokset sijaitsevat Leningradissa, Kurskissa, Smolenskissa, Ignaliassa ja Tshernobyliissa. Lisäksi uusia laitosyksiköitä on rakenteilla seitsemän kappaletta.

Tshernobylin ydinvoimalaitosalue sijaitsee Ukrainassa noin 130 km Kiovan kaupungista pohjoiseen Pripjat-joen rannalla. Laitosalueella on yhteensä 6 yksikköä, joista yksiköt 1–4 olivat toiminnassa ennen onnettomuutta sekä yksiköt 5 ja 6 rakenteilla. Onnettomuus tapahtui yksiköllä no 4, jonka rakentaminen aloitettiin vuonna 1975. Laitos saatiin ensimmäistä kertaa kriittiseksi marraskuussa 1983 ja kytkettiin verkkoon joulukuussa 1983. Yleiskuva laitosalueesta on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Chernobyl Nuclear Power Plant Site

Tshernobyl 4 oli sähkötehoaltaan 1000 MW paineputkityyppinen grafiittimode-roitu kiehuvesireaktori (RBMK).

Reaktori

RBMK-reaktori poikkeaa huomattavasti rakenteeltaan meillä käytössä olevista kevytvesireaktoreista. Reaktorisydän on kooltaan hyvin iso. Sen halkaisija on 11,8 m ja korkeus 7 m. Reaktorin rakenne on esitetty kuvassa 2 ja taulukossa 1 reaktorin perusominaisuudet. Reaktorisydän muodostuu grafiittimatriisista, jossa on reikiä polttoainekanavia ja ns. erikoiskana-avia varten. Grafiittimatriisi on sijoitettu kaasutiiviiseen teräksiseen paineastiaan. Grafiittimatriisi koostuu poikkileikkaukseltaan 250×250 mm kokoisista lohkoista. Grafiitin kokonaismäärä reaktorissa on 1700 tn. Grafiittimatriisin uloin osa toimii neutronien heijastimena. Sivusuunnassa heijastimen paksuus on 1 m ja yläsekä alaosassa sen paksuus on 0,5 m. Grafiittimatriisi on sijoitettu kuvassa 2 b esitetyn alatukilevyn päälle, joka puolestaan on hitsattu kuvan 2 a esittämään tukiristikkoon. Yläpäästään grafiittimatriisi on tuettu ylätukilevyyn (kuva 2 c). Reaktorin ympärillä (kuva 2 d) ja yläpuolella on säteilyä rajoittava biologinen suoja.

Grafiitin hapettumisen estämiseksi kaasutiivis paineastia on täytetty heliumtyypikaasulla, jota puhdistetaan puhdistusjärjestelmällä. Grafiittimatriisin jäädyttäminen tapahtuu polttoainekanavissa kiertävän jäähdysveden avulla. Tämän vuoksi grafiitin keskimääräinen lämpötila on suhteellisen korkea noin 500°C ja maksimilämpötila noin 750°C.

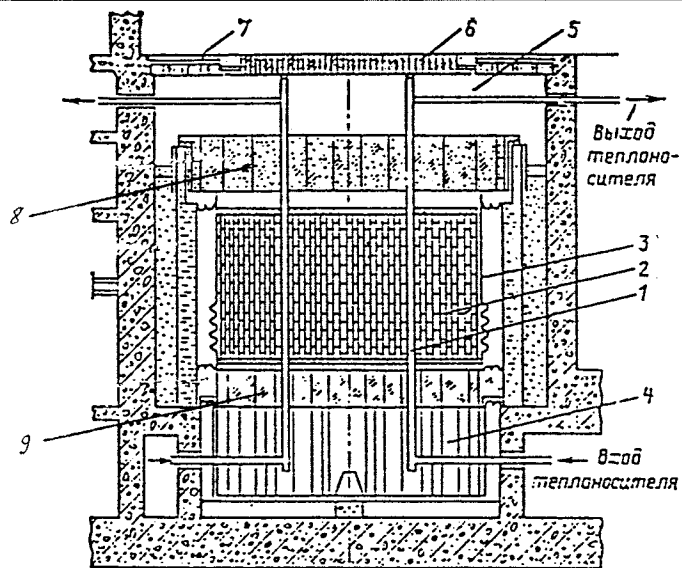
Grafiittimatriisia ympäröivän kaasutiivis paineastian ulkopuolella olevassa tilassa on typpi-ilmakehä, jossa pidetään korkeampaa painetta kuin kaasutiiviissä paineastiassa.

Polttoainekanavia on reaktorissa yhteensä 1693 kappaletta (kuva 3), joissa kussakin on päällekkäin kaksi polttoaineniippua. Kanavan ylä- ja alaosaa on tehty ruostumattomasta teräksestä. Reaktorisydämen alueella polttoainekanava on zirconiumista, johon on lisätty 2,5 % niobiumia. Polttoainekanavan halkaisija on 88 mm ja paksuus 4 mm.

Sydänalueella polttoainekanavaa ympäröi 20 mm paksut grafiittirenkaat (kuva 4), joiden avulla parannetaan lämmönsiirtoa grafiittilohkojen ja polttoainekanavan jäähdytteen välillä. Tällä järjestelyllä saadaan myös ulospäin suuntautuvaa neutronivuota pienennettyä. Polttoainekanavien tiiveyttä valvotaan mittaamalla heliumtyppi-kaasun epäpuhtauksia ja grafiittimatriisin lämpötilamuutoksia.

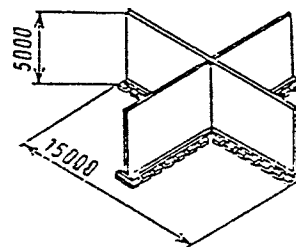
Reaktorissa käytetään polttoaineena lievästi (1,8–2,0 %) U-235:n suhteen rikastettua uraanidioksidia. Polttoainetabletit on sijoitettu polttoainesauvoihin, joiden halkaisija on 13,5 mm ja pituus 3,5 mm. Polttoainesauvojen suojakuori on tehty zirconiumista, johon on sekoitettu 1 % niobiumia. Polttoaineniippu (kuva 5) koostuu kahdesta osanipusta, joissa kussakin on 18 polttoainesauvaa ja 10 ruos-

Kuva 2.

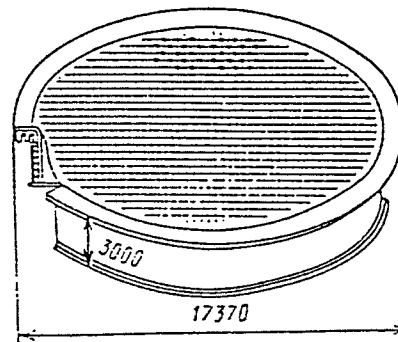


- | | |
|---------------------------|----------------------|
| 1. Polttoainekanava | 2. Grafiittimatriisi |
| 3. Kaasutiivis paineastia | 6. Biologinen suoja |
| 8. Ylätukilevy | 9. Alatukilevy |

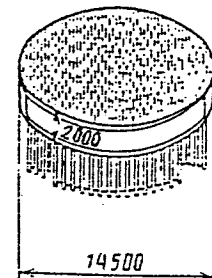
Kuva 2a. Tukiristikko



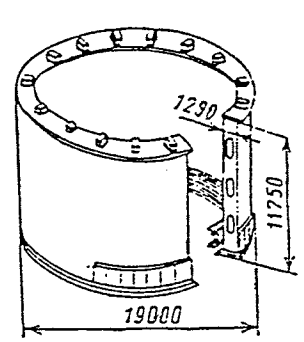
2c. Ylätukilevy



2b. Alatukilevy



2d. Biologinen suoja



tumattomasta teräksestä tehtyä tukihilaa. Polttoaineniipun halkaisija on 79 mm ja pituus 7 m.

Säätösauvat on sijoitettu ns. erikoiskanaaviin (kuva 6), jotka ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin polttoainekanavatkin. Niitä on kaikenkaikkiaan 179 kappaletta ja ne on jaettu neljään eri käyttötarkoitukseen. Tehojakautuman manuaaliseen säätöön käytetään 146 sauvaa, joista 57 on pikasulkusauvoja. Pikasulkusauvat ovat normaalikäytön aikana vedetty ulos reaktorisydäimestä. Automaattiseen tehonsäätöön käytetään 12 säätösauvaa. Lisäksi reaktorissa on 21 osapitkää säätösauvaa aksiaalisen tehojakautuman säätämiseksi. Säätösauvoissa neutronien absorbaattorina on boorikarbiidi, joka on tehty sylin-

terinmuotoiseksi. Sylinterin sisä- ja ulkopinnalla on alumiiniseoksesta tehty suoja-kuori. Säätösauvojen pituus on 6170 mm.

Tehojakautuman valvomiseksi on reaktori varustettu sisäisellä instrumentoinnilla. Radiaalista tehojakautumaa valvotaan radium-hopea -emissiodetektoreilla, jotka on sijoitettu polttoaineniippujen keskiputkeen. Näitä detektoreita on yhteensä 130 kpl. Aksiaalisen tehojakautuman valvonta tapahtuu myös radium-hopea -emissiodetektoreilla. Detektorit on sijoitettu 12 erikoiskanaavaan, joiden rakenne on samanlainen kuin säätösauvakanavien. Kussakin kanavassa on seitsemän detektoria aksiaalisesti eri korkeuksilla. Kuvassa 7 on esitetty säätösauvojen ja sydämen sisäisen instrumentoinnin sijainti reaktorisydämessä.

MAXIMUM OPERATING POWER OF CHANNEL, kW	3 000
COOLANT PRESSURE, kgf/cm ²	
— AT INLET	80
— AT OUTLET	73
COOLANT TEMPERATURE, °C:	
— AT INLET	265
— AT OUTLET	284
MAXIMUM STEAM CONTENT, MASS %	27
MAXIMUM VELOCITY OF STEAM —	
WATER MIXTURE, m/sec	20
COOLANT FEED THROUGH WORKING CHANNEL	
AT MAXIMUM POWER, kg/h	21 200
MAXIMUM THERMAL FLUX FROM SURFACE	
OF FUEL ELEMENT, W/cm ²	83
MAXIMUM LINEAR THERMAL POWER, W/cm	350
MAXIMUM FUEL TEMPERATURE, °C	1 800
AVERAGE FUEL BURNUP, MW-DAYS/ton U	19 500
DURATION OF OPERATION OF FUEL ELEMENT	
AT NOMINAL POWER, DAYS	1 190
MAXIMUM TEMPERATURE OF THE GRAFITE STACK, °C	750
MAXIMUM TEMPERATURE OF THE METAL STRUCTURES, °C	350
MINIMUM DRYOUT MARGIN	1.35

Reaktorin fysikaaliset ominaisuudet

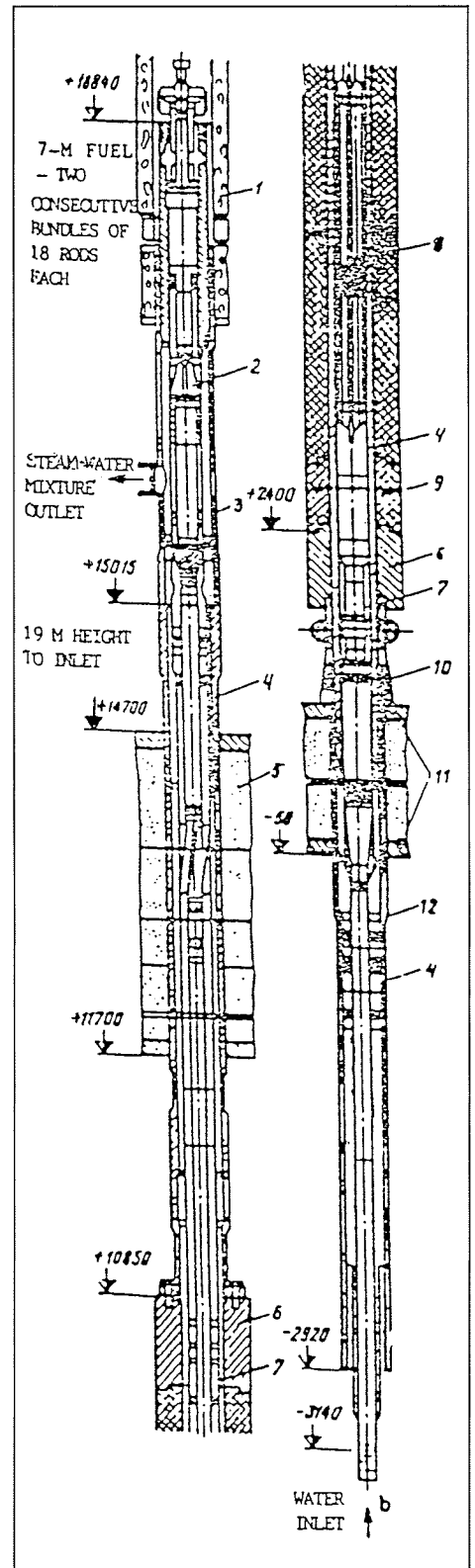
RBMK-reaktorissa polttoaineputket on sijoitettu paineputkiin, joissa polttoainetta jäähdytetään tavallisella vedellä. Neutronien hidastaminen tapahtuu paineputkien ulkopuolella olevalla grafiitilla. Tällainen reaktorin rakenne merkitsee sitä, että polttoaineputket on sijoitettava toisiinsa nähden suhteellisen etäälle. Tällä tekijällä on epäedullinen vaikutus eräisiin reaktorin tärkeisiin ominaisuuksiin.

RBMK-reaktori on käytön aikana jatkuvasti ladattava eli käytettyjä polttoainepippuja voidaan vaihtaa uusiin reaktorin toimiessa täydellä teholla. Tällainen lataustapa yhdessä reaktorin monimutkaisen rakenteen kanssa vaikuttaa reaktorin fysikaalisiin ominaisuuksiin, jotka vaihtelevat voimakkaasti reaktorin eri käyttötilanteissa. Laitosta ensimmäistä kertaa ladataessa jätetään osa polttoaineesta lataamatta. Polttoaineella lataamatta jääneissä kanavissa käytetään ylimääräreaktiivisuuden kompensoimiseksi tilapäisiä absorbaattoreita, jotka polttoaineen palaessa vaihdetaan normaaleiksi polttoainepippuiksi. Reaktorisydämen rakenteen muuttuminen yhdessä polttoaineen keskimääräisen palaman kasvaessa vaikuttaa voimakkaasti reaktorin dynaamisiin ominaisuuksiin. Näitä ominaisuuksia kuvataan reaktiivisuuskertoimilla, jotka kertovat miten reaktorin teho muuttuu, jos esim. grafiitin lämpötila, polttoainekanavissa olevan veden ominaisuudet tai polttoaineen lämpötila muuttuvat. RBMK-reaktorissa dynaamisia ominaisuuksia kuvataan pääasiassa kolmella reaktiivisuuskertoimella, aukko-osuuden, moderaattorin (grafiitin) lämpötilan ja polttoaineen lämpötilan reaktiivisuuskertoimilla. Näistä aukko-osuuden reaktiivisuuskertoimen kuvaa polttoainekanavan höyrypitoisuuden muutoksen aiheuttamaa takaisinkytkentää reaktorin tehoon (reaktiivisuuteen). RBMK-reaktorissa aukko-osuuden reaktiivisuus-

kerroin on lähes aina positiivinen eli aukko-osuuden lisääntyessä teho pyrkii nousemaan. Ainoastaan aivan reaktorin käytön alussa kerroin on lievästi negatiivinen tilapäisten absorbaattorien käytön vuoksi. Myös moderaattorin (grafiitin) lämpötilan reaktiivisuuskerroin on aina positiivinen (kuva 8). Lisäksi grafiitin lämpötilan nouseminen muuttaa aukko-osuuden reaktiivisuuskertoimista entistä positiivisemmaksi samalla kun moderaattorin lämpötilakerroin hieman pienenee (ei kuitenkaan koskaan muutu negatiiviseksi) (kuva 9). Vedentiheyden muutos vaikuttaa myös aukko-osuuden reaktiivisuuskertoimeen muuttaen sitä vähemmän positiiviseksi tiheyden pienentyessä (kuva 10). Aukko-osuuden reaktiivisuuskerroin muuttuu negatiiviseksi tiheyden ollessa pienempi kuin 0,4 g/cm³. Polttoaineen lämpötilan reaktiivisuuskerroin sensijaan on aina negatiivinen eli polttoaineen lämpötilan nouseminen pyrkii rajoittamaan tehon nousua (kuva 8).

Reaktorin käyttäytyminen erilaisissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa riippuu voimakkaasti edellä esitetyistä reaktiivisuuskertoimista. Tilanteissa, joissa RBMK-reaktorin polttoainekanavissa olevan veden aukko-osuus (höyrypitoisuus) kasvaa, teho pyrkii voimakkaasti kasvamaan. Tilannetta tehostaa vielä moderaattorin (grafiitin) lämpötilan nouseminen. Tehon nousun katkaisee reaktorin pikasulku, joka pudottaa säätösauvat reaktoriin ja sammuttaa sen. Tällaiseen tilanteeseen johtavia reaktiivisuuskertoimien eriyttäviä transienteja ovat mm. eri syistä tapahtuvat pääkiertopumppujen pysähtymiset ja pääkiertopiirissä tapahtuvat putkikatkot.

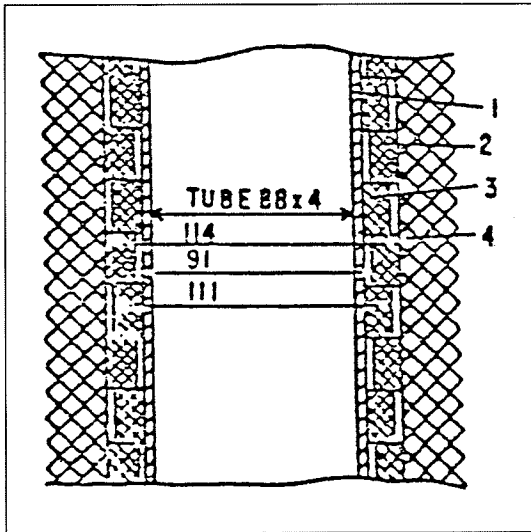
RBMK-reaktoreiden yhtenä vaikeana ongelmana on reaktorin tehojakautuman valvonta ja säätö. Tämä reaktorityyppi ei ole luontaisesti stabiili radiaalisten ja aksiaalisten tehojakautumien suhteen. Tä-



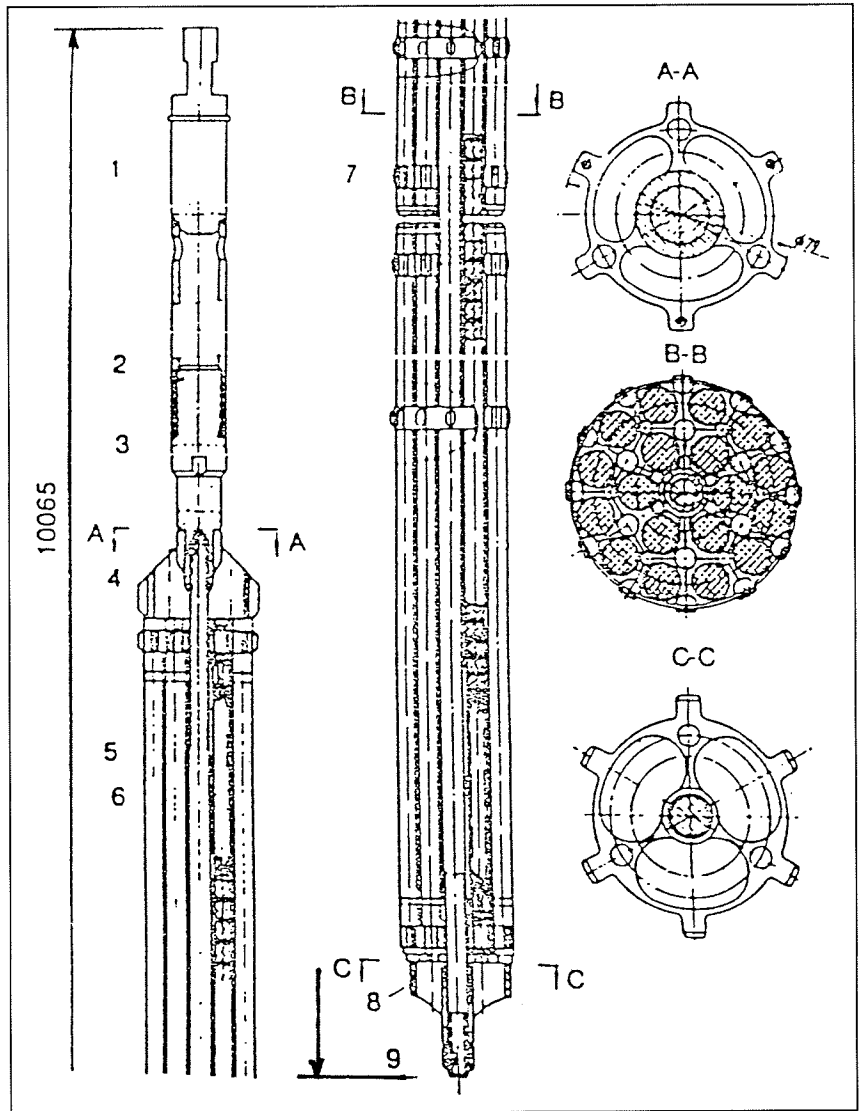
Kuva 3.

Channel (all dimensions in millimeters)

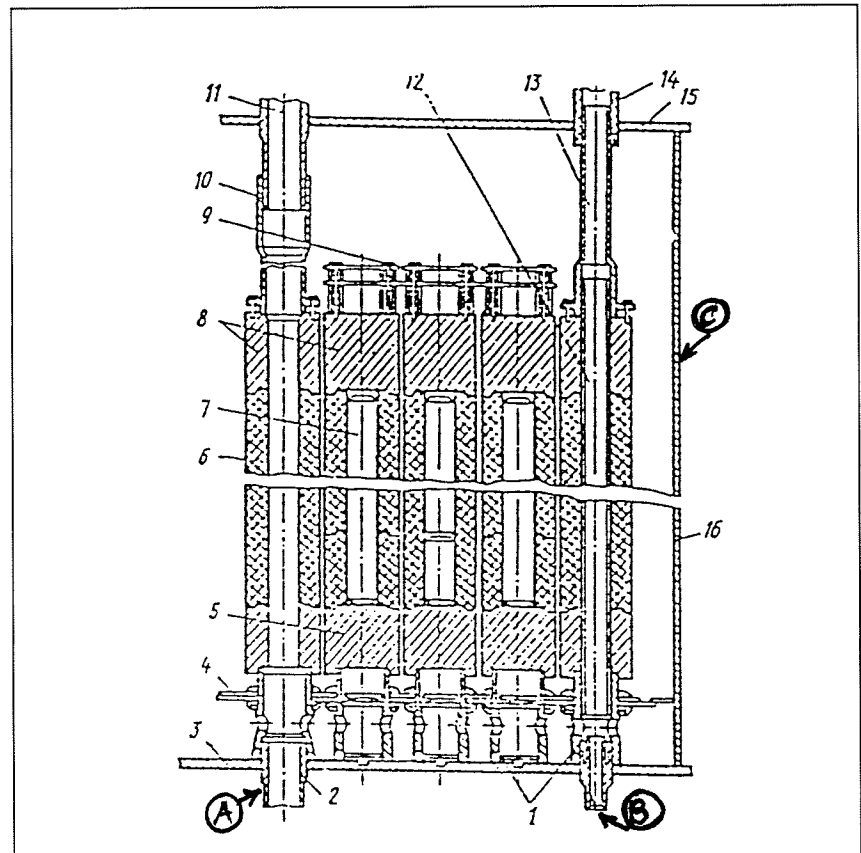
1. Pressure tube
2. Channel shroud
3. Lower shield plate
4. Support sleeve
5. Steel-zirconium joint
6. Thermal shield
7. Moderator block
8. Fuel assembly
9. Upper shield plate
10. Channel head
11. Fuel assembly suspension
12. Removable shield block



Kuva 4.
Rings around fuel channel (all dimensions in mm)
1. ZR-2.5 % Nb Tube
2. Outer graphite ring
3. Inner graphite ring
4. Graphite masonry



Kuva 5.
1. Hanger
2. Pin
3. Transition piece
4. Stem
5. Fuel element
6. Supporting rod
7. Sleeve
8. Nose piece
9. Nuts



Kuva 6.
A. Polttoainekanava
B. Säätösauvakanava
C. Kaasutiivis paineasria

hän vaikuttaa ensinnäkin reaktorin suuri koko, jolloin esim. ksenonin aiheuttamat tehovärähtelyt eivät vaimene ilman aktiivista säätöä. Toiseksi reaktorin lataustapa, joka aiheuttaa paikallisia häiriöitä tehojakautumassa, korostaa edellä esitettyä ominaisuutta. Kolmanneksi reaktorin reaktiivisuuskertoimet ovat sellaiset, että ne pyrkivät kasvattamaan värähtelyä.

Edellä esitetyn vuoksi reaktoriin on jouduttu tekemään automaattinen (osittain myös manuaalinen) tehojakautuman säätöjärjestelmä. Tällainen säätöjärjestelmä vaatii toimiakseen tehokkaan instrumentoinnin ja reaktorin tehojakautuman valvontajärjestelmän. Reaktorin tehojakautuman valvontajärjestelmä koostuu teoreettisesta osasta, jossa lasketaan teoreettinen tehojakautuma, ja mittauksista saatavasta tiedosta tehojakautumasta. Nämä kaksi tietoa yhdistetään tietyllä matemaattisella menetelmällä, jotta saataisiin mahdollisimman hyvä tieto tehojakautuman käyttäytymisestä. Näin saatua tietoa käytetään hyväksi tehojakautuman pitämiseksi mahdollisimman tasaisena. Tehojakautuman säätö tapahtuu erityisesti tätä tarkoitusta varten varatuilla säätösauvoilla, kuten

edellä esitettiin. Mikäli edellä esitetty järjestelmä ei toimi odotetulla tavalla, reaktorissa on säätöjärjestelmän aiheuttamia häiriötilanteita varten ns. paikalliset pikasulkusauvat, jotka aiheuttavat paikallisen pikasulun, jos teho jossakin kohtaa reaktoria nousee liian korkeaksi.

Kokonaisuudessaan tehojakautuman säätöön käytettävä menetelmä vaikuttaa toiminnaltaan hyvin monimutkaiselta eikä sen toiminnan luotettavuudesta kaikissa mahdollisissa tilanteissa voi käytettävissä olevan aineiston perusteella varmistua.

RBMK-reaktorissa säätö- ja suojausjärjestelmät on suunniteltu sellaisiksi, ettei polttoainekanaville asetettua suurinta sallittua tehoa ja grafiitille asetettua suurinta sallittua lämpötilaa ylitetä eikä polttoaineen pienintä sallittua marginaalia lämmönsiirtokriisiin aliteta. Polttoainekanaavien suurin sallittu teho on 3 000 kW, kun täydellä teholla normaalisti maksimikanavatehot ovat n. 2600 kW. Grafiitin suurin sallittu lämpötila on 750°C. Normaleissa käyttötilanteissa grafiitin lämpötila nousee maksimissaan n. 550°C.

Reaktorissa olevien metallirakenteiden suurin sallittu lämpötila on 350°C. Normaleissa käyttötilanteissa metallirakenteiden maksimilämpötila on n. 300°C.

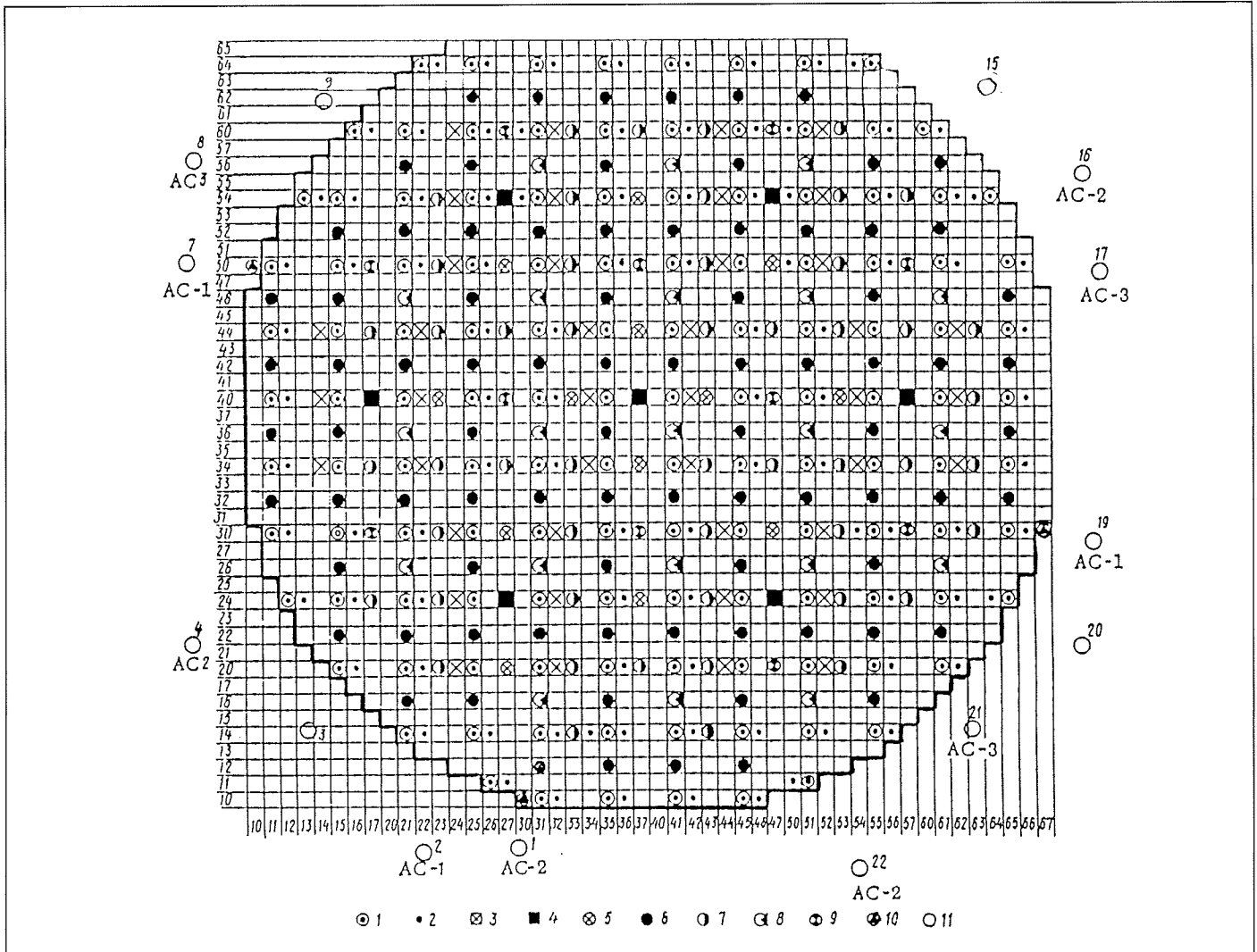
Reaktorin valvontainstrumentointi

RBMK-reaktorin valvontajärjestelmä koostuu kolmesta erillisestä järjestelmästä, jotka toimivat toisistaan riippumattomasti. Nämä järjestelmät ovat

- säätö- ja suojausjärjestelmä CPS
- tehojakautuman valvontajärjestelmä SPMPD
- keskitetty valvontajärjestelmä CMS

CPS-järjestelmässä on edelleen kaksi osajärjestelmää: automaattinen tehonsäätöjärjestelmä LAC ja suojausjärjestelmä LEP. Kuvassa 7 on esitetty säätösauvojen, säätö- ja suojausjärjestelmien ionisaatiokammioiden ja tehojakautuman valvontajärjestelmän detektorien sijainnit.

CPS-järjestelmän tehtävänä on reaktorin tehon ja periodin valvonta sekä reaktorin suojaus, jos reaktorin teho, tehon kasvunopeus tai tehojakautuma ylittävät asetetut rajat. Järjestelmä ohjaa säätösauvoja,



Kuva 7. Location of the control rods and ionization chambers of the CPS and of the SPMPD detectors in the RBMK-1000:

- 1) DMER; 2) channel for calibration γ chamber; 3) detector for the LAC and LEP systems; 4) LAC and LEP rods; 5) AC rod; 6) MC rod; 7) emergency-protection rod; 8) short absorbing rod; 9) DMEH; 10) fission chamber; 11) lateral ionization chamber (outside a reflector).

joita on kolmen tyyppisiä yhteensä 179 kappaletta. Reaktorisuojauksen erityispiirre on, että suojaus tapahtuu viidessä eri asteessa. Neljä alhaisinta astetta eivät aiheuta reaktorin pikasulkua, vaan laskevat reaktorin tehon ennalta määrätyle tasolle tai estävät tehon noston. Alhaisimmat suojausasteet ovat monimutkaisia eikä niitä ilmeisesti ole selvästi erotettu normaalista säätöjärjestelmästä. Säätö- ja suojausjärjestelmän monimutkainen rakenne muistuttaa Loviisan vastaavia järjestelmiä.

Tehojakautuman valvontajärjestelmä koostuu radiaalisen tehojakautuman (DMER) ja aksiaalisen tehojakautuman (DMEH) valvontajärjestelmästä. Näiden detektorien paikat on myös esitetty kuvassa 7. Aksiaalisuunnassa detektoreja on seitsemän kappaletta ja suunnitteluperusteena on, että kaksi detektoria yhdessä kanavassa voi vikaantua. Detektoreina järjestelmässä käytetään rodium-hopea-emissiodetektoreita, joilla on lyhyt vasteaika. Detektorit voidaan vaihtaa, samoin kuin CPS-järjestelmän ionisaatiokammiot, reaktorin käytön aikana. Tehojakautuman valvontajärjestelmän tehtävänä on valvoa tehojakautuman stabiilisuutta ja estää polttoainesauvan liiallinen lineaari-kuormitus häiriötilanteissa.

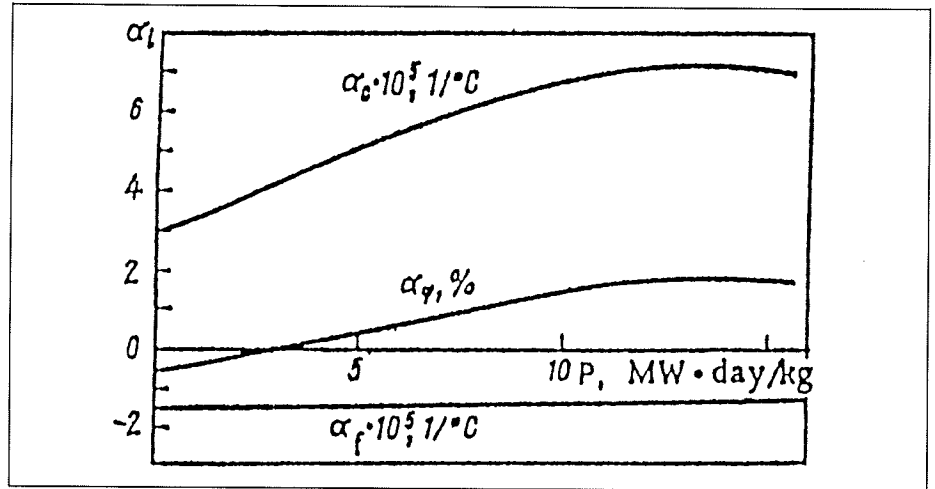
Keskitetty valvontajärjestelmä CMS on tarkoitettu sekä reaktorin että koko laitoksen valvonta- ja näyttöjärjestelmäksi. Järjestelmä on tietokonepohjainen ja sillä suoritetaan mm. kaikki reaktorin suoritusrivolakut.

Reaktorin säätö- ja suojausjärjestelmä ja tehojakautuman valvontajärjestelmä vaikuttavat monimutkaisilta. Siten reaktorin käyttö vaatii reaktorin ohjaajilta tiivistä valvontaa ja ammattitaitoa. Ajatuksia valvontajärjestelmän kehittämiseksi on esitetty neuvostoliittolaisissa alan lehdissä.

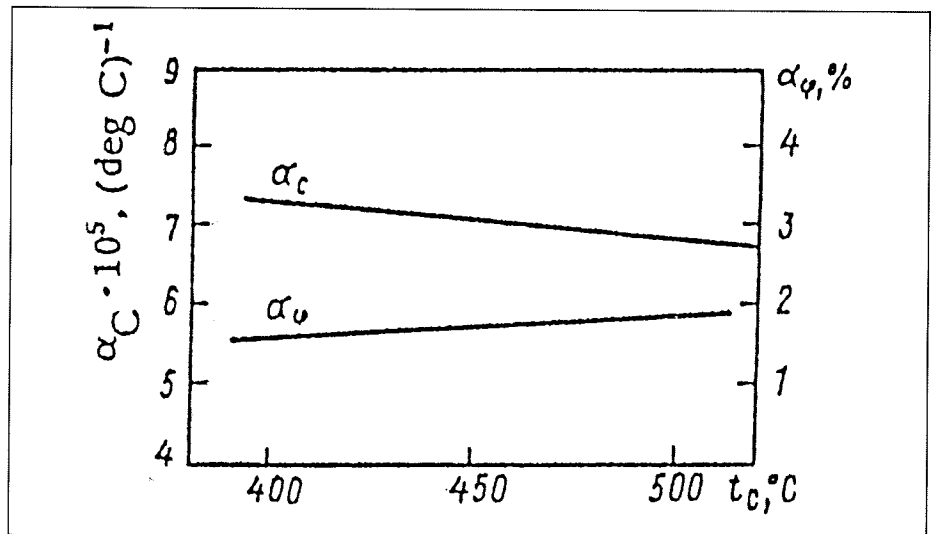
Grafiitin ominaisuudet

RBMK-reaktorissa neutronien hidastimena käytettävällä grafiitilla on eräitä ominaisuuksia, joilla on vaikutusta tämän tyyppisten laitosten turvallisuuteen.

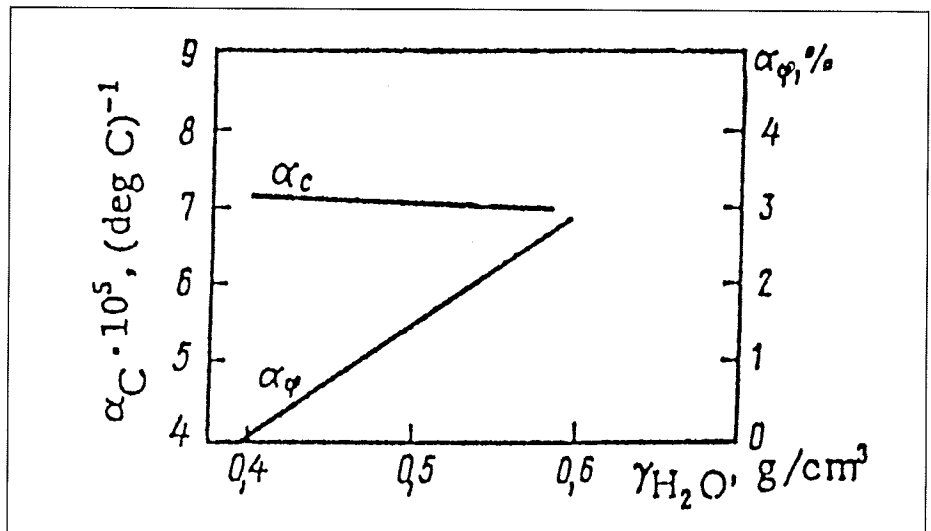
Grafiitin palaessa kuluu kaikki läheisyydessä oleva happi palamiseen, jolloin reaktorissa syntyy hiilimonoksidi ja vapautuu lämpöä. Palaminen tapahtuu loppuun hiilidioksidiksi, kun hiilimonoksidi sekoittuu ilmaan ja jos lämpötila on edelleen riittävän korkea. Yli 700°C lämpötilassa reagoivat myös vesi ja hiilidioksidi grafiitin kanssa, jolloin syntyy edellisessä tapauksessa hiilimonoksidi ja vetyä ja jälkimmäisessä tapauksessa hiilimonoksidiä. Molemmat reaktiot ovat lämpöä sitovia. Yli 1000°C lämpötilassa reaktiot tapahtuvat miltei täydellisesti. Energian vapautumisen lisäksi grafiitin palolla on se merkitys, että se edistää kuumen kaasuvirtauksen syntymistä reaktorista. Tähän vaikuttavat myös muut tekijät. Joka tapauksessa Tshernobylin onnettomuuden erityispiirre oli, että päästöpilvi nousi voimakkaiden kaasuvirtausten johdosta 1–2 km korkeuteen, jolloin onnettomuuden vaikutukset ulottuivat laajalle.



Kuva 8. Variation of coefficients of reactivity as the fuel burns up: α_c and α_f , temperature coefficients of the moderator and the fuel, respectively; α_v , steam-void coefficient; P, average burn-up of the fuel.



Kuva 9. Dependence of coefficients of reactivity on graphite temperature.



Kuva 10. Dependence of coefficients of reactivity on mean density of water in reactor core.

Toinen merkittävä grafiitin ominaisuus on sen lämpölaajeneminen ja neutronisäteilyn vaikutus laajenemiseen. Reaktorin suunnittelussa tulee lämpölaajeneminen ja mahdolliset lämpöjännitykset ottaa huomioon. Säästösauvojen vapaa liikkuminen kanavassa pitää varmistaa kaikissa olosuhteissa.

Lämmön ja neutronisäteilyn vaikutuksia grafiittiin on tutkittu laajasti sekä Neuvostoliitossa että länsimaissa. Lämpölaajenemiskertoimen monimutkainen käyttäytyminen säteilyannoksen mukaan osoittaa, että useita eri ilmiöitä vaikuttaa siihen. Lämmön ja neutronisäteilyn vaikutusta esittää kuva 11, jossa on esitetty näytteen piteuden suhteellinen muutos neutronivuon funktiona eri tapauksissa. Kuvasta voi todeta, että on olemassa neutronivuon arvo (F_{trans}), jolla grafiitin paisuminen tulee voimakkaaksi. Kun säteilylämpötila kasvaa, tämä neutronivuon arvo kasvaa. Yli 400°C lämpötilassa tämä neutronivuon arvo alkaa laskea. Kirjallisuudessa esitetään mm., että neutronivuo 10^{22} n/cm² lämpötilassa T 450°C aiheuttaa grafiitin sekundaarista paisumista.

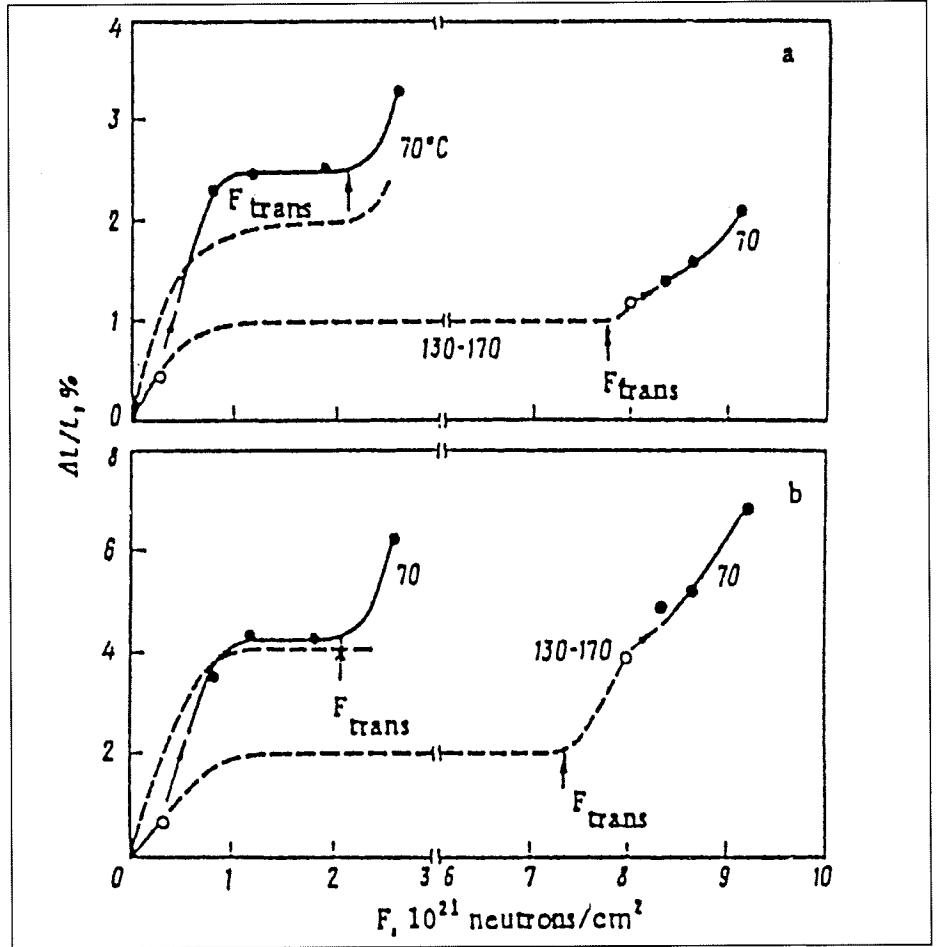
Grafiitilla on kolmakin erityisominaisuus verrattuna muihin reaktoreissa hidastimena käytettyihin materiaaleihin. Neutronisäteily aiheuttaa grafiittihilaan hilavirheitä, joihin varastoituu alle 300°C lämpötilassa energiaa, ns. Wigner-energiaa. Energian varastoituminen riippuu lämpötilasta pieneten lämpötilan kasvaessa. Liiallisen energianvarastoitumisen estämiseksi voidaan grafiitin lämpötilaa nostaa tasaisin aikavälein joksikin aikaa varastoituneen energian vapauttamiseksi. Mikäli varastoitunut energia on suuri, saattaa sen yhtäkkiä vapautuminen johtaa suureen lämpötilan nousuun. Näin arvioidaan tapahtuneen Englannissa Windscalessa v. 1957 tapahtuneen onnettomuuden yhteydessä.

Reaktorin jäähdytys

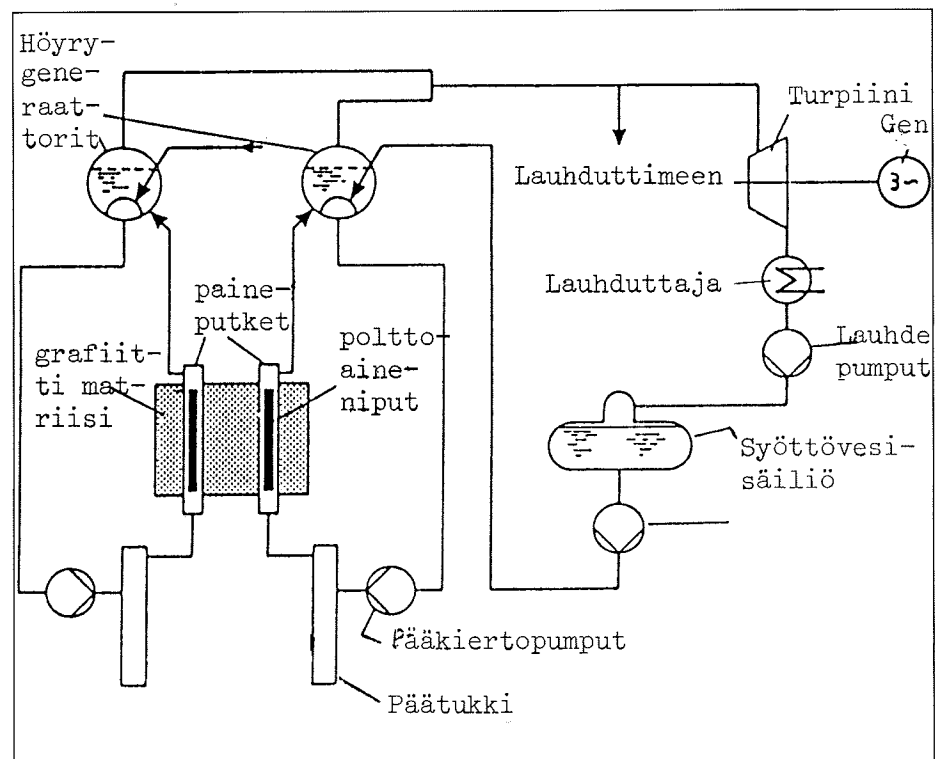
Reaktori on jaettu kahteen osaan, jolla kummallakin on oma jäähdytyspiirinsä (kuva 12). Reaktorin paineputkissa syntynyt vesi-höyry -seos johdetaan erillisillä putkilla rumputyypisille höyrygeneraattoreille, joita kummassakin jäähdytyspiirissä on kaksi kappaletta. Höyrygeneraattorissa höyry erotetaan vedestä kahdessa vaiheessa pisaraerottimella. Höyry kulkeutuu kahdelle turbogeneraattorille, joista lauhduttanut höyry johdetaan lauhduttimen kautta neljän lauhdepumpun ja neljän syöttövesipumpun avulla takaisin höyrygeneraattoreihin. Syöttövesi yhdessä pisaranerottimelta valuvan veden kanssa johdetaan pääkiertopumppujen (neljä kappaletta kummassakin jäähdytyspiirissä) avulla päätukkiin, joka jakautuu 22 jakotukiksi. Jakotukeista vesi pumpataan erillisiä putkilinjoja pitkin takaisin polttoainekanaviin.

Reaktorin hätäjähdytys

RBMK-reaktorin ominaispiirteistä positiivinen aukko-osuuden reaktiivisuuserroin sekä rinnakkaisista paineputkista koostuva reaktorirakenne sinänsä ovat sellaisia,



Kuva 11. Fluence-dependence of change in length of specimens cut parallel (a) and perpendicular (b) to extrusion axis: ○) initial irradiation at 130–170°C; ●) subsequent irradiation at 70°C; ---) data for GMZ graphite at temperatures indicated, obtained earlier (2).



Kuva 12.

jotka asettavat muutamia erityisvaatimuksia laitoksen hätäjähdytys-, syöttövesi- sekä reaktorin sammuutus- ja tehonalennusjärjestelmille.

Positiivisesta aukko-osuuskertoimesta johtuva, esimerkiksi jäädytteenmenetysonnettomuuksissa ja/tai jäädytteen virtauksen menetyshäiriöissä tapahtuva reaktoritehon äkillinen nousu vaatii nopeoitumisen ja varman reaktorin pikasulkujärjestelmän tehon nousun pysäyttämiseksi ja reaktorin sammuttamiseksi sekä nopean ja varman lisävesi-, syöttövesi-, hätäjähdytysjärjestelmän häiriössä suuremmalle teholle nousseen reaktorin jäädyttämiseksi. Reaktorin paineputkirakenne puolestaan vaatii kussakin paineputkessa (1693 kpl) olevan polttoainepipun "yksilöllisen", itsenäisen jäädyttämisen, jottei polttoaine- ja reaktorivaurioita syntyisi.

RBMK-reaktorin hätäjähdytysjärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 13. Hätäjähdytysjärjestelmässä on kaksi hätäjähdytysakkuryhmää, joissa kummassakin on kuusi hätäjähdytysakkua. Akut on yhdistetty kummankin reaktorin jäädytyspiiriin jakotukkeihin kahden hätäjähdytystukin kautta.

Hätäjähdytysjärjestelmässä on akkujen lisäksi kuusi 50 % hätäjähdytyspumpua kolmessa linjassa, jotka työntävät reaktorin suojarakennuksen lauhdutusaltaasta saamansa veden jakotukkeihin kolmen hätäjähdytystukin kautta.

Hätäjähdytysjärjestelmään liittyy myös hätäsyöttövesipumput, joita on kolme kappaletta. Hätäsyöttövesipumput saavat vetensä syöttövesisäiliöstä ja pumppaavat sen sekä höyrygeneraattoreihin että hätäjähdytysputkistojen kautta jakotukkeihin.

Edellä esitetyn lisäksi hätäsyöttövesijärjestelmän tehtävänä on normaalisyöttövesijärjestelmän häiriöissä toimittaa reaktorin vedenerottimiin riittävä vesimäärä, jotta pääkiertopumput eivät kavitoisi sekä pitää yllä luonnonkierron vaatimia olosuhteita, mikäli pääkiertopumputkin pysähtyisivät.

Koska reaktori on jaettu kahteen täysin itsenäiseen jäädytyspiiriin, hätäjähdytysjärjestelmän toiminta putkikatkoilanteissa on suunniteltu siten, että ehjää reaktoripuoliskoa jäädyttää hätäsyöttövesijärjestelmä ja rikkonaista hätäjähdytyspumput sekä hätäjähdytysakut. Kuvassa 13 on esitetty eri venttiilien asento, kun reaktorin toisessa jäädytyspiirissä on putkikatko.

Hätäjähdytysjärjestelmän ja sen osien toiminta ja vaatimuksetkin ovat erilaisia erikoisissa ja eri paikoissa tapahtuvissa primaariipiirin vuotoissa.

Pienehköissä kuumapuolen vuotoissa vuotoon liittyvissä paineputkessa/-putkissa olevaa polttoainetta jäädytetään "normaali" virtauksella kuten muitakin

paineputkia. Vuodon kompensointiin saadaan lisävetä hätäjärjestelmistä, jotka saavat käynnistysignaalin höyrygeneraattorien pinnasta.

Pienehköissä kylmänpuolen vuotoissa vaurioituneet polttoainekanavat jäähtyvät lähinnä "vastavirtaperiaatteella" eli höyrygeneraattoreista polttoainekanavan kautta vuotoon menevä vesi (myöhemmin ilmeisesti höyry) jäädyttää polttoainetta. Lisävesi saadaan hätäjärjestelmistä.

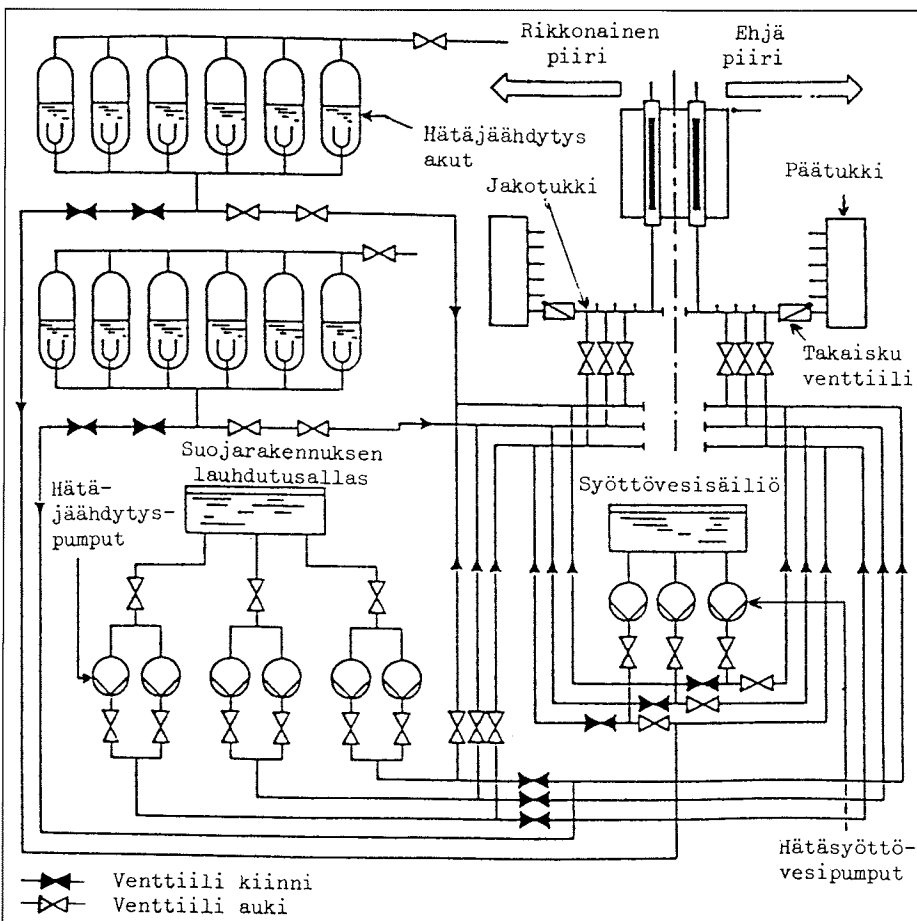
Suurissa vuotoissa avautuvat korkeapaineisten hätäjähdytysakkujen sulkuventtiilit vuodon aiheuttamasta huonetilojen paineen noususta ja vedenerottimen matalasta pinnasta tai primaariipiirin painerojen muuttumisesta tulevasta yhdistelmäsignaalista.

Hätäjähdytysjärjestelmän akut huolehtivat onnettomuuden alkuvaiheen (DBA:ssa n. 10 sek.), jonka jälkeen dieselsähköä saavien hätäjähdytyspumppujen on tarkoitus huolehtia lopusta.

Reaktorisydämen jäädytyksen kannalta hankalimpia lienevät sellaiset vuodot, joissa erillisissä paineputkissa olevissa polttoainekanavissa (yhdessä tai useammassakin, yht. n. 1693 kpl!) jäädytysvirtaus hidastuu tai peräti pysähtyy, jolloin ylikuumeneminen on mahdollista.

RBMK-reaktorin primaariipiirin painepuolen jakotukkeihin on asennettu takaiskuventtiilit (ks. kuva 13), jotta vuotojen tapahtuessa ennen takaiskuventtiiliä ei venttiilin toiselle puolelle syötettyä hätäjähdytysvettä menetettäisi vuotoon. Takaiskuventtiilistä on siten merkittävää hyötyä hätäjähdytysveden hukkaanmenon estämisessä (mikäli kaikki vaurioituneen reaktoripuoliskon 22 takaiskua toimivat!). Takaiskuventtiilien kiinnimeno aiheuttaa kuitenkin sen, että kaikki vastasuuntainen virtaus reaktorin vaurioituneessa puoliskossa (n. 800 kanavaa) estyy ja pysähtyy. Tällöin ko. reaktoripuoliskon polttoaineen jäädytys on pelkästään hätäjähdytysjärjestelmän "oikeasuuntaisen" jäädytysvirtauksen varassa.

Kaikkien polttoainekanavien jäädyttämisen onnistuminen tällaisissa tilanteissa vaikuttaa varsin vaativalta tehtävältä, varsinkin 22 jakotukista ja niistä kustakin lähtevät n. 40 paineputkiin johtavaa putkea sekä reaktorin melko suuret mitat. Yllä esitetystä putki- ja tukkiviidakosta ilmeisesti ainakin osa on vaakasuorassa asennossa, ehkä mutkitteleikin, jolloin paikallisten vesi- ja höyrytulppien esiintyminen onnettomuudessa on hyvinkin mahdollista. Tämä puolestaan voi aiheuttaa kovin erilaisia virtausvastuksia ja virtauksia eri polttoainekanavien välille, jolloin "tasa-arvoisen" ja riittävän jäädytyksen onnistuminen voi olla varsin vaikeaa. Vastaava epätasapainoinen tilanne voinee syntyä jakotukkien takaiskuventtiileistä riippumattomissakin tilanteissa johtuen juuri mutkikkaasta geometriasta ja reaktorin sisäisen luonnonkiertomahdollisuuden puuttumisesta.



Kuva 13.

Mikäli kaikkien polttoainekanavien jäähdytys ei onnistu riittävästi, on seurauksena polttoainekanavien ylikuumentuminen ja ehkä sulaminen. Voivatko ylikuumentumiset ja ehkä sulaneet erilliset polttoainekanavat ja paineputket aiheuttaa vaurion leviämistä, reaktioita grafiitin kanssa tai vaurioittaa esimerkiksi moderaattoria ympäröivää ilmatiivistä He + N₂-kaasun suojavaippaa, on epäselvää.

Kuten edellä olevasta käynee ilmi on rinnakkaisten, erillisissä putkissa olevien polttoaine-elementtien jäähdyttäminen hankala tehtävä. Englantilaisessa SGHWR-reaktorissa, joka lienee melkoilla samantyyppinen kuin RBMK-reaktori sillä erolla että moderaattorina toimii grafiitin tilalla raskas vesi, on erillisten paineputkissa olevien polttoaine-elementtien jäähdytys häiriö- ja onnettomuustilanteissa hoidettu siten, että **jokaisen** nipun keskelle ylhäältä alas saakka on asennettu reiällinen putki, johon hätäjäähdytysjärjestelmän vesi työnnetään.

Suojarakennus

RBMK-reaktorin suojarakenus on neuvostoliittolaista käytäntöä noudattaen jaettu useaan eri osatilavuuteen, joiden suunnittelupaineet vaihtelevat välillä 1.8—4.5 bar. Kuvassa 14 on esitetty poikileikkaus reaktori- ja turbiinirakennuksesta. Kuvassa näkyy reaktorin päälaitteiden sijoittelu suojarakennuksessa, suojarakennuksen betonirakenteet sekä suojarakennuksen lauhdutusaltaat puhallusputkiin.

Kuvassa 15a on esitetty suojarakennuksen pääosat. Reaktorin alla on tila (1), jossa on lauhdutusallas ja kylmähaaran putkilinja pääkiertopumpuilta päätukkiin. Reaktori ja sen ympärillä oleva alue muodostaa oman tilansa (2), jossa normaalkäytön aikana on tyyppi-ilmakehä. Lisäksi höyrygeneraattorit sekä kuumahaaran putkilinjat on sijoitettu omaan tilaansa (3). Nämä kolme päätilavuutta on edelleen jaettu pienempiin osatilavuuksiin, joiden suunnittelupaineet ovat kuitenkin alhaisemmat. Näiden eri pää- ja osatilavuuksien välillä on paineenalennusventtiilit, jotka onnettomuustilanteessa paineen jossakin osatilavuudessa noustessa yli suunnittelurajan avautuvat. Kuvassa 15b on esitetty nämä osatilavuudet. Painerajapintana reaktorin yläpuolella toimii ilmeisesti kuvassa 2 numerolla 6 merkitty biologinen suoja ja reaktorin ylätukilevy. Ne muodostavat todennäköisesti suojarakennuksen heikoimman osan (suunnittelupaine n. 1.8 bar).

Suojarakennuksessa on kaksi päällekkäin olevaa lauhdutusallasta (1), joihin jäähdytyspiiristä onnettomuustilanteessa tuleva höyry puhalletaan sisäkkäin toistensa päällä olevilla allaspuhallusputkilla (2). Kuvassa 15b on esitetty suojarakennuksen alatilat rakenne ja toiminta onnettomuustilanteessa. Lauhdutusallas on jaettu kolmeen osatilavuuteen; yksi kummankin reaktorin jäähdytyspiirin alla sekä yksi reaktorin alla. Putkikatkon tapahtuessa reaktorin jäähdytyspiirissä (3) suojarakennuksen toiminta riippuu vuotokoosta.

Vuotokoon ollessa pieni jäähdytyspiiristä tuleva höyry puhalletaan vain piirin alla olevaan lauhdutusaltaan osaan. Jos vuoto on iso, paine nousee jäähdytyspiiritilavuudessa ja tämän tilan sekä reaktorin alla olevan tilan välissä olevat venttiilit avautuvat (4), jolloin höyry puhalletaan myös reaktorin alla olevaan lauhdutusaltaan osaan. Jäähdytyspiiritilan ja sen alla olevan lauhdutusaltaan osan välillä on lisäksi ylipaineventtiili, joka avautuu jos paine lauhdutusaltaan tässä osassa nousee liian isoksi.

Lauhduksaltaan yhteydessä on myös jälkilämmönpoistojärjestelmä, johon liittyvät ruiskutuslaitteet on esitetty kuvassa 15c. Jälkilämmönpoistojärjestelmä toimii siten, että lauhdutusaltaan vettä kierrätetään lämmönvaihtimen kautta ja ruiskutetaan takaisin lauhdutusaltaaseen kuvan 15c esittämien ruiskutuslaitteiden avulla.

Kuvaus Tshernobyl 4 laitossykliin sattuneesta onnettomuudesta

Tshernobyl 4 laitossykliin tapahtuneen onnettomuuden yksityiskohtista on toistaiseksi saatu neuvostoliittolaisilta hyvin puutteellisia tietoja. Tiedetään kuitenkin, että onnettomuuden sattuessa 26.4. laitos oli ajettu n. 7 % teholla valmistuttaessa laitoksen vuosihuoltoseisokkiin. Samaan aikaan tehtiin laitoksen turpiinpuolella kokeita, joiden tarkoituksena oli selvittää kuinka kauan generaattori pystyy tuottamaan sähköä onnettomuustilanteessa, kun reaktori on mennyt pikasulkuun. Kokeen aikana tapahtui kuitenkin jotain sellaista, joka johti reaktorin tehon äkilliseen nousuun. Yhtenä mahdollisuutena on, että turpiinin säätö- tai ohitusventtiilit avautuivat äkillisesti johtaen reaktorissa nopeaan paineen laskuun, josta oli seurauksena reaktorin tehon nousu. Reaktorin tehon nouseminen noin 50 % tasolle paineen samalla laskiessa johti voimakkaaseen höyryn muodostukseen reaktorissa, jolloin lämmönsiirron huononeminen jäähdytykseen johti polttoaineen ylikuumentumiseen ja polttoaineen suojakuori alkoi reagoida vesihöyryn kanssa tuottaen vetyä. Myös polttoaine- ja ns. erikoiskannavissa oleva zirconium on saattanut reagoida vesihöyryn kanssa lisäten vedyn tuottoa. Näin syntyneen vedyn räjähtäminen johti reaktorirakennuksen rakenteiden sortumiseen ja syytti reaktorissa olevan grafiitin palamaan.

Onnettomuushetkellä vallinnut säätö- ja polttoaineen ylikuumentumisesta ja grafiittipalosta syntyvä lämpö nosti reaktorista radioaktiivisten aineiden päästöjä hyvin korkealle ja kuljetti sen hyvin laajalle ympäri Eurooppaa.

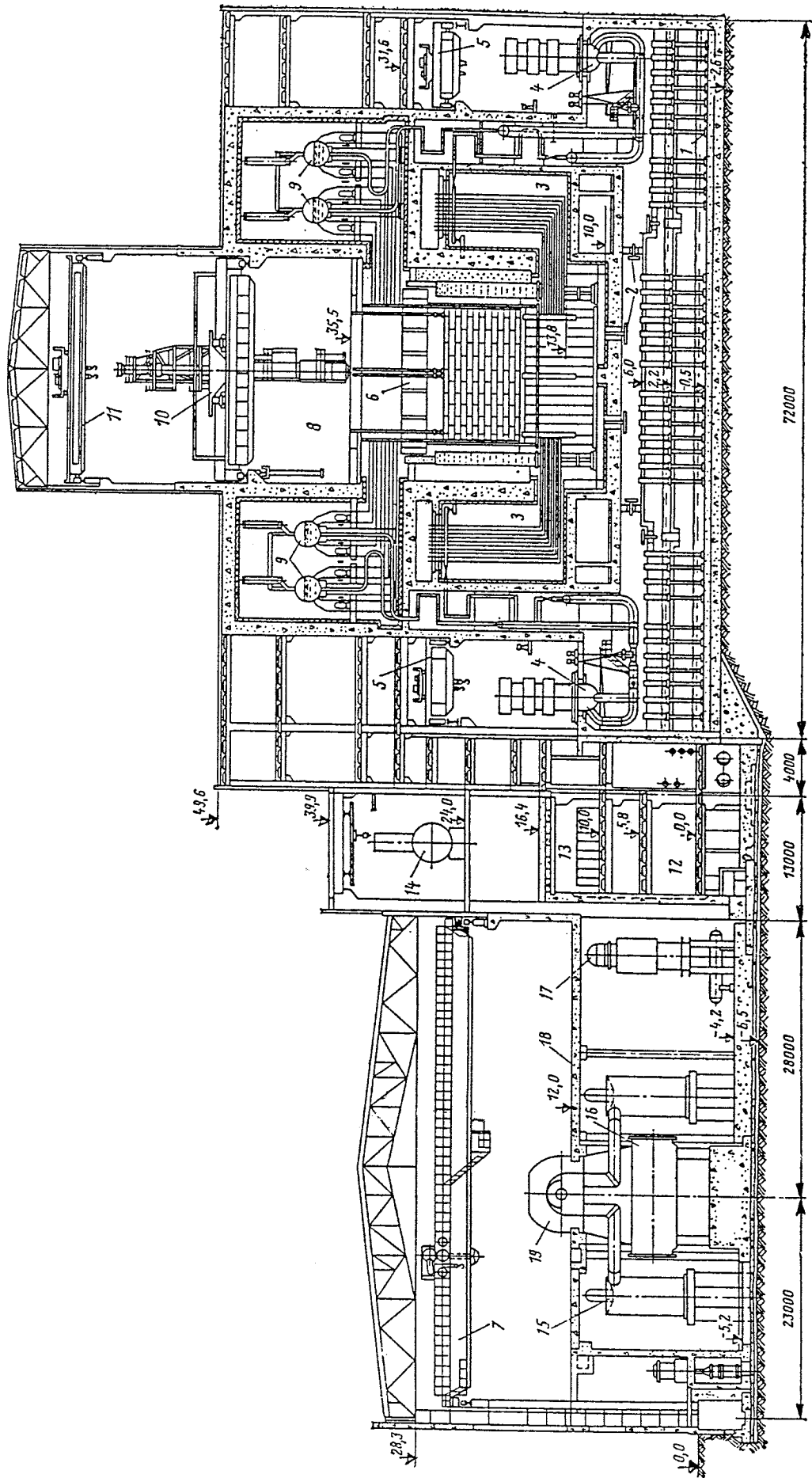
Laitoksen suojarakennuksen sarruttua neuvostoliittolaiset pyrkivät sammuttamaan grafiittipalon ja lopettamaan laitokselta tapahtuvan radioaktiivisten aineiden päästön pudottamalla helikoptereista reaktorin päälle säkkejä, jotka sisälsivät märkää hiekkaa, lyijyä, booria ja savea. Samaan aikaan laitoksen alle kaivettiin tunneli, jonka avulla pystyttiin tyhjentämään suojarakennuksen lauhdutusallas vedestä ja valamaan tilalle betonilaatta.

Tällä toimenpiteellä estettiin sulaneen sydämen tunkeutuminen reaktorirakennuksen pohjalaatan läpi. Tuhoutunutta reaktorisydäntä pyrittiin jäähdyttämään neste-mäisellä tyypellä.

Säteilytasot onnettomuuden alussa olivat laitosalueella hyvin korkeat satoja rem/h. Vielä 6.5. säteilytaso laitosalueella oli 35 rem/h.

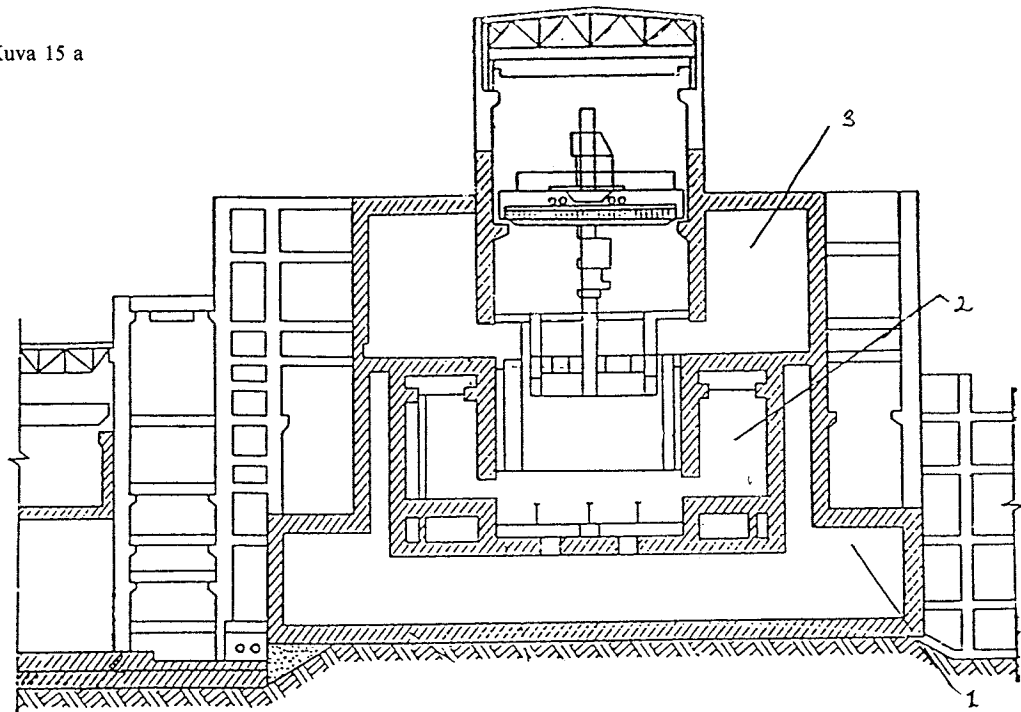
Laitoksen ympärillä (säde 30 km) evakuoitiin kaikki asukkaat. Tämän alueen rajalla säteilytaso (max) onnettomuuden alussa oli 10—15 mrem/h. Toukokuun 5. päivänä se oli laskenut 2—3 mrem/h ja toukokuun 8. päivänä 0.15 mrem/h.

Kun päästöt laitokselta oli saatu loppumaan ryhdyttiin vaurioituneelle reaktorisydämälle rakentamaan jäähdytysjärjestelmää ja valamaan sitä betoniin. □

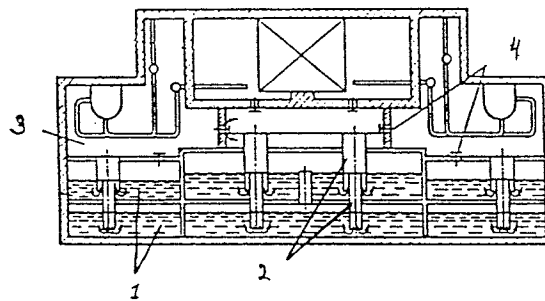


Kuva 14.

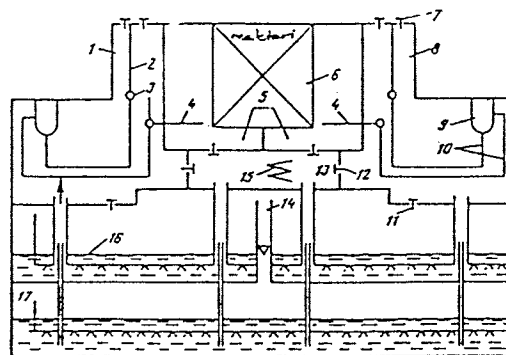
Kuva 15 a



Kuva 15 b



Kuva 15 c



Grafiittireaktorin epäedulliset ominaisuudet ja käyttövirheet syynä Tshernobyl-turmaan

Tshernobylin ydinturmaa käsitellyt kansainvälinen asiantuntijakokous pidettiin Wienissä 25.—29. elokuuta. Kokouksessa todettiin yksimielisesti, että länsimaissa omaksuttujen reaktorin suunnitteluvaatimusten täyttäminen estää fysiikan lakien perusteella räjähdysmäisen tehon nousun, joka aiheutti Tshernobylin reaktorin tuhoutumisen.

Neuvostoliiton ydinteknikot ja tiedemiehet esittelivät kokouksessa raportin, joka sisälsi kaikki olennaiset tiedot tapahtumien kulusta sekä onnettomuuden syistä ja seurauksista. Lisäksi he kertoivat onnettomuuden jälkeen käynnistetyistä teknisistä, lääketieteellisistä ja ympäristö- ja terveysvaikutuksista. Tutkimuksista saadaan entistä tarkempaa tietoa ydinvoiman käyttöön liittyvistä riskeistä ja erityisesti säteilyn aiheuttamista haitoista. Tulosten perusteella kehitetään menetelmiä vastaavien onnettomuuksien estämiseksi ja niiden aiheuttamien haittojen rajoittamiseksi.

Neuvostoliiton edustajien avoin esiintyminen herätti osanottajien keskuudessa luottamusta ja kokouksen anti ylitti useimpien ennako-odotukset. Esitysten jälkeen jätetyissä kirjallisissa kysymyksissä ei asetettu kyseenalaiseksi tietojen oikeellisuutta, vaan haluttiin etupäässä kuulla tarkempia yksityiskohtia, jotka ovat tarpeen tapahtumasta saatujen opetusten täysipainoiseksi hyödyntämiseksi.

Kokouksessa käyty keskustelut johtavat laajentuvaan kansainväliseen yhteistyöhön ydintekniikan ja säteilyyn liittyvän tutkimuksen eri osa-alueilla. Keskusteluita oli myös välitöntä hyötyä Neuvostoliitossa käynnistettyjen tutkimusten tarkentamisessa.

Asiantuntijoiden yksimielisen käsityksen mukaan onnettomuuden teki mahdolliseksi vain reaktorin käyttäytymistä säätelevä epäedullinen ominaisuus: reaktorin

teho pyrkii kasvamaan jäähdytysveden höyrypitoisuuden lisääntyessä. Ellei tehoa pystytä hallitsemaan säätölaitteilla, on seurauksena itseään kiihdyttävä reaktio, jonka seuraukset ovat nyt nähtävissä.

Ennen onnettomuutta oli reaktori useiden yhteensattumien summana saatettu tilaan, jossa sen ohjaaminen säätölaitteilla oli lähes mahdotonta ja teho olisi voinut riistäytyä hallinnasta erilaisten pienten häiriöiden seurauksena. Laitoksen ohjaajat eivät kuitenkaan ymmärtäneet tilanteen vaarallisuutta, vaan päinvastoin kytkivät pois toiminnasta kaikki laitteet, jotka olisivat vielä automaattisesti pysäyttäneet reaktorin toiminnan ennen kuin se oli liian myöhäistä. Näin tehdessään he osoittivat täydellistä piittaamattomuutta säännöistä, jotka oli laadittu reaktorin turvallisuuden takaamiseksi. Neuvostoliittolaiset vertasivat toimia siihen, että lentohenkilöstö avaisi tahallaan ovet 10 km korkeudella lentävässä matkustajakoneessa.

Onnettomuuden välitön syy oli koe, jonka yhteydessä reaktorin jäähdytysvirtaus vähentyi ja höyryn osuus reaktorin jäähdytysvedessä kasvoi kyseisissä olosuhteissa liian nopeasti.

Reaktorin räjähdysmäinen tehonkasvu on aikaisemmin johtanut pienten koereaktoreiden tuhoutumiseen sekä USA:ssa että Kanadassa. Mm. näistä tapahtumista saatujen kokemusten perusteella on länsimaaisille tehoreaktoreille asetettu vaatimus, jonka mukaan reaktorin luontaisten ominaisuuksien pitää vaimentaa kaikkia tehoa lisääviä häiriöitä. Sellaisen vaatimuksen täyttäminen poistaa Tshernobyl-tyyppisen onnettomuuden mahdollisuuden. Onnettomuuden jälkeen on myös Neuvostoliitossa tehty reaktoreiden rakenteeseen muutoksia, joiden ansiosta se täyttää mainitun vaatimuksen ainakin useimmissa tilanteissa. Muutosten jälkeen on kyseisten reaktoreiden taloudellisuus hieman aiempaa huonompi.

Ennen Tshernobylin onnettomuutta reaktori toimi pienellä 7 % teholla. Onnettomuuden alettua teho nousi aluksi täyteen 100 % arvoon parissa sekunnissa ja seuraavan sekunnin kuluessa se vielä satakertaisesti. Polttoaineeseen äkillisesti varastoitunut energia aiheutti siinä sisäisen paineen, joka hajotti polttoaineen pienik-

si muruiksi. Tämä hajoamismekanismi tunnetaan hyvin kokeellisten polttoainetutkimusten perusteella. Jäähdytysveteen sekoittuneet kuumat polttoainemuruset aiheuttivat höyryräjähdysten, jota seurasi mahdollisesti vielä toinen entistä rajumpi ydintehon kasvu. Tämä heitti pois paikaltaan 1000 tonnin painoisen reaktorin suo- jakannen ja katkaisi kaikki 1700 jäähdytyskanavaa kannen molemmilta puolilta. Muutamaa sekuntia myöhemmin kuultiin toinen räjähdys, joka sinkosi avomeksi jääneen reaktorin osia ympäristöön ja hajotti laajalti voimalaitoksen rakenteita. Tällä hetkellä ei vielä tiedetä, aiheuttiko toisen kuullun räjähdysten reaktorissa syntynyt vety vai oliko ydinreaktioilla vielä siinä vaiheessa osuutta tapahtumiin.

Räjähdyksen syyttämät tulipalot laitoksen eri osissa saatiin sammumaan runsaan kolmen tunnin kuluttua. Tämän jälkeen jatkui itse reaktorissa olleen grafiittin tulipalo vielä lähes viikon ajan. Grafiittipalo tukahtui sen jälkeen, kun reaktorin jäännösten päälle oli pudotettu noin 5000 tonnia lyijyä ja hiekkaa.

Radioaktiivisten aineiden päästöt jatkuivat suurina 10 päivän ajan. Ympäristöön levinneistä aineista noin neljännes karkasi ensimmäisenä päivänä. Sen jälkeen päästöjä saatiin vähitellen rajoitettua niillä aineilla, joita reaktorin jäänteiden päälle pudotettiin. Kuudentena päivänä oli näitä massoja kuitenkin kerääntynyt niin paljon, että ilman kierto reaktorin jäänteiden ympärillä väheni ja reaktori alkoi uudelleen lämmitä radioaktiivisessa hajoamisessa syntyvän lämmön vaikutuksesta. Lämpötilan kasvu kiihdytti päästöjä uudelleen ja tilanne saatiin hallintaan vasta neljä päivää myöhemmin, kun tehokas kylmän typpikaasun syöttö vaurioituneiden jäähdytysputkien kautta reaktoritilaan saatiin toimimaan. Päivittäiset päästöt vähenivät nopeasti noin miljoonasosaan onnettomuutta seuranneiden päivien päästöistä. Päästöt jatkuvat tällä vähäisellä tasolla edelleen, koska reaktorin jäänteistä osa on pölymäisessä muodossa ja tuuli levittää tätä pölyä. Päästöt loppuvat vasta sitten, kun vaurioitunut reaktori on ympäröity kaasutiiviillä hautakammioilla. Hautakammion rakentaminen on korkean säteilyn vuoksi vaativa tehtävä ja sen valmistusajan- kohtaa on vaikea tässä vaiheessa ennakoita.

Suomeen tulleet päästöt lähtivät Tshernobylistä runsaan vuorokauden kuluessa onnettomuuden alkamisesta lukien. Grafiittipalon aikana vallinneet olosuhteet nostivat radioaktiiviset aineet yli kilometrin korkeuteen ja onnettomuusalueelta kyseisenä päivänä lähteneet ilmapassat kulkivat Skandinavian suuntaan. Palon sammumisen jälkeen tapahtuneet päästöt eivät enää nousseet korkeuksiin, vaan saastuttivat etupäässä laitoksen lähiympäristöä. Kaikista päästöistä noin puolet jäi 30 km säteelle laitoksesta ja toinen puoli kulkeutui kauemmaksi.

Onnettomuuden myöhäisvaikutuksia voidaan ennustaa arvioimalla koko väestön saama yhteenlaskettu säteilyannos. Neuvostoliittolaisten raportissa väestöannos on arvioitu yksinkertaisella tavalla, jonka voi otaksua antavan todellista suuremman tuloksen. Lähtökohtana on oletettu, että kaikki päästöt laskeutuvat laitoksen ympärille noin kolme kertaa Suomen kokoiselle alueella ja että tällä alueella tuotettu ruoka käytetään ilman mitään rajoituksia. Ruuan teoreettinen saastumisaste on määritetty ydinasekoekiden jälkeen tehtyjen havaintojen perusteella. Koska teoreettisella laskeuma-alueella tuotetaan ruoka lähes joka kolmannelle Neuvostoliiton asukkaalle, päädytään arvioissa hy-

vin huomattavaan väestöannokseen. Käytännön mittaustulokset laskeuman suuruudesta maatalousalueilla viittaavat kuitenkin siihen, että todellinen lopputulos saattaa olla vain kymmenesosa ensimmäisestä arviosta. Tarkemman tiedon saaminen vaatii laajan mittausohjelman ja tuloksia saataneen vasta parin vuoden kuluttua.

Tshernobylin alueelta evakuoitujen ihmisten paluumuuton ajankohta on vielä epävarma. Ennen muuttolupaa halutaan ehdottomasti saada valmiiksi onnettomuusreaktorin lopullinen hautakammio. Toiseksi halutaan odottaa niin kauan, että laitoksen ympäristöön tullut laskeuma asettuu paikoilleen eikä enää kulje tuulten ja sateiden mukana. Tämä vienee joi-takin vuosia. Alueen puhdistus tilanteen vakiinnuttua on todettu mahdolliseksi menetelmin, jotka on jo käytännössä kokeiltu.

Tshernobylin alueella parhaillaan kasvava sato on tarkoitus korjata ja maatalous-tuotantoa tullaan harjoittamaan myös jatkossa. Tuotteita ei käytetä sellaisenaan ravinnoksi, vaan niistä saadaan esim. siementä muille alueille ja raaka-ainetta teollisuudelle, jonka prosesseissa radioaktiiviset aineet voidaan poistaa.

Tshernobylin voimalaitoksen 1. ja 2. yksikkö ovat käynnistysvalmiit ja niitä voitaisiin käyttää ylittämättä tavanomaisia henkilökunnan säteilyannosrajoja. Käynnistystä kuitenkin lykättäneen kunnes ha-jonneen 4. yksikön hautakammio on valmis. 3. yksikkö oli rakennettu yhteen 4. yksikön kanssa, joten sen kunnostus etenee samaan aikaan hautakammion rakentamisen kanssa.

Suomalaisissa ydinvoimalaitoksissa ei ole toistaiseksi todettu sellaisia puutteita, jotka pitäisi korjata Tshernobylin antamien opetusten perusteella. Syksyn kuluessa on kuitenkin suunniteltu tehtävän tarkistuksia, joissa eräät asiat käydään läpi aiempaa huolellisemmin. Tarkistukset koskevat ensinnäkin reaktorin ominaisuuksia ja turvalaitteiden tehokkuutta tilanteissa, joissa reaktori toimii pienellä teholla tai on juuri käynnistys- tai pysäytysvaiheessa. Toiseksi tarkistetaan määräykset, jotka koskevat työmenetelmiä tavanomaisista poikkeavissa käyttötilanteissa. Kolmanneksi varmistetaan, etteivät laitoksen käyttäjät voi tahallisesti kytkeä pois toiminnasta turvallisuutta valvovia automaattisia järjestelmiä ilman, että kytkentä johtaa reaktorin toiminnan nopeaan pysähtymiseen. □

Anna Liisa Savolainen ja Göran Nordlund/Ilmatieteen laitos 17.9.1986

Radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen Tshernobylistä

Neuvostoliitosta saatiin vahvistus Tshernobylin ydinvoimalaitoksessa tapahtuneelle onnettomuudelle vasta noin kaksi ja puoli vuorokautta onnettomuuden alkuketken jälkeen.

Ennustus- ja varoitusluonteisiin toimenpiteisiin ei ehditty laisinkaan ennen radioaktiivisten aineiden saapumista maamme ilmakehään.

Useimmissa Euroopan maissa käynnistettiin kaukokulkeutumista kuvaavien trajektoreiden (ilmahiukkasten ratakäyrien) laskelmat heti, kun onnettomuudesta saatiin tieto, mutta pitoisuuksien, laskeuman ja annosten laskelmia on saatu vasta kesäkuun puolella (Hollannista, Englannista ja USA:sta). Missään pohjoismaassa ei

ollut tähän tilanteeseen käyttöön sopivaa mallia, jolla olisi voitu tehdä alueelliset pitoisuus-, laskeuma-, ja annoslaskelmat. Onnettomuuden suuruuteen perustuvia arvioita tehtiin kuitenkin 1.5. IL:n ja VTT:n yhteistyössä kehittämällä trajektoriannoslaskentamallilla.

Eri maiden trajektoritulokset ovat periaatteessa yhtenevät. Eroja esiintyi lähinnä mallien laskentakorkeuden valinnoissa ja siinä, että kukin maa joutui aluksi keskittymään kulkeutumistarkasteluihin oman maansa kannalta.

Suomessa, ajalta 26.4.—18.5.1986, laske-tut trajektorit on esitetty Ilmatieteen laitoksen julkaisussa ”Radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuuden aikana” (n:o 1986:1 suomeksi, n:o 1986:2 englanniksi).

Reaktorissa tapahtuneen räjähdysen aikaiseksi päästöjen lämpötilaksi on ilmoitettu noin 1500°C (IAEA Working Document for the Post-Accident Review

Meeting 25—29 August 1986, Vienna). Suuren lämpötehonsa ja heikkotuulisen, stabiilin säätilanteen vuoksi päästöt nousivat havaintojen mukaan jopa noin 1200 metrin korkeuteen, todennäköisesti osa vielä korkeammallekin, ja kulkeutivat ylempien ilmavirtausten mukana noin 8—11 m/s nopeudella kohti Skandinavi-aa. Kaukokulkeutumista parhaiten kuvaavan 850 mb vakiopainepinnan analyysistä (noin 1500 m korkeudelta) lasketut trajektorit vastaavat hyvin maahamme kulkeutuneita radioaktiivisia aineita. Maamme ilmakehässä 29.4. tehtyjen lentokonemittausten perusteella radioaktiivisen päästöpilvi oli voimakkain 1000—2000 metrin korkeudella, ja radioaktiivisia aineita oli vielä noin 3000 metrin korkeudella.

Päästöjen lämpötilan laskettua noin tunnin kuluttua 600°C:een radioaktiivisia aineita on joutunut myös maanpinnan läheisiin kerroksiin (200—400 m). Päästökorkeuden laskiessa kulkeutumisetäisyydet kuitenkin pienenevät.

Kuvassa 1 ja 2 on esitetty Ilmatieteen laitoksen (IL) lasketut 850 mb vakiopainepinnan (noin 1500 m korkeudelta) trajektorit (6 tunnin välein), jotka vastaavat onnettomuuspäivinä 26. ja 27.4. ilmakehään joutuneiden päästöjen kulkeutumiskehityksiä. Kuvassa 1 on esitetty myös Ruotsin ja Norjan ilmatieteellisissä laitoksissa (SMHI ja DNMI) lasketut 925 mb pinnan (noin 750 m korkeudelta) trajektorit (lähtöaika 26.4. klo 03 Suomen aikaa). 925 mb pinnan trajektorit osoittavat, että päästöpilven tämä osa kulkeutui pääasiassa kohti Ruotsia (Upplandin alue) ja Norjaa ja korkeintaan aivan lounaisrannikolle Suomen ilmakehään.

Onnettomuuden alkuhetkellä oli Tshernobylin alueella inversiokerros noin 400 m korkeudella. Tällä perusteella on arvioitu, että osa päästöstä kulkeutui alkuvaiheessa inversion alapuolisessa ilmakerroksessa. Myöhemmin kulkeutumismatkaalla noin 50—700 m ilmakerroksessa esiintyi suurempia tuulennopeuksia (12—17 m/s) kuin tämän kerroksen yläpuolella tai aivan maanpinnan läheisessä kerroksessa. Tämä osa päästöstä kulkeutui Tshernobylin alueelta Koillis-Puolan ja Etelä-Ruotsin yli kohti Tanskaa.

Jälkikäteen on voitu rekisteröinnistä todeta säteilytason nousun alkaneen seuraavasti:

TANSKA

Risø

27.4. 12.00 LT (LT = paikallinen aika)

RUOTSI

Studsvik

27.4. 14.00 LT

Forsmark

28.4. aamulla

SUOMI

Nurmijärvi

27.4. 15.20 LT (hälytystaso 15.50 LT)

Maarianhamina

27.4. 19.50 LT (hälytyst. 28.4. 16.50 LT)

Kajaani

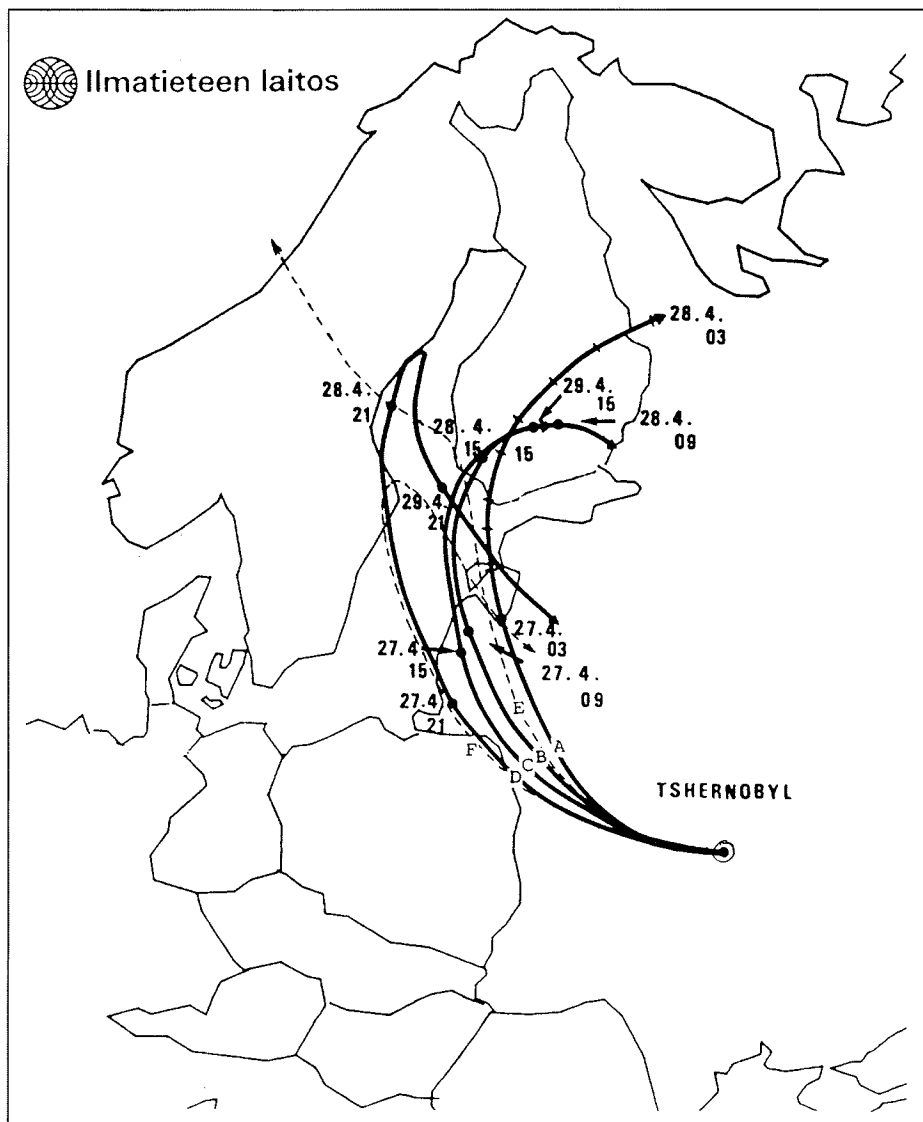
27.4. 20.40 LT

Helsinki

28.4. 03.00 LT (hälytyst. 20.00 LT)

Ominaista alkuvaiheen tilanteelle oli, että maanpinnan läheisessä ilmakerroksessa oli hyvin vähän radioaktiivisia aineita. Vasta sateiden myötä ylimmistä ilmakerroksista maanpintaan tulleet radioaktiiviset aineet nostivat säteilytasoja niin paljon, että niitä voitiin yleisemminkin havaita.

Sunnuntaina saatiin sadetta paikoin Keski- ja Pohjois-Suomessa, (esim. Kajaaniassa), mutta laajemmat sateet esiintyivät vasta 28.—30.4. päivien aikana. Sade alkoi lounaisrannikolta (Uudenkaupungin alue) ja siirtyi kohti kaakkoa. Sateet olivat osittain kuuroluonteisia ja paikoin esiintyi jopa ukkosta (lähellä Hämeenlinnaa), jolloin pilven korkeus saattaa olla 5—10 km. Pikkopilvi voi siten kerätä radioaktiivisia aineita huomattavan laajalta alueelta ilmakehästä. Tämän lehden toisessa artikkelissa ”Analyysi sademäärästä



Kuva 1. Trajektorit (850 mb ja 925) Tshernobylistä lähtien 26.4.1986:

Trajektori	Lähtöaika Tshernobylistä
A 850 mb/IL	26.4.1986 klo 03 Suomen aikaa
B ” ”	” ” 09 ”
C ” ”	” ” 15 ”
D ” ”	” ” 21 ”
E 925 mb/DNMI	” ” 03 ”
F ” mb/SMHI	” ” 03 ”

Suomessa Tshernobylin onnettomuuden jälkeiseltä ajalta” on Reijo Solantie esittänyt sademäärät analysoituna ajalle 27.—30.4.1986.

Keski-Ruotsissa syntyi yhtenäisen sadealue hieman aikaisemmin 27.—29.4. mikä selittää siellä todetut suuremmat säteilyarvot ja radioaktiivisuuden nousun ruohossa, maidossa, poroissa jne. Ruotsissa, jossa kulki saastuneen ja puhtaan ilmassan raja, tehtiin myös se mielenkiintoinen havainto, että sateen radioaktiivisuus vaihteli huomattavasti jopa lähellä toisiaan olevissa paikoissa. Kaikki Tshernobylin onnettomuuden aikainen sade ei siis suinkaan ollut radioaktiivista, vaan ainoastaan se sade, joka muodostui saastuneessa ilmassassa.

Myöhemmin 10.—12.5. Suomeen saapuneet ilmassat olivat uudelleen peräisin Tshernobylin alueelta. Nämä ilmassat vastasivat 7.—8.5. onnettomuusalueelta

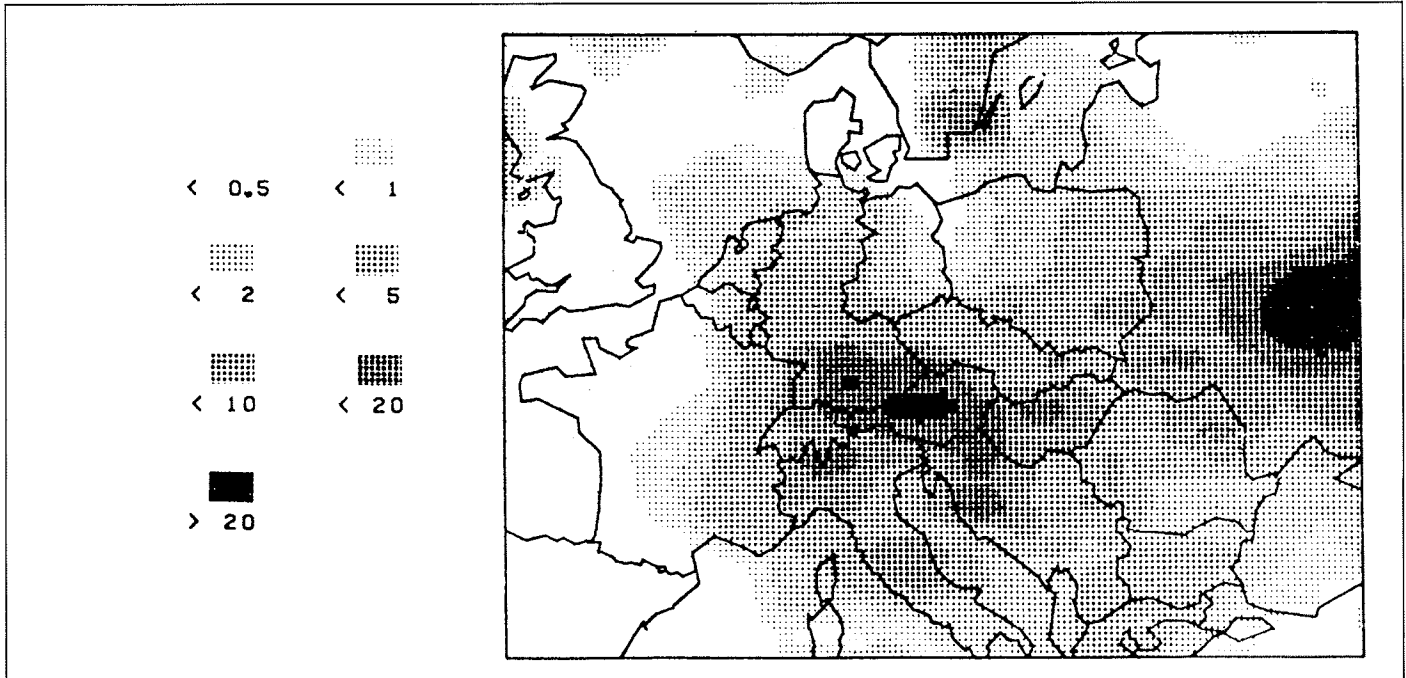
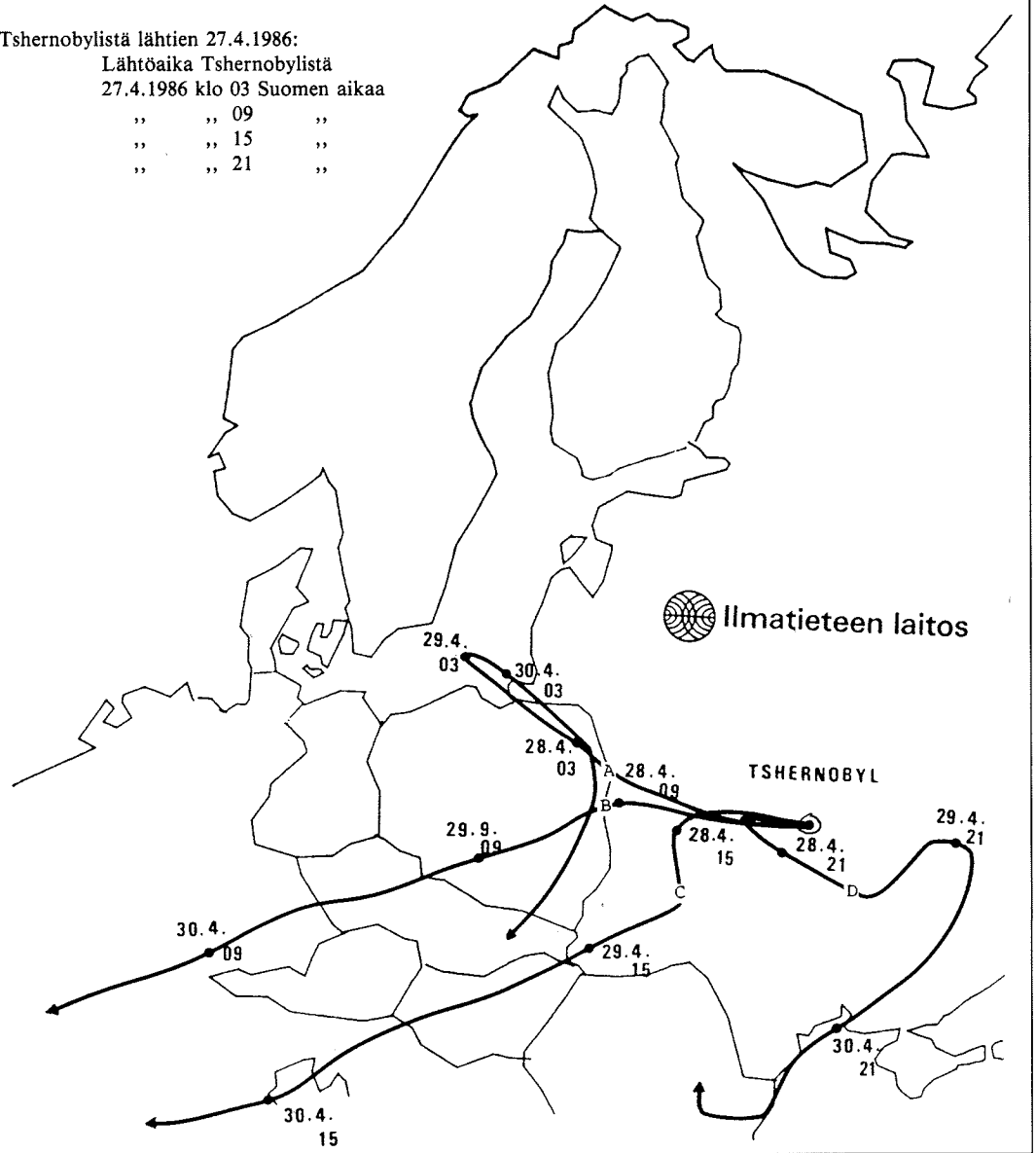
lähteneitä päästöjä. Samanaikaisesti päästömäärät olivat myös uudelleen kohonneet ja niiden maksimilämpötilaksi on ilmoitettu noin 1800°C. Tämä selostaa maassamme tuolloin mitatut kohonneet laskeuma-arvot.

Onnettomuuden aikana Neuvostoliiton ulkopuolella saatiin todennäköisesti eniten laskeumaa Keski-Ruotsiin, Tukholman pohjoispuolelle ja Jämtlandiin. Melkein yhtä paljon laskeumaa tuli Itävallan ja Saksan Liittotasavallan raja-alueille sekä Pohjois-Italiaan Alppien etelärinteille.

Oheiseen karttaan (kuva 3) on merkitty laskeuman alueellinen jakauma 26.4.—6.5. Laskelmat on tehty Hollannissa melko kehittyneellä laskentamallilla. Lasketut tulokset ovat myös hyvässä sopusoinnussa mittausten kanssa. Vaikka laskelmat on tehty Cesiumille Cs¹³⁷, pätee suurin piirtein sama laskeumajakauma myös muille isotoopeille. □

Kuva 2. Trajektorit (850 mb) Tshernobylistä lähtien 27.4.1986:
 Trajektori
 A 850 mb/IL
 B ” ”
 C ” ”
 D ” ”

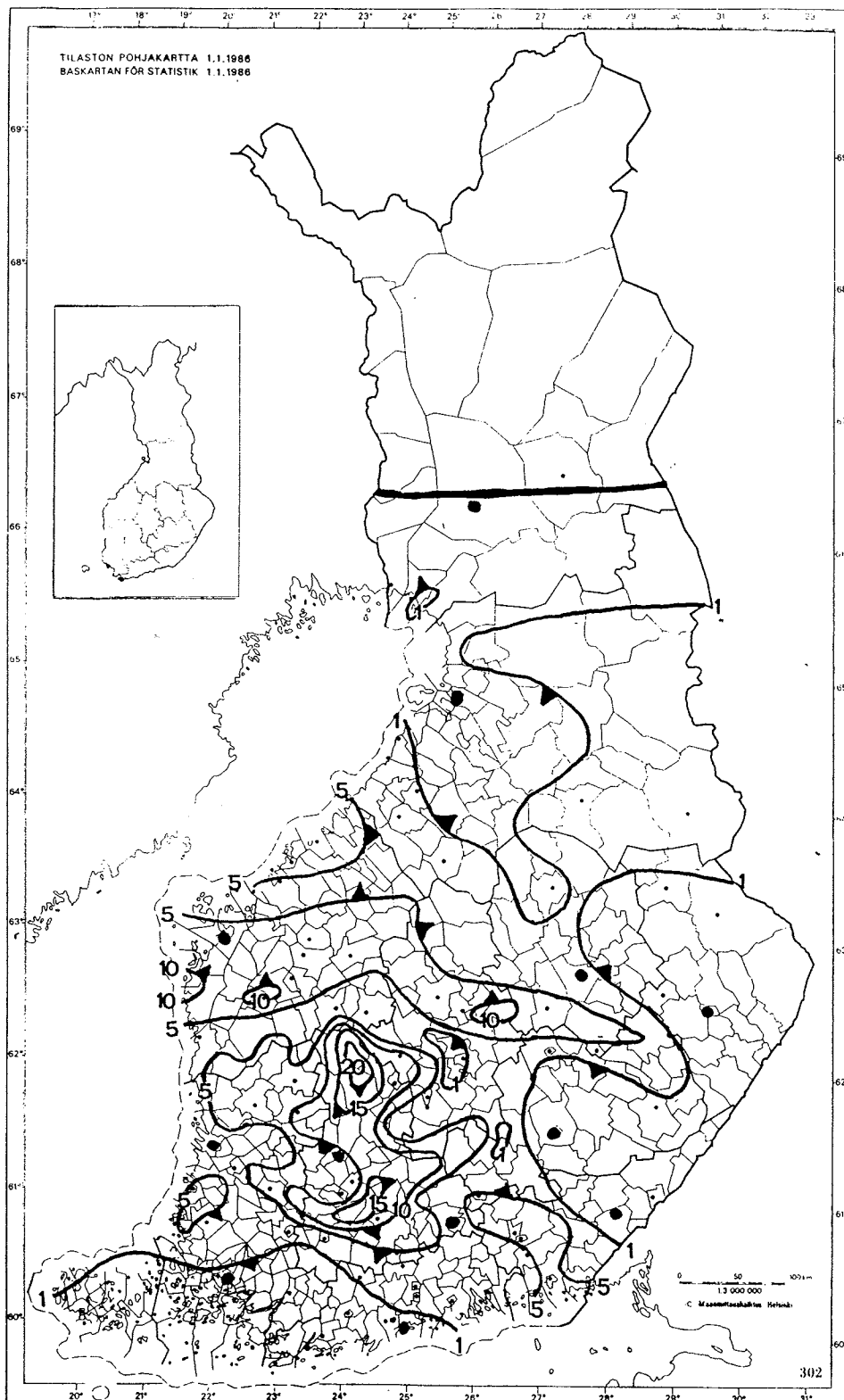
Lähtöaika Tshernobylistä
 27.4.1986 klo 03 Suomen aikaa
 ” ” 09 ” ”
 ” ” 15 ” ”
 ” ” 21 ” ”



Kuva 3. 6.5. saakka akkumuloitu Cs¹³⁷-laskeuma (kBq/m³) Euroopan alueella laskettuna Hollannissa kehitetyllä GRID-mallilla (WHO, Working Group Summary Report 25—27 June 1986, Bilthoven).

Analyysi sademäärästä Suomessa Tshernobylin onnettomuuden jälkeiseltä ajalta

Ohessa on kuntakarttapohjainen analyysi sademäärästä (mm) Suomessa ajalta 27.4. klo 8 — 1.5. klo 8 1986 napapiiriin asti pohjoisessa eli ajalta ja alueelta, joka on Tshernobylin laskeuman kannalta ole-naisiin. Olen laatinut kartan ilmatieteen laitoksen kaikkien sadeasemien mittaustu-loksia käyttäen, jolloin olen päässyt alu-eellisten piirteiden esittämisessä kunta-kohtaiseen tarkkuuteen. Tämä pieni sade-määräartikkeli liittyy aiheeltaan toiseen tämän numeron kirjoitukseen, jossa Anna-Liisa Savolainen ja Göran Nord-lund tarkastelevat radioaktiivisten ainei-den kulkeutumista Tshernobylistä. □



Kuva. Sademäärä (mm) napapiirin eteläpuolella Suomessa 27.4. klo 8 — 1.5. klo 8 1986 (mm)

Tshernobylin onnettomuuden jälkeinen säteilytilanne Suomessa ja eräissä Euroopan maissa

Tshernobylin onnettomuuden seurauksena Suomeen muodostui radioaktiivisen laskeuman alue, joka pääosiltaan ulottuu etelärannikolta linjalle Kokkola—Kajaani. Maahan tullut radioaktiivisten aineiden määrä ylittää paikoin moninkertaisesti sen mikä 1950- ja 1960-luvuilla suoritettujen ydinkokeiden seurauksena yhteensä tuli Suomen maaperälle.

Radioaktiivisten aineiden arvioitu kulkeutumisreitti onnettomuuden alkutilanteessa ilmenee kuvasta 1. Radioaktiivinen pilvi tuli Suomen yläpuolelle lähes salaa sunnuntaina 27.4. ja pysytteli vielä maanantaina 28.4. pääasiallisesti noin 1,5 km:n korkeudella. Koko laskeumatilanne olisi jäänyt paljon lievemmäksi ellei tiistaina 29.4. olisi satanut. Nyt kuurottaiset sateet saivat aikaan varsin epätasaisen laskeuman, jonka alueellisten ja paikallisten vaihtelujen selvittäminen säteilymittausten avulla on ollut vaativaa ja hankalaa. Sisäasiainministeriön ja puolustusvoimien valtakunnallisen säteilyvalvontaverkon kaikki noin 300 asemaa mittasivat toukokuun alussa päivittäin ulkoisen säteilyn voimakkuutta. Eräillä asemilla rekisteröitiin lukema tunnin välein. Tulosten käsittelyssä on voitu käyttää apuna Valtion tietokonekeskuksessa kehitettyä kriisiajan säteilyvalvonnan tietojärjestelmää. Nopean modifioinnin jälkeen saatiin tässäkin tilanteessa mittaustulosten tasa-arvokäyrien piirroksia. Kuva 2 esittää säteilytilanteen sellaisena kuin tietokone sen näki lauantaina 3.5. mittausten perusteella.

Kiinteiden säteilyvalvonta-asemien lukumäärä ei kuitenkaan ole riittävä paikallisten vaihtelujen selvittämiseen. Vaikka tiedettiin, että säteilyn voimakkuuden vaihtelut riippuivat tässä tapauksessa melko suoraan sadeolosuhteista, niin riittävän yksityiskohtaisia sadantatietoja ei liioin ollut saatavana. Mainittakoon, että Helsingin Yliopiston meteorologian laitoksen säätutka osoittautui mielenkiintoiseksi ja tulevaisuuden kannalta lupaavaksi apuvälineeksi laskeuma-alueiden selvittämisessä.

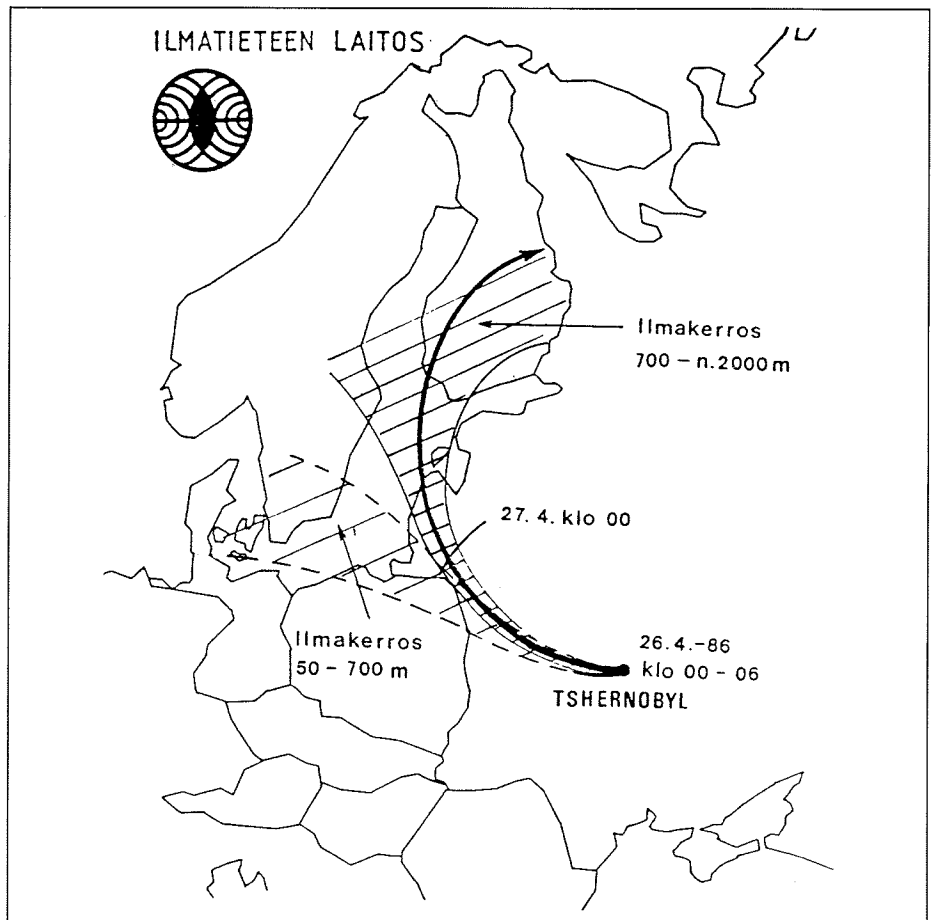
Päästön koostumus

Tshernobylin päästö oli hyvin suuri. Ensimmäisten arvioiden mukaan noin 20 % tärkeimpien nuklidiryhmien inventaarista on saattanut vapautua ilmaan. Tällaisten "hypoteettisten" vapautumisosuuksien toteuttaminen yllätti onnettomuusskenaarioiden ja riskitutkimusten parissa työskennelleetkin. Toinen yllätys oli se, että reaktorionnettomuuden päästöpilvi voi kulkeutua yli 1000 km etäisyydelle, mikä oletettavasti johtui grafiittipalon aiheuttamista voimakkaista kaasuvirtauksista, jotka nostivat päästöpilven 1–2 km:n korkeuteen. Yllätyksistä puhuttaessa tähän on vielä lisättävä, että kun mittaushavainnot alkoi virrata viranomaisille Suomessa

ja Ruotsissa maanantaipäivän aikana ei ollut vielä levinnyt maailmalle mitään tietoa kaksi päivää aikaisemmin tapahtuneesta katastrofista.

On oletettavaa, että jalokaasuinventari vapautui ilmaan kokonaisuudessaan. Onnettomuuden erityispiirteistä johtuen jalokaasuilla ei kuitenkaan ollut merkittävää osuutta säteilytilanteeseen, koska ne ilmeisesti pysyivät 1–2 km:n korkeudella. Tosin valmius jalokaasujen mittaamiseen ympäristössä on heikko niin meillä kuin muuallakin.

Maahan tulleen radioaktiivisen laskeuman koostumus mitataan analysoimalla ilma-



Kuva 1. kaaviokuva radioaktiivisten aineiden kulkeutumisesta Tshernobylistä onnettomuuden alkutilanteessa 26.4.1986 klo 00–06 Suomen aikaa (21–03 GMT).

ja sadevesinäytteitä sekä suorilla gamma-spektrometrisillä kenttämittauksilla. Yhdistämällä nuklidikoostumustiedot säteilyvalvonta-asemien mittauksista saattuihin säteilytilannekarttoihin on Säteilyturvakeskuksessa voitu tehdä karkea arvio maahan tulleesta kokonaislaskeumasta Suomessa. Seuraavassa taulukossa on verrattu näitä konoismääriä RBMK-reaktorin inventaariin, joka on laskettu VTT:llä käyttäen ORIGEN 2 ohjelmaa.

	Kokonais- määrä (TBq)	Osuus inventaa- rista (%)
Zr-95 + Nb-95	700	0.007
Ru-103	750	0.02
I-131	17000	0.67
Te-132 + I-132	7300	0.12
I-133	3900	0.29
Ba-140 + La-140	1100	0.01
Cs-134	1100	0.58
Cs-137	1900	0.85
Np-239	930	0.003

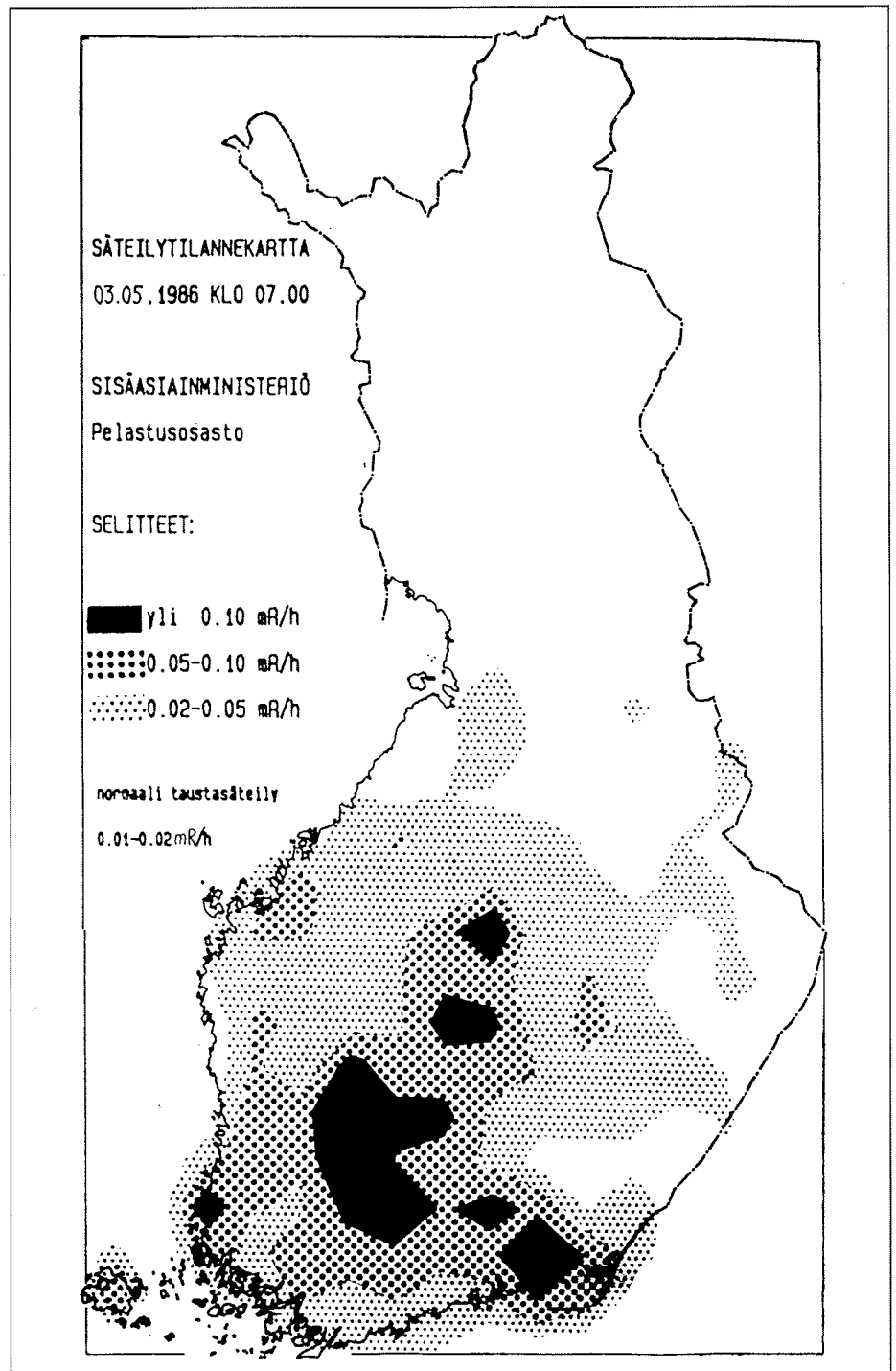
Merkittävimpien nuklidien, kuten jodin ja cesiumin isotooppien, osalta näyttää vajaa prosentti reaktorin sydämen inventaarista tulleen Suomeen. Oman osansa ovat saaneet myös merialueet.

Ulkoisen säteilytilanne

Ulkoisen säteilyn taso laskeuma-alueella nousi korkeimmillaan paikoin 0,5 milliröntgeniin tunnissa, eli 30–50 kertaiseksi verrattuna normaaliin taustasäteilyn tasoon, joka Suomessa on 0,01–0,02 mR/h. Pian ensimmäisten sateiden jälkeen ilma puhdistui, eivätkä myöhemmät sateet enää tuoneet kuin pieniä lisämääriä radioaktiivisia aineita maahan. Aluksi ulkoisen säteilyn voimakkuus väheni puoleen noin kuudessa päivässä. Nyt, jodiisotooppien kuoltua pois, määräävät cesium 134 ja cesium 137 ulkoisen säteilyn annosnopeuden, ja se tulee voimakkaan laskeuman alueilla säilymään vielä pitkään mitattavasti korkeampana kuin ennen Tšernobyliä. Parhaiten kehitystä voidaan seurata niillä säteilyvalvontaverkon asemilla, joilla on säteilymittariin liitetty digitaalinen pulssilaskuri. Esimerkkinä on kuvassa 3 Pieksämäen aseman mittaustulokset.

Tilanne ei missään vaiheessa antanut säteilysuojeluviranomaisille aiheutta harkittava varsinaisia suojelutoimenpiteitä kuten suojautumista sisätiloihin tai väestönsuojiiin. Äkillisessä säteilyvaaratilanteessa on viranomaisten ohjeiden mukaan varoitettava väestöä jos varoitusraja 20 mR/h ylittetään ja hälytettävä väestö välitöntä suojausta varten jos mitataan hälytysrajan 200 mR/h ylittäviä säteilytysnopeuksia. Varoitusraja on nyt sattuneen tapauksen tapaisia tilanteita ajatellen korkeahko.

Turhan säteilyannoksen välttämiseksi saattavat rajoitetut suojelutoimenpiteet hyvinkin olla tarpeen jo pienemmällä säteilyn voimakkuuksilla. Tällaiset toimenpiteet riippuvat kuitenkin siinä määrin olosuhteista, että toimenpidetasoja on syytä asettaa kussakin tilanteessa erikseen. Tulevaisuudessa onkin tiedottaminen väestölle järjestettävä tehokkaasti myös ti-



Kuva 2. Suomen säteilytilanne 3.5.1986 klo 7.00.

lanteessa joka ei edellytä varsinaisia väestönsuojelutoimenpiteitä mutta kuitenkin suositusluonteisia varoituksia väestön keskuudessa.

Viranomaissuosituksen

Tšernobylin tilanteessa voidaan sanoa, että kaikki säteilyturvakeskuksen suositukset ja niiden perusteella tehdyt viranomaispäätökset ovat tähänneet sisäisen säteilyn annoksen vähentämiseen. Ensimmäiset suositukset koskivat sadeveden käytön välttämistä koti- ja karjatalouksissa. Sen jälkeen jodi 131 maidossa nousi pian tärkeimmäksi valvontakohteeksi. Maidon kulutusrajoituksille päätettiin soveltaa kansainvälisiin suosituksiin perustuva toimenpidetaso 2000 Bq/l.

Alussa, kun lehmät eivät olleet laitumella, maito saastui ensisijaisesti radioaktiivisen pölyn saastuttaman rehun kautta, sekä vähemmässä määrin myös lehmän hengittämästä jodista. Toukokuun alkupuolella saavutetun huipun aikana korkein jodi 131 pitoisuus laskeuma-alueella oli keskimäärin 60 Bq/l — tilakohtaisissa näytteissä mitattiin pari sataa Bq/l.

Maa- ja metsätalousministeriön päätettyä siirtää laiduntamisen aloittamisen toukokuun 26 päivään jäi aikaa tilanteen kartoittamiseen. Koelehmien laiduntamiskoikeita tehtiin Jokioisten ja Viikin koeasemilla. Kuvassa 4 on esitetty koelehmien maidon aktiivisuus toukokuun puolivälissä ja samassa kuvassa ennuste tilanteesta

sä ja samassa kuvassa ennuste tilanteesta jos samat lehmät olisi laskettu laitumelle vasta 26. toukokuuta. Ennuste, yhdessä laidunruohon mittausten kanssa, antoivat aiheen odottaa, että toimenpidetason ylityksistä vältyttäisiin.

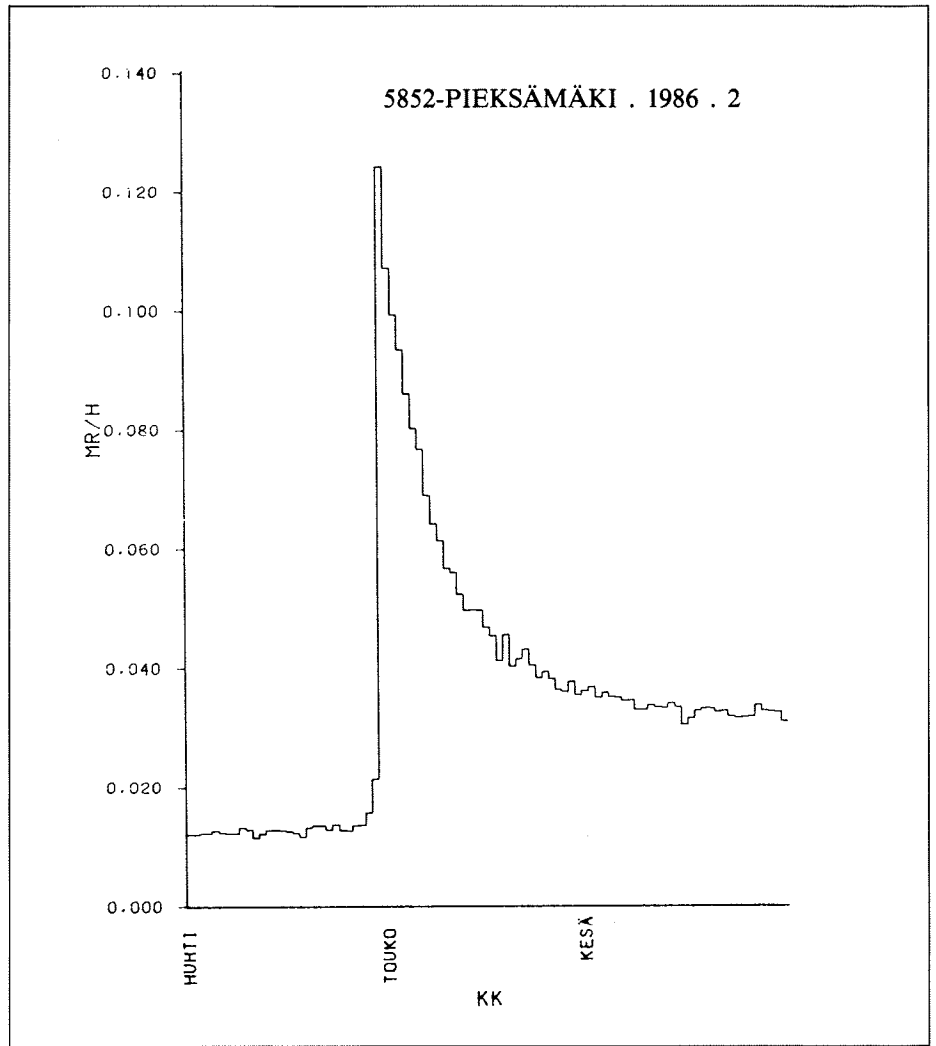
Kuvassa 5 on esitetty laskeuma-alueen maidon radioaktiivisuuden tähänastinen kehitys. Laidunkauden päästyä alkuun jodi 131 pitoisuudet nousivat, mutta jäivät pienemmiksi kuin ensimmäisen huipun aikana. Cesium 137 pitoisuudet nousivat uusiin huippuarvoihin, mutta pitoisuudet jäivät odotettua pienemmiksi ja kääntyivät heinäkuussa laskuun. Tilanteen jälki-analyysi tulee varmasti antamaan runsaasti arvokasta tietoa radionuklidien kulkeutumisesta ja siirtokertoimista Suomen olosuhteissa.

Maidon ohella alkuajan valvonnassa kiinnitettiin huomiota lehtivihanneksiin ja luonnontuotteisiin kuten nokkosiin ja korvasieniin, jotka olivat alttiina suoralla saastumiselle. On selvää, että jos sama laskeuma olisi saapunut Suomeen kesällä, niin käyttörajoituksia olisi ollut pakko asettaa. Maidon osalta tarvittavat ilmeisen laajat toimenpiteet olisivat aiheuttaneet varsin vaikean tilanteen.

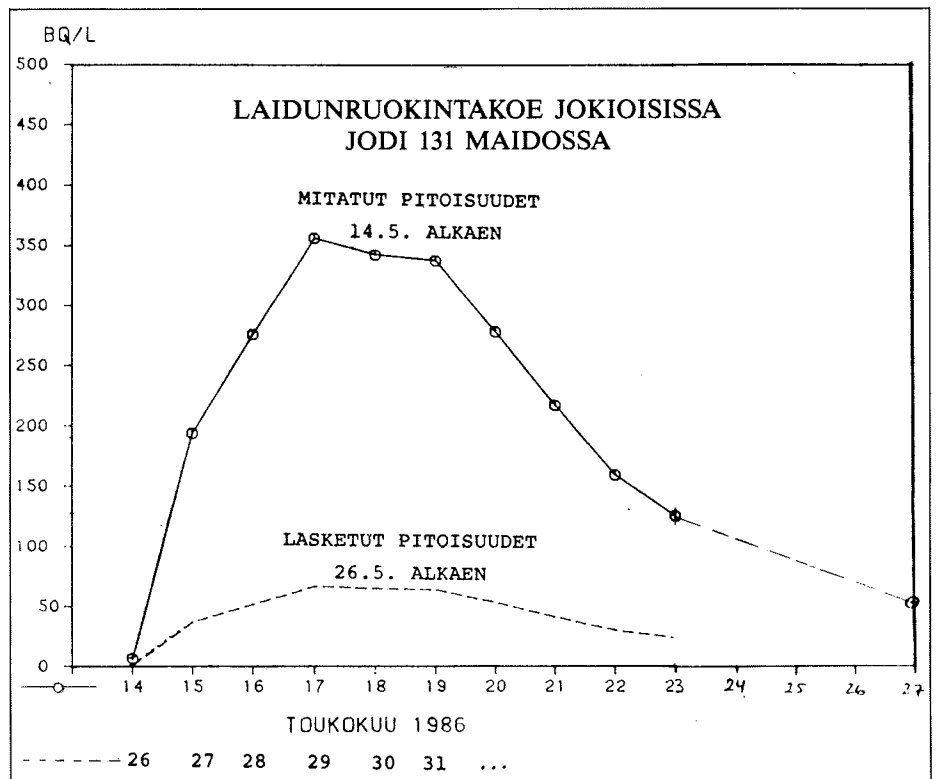
Alkuajan jälkeen elintarvikkeiden valvonnassa ovat maidon ohella tärkeiksi kohteiksi tulleet liha ja kala. Tärkein valvottava nukliidi on cesium 137, jolle on asetettu toimenpidetaso 1000 Bq/l maidossa ja 1000 Bq/kg naudan- ja sianlihassa. Viljasatoa valvotaan myös, mutta sen radioaktiivisuudesta ei odoteta tulevan ongelmia. Yleensä elintarvikkeiden radioaktiivisuusvalvonnassa on tarpeen asettaa rajoja vain sellaisille tuotteille, jotka muodostavat merkittävän osan väestön ruokavaliosta.

Eräitä erityistapauksia ovat hirven- ja poronliha. Hirvenlihan cesiumpitoisuuksia on seurattu mittaamalla kolarihirvistä saatuja näytteitä. Cesiumpitoisuudet olivat loppukesästä selvästi alhaisempia kuin toukokuussa, ja jäänevät metsästyskaudelle selvästi alle 1000 Bq/kg. Ravintoketju jäkälä-poronliha on erityisasemassa, koska tiedetään, että laskeuma pysyy jäkälässä hyvin pitkään, niin, että poronliha sisältää vieläkin 1960-luvun ydinasekoikeista peräisin olevaa cesium 137:ää. Nyt laskeuma poronhoitoalueella oli paljon pienempi kuin Keski-Suomessa, mutta tilannetta on kuitenkin seurattava tarkoin ja pitkällä aikavälillä.

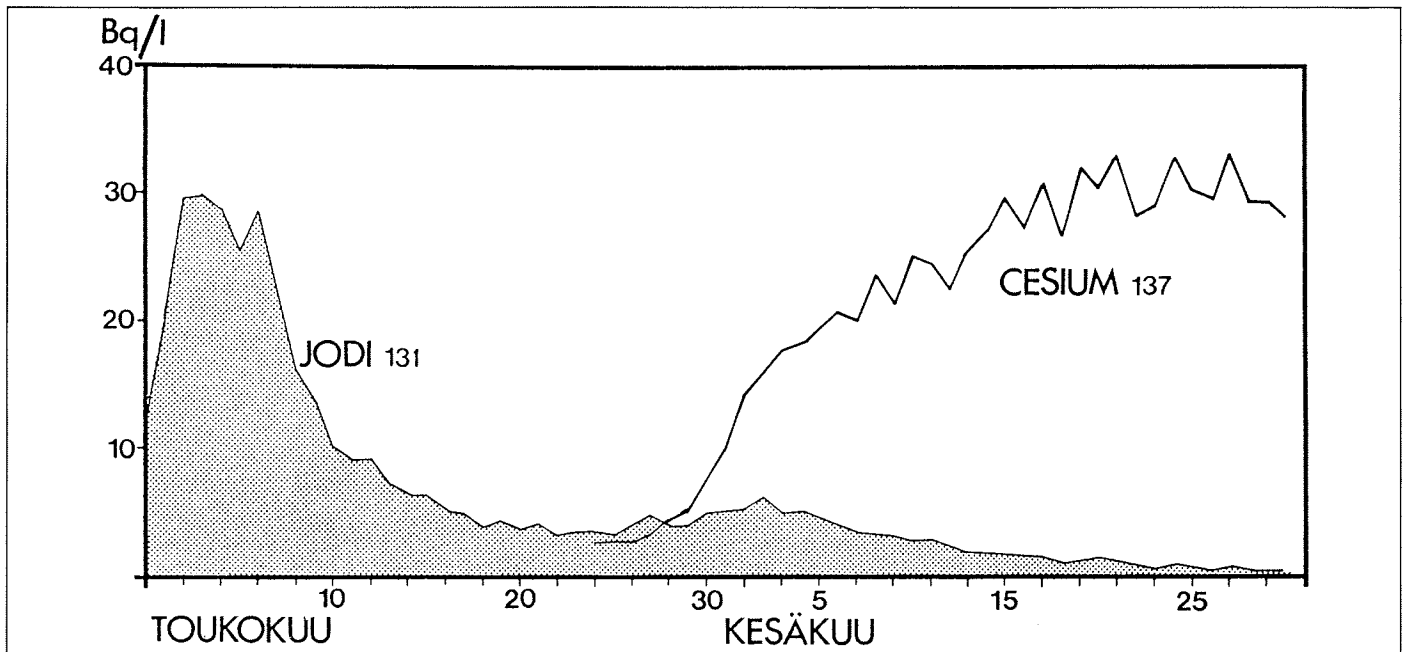
Sisävesikalojen cesiumpitoisuudet olivat loppukesästä edelleen nousussa, ja laskeuma-alueen järvistä pyydetylle kalalle on ollut tarpeen suositella määrällisiä käyttörajoituksia. Jatkuva nousu johtuu valumavesien mukana vesistöön tulevasta cesiumlisäyksestä. Cesium sitoutuu veden kiintoainekseen ja joutuu tällä tavoin ravintoketjuihin. Petokalossa pitoisuuksien kohoaminen saattaa jatkua vielä ensi vuonna.



Kuva 3. Pieksämäen säteilyvalvonta-aseman mittaustulokset vuoden 1986 toiselta vuosineljännekseltä. Asemalla on RDA-31 tyyppinen mittari ja digitaalinen pulssilaskuri joka summaa Geigerputkella tunnin aikana tulevat pulssit.



Kuva 4. Laidunruokintakokeen tulos.



Kuva 5. Jodi 131 ja cesium 137 kulutusmaidossa keräilyalueella joka kattaa Etelä- ja Keski-Suomen laskeuma-alueen.

Alueella joka käsittää Turun ja Porin läänin pohjoisosan, Hämeen läänin, Keski-Suomen läänin ja Mikkelin läänin pohjoisosan, olivat cesium 137 pitoisuudet heinä-elokuussa seuraavat:

	Keskiarvo (Bq/kg)	Vaihteluväli (Bq/kg)
Ahven	4100	60—15000
Hauki	1200	70—2900
Muikku	1400	350—2800
Lahna	1200	20—4000
Siika	2700	800—5800
Särki	1400	170—2500

Toinen, tätä kirjoitettaessa voimassa oleva Tshernobylin onnettomuudesta aiheutuva suositus koskee sieniä. Sienten cesium 137 pitoisuudet ovat laskeuma-alueella vaihdelleet muutamasta sadasta Bq/kg kantarelleissa ja haperoissa (joita rajoitussuosituksot eivät koske) muutamaani tuhansiin Bq/kg tateissa, rouskuissa ja eräissä muissa sienilajeissa.

Tilanne muissa maissa

Onnettomuuden alkaessa, huhtikuun 26. päivän aamuyöllä, Euroopan säätilaa hallitsi korkeapaineen alue Neuvostoliiton länsiosien yllä. Tshernobylin alueella vallitsi erittäin heikkotuulinen sää. Ylempänä ilmakehässä tuulet puhalsivat kanavassa kohti Suomea ja Ruotsin itäosia, siten kuin kuvasta 1 ilmenee. Päästövana saapui Suomeen ja Ruotsiin käytännöllisesti katsoen samaan aikaan. Molemmissa maissa tilanne havaittiin maanantaina 28.4. ja molemmissa maissa voitiin myöhemmin todeta säteilytason nousun alkaneen jo sunnuntaina 27.4.

Sateet aiheuttivat Ruotsissa kaksi voimakkaan laskeuman aluetta. Kuten kuvasta 6 ilmenee, toinen alue on Gävlestä etelään ja toinen Sundsvallin ympäristös-

sä. Korkeimmat aktiivisuuskatteet näillä alueilla ylittivät Suomen vastaavia arvoja, esimerkiksi kuvassa olevan cesium 137:n osalta Suomessa on mitattu 100 kBq/m² ylittäviä arvoja vain yksittäisillä pelloilla. Ruotsissa tilannetta vaikeuttaa se, että laskeuma ulottuu poronhoitoalueelle Västerbottenissa ja Jämtlannissa. Väkirikkaimmissa lääneissä aktiivisuuskatteet ovat pienempiä kuin Suomen laskeuma-alueella keskimäärin.

Tanskan saama aktiivisuusmäärä on vain murto-osa Suomen ja Ruotsin määristä. Norjassa on eräillä pieneköillä tunturi-alueilla mitattu Ruotsin arvoihin verrattavia cesiumpitoisuuksia.

Onnettomuusreaktorin päästöjen jatkues-sa suurina peräti 10 päivää joutuivat useat muutkin Euroopan maat laskeuman kohteeksi. Ilmamassat jotka "lähtivät" Tshernobylistä 26.4. puolenpäivän jälkeen kääntyivät, ensin länteen ja sitten etelään, Puolaan, Tšekkoslovakiaan, Unkariin, Itävaltaan, Saksan liittotasaval-lan eteläisimpiin osiin, Sveitsiin ja Italian pohjoisosiin, kuten ilmenee kuvasta 7. Ulkoisen säteilyn voimakkuudet olivat näissä maissa korkeimmillaan samaa tasoa kuin Suomen maksimi-arvot. Elintarvikkeiden osalta tilanne oli monin verroin vaikeampi kuin Suomessa, johtuen pitemmälle ehtineestä kasvukaudesta. Vihanneksia ja maitoa jouduttiin hylkäämään, ja Puolassa annettiin lapsille jodiliuosta kilpirauhasannoksen pienentämiseksi.

Neuvostoliitossa evakuoitiin 135 000 ihmistä, ensiksi 30 km vyöhykkeeltä voimalaitoksen ympäristössä ja myöhemmin kauempanakin sijaitsevilta, kartoitusmitauksissa saastuneiksi todetuilta alueilta. Toukokuun puolivälissä oli säteilytasonopeus runsaat sata kilometriä etelään sijaitsevassa, 3,5 miljoonan asukkaan Kio-vassa 0,33 mR/h. Sen sijaan useimmat muut Neuvostoliiton suurkaupungit eivät

saaneet merkittäviä määriä laskeumaa — esimerkiksi Moskova kuului Euroopan puhtaimpiin alueisiin, koska sinne ei osunut tuulia Tshernobylistä koko aikana.

Kuten arvata saattaa, havaittiin mitattavia mutta terveydelliseltä kannalta merkityksettömiä radioaktiivisuusmääriä Euroopan ulkopuolellakin, mm. Japanissa ja Yhdysvalloissa.

Annosarvio Suomen osalta

Säteilyturvakeskuksessa on pari kertaa, tiedon kertyessä, tehty alustava arvio Tshernobylin onnettomuuden aiheuttamasta keskimääräisestä annoksesta ja annositoumasta Suomessa. Myös VTT:llä on tehty annosennusteita, käyttäen biosfäärimalleja.

Tähän mennessä saatu ulkoisen säteilyn annos voidaan arvioida kuvan 2 mukaisesta säteilytilannekartasta, laskemalla keskimääräinen, asukastiheydellä painotettu säteilytysnopeus ja olettamalla sen käyttäytymisen ajan funktiona kuvan 3 kaltaisesti. Keskimääräiseksi suojauskertoimeksi, joka ottaa huomioon maaston rosoisuuden ja sisälläolon osuuden, on oletettu 0,3. Ensimmäisen vuoden jälkeen ulkoiseen säteilyyn vaikuttavat ainoastaan cesium 137 ja cesium 134. Niiden aiheuttama säteilytysnopeus pienenee paitsi fyysikaalisen puoliintumisen kautta myös cesiumin kulkeutuessa syvemmälle maaperään.

Sisäinen annos on aiheutunut jodi 131:n hengittämisestä säteilytilanteen ensimmäisinä päivinä sekä maidon jodista ja cesiumista. Jodista aiheutuva annos on jo saatu kokonaisuudessaan. Cesiumin isotooppien aiheuttama sisäinen annos on tässä yhteydessä arvioitu vain ensimmäiselle vuodelle. Noin puolet cesiumista saadaan maidosta ja maitotuotteista ja puolet muista elintarvikkeista.

Strontium 90:n ja strontium 89:n osuus laskeumassa on tällä kertaa paljon pienempi kuin 1960-luvun ydinasekoikeista tulleessa laskeumassa, eivätkä strontiumin isotoopit näytä ainakaan alustavien mittaustulosten perusteella vaikuttavan merkittävästi annossitoumiin.

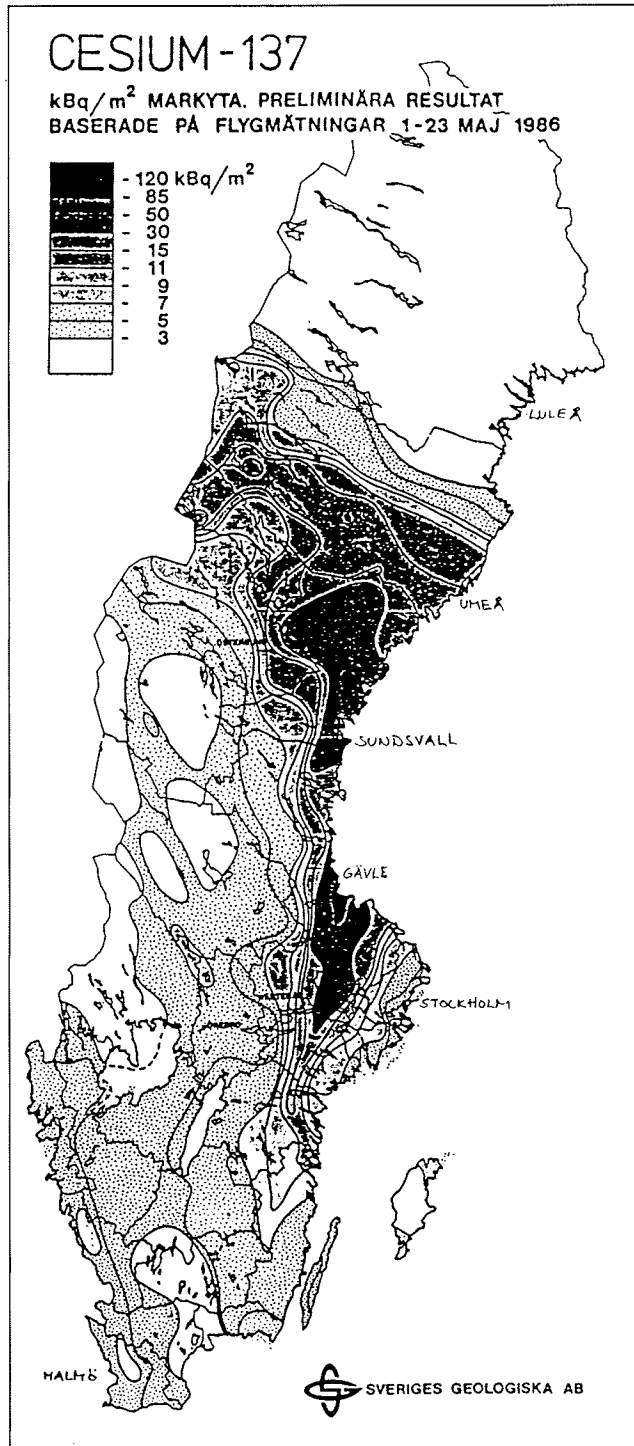
Kuluvan vuoden syksyllä viljasadon ja lihan, sekä vähitellen myös maaperänäytteiden mittaustuloksista saadaan luotettava pohja juurioton kautta elintarvikkei-

siin kulkeutuvien radioaktiivisuusmäärien ennustamiseksi.

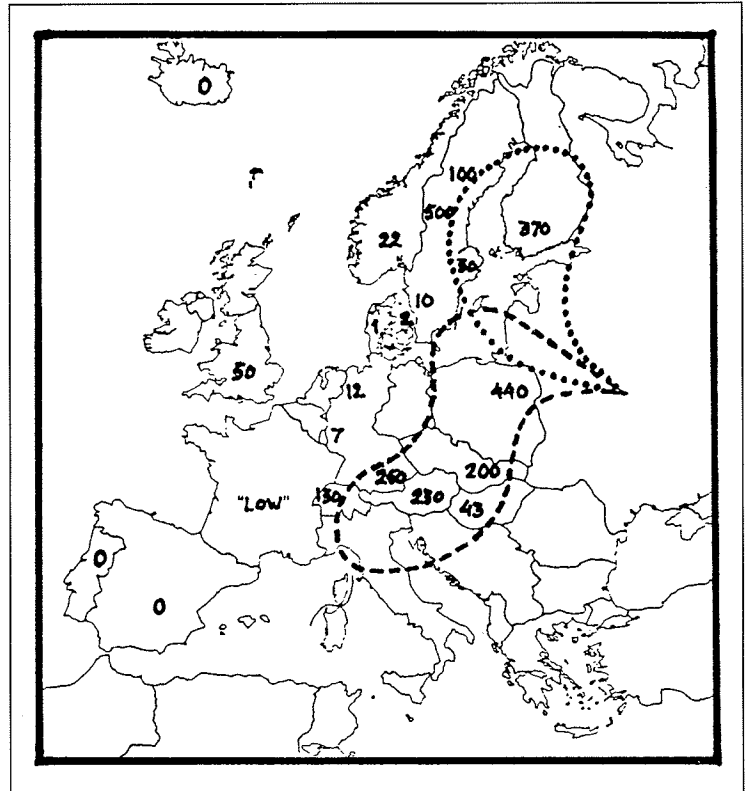
Seuraavassa taulukossa on esitetty tämän hetkinen arvio Tshernobylin onnettomuuden aiheuttamista efektiivisistä annoksista ja annossitoumista Suomessa:

	Ennuste, huhti 86 — huhti 87 (mSv)	Kokonaisannossitouma (mSv)
Ulkoinen säteily	0,15	1,2
Sisäinen säteily		
— jodi 131	0,03	0,03
— cesium 134, 137	0,3	> 0,3
Yhteensä	0,5	>1,5

□



Kuva 6. Ruotsin säteilytilannekartta (cesium 137:n aktiivisuuskate).



Kuva 7. WHO:n keräämiin tietoihin perustuva kartta Tshernobylin onnettomuuden aiheuttamasta ulkoisen säteilyn tilanteesta Euroopassa. Luvut ovat toukokuun alussa raportoituja huippuarvoja (mikroröntgeniä tunnissa).

Pelastuspalvelutoiminta ydinvoimalaitos-onnettomuudessa

Ydinvoimalaitoksessa sattuva reaktorionnettomuus on katsottu luonteeltaan palo- ja pelastustoimilain (599/75) 1 §:n 3 mom. mukaisesti pelastustoimeen kuuluvaksi onnettomuudeksi, jonka johdosta pelastustoimenpiteet on hoidettava palotoimen viranomaisten toimesta. Tällainen onnettomuus on myös katsottu mahdollisilta ympäristövaikutuksiltaan niin suureksi, että sen johtaminen vaatii aina aluetasoisien johtamistoiminnan käynnistämistä.

Edelläoleva ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteikö muittenkin viranomaisten tarvitse osallistua pelastustoimintaan. Palotoimen viranomainen on asetettu päävastuulliseksi ja muut viranomaiset hoitavat vastuullisina vain omia toimialojaan.

Pelastuspalvelutoiminnan suunnittelun perusteet

Viime vuosina tehdyt vakavia reaktorionnettomuuksia koskevat tutkimukset viittaavat vakavasti siihen, että reaktorin ympärillä oleva kaasutiivis suojarakennus tarjoaa hyvän suojan reaktorionnettomuuksissa.

Nopeiden, suuriin päästöihin johtavien onnettomuuksien todennäköisyys on aikaisemmin oletettua pienempi. Lisäksi on havaittu, että radioaktiivisen jodin vapautuminen on oleellisesti vähäisempää kuin mihin 70-luvun puolivälissä tehdyissä tutkimuksissa päädyttiin.

Edellämainittujen ja eräitten eri hallinnonaloilla tapahtuneitten suunnitteluohjeitten aikaansaannin takia ollaankin parhaillaan uusimassa ohjetta ydinvoimalaitosonnettomuuden pelastuspalvelun suunnittelusta.

Pelastuspalvelutoimenpiteitä suunniteltaessa on tärkeätä mahdollisimman tuudenmukaisesti tiedostaa ne vaarat, jotka reaktorionnettomuus mahdollisesti aiheuttaa ympäristön ihmisille, eläimille ja luonnolle.

Voimalan toiminnassa syntyy radioaktiivisia aineita monella eri tavalla. Pelastuspalvelun kannalta merkitystä on vain reaktorissa olevilla ydinreaktioiden halkeamistuotteilla. Merkittävä radioaktiivinen päästö edellyttää, että reaktorissa tai hiljattain siitä poistetussa käytetyssä polttoaineessa sattuu vakava vaurio, joka saa aikaan myös suojarakennuksen kaasutiivyyden huonontumisen.

Ratkaiseva merkitys pelastustoimenpiteille on sen ajankohdan määrittämisessä, milloin reaktorionnettomuudesta aiheutuu vaaraa ympäristölle. Erilaisten tapahtumaketjujen suuren lukumäärän vuoksi tyypillisiä onnettomuuden aikatekijöitä ei voida määritellä ennakolta. Sääolosuhteet vaikuttavat myös olennaisesti päästön käyttäytymiseen voimalaitoksen ympäristössä.

Tapahtumat, jotka aiheuttavat pelastuspalveluorganisaation hälyttämisen ja myös onnettomuudet, joihin liittyy vakava reaktorivaurio, eivät luultavammin kehity ympäristön väestön suojaamista edellyttäväksi säteilyonnettomuudeksi.

Sääolosuhteiden merkitys onnettomuuden yhteydessä on niin suuri, että useimmissa sääolosuhteissa eivät pahimmallakaan mahdollisella päästöllä lasketut säteilyannokset aiheuttaisi havaittavaa säteily-sairastumista laitoksen ympäristön asukkaiden keskuudessa, vaikka ei suojauduttaisi ollenkaan.

Uusienkaan tutkimustulosten perusteella ei kuitenkaan voida kokonaan sulkea pois merkittävän ympäristöpäästön mahdollisuutta. Koska pelastuspalveluorganisaation täyteen toimintavalmiuteen saattaminen vie aikaa, on päädytty siihen, että organisaatio hälytetään heti, jos reaktorihäiriöitä esiintyy. Tyypillisin aika-arvio on noin neljä tuntia alkutapahtumasta päästön alkamiseen. Laskelmien mukaan ympäristön kannalta pahimpia tuulenopeuksia ovat 5—20 km/t (2—5 m/s).

Voimalaonnettomuuden vaikutukset riippuvat olennaisesti kohteen etäisyydestä voimalaitoksesta. Pitäen pohjana suuren reaktorionnettomuuden vaikutusten ulottuvuutta, jaetaan voimalaitoksen ympäristö pelastuspalvelusuunnitelmien teke-

mistä varten varautumisalueisiin siten, että I varautumisalue käsittää alueen, joka ulottuu 20 km etäisyyteen ydinvoimalaitoksesta.

Tällä alueella varaudutaan suunnitelmissa väestön nopeaan hälyttämiseen ja kehoittamiseen suojautumaan sisätiloihin. Alue varaudutaan myös eristämään siten, että alueelle ei pääse lisää väestöä. Henkilöille, joiden katsotaan joutuneen alttiiksi säteilypäästöön sekä pelastushenkilöstölle, suoritetaan joditablettien jako.

Tällä alueella varaudutaan myös mahdollisen suojaväestön toimeenpanemiseen, jos se tilanteen huomioonottaen katsotaan tarpeelliseksi.

Varautumisalue II ulotetaan 20—100 km etäisyydelle voimalaitoksesta. Alueella varaudutaan suojautumaan sisätiloihin suoraan päästöpilvestä tulevaa säteilyä vastaan sekä mittaamaan säteilyn annosnopeutta.

Edelläolevien, pääpiirteittäin käsiteltyjen, säteilyturvakeskuksen omaksumien suunnitteluperusteiden pohjalta laaditaan (on laadittu) viranomaiskohtaisesti tehtävänjako ja toimintaohjeisto.

Pelastuspalveluorganisaatio

Johtamistoiminta ydinvoimalaitosonnettomuudessa tapahtuu, kuten alussa mainittiin, palo- ja pelastustoimesta annettujen säännösten mukaan, ja pelastustoiminnan johtajana toimii aluepalopäällikkö, joka muodostaa avukseen eri viranomaisten johtajista muodostuvan johtoelimen. Tämä elin toimii myös suunnittelun koordinaattorina. Toiminnalliset valtuudet johtamistoiminnassa saadaan palo- ja pelastustoimilain ja poliisilain säännösten nojalla.

Pelastuspalveluorganisaatioon osallistuvat eri viranomaiset hoitavat toimialaansa onnettomuustilanteen vaatimusten mukaan laajennettuna.

Toiminnan etukäteissuunnittelu ja toimintaohjeitten laatiminen henkilöstölle tapahtuu kunkin toimialan toimesta.

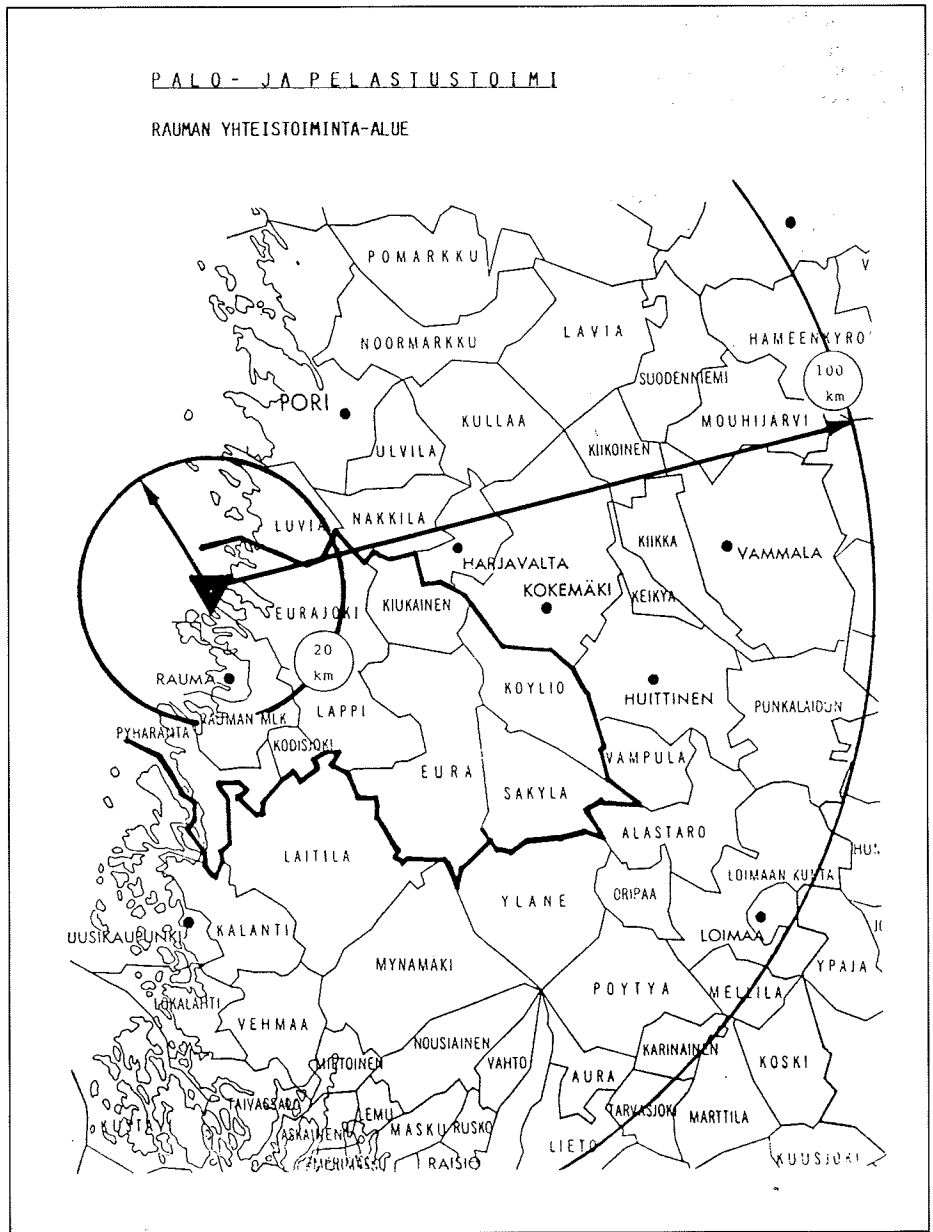
Tehtäväjako viranomaisten kesken on pääpiirteissään seuraava:

- paloviranomaiset johtavat pelastustointia, suorittavat mittauspartioilla säteilymittausta, huolehtivat väestön hälyttämisestä ja kehoittamisesta suojautumaan sisätiloihin. Tilanteen niin vaatiessa toimeenpanevat suojaväistön. Paloviranomaiset huolehtivat myös jatkuvasta tiedottamisesta.
- poliisiviranomaisten tehtävänä on yleisen järjestyksen ja turvallisuuden ylläpitäminen, vaara-alueen eristäminen, liikenteen ohjaus, osallistuminen poliisipartioiden yleisön hälyttämiseen ja ohjeiden antamiseen suojautumisesta sekä osallistuminen suojaväistön toimeenpanoon.
- terveydenhuoltoviranomaiset laativat suunnitelmat ja vastaavat ensiavun ja hoidon järjestämisestä, ehkäisevän lääkityksen jaosta ja säteilyä saaneiden seurannasta. Lisäksi terveydenhuoltoviranomaiset huolehtivat myöhemmästä terveysolojen valvonnasta (elintarvikkeet, juomavesi jne).
- sosiaaliviranomaisten tehtävänä on huolehtia mahdollisissa suojaväistötilanteissa suojaväistetyin väestön huollosta (majoitus, muonitus) suojaväistöpaikoissa.

Valtakunnallisista viranomaisista ehdottomasti tärkein on Säteilyturvakeskus, jonka säteilyvalvonta-asiantuntijaryhmän toimenpidesuosituksen mukaisesti pelastuspalvelun johto tekee päätöksensä.

Muina viranomaisina tilannetta valvoo lääninhallitus ja asiantuntija- tai henkilöstö- ja materiaaliapua antavat puolustusvoimat, rajavartiolaitos, ilmatieteen laitos, tie- ja vesirakennuslaitos ym.

Ydinvoimalaitosonnettomuuden pelastuspalvelutoimenpiteiden onnistuminen edellyttää jatkuvasti ajan tasalla pidettäviä toimintaohjeita, vuosittaisia toimintaharjoituksia ja viranomaisten keskeistä hyvää yhteistyötä. □



Klaus Sjöblom/IVO

3.9.1986

Loviisan voimalaitoksen onnettomuusvalmius

Toiminta vakavassa ydinvoimalaitoksen onnettomuustilanteessa voidaan jakaa kolmeen eri organisaatiotasoon: valvomo, voimayhtiö ja viranomaiset. Valvomo noudattaa toiminnassaan hätätilanneohjeita, voimayhtiö valmiussuunnitelmaa ja viranomaiset pelastuspalvelusuunnitelmaa.

Tämä artikkeli kuvaa keskimmäistä tasoa eli voimayhtiön osuutta.

Voimayhtiön velvollisuuksiksi on määrätty:

- Viranomaisten varoittaminen/hälyttäminen
- Lähiympäristön varoittaminen ja laitosalueen evakuointi
- Valmiusorganisaation käynnistäminen
- Osallistuminen päästömittauksiin ja annoslaskentaan sekä toimenpidesuosituksen tekoon

— Avustaa viranomaisten pelastuspalvelutoimintaa, erityisesti voimalaitosalueen lähistöllä
Voimayhtiön vastuualue käsittää sen omistaman maa-alueen laitospaikalla.

Hätätilaneluokat

Hätätilaneluokkia on kaksi: laitoshätätilanne ja yleishätätilanne.

Laitoshätätilanne julistetaan, kun laitoksen turvallisuuden taso on vaarassa heiketä merkittävästi. Laitoshätätilanteen

yhteydessä hälytetään vain IVO:n valmiusorganisaatio; ympäristön pelastuspalveluorganisaatiolle välitetään varoitus, jolloin pelastustoiminnan johtoryhmä kokoontuu.

Yleishätätilanne julistetaan, kun on vaara, että polttoainetta sulaisi; näin tehdään, vaikka suojarakennuksen tiiveyteen luotettaisiin. Yleishätätilanne käynnistää pelastuspalveluorganisaation.

Valmiusorganisaatio

Vuoropäällikön julistettua tilanteen hätätilanteeksi valmiusorganisaatio koostuu paikalla olevasta henkilöstöstä. Valmiusorganisaatioon (kuva 1) nimettyjen henkilöiden saavuttua paikalle ja perehdyttyä tilanteeseen he ottavat vastaan valmiussuunnitelmassa määritellyt tehtävät.

Ensisijaisesti valmiuspäällikkönä on voimalaitoksen päällikkö. Valmiusorganisaatiossa pyritään säilyttämään normaaliaikaiset johtosuhteet. Säteilysuojelujohtaja alaisineen nimetään teknisestä ryhmästä, käyttöjohtaja alaisineen käyttöryhmästä ja yhteysjohtaja alaisineen kunnossapitoryhmästä. Kuhunkin valmiusorganisaation vakanssiin on koulutettu useita henkilöitä, jotta valmiusorganisaatio olisi aina muodostettavissa.

Voimalaitoksen palokunta muodostetaan paikalla olevista käyttövuoroista ja varti-joista; myös rakennuskunnossapidon henkilökuntaa on koulutettu sammutustehtäviin.

Valmiustoiminta hätätilanteessa

Päätettyään hätätilanteen julistamisesta valmiuspäällikkö (vuoropäällikkö) hälyttää laitosalueen sireeneillä (yleinen hälytysmerkki ja kuulutus-järjestelmällä). Päivätyöajan ulkopuolella valmiusorganisaation hälyttämistä laitokselle jatketaan puhelimitse. Edelleen hälytetään Säteily-

turvakeskus, keskusvalvomo ja pääkonttori.

Loviisan yhteistoiminta-alue käsittää Loviisan lisäksi neljä naapurikuntaa. Sen pelastuspalvelutoimintaa johtaa aluepäällikkö apunaan johtoryhmä. Laitoshätätilanteessa viranomaisille annetaan varoitus, ja johtoryhmä kutsutaan kokoon. Yleishätätilanteessa koko pelastuspalveluorganisaatio hälytetään.

Valmiusorganisaation tehtäväalueet ovat:

- Prosessitilanteen selvittäminen ja hallinta
- Laitoksella olevan henkilöstön ohjaus
- Suojautuminen laitosalueella
- Puhdistus ja ensiapu
- Säteilymittaukset
- Päästöjen arviointi
- Palotorjunta
- Korjaustoimenpiteet
- Yhteistoiminta viranomaisten kanssa mukaanlukien toimenpidesuosituksen antaminen
- Tiedotus julkiselle sanalle (suojautumistiedottamisesta väestölle vastaavat viranomaiset)
- Tapahtumien ja päätösten dokumentointi
- Laitoksen ja ympäristön saattaminen normaaliin tilaan.

Voimayhtiön vastuualue käsittää sen omistaman maa-alueen laitospaikalla.

Johtamispaikat ja viestiyhteydet

Valmiusorganisaation johto toimii vaarassa olevan laitosesikön päävalvomon vieressä sijaitsevassa johtokeskuksessa. Lisäksi voimalaitoksen väestösuoja on varajohtokeskus. Näiden tilojen ilmoitointi voidaan kytkeä suodatukselle. Myöskään suojarakennuksesta tuleva skyshine-säteily ei estä oleskelua johtokeskuksessa. Laitosprosessia ohjataan päävalvomoista.

Valmiusorganisaatiolla on yleisen puhe-

linverkon lisäksi laitosesikön valvomo-puhelinjärjestelmä, suora puhelinyhteys Loviisan aluehälytyskeskuksiin sekä voimalinjoja pitkin kulkeva käyttöpuhelinverkko, jolla saadaan yhteys mm. IVO:n keskusvalvomoon ja piirivalvomiin, Olkiluotoon sekä Säteilyturvakeskukseen.

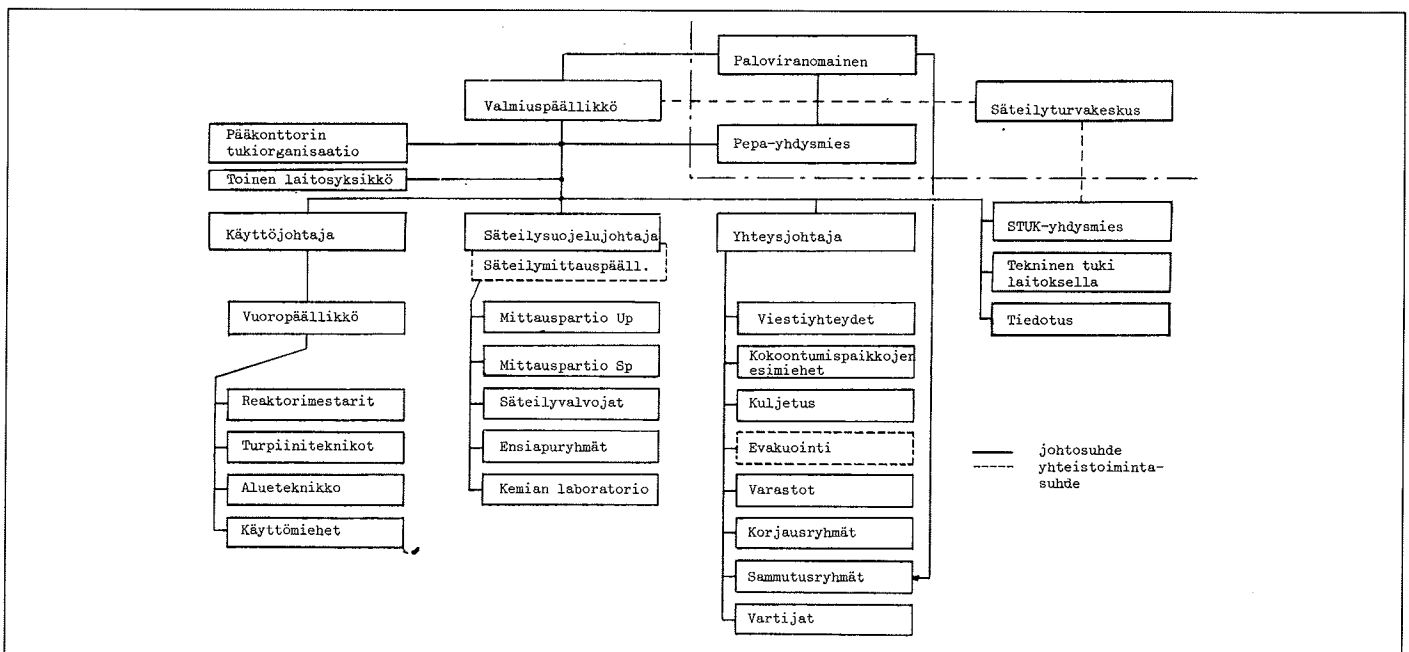
Radiopuhelimella päästään IVO:n, läänin sekä palo- ja pelastustoimen radiopuhelinverkkoihin. Sisäistä viestintää varten laitoksella on kaiutin-, televisio- ja henkilöhakujärjestelmät. Edelleen tulee mainita telex- ja telekopioyhteydet. Lisäksi prosessitietokoneelta on yhteys puhelinverkon välityksellä Säteilyturvakeskukseen ja yhtiön pääkonttoriin; se käynnistetään hätätilanteessa, jolloin 70 turvallisuuden kannalta tärkeää parametria tuostuu 10 minuutin välein vastaanottajien päätteille.

Valmiuden ylläpito

Valmiusorganisaation toimintakuvaus ja -ohjeet esitetään valmiussuunnitelmassa, josta on jaettu numeroidut kappaleet valmiusorganisaatioon kuuluville. Laitoshenkilökunnalle on jaettu ”Yleisohjeet ydinonnettomuuden varalta”. Tilapäisen henkilökunnan ohjeet on sisällytetty ”Revisiotietoa”-kirjaseen.

Vuosittain järjestetään koko valmiusorganisaatiota koskeva valmiusharjoitus sekä muita suppeampia toimintokohtaisia harjoituksia. Myös Loviisan koulutussimulaattoria on käytetty hyväksi onnettomuuden lavastuksessa. Harjoituksissa pyritään vaihtelevaan onnettomuuden luonnetta ja vakavuutta sekä harjoitukseen osallistujia, jotta harjoitusten tarkoitus — testaus, koulutus ja edelleen kehittäminen — toteutuisi mahdollisimman hyvin.

Varautuminen vakavimpaan on osa ydinvoiman tuotannolta edellytettävää turvallisuutta. □



Kuva 1. IVO:n valmiusorganisaatio

Kansainvälisen atomienergiajärjestön valtioiden välisen asiantuntijaryhmän kokouksessa 21.7.—15.8.1986 Wienissä hyväksytyt ilmoitusjärjestelmä ja hätäapua koskevat sopimukset

Kansainvälisen atomienergiajärjestön hallintoneuvosto kutsui Tshernobylin ydinonnettomuuden jälkeen koolle kaikkien jäsenvaltioiden asiantuntijoista koostuvan työryhmän laatimaan kahta sopimusluonnosta, joista toinen koskee ydinonnettomuuksista ilmoittamista ja toinen ydinonnettomuuksissa annettavaa hätäapua.

Asiantuntijatyöryhmä, jonka työhön osallistui 61 valtion asiantuntijoina, kokoontui 21.7.—15.8.1986 välisenä aikana Wienissä ja pääsi yhteisymmärrykseen kummastakin yllämainitusta sopimusluonnoksesta. Asiantuntijatyöryhmän hyväksymät sopimusluonnokset tulevat Kansainvälisen atomienergiajärjestön hallintoneuvoston käsiteltäviksi syyskuussa 1986 silmällä pitäen sitä, että ne voitaisiin allekirjoittaa välittömästi seuraavassa järjestön yleiskokouksen ministeritason erityisistunnossa 24.—26.9.1986.

Sopimuksen aikaansaamista lyhyessä neljän viikon määräajassa on pidettävä huomattavana saavutuksena. Näin erityisesti sen vuoksi, että kysymyksessä on kansainvälisen oikeuden uusi alue, jota koskevia yleisiä valtioita velvoittavia normeja ei ennestään juuri ole olemassa. Merkittävänä on myös pidettävä sitä, että so-tilaallisiin tarkoituksiin käytettävät ydinlaitteet kuuluvat nyt ensimmäistä kertaa tämäläpaiseen sopimusjärjestelyn piiriin.

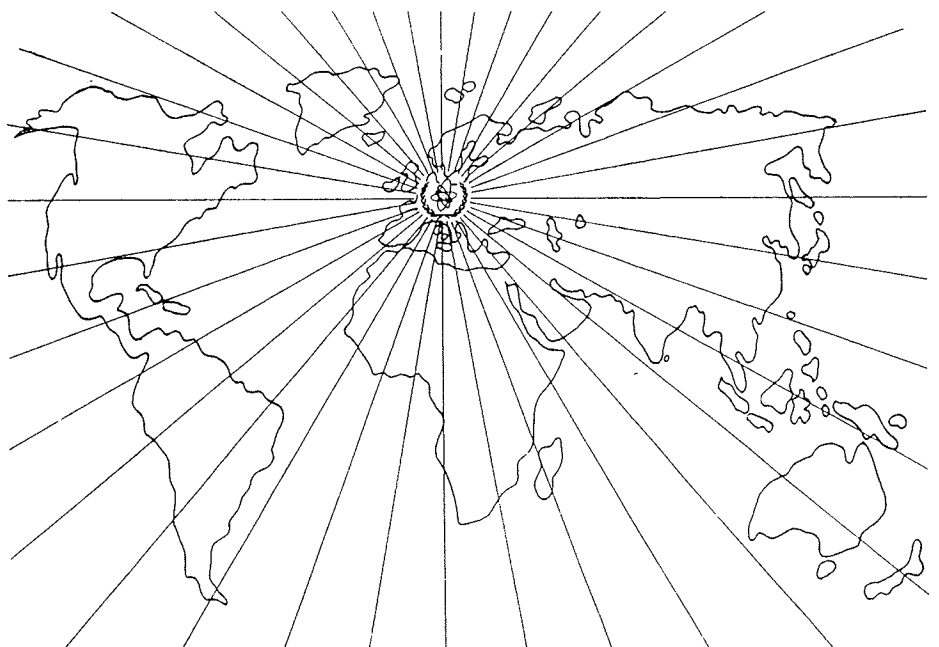
Ydinonnettomuuksista ilmoittamista koskevassa sopimuksessa valtiot sitoutuisivat ilmoittamaan kaikista alueellaan ja valvonnassaan oleville ydinlaitteille tapahtu-

neista vahingoista, joiden vaikutukset kohdistuvat tai saattavat kohdistua toiseen valtioon. Tämä velvollisuus koskisi niin siviili- kuin sotilastarkoitukseen käytettäviä ydinlaitoksia ja -laitteita, lukuunottamatta ydinaseita ja ydinasekoikeita. Säätelyvaikutusten minimoimiseksi valtio voisi, tosin ilman oikeudellisesti sitovaa velvoitetta, ilmoittaa myös ydinaseita ja ydinasekoikeita koskevista vahingoista. Sopimuksen edellyttämät ilmoitukset olisi välittömästi tehtävä kaikille vaaran uhkaamille valtioille ja Kansainväliselle atomienergiajärjestölle.

Ydinonnettomuustapauksissa annettavaa hätäapua koskevan sopimuksen tarkoituksena on luoda puitteet valtioiden väliselle yhteistyölle ja avustustoiminnalle silloin kun ydinonnettomuus on jo tapahtunut. Mikäli valtio olisi ydinonnettomuu-

den johdosta avun tarpeessa, se voisi kääntyä avustuspöynnöin muiden sopimusvaltioiden tai Kansainvälisen atomienergiajärjestön puoleen. Järjestö on luonnollisesti velvollinen mahdollisuuksiensa mukaan antamaan tarvittavaa apua. Sopimusvaltion, jolta apua on pyydetty, tulee välittömästi ilmoittaa avun tarvitsijalle onko valtio kykenevä ja haluaako se ryhtyä avustustoimintaan. Mikäli avustukseen ryhdytään, tapahtuu se sopimuksessa mainituin ehdoin ihmishenkien ja omaisuuden pelastamiseksi sekä ympäristöhaittojen torjumiseksi.

Molemmissa sopimuksissa on viittaus mahdollisuuden solmia täydentäviä alueellisia ja kahdenvälisiä sopimuksia, jotka ottavat parhaalla mahdollisella tavalla huomioon eri puolilla maailmaa vallitsevat erityisolosuhteet. □



Ydinreaktoreiden termohydrauliikkaa simuloivat koelaitteistot

Termohydraulisilla koelaitteistoilla suoritettavilla kokeilla on keskeinen merkitys ydinreaktoreiden häiriö- ja onnettomuus-tilanteiden aikaisten tapahtumien tutkimisessa. Kaikissa ydinvoimaa hyödyntävissä maissa on tähän tarkoitukseen rakennettuja koelaitteistoja yksityisillä ja valtiollisilla tutkimuslaitoksilla, reaktorivalmistajilla sekä yliopistoilla. Suurimmat tutkimusprojektit ovat yleensä kansainvälisiä.

Koelaitteistojen koko ja rakenne vaihtelee huomattavasti käyttötarkoituksen ja skaalausperiaatteiden vaihdellessa. Skaalaus voi perustua tutkittavaa ilmiötä kuvaavien matemaattisten mallien yhteneväisyyteen. Toinen, hyvin yleinen tapa on käyttää ns. tilavuusskaalausta, jossa skaalauksesta

käytetään koelaitteiston ja referenssireaktorin tilavuussuhdetta. Koelaitteistot voidaan luokitella myös käyttötapansa mukaan. Erilliskokeita varten suunnitelluissa laitteistoissa tutkitaan pääasiassa yhtä reaktorin jäähdytyspiirin komponenttia ja/tai ilmiötä kun taas ns. integroiduissa koelaitteistoissa on simuloitu mahdollisimman tarkkaan kaikki reaktorin komponentit. Raja erilliskoelaitteistojen ja integroitujen laitteistojen välillä on häilyvä. Laitteistojen käyttötarkoitus muuttuu usein aikavälillä suunnittelu-viimeinen koe.

Kokeista saatavaa tietoa hyödynnetään kehiteltäessä reaktoreiden turvajärjestelmiä ja -määräyksiä. Kokeet tuottavat mittaus-tuloksia laskennallisten analyysien tueksi, lisäävät kaksifaasivirtauksen tuntemusta ja auttavat näin tietokoneohjelmien ja ohjelmissa käytettävien kokeellisten korrelaatioiden kehittelyä.

Tunnetuimpia koelaitteistoja

Taulukkoon 1 on kerätty tietoja tunnetuimmista ydinvoimalaitosonnettomuuksien tutkimuksissa käytettävistä termohydraulisista koelaitteistoista. Laitteistojen suuri määrä osoittaa aluetta kohtaan valinnan suuren mielenkiinnon. Suurimmat integroidut koelaitteistot LOFT ja LSTF.

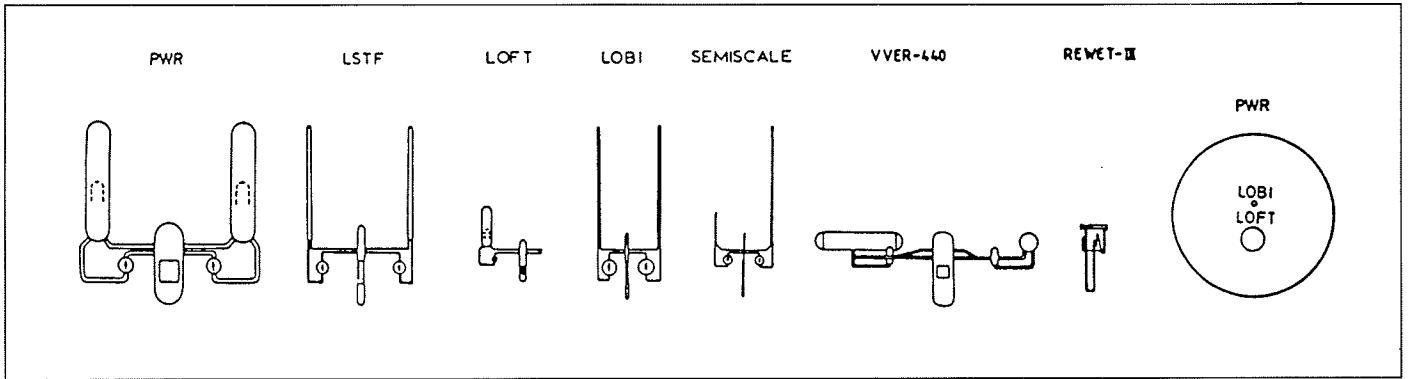
Kuva 1 antaa hyvän käsityksen laitteistojen koosta; suurimmatkin koelaitteistot eroavat mitoiltaan huomattavasti simuloitavasta reaktorista.

LOFT-laitteisto on siitä erikoinen, että siinä on käytetty ydinpoltoainetta. Muissa koelaitteistoissa polttoainesauvoja simuloidaan sähkövastuksilla. Kuvassa 2 on esitetty REWET-koelaitteistoissa käytettävien sauvojen rakenne reaktorin polttoainesauvaan verrattuna.

Seuraavassa on käsitelty tarkemmin joitakin tärkeimpiä koelaitteistoja. Näistä SCTF ja UPTF kuuluvat luokkaan 2D/3D-laitteistot. 2D/3D-laitteistoilla tutkitaan 2- ja 3-ulotteisia ilmiöitä suurissa osatilavuuksissa, jopa täyden mittakaavan koelaitteistoissa.

Taulukko 1. Eräitä tärkeimpiä termohydraulisia koelaitteistoja

Laitteisto	Maa/Omistaja	Max.teho (MWt)	Paine (MPa)	Sauvojen lukumäärä	Skaalauksen suhde Tilavuus Korkeus	Simuloitava Reaktori
PWR-laitteistot						
REWET-II	Suomi/VTT	0.09	1.0	19	1:2333 1:1	VVER-440
PMK-NVH	Unkari/CRIP	2.0	16.0	19	1:2070 1:1	VVER-440
SEMISCALE	USA/INEL	2.0	15.0	25	1:1600 1:1	—
MIST (2x4)	USA/B&W	0.34	15.6	45	1: 840 1:1	—
LOBI-Mod 2	Italia/ISPRA	5.4	15.5	64	1: 700 1:1	1300 MWe PWR
UMCP	USA/Maryland	0.2	2.1	15	1: 500 1:6.6	—
SPES	Italia/SIET	9.0	20.0	97	1: 420 1:1	—
FLECHT/SEASET	USA	1.5	0.4	161	1: 327 1:1	—
PCTL	Suomi/VTT	1.0	6.0	144	1: 305 1:1	VVER-440
PKL	L-Saksa/KWU	1.5	4.0	337	1: 135 1:1	1300 MWe PWR
BETSY	Ranska/CEN	3.0	17.2	428	1: 100 1:1	2775 MWt PWR
LOFT	USA/INEL	50.0	15.5	1300	1: 50 1:2	—
LSTF	Japani/JAERI	10.0	16.0	1064	1: 48 1:1	3400 MWt PWR
CCTF	Japani/JAERI	10.0	0.6	2048	1: 21 1:1	1100 MWe PWR
CIDROPRESS	N-L	—	15.0	—	—	VVER-1000
TPTF	Japani/JAERI	1.0	12.0	—	—	—
BWR-laitteistot						
PIPER-CNE	Italia/PISA	0.28	7.4	16	1:2200 1:1	GE BWR 2650 MWt
FIX-II	Ruotsi/Studsvik	3.3	7.4	36	1: 770 1:1	Asea Atom BWR 2700 MWt
BWR-FIST	USA/GE	4.6	7.4	64	1: 625 1:1	—
ROSA-III	Japani/JAERI	4.2	7.2	248	1: 424 1:1	GE BWR-6 3800 MWt
TBL	Japani/Hitachi	10.0	7.2	128	1: 370 1:1	—



Kuva 1. Koelaitteistojen dimensioita.

BETSY (Grenoble, Ranska)

Ranskalainen BETSY koelaitteisto simuloi Framatomen, kolmen kiertopiirin painevesireaktoria. Laitteiston primaaripiiri koostuu kolmesta identtisestä piiristä joissa kaikissa on mukana pumppu ja höyrystin. Lisäksi laitteistossa on simuloitu kaikki reaktorin säätöön ja operaattoreiden toimintaan liittyvät järjestelmät. Kokeiden tavoitteina on muun muassa auttaa ranskalaisen CATHARE termohydrauliikkaohjelman kehittämissä sekä saada tietoa operaattoreiden toiminnan vaikutuksista onnettomuustilanteissa. Laitteiston painestasia ja höyrystin on esitetty kuvassa 3 sekä alustava koeohjelma taulukossa 2.

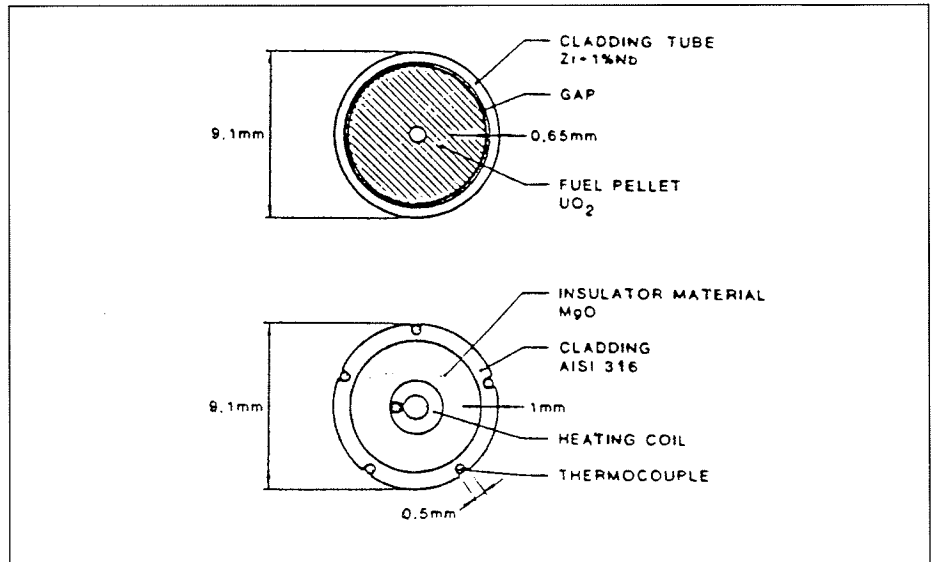
Taulukko 2. BETSY-laitteiston alustava koeohjelma.

Types of tests	Number
1 — Facility characterization	7
2 — Comparison with plant tests	6
3* — Single phase flow at primary side	6
4* — Two-phase natural circulation	6
5* — Heat transfer degraded at secondary side	7
6* — Energy removal by the primary side	8
7* — Effect of non condensable gas	4
8* — Two-phase flow forced convection	3
9* — Multiple failure	

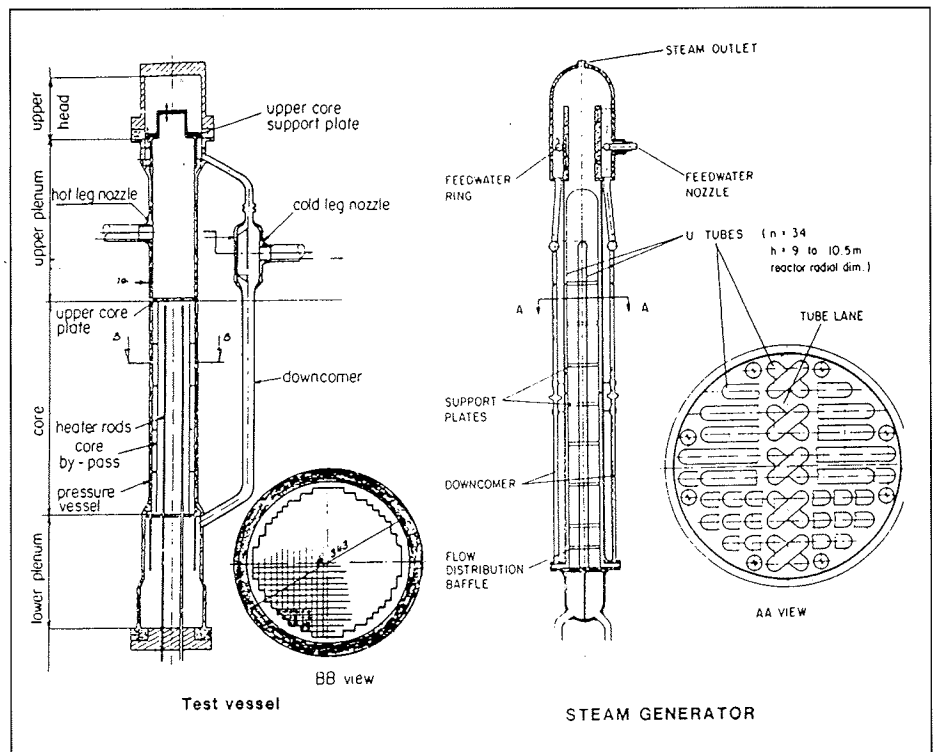
*Tests relevant to both sequences and physical states

LOBI (Loop Blowdown Investigation, Ispra, Italia)

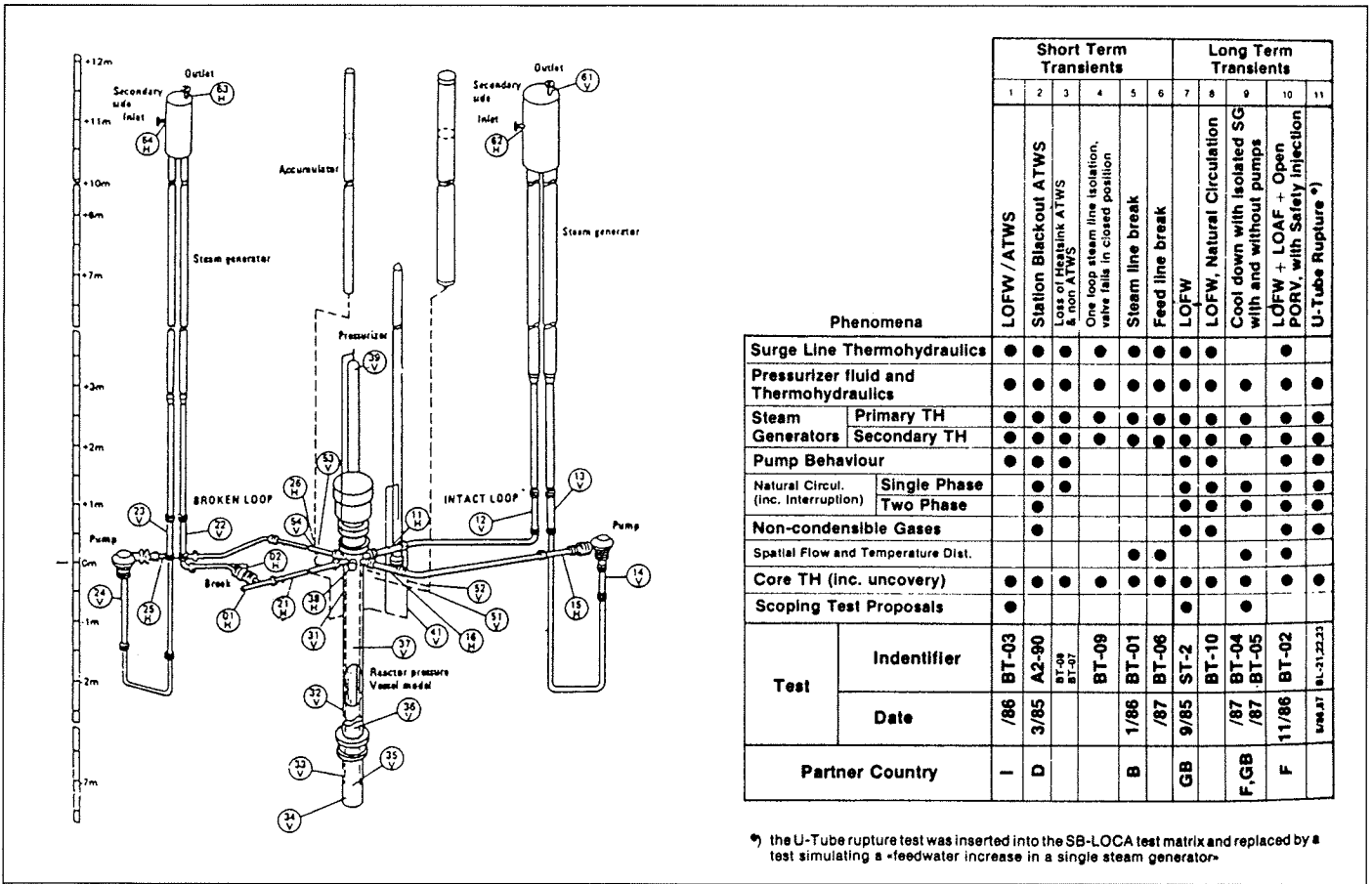
LOBI-laitteistolla oli alunperin tarkoitus tutkia suuren vuodon LOCAa, mutta laitteistoa on muutettu siten, että myös pienen murtuman LOCAn kokeet ovat mahdollisia. Laitteisto koostuu kahdesta rinnakkaisesta, pumpun ja höyrystimen käsittävästä primaarikiertopiiristä joissa korkeussuhteet on säilytetty samoina kuin referenssireaktorissa, kuva 4.



Kuva 2. REWET koelaitteiston koesauvan rakenne reaktorin polttoainesauvaan verrattuna.

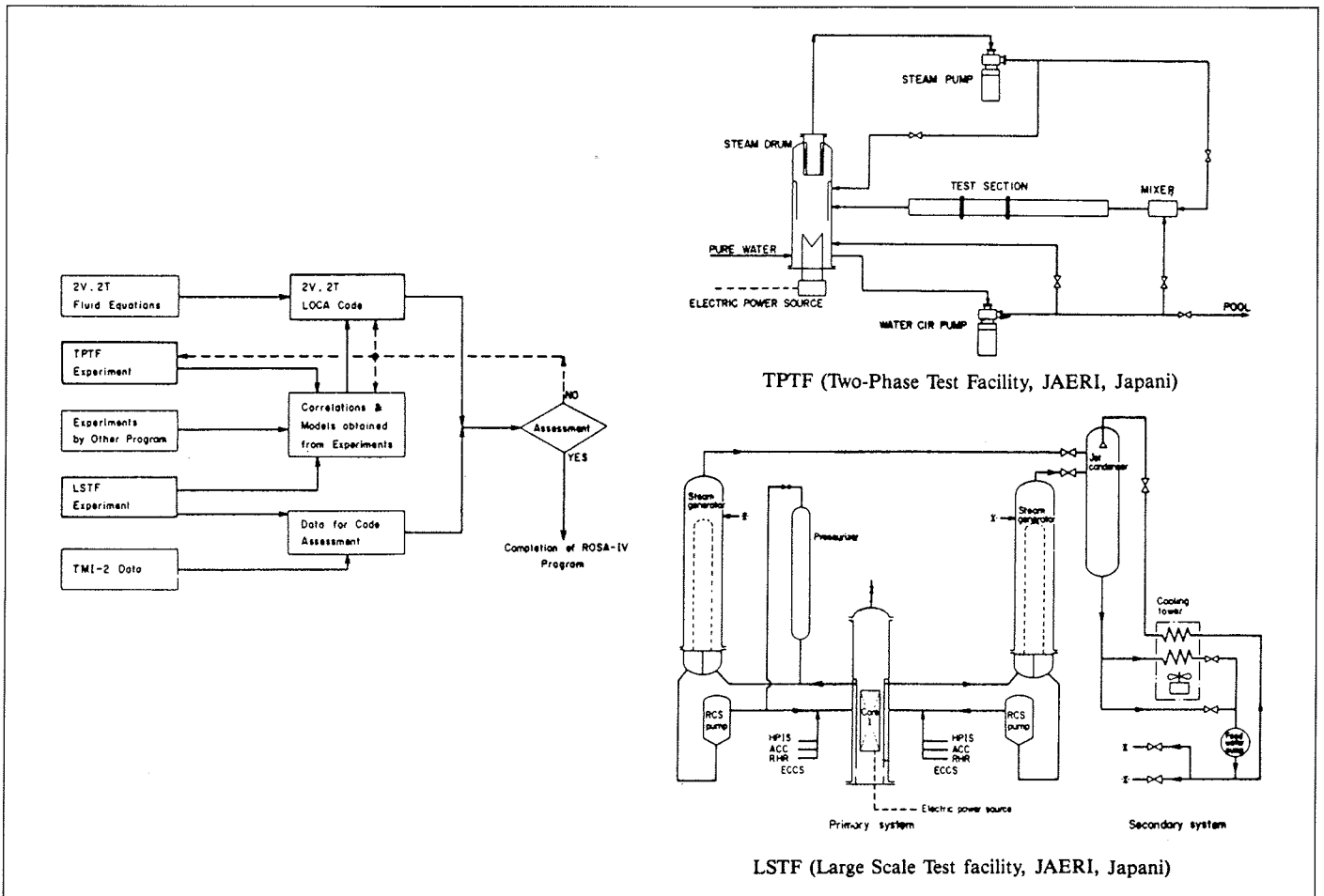


Kuva 3. BETSY-laitteiston painestasia ja höyrystin.



*) the U-Tube rupture test was inserted into the SB-LOCA test matrix and replaced by a test simulating a feedwater increase in a single steam generator

Kuva 4. LOBI-laitteisto ja koeohjelma.



Kuva 5. ROSA-IV ohjelma, LSTF- ja TPTF-laitteistojen virtauskaaviot.

TPTF (Two-Phase Test Facility, JAERI, Japan)

LSTF (Large Scale Test facility, JAERI, Japan)

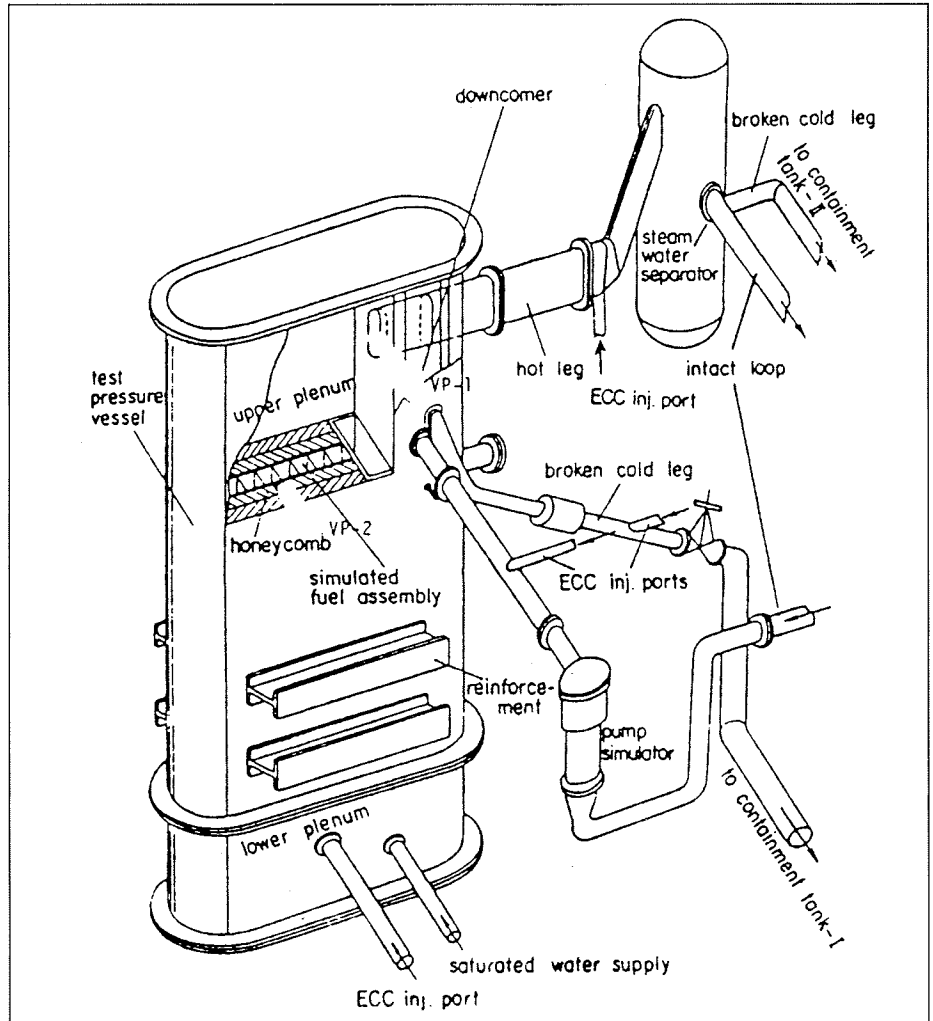
Kokeet LSTF-laitteistolla ovat osa JAERIn (Japan Atomic Energy Research Institute) ROSA-IV ohjelmaa. ROSA-IV ohjelma käsittää tietokoneohjelmien kehittelyä erilliskokeet-tyyppisellä TPTF-laitteistolla sekä integroituja kokeita LSTF-laitteistolla. LSTF-kokeilla tutkitaan lähinnä pienen vuodon onnettomuustilanteita sekä luonnonkiertoa. Koelaitteistojen virtauskaaviot ja ROSA-IV koeohjelma on esitetty kuvassa 5.

SCTF (Slab Core Test Facility, JAERI, Japan)

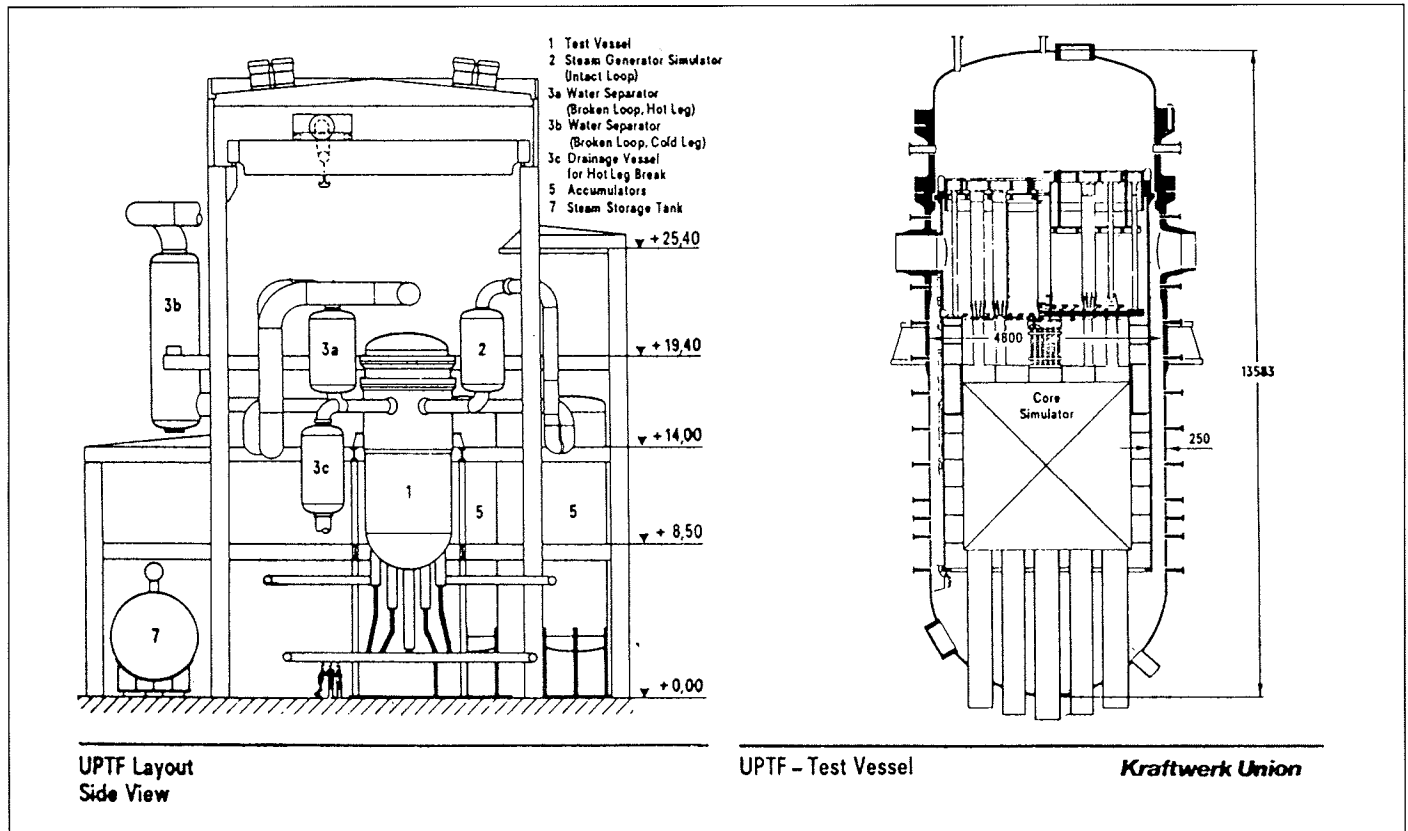
Slab Core Test Facility (SCTF) on PWR-sydämen sauvanippurivin täysimittakaavainen simulaattori. Reaktorin paineastiasta on simuloitu kaikki vastaavan rivin kohdalla olevat rakenteet (ala- ja ylätila, alasmenotila, ohitustila.) Laitteiston sydän koostuu kahdeksasta 16x16 sauvanipusta (rivissä). Jokaisessa nipussa on myös 22 tehotonta sauva. Laitteistolla tutkitaan suuren murtuman LOCA:n eri vaiheita, kuva 6.

UPTF (Upper Plenum Test Facility, Kernforschungszentrum Karlsruhe, L-Saksa)

UPTF-laitteisto on täysimittakaavainen PWR:n paineastian ja sen sisärakenteiden simulaattori. Sydäntilavuudessa on vain yläosassa polttoainesauvanippujen simulaattorit. Simulaattorit ovat tehoton ja sydämen termien käyttäytyminen on simuloitu säädetyllä vesi- ja höyryruiskutuksella. Laitteistolla tutkitaan LOCA:n uudelleenkestämistä. Laitteiston suuri koko käy hyvin ilmi kuvasta 7.



Kuva 6. SCTF-koelaitteisto

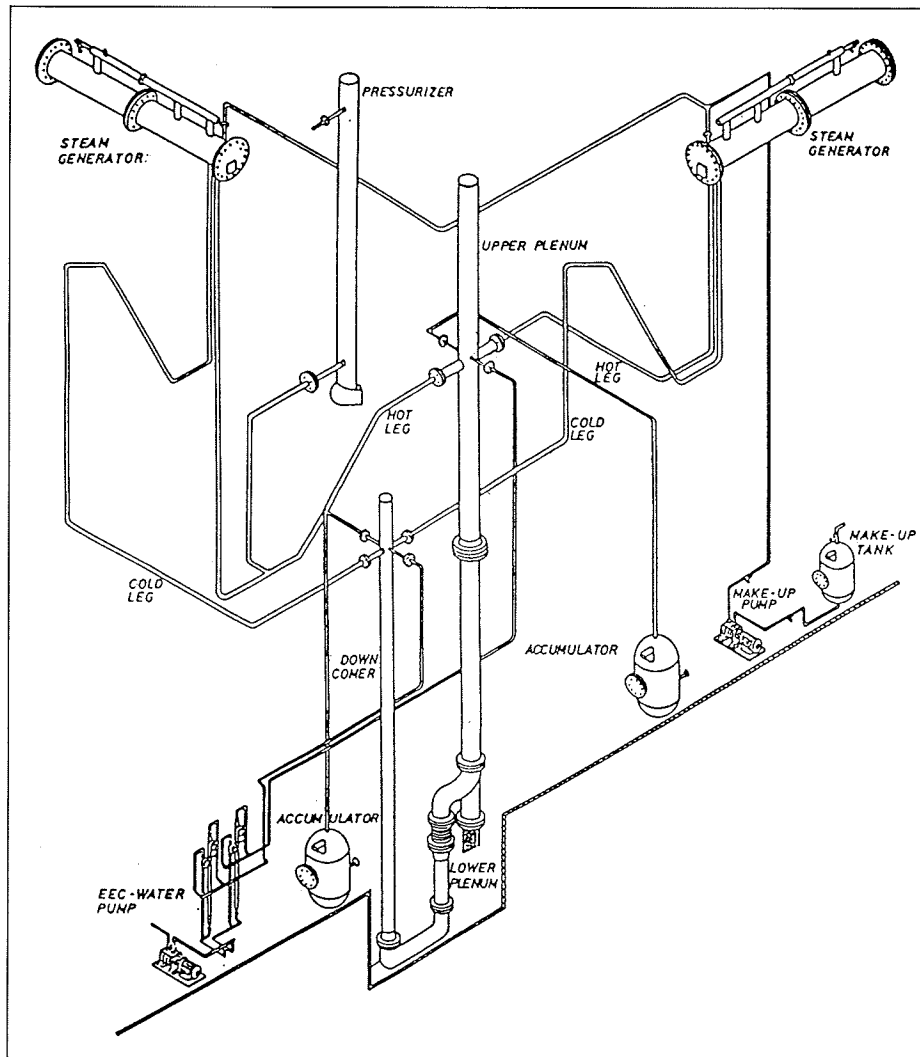


Kuva 7. UPTF-koelaitteisto.

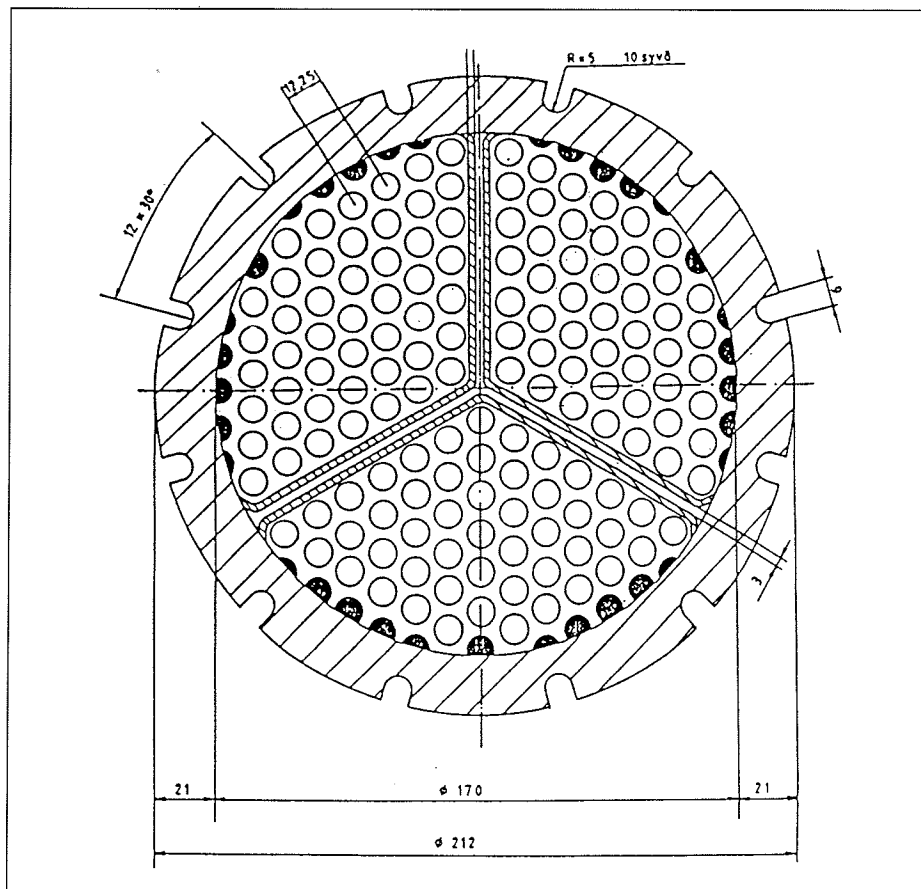
PCTL (Parallel Channel Test Loop, VTT)

PCTL-koelaitteisto on suunnitteilla ja sillä on tarkoitus jatkaa VT:n ydinvoimatekniikan laboratorion REWET koelaitteistoilla, yhteistyössä LTTKn kanssa suoritettua LOCA-tutkimusta. Laitteiston suunnittelupaine on 60 bar ja käytettävissä oleva sähköteho 1 MW. Laitteistossa reaktorin paineastia kuvataan U-putkirakenteella ja primaaripiirit kahdella myöskin vesitukot ja höyrystimet käsittävällä putkilinjalla. Toiseen putkilinjaan on yhdistetty paineistin. Mikäli laitteisto valmistetaan, on se taulukon 1 PWR-laitteistoista kahdeksanneksi suurin. Laitteistolla tutkitaan pienen ja keskiuuren LOCAn tapahtumia erityisesti tilanteissa, joihin operaattoreiden toiminta vaikuttaa.

Kuvassa 8 on esitetty laitteiston periaatekuva sekä kuvassa 9 kolmesta saunanipusta koostuvan sydämen rakenne. Kuvassa esitetty laitteisto ei ole lopullinen. Parhaillaan lasketaan kustannuksia myös 80 ja 120 barin laitteistoille sekä kolmannen primaaripiirin hintaan. PCTL on laitteiston työnimi. Omaperäisemmän nimen ehdotuksia otetaan mielellään vastaan. □



Kuva 8. PCTL koelaitteiston periaatekuva



Kuva 9. PCTL-laitteiston saunanipun poikkileikkaus

Liikeriskien hallinta suuren investointiprojektin suunnittelussa ja toteutuksessa

Investointiprojektin suunnittelun ja toteutuksen riskejä ovat sellaiset mahdolliset tapahtumat, jotka vaikuttavat projektin lopputulokseen, aikatauluun ja investoinnin kokonaisuuteen. Ongelmana on projektin hallittu läpivieminen taloudellisesti siten, että riskejä ja epävarmuuksista aiheutuvat epäsuotuisat vaikutukset olisivat hyväksyttävällä tasolla. Riskejä voidaan vähentää tai niitä voidaan ottaa hallitusti, kun ollaan tietoisia niistä ja niiden suuruuksista. Tämä edellyttää luotettavia menetelmiä riskien tunnistamiseksi ja analysoimiseksi.

Liikeriskit merkittävänä projektijohdon huomion ja ohjaustoimenpiteiden kohteina

Projektinohjaustoimenpiteiden tärkeinä kohteina olevat liikeriskit ovat projektitoimintaan sisältyviä, viime kädessä toiminnan kannattavuuteen vaikuttavia vaihteluita ja epävarmuustekijöitä. Liikeriskit eivät luonteensa vuoksi juuri ole vakuutettavissa, ne eivät ole vahinkoriskien tavoin äkillisiä, ennakoimattomia vahinkoja tai onnettomuuksia. Merkittävimmät aikatauluun ja kustannuksiin vaikuttavat liikeriskit ovat yleensä johdettavissa seuraavista tekijöistä:

1. Projektin laajuus, monimutkaisuus ja pitkä kesto. Uusi teknologia, uudet komponentit tai suunnitteluratkaisut, joiden soveltamisesta ei ole hyvää kokemusta.
2. Eri osapuolien kokemuksen määrä.
3. Suunnitelmamuutokset.
4. Inhimilliset tekijät.
5. Säännökset, turvallisuusmääräykset.
6. Suunnittelu- ja päätöksentekotilanteiden lähtötiedoksi tarvittavan informaation puutteellisuus.
7. Vaikeudet ja ongelmat sopimuksissa ja sopimushallinnossa. Tilaajan ja toimittajan välinen yhteistyö.
8. Poliittiset tekijät.
9. Paikalliset tekijät, resurssit.

Mitä on projektin riskienhallinta?

Laajasti käsitettynä riskienhallinta on mahdollisuuksien näkemistä ja niihin vaurautumista, jollainen toimintatapa kuuluu jokaiselle projektihenkilölle. Kuitenkin systemaattinen riskien analysointi ja käsittely on useissa suurissa energia-alan yrityksissä katsottu niin tärkeäksi erikoisosaamista vaativaksi alueeksi, että riskienhallintasytematiikan soveltaminen on organisoitu erilliseksi toiminnoksi.

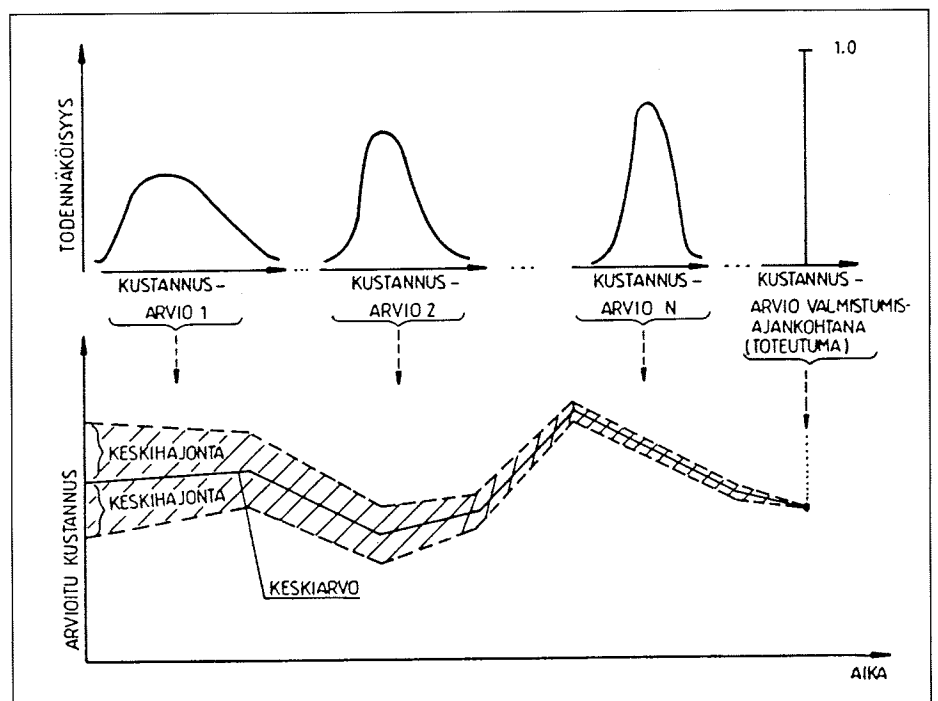
Riskianalyysillä on keskeinen merkitys riskienhallinnassa. Projektitoiminnan menestyksellisyyttä arvioidaan usein mittamalla laatu-, aika- ja kustannustavoitearvojen saavuttamista. Tavoitearvojen ylitykset saattavat johtua ennakoimattomista tapahtumista, tai liian optimistisista tavoitearvoista, joissa riskejä ei ole otettu huomioon. Monentyyppisten riskien huomiotta jättäminen kvantitatiivisissa kustannusarvioissa on hyvin yleistä; pääasiallisen syynä tähän lienee vaikeudet käsitellä riskejä systemaattisesti perinteisin lähestymistavoin ja menetelmin. Mikäli aika- ja kustannusvaihteluita aiheuttavat riskit edelleen jätetään huomiotta toteutusvaiheessa, on luonnollisesti olemassa vain

rajoitetut mahdollisuudet niiden vaikutuksia ehkäisevien toimenpiteiden suunnittelemiseksi.

Projektin alkuvaiheessa riskit ovat suurimmat, minkä takia riskien analysointipanoksen ja vähentämistoimenpiteiden painottaminen nimenomaan projektin alkuvaiheisiin on oleellista. Projektin edessä jäljelläoleva riski on yleensä aikaisemmissa vaiheissa esiintyvää riskiä pienempi. Tätä havainnollistaa kuva 1.

Riskianalyysi

Jokaiseen projektissa toteutettavaan osaan vaikuttaa joukko riskejä, joiden takia toteutuksen kesto tai kustannusta voidaan kuvata pikemminkin arvojen joukolla, vaihteluvälillä, kuin yhdellä ainoalla arvolla. Tällainen arvojoukko todennäköisyysjakautumalla voidaan kuvata todennäköisyysjakautumalla. Suoraan toteutettaviin osiin sovellettavissa olevia tilastotietoja kuitenkin ei usein ole saatavissa jakautuman muodostamiseksi. Tämä johtuu eri projektien erilaisista toteutusolosuhteista ja -tavoista. Näin ollen riskejä arvioitaessa on turvaututtava asiantuntevien ja ko-



Kuva 1. Arvion tarkentuminen ja kustannusriskien pieneneminen projektin edetessä.

keneiden henkilöiden subjektiivisiin arvioihin, joissa projektin erityisolosuhteet on otettu huomioon. Todennäköisyysjakautuma ilmaisee odotettavan tilanteen realistisemmin kuin niinkään subjektiivinen yksipistearvio, jossa mahdollisuuksia erilaisille asiantiloille ei ole otettu lainkaan huomioon.

Riskianalyysimenetelmiä on useita. Eri menetelmät soveltuvat erilaisiin tilanteisiin. Yleinen ja monissa yhteyksissä suositeltava tapa on arvioida osien kustannukset ja niiden keskinäiset vaikutukset kvantitatiivisesti, josta saadaan laskettua mm. projektin kokonais(kustannus-riski)jakautuma.

Erityisiä menetelmiä on niinkään kehitetty mm. seuraavanlaisiin analyyseihin sisältyviin asioihin:

- riskien tunnistaminen, riski- ja kysymyslistat, kvalitatiivinen riskianalyysi
- vaikutusdiagrammit
- riski/toimenpidekaaviot
- haastatteluprosessi, vinoutumat arvioissa ja niiden ehkäiseminen
- kvantifiointimenetelmät, suorat ja epäsuorat tekniikat
- riskien laskenta Monte Carlo-, Controlled Interval and Memory- tai analyyttisillä menetelmillä.

Riskianalyysissä esitettyjen mahdollisuuksien joukko ja tiedon ei-deterministisyys ovat omiaan korostamaan päätöksenteon vaikeutta. Eri dimensioiden osoittaminen kuitenkin pakottaa päätöksentekijän kohtaamaan päätöksenteon vaikeudet sen sijaan, että hän ei huomioisi riskejä ja epävarmuutta päätöksessään.

Projektin arviointi ja valinta

Varhaisessa vaiheessa ennen investointipäätöstä tehtävät tarkastelut painottuvat eri projektivaihtoehtojen riskien tunnistamiseen ja kuvaamiseen. Kvantitatiivisia aika- ja kustannusriskien arviointimenetelmiä saattaa olla vaikea soveltaa mahdollisen projektin toteutustapasuunnitelmien ollessa vielä avoimia. Investointipäätöksen tulee kuitenkin pohjautua käsitykseen projektin laadullisista-, aika- ja kustannustavoitteista sekä niihin liittyvistä riskeistä, jolloin selkeiden kvantitatiivisten riskiarvioiden käytettävissä oleminen on edellytys hyville investointipäätöksille. Kuva 2 havainnollistaa eri projekti/toteutustapavaihtoehtojen erisuuruisia kustannusriskejä. Kuvan vaihtoehdot ovat päätöksentekijälle eriarvoisia, joskin kaikkien kustannusjakautumien odotusarvo on samansuuruinen. Riskianalyysi paljastaa päätöksentekijälle niinkään vaihteluiden syinä olevat suurimmat riskit. Tämän pohjalta voidaan tehdä sellaisia toteutustapa- tai laajuusvalintoja, joissa tilaajan kantama riski voidaan pitää hyväksyttävällä tasolla.

Tavoitteiden ja pelivarojen asettaminen budjettiin sekä muista kriittisistä tavoitearvoista päättäminen

Riskianalyysien tuloksia käytetään hyväksi määriteltäessä projektille tai sen osille aika- ja kustannustavoitteita. Vaikka seu-

raavassa asiaa havainnollistetaan kvantitatiivisten jakautuma-arvioiden valossa, on syytä pitää mielessä, että kvantitatiivinen jakautuma on riskianalyysin osatulos. Toisena osatuloksena mainittakoon riskien huolellinen dokumentointi, joka antaa mahdollisuuden ryhtyä toimenpiteisiin niihin riskeihin vaikuttamiseksi, joista aika- tai kustannusvaihtelu aiheutuu.

Projektin budjetissa määritetään projektille ja sen eri vastuualueille kustannustavoitteet, joihin tulee pyrkiä. Tavoitteiden tulee olla tiukkoja, mutta saavutettavissa olevia, jotta vastuuhenkilöt motivoituisivat tehtävänsä. Kuvassa 3 on esitetty riskianalyysin tuloksena saatu kustannusjakautuma. Tavoitteeksi on asetettu kustannus, jonka saavuttamisen todennäköisyys on 30 %. Tavoitteen ylityksen varalle budjettiin on sisällytetty pelivara. Tavoite-kustannusten ja pelivaran summan ylittymiseen on 50 % todennäköisyys.

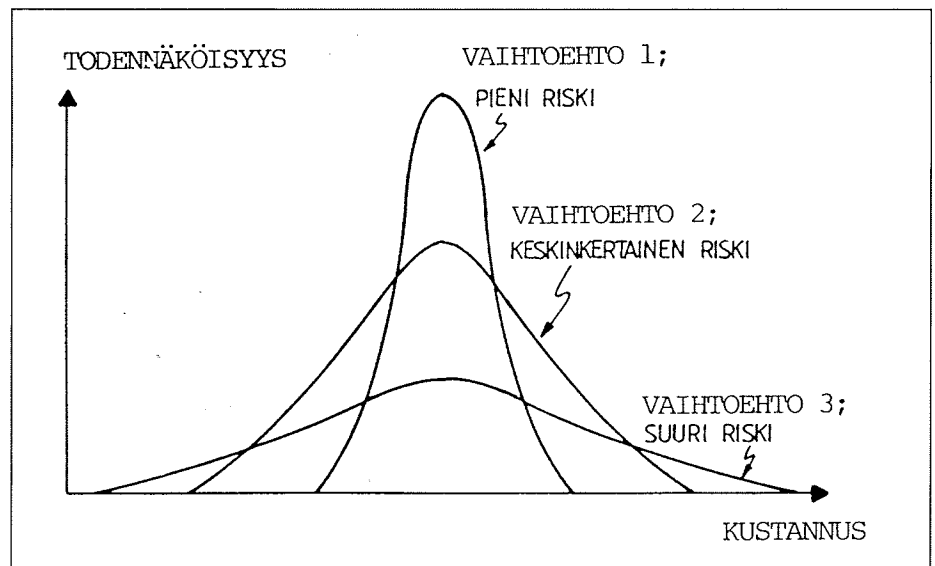
Vastaavalla tavalla aikariskianalyysin tuloksena saadaan kumulatiivinen aikajakautuma, jonka pohjalta aikavoitteet voidaan asettaa. Mikäli projekti tehtäisiin asiakkaan laskuun, määritettäisiin sopimukseen ilmeisesti sellainen luovutusajan-

kohta jonka saavuttamisen todennäköisyys on suuri, esim. 90 %. Samoin sopimushinta valittaisiin siten, että kustannukset eivät kasvaisi sitä suuremmiksi kuin äärimmäisen epäsuotuisissa tapauksessa.

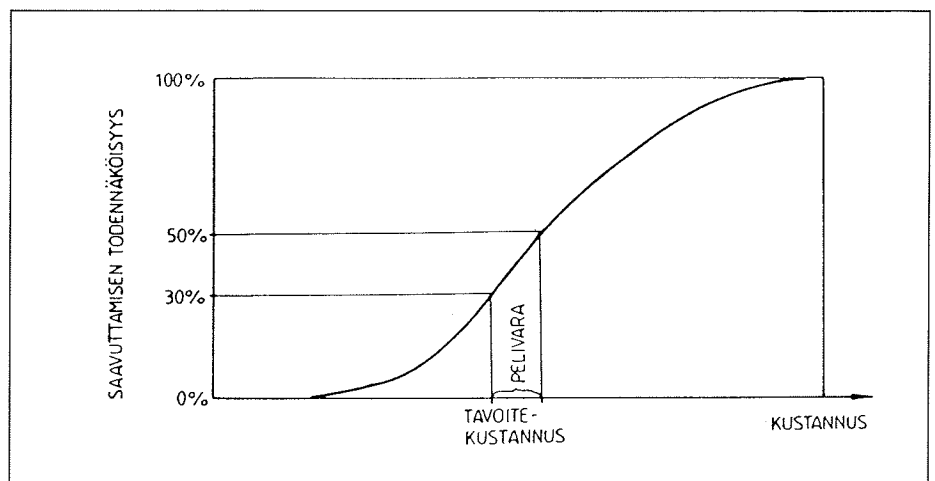
Organisaation ja vastuualueiden määrittäminen, toteutusosat

Organisaation ja työn rakenteen yhteensovittamisen kautta syntyvät projektin toteutusosat. Toteutusosan kustannukset ovat kustannusohjauksessa kohdistettavissa projektin kohteen ja työn elementeille, tai organisaation vastuuhenkilölle.

Toteutusosaan sisältyvät projektin osat ja tehtävät muodostavat sen alimman tason, jolla kustannus- ja aikatauluinformaation integrointi on suoritettu. Ne sisältävät lyhyitä, projektin kannalta merkittäviä tehtäviä, joita seurataan ja joihin vaikutetaan projektinohjauksen keinoin. Eräänä toteutusosan muodostamisen kriteerinä ovat riskit: pieniä riskejä sisältäviä töitä voidaan yhdistää samalle toteutusosalle, kun taas suuren riskin sisältämät työt pidetään erikseen omina toteutusosinaan.



Kuva 2. Eri vaihtoehtojen erisuuruisia riskejä.



Kuva 3. Projektin tai sen osan kustannustodennäköisyysjakautuma.

Sopimukset ja riskienhallinta

Toteuttamiseen liittyvää vastuuta ja riskejä voidaan jakaa tai siirtää osapuolelta toiselle sopimuksin. Riskien jakaminen perustuu osapuolien erilaiseen riskin poistamis- ja pienentämiskykyyn sekä riskin kantamisesta aiheutuvaan erisuuruiseen kustannukseen.

Ennen sopimuksen tekemistä riskit tulee analysoida, jotta niiden kantamisvastuu voidaan määritellä oikealla ja tilaajalle edullisella tavalla. Riskin siirtämistä tai jakamista harkittaessa huomioonotettavia seikkoja ovat:

— Kumpi osapuoli kykenee paremmin ehkäisemään epäsuotuisan tapahtuman syntymisen?

- Kumpi osapuoli kykenee paremmin lieventämään epäsuotuisan tapahtuman vaikutusta?
- Onko tilaajan ylipäänsä järkevää osallistua riskin "ohjaukseen"?
- Kumpi osapuoli kantaa riskin, jos riskiin ei voida vaikuttaa?
- Onko riskin kantamisesta maksettava hinta kohtuullinen/hyväksyttävä?
- Kykeneekö osapuoli vastaamaan kaikista epäsuotuisan tapahtuman seurauksista?
- Jos riski siirretään toimittajalle, aiheuttaako se eriluonteisten riskien kohdistumista takaisin tilaajalle?

Riskienhallinnan merkitys

Riskienhallintaa voitaisiin luonnehtia päätöksenteossa käytettäväksi työkaluksi jonka avulla kyetään investoimaan järkevästi ja välttymään tarpeettomilta uhrauksilta. Riskianalyysillä on riskienhallinnassa erittäin keskeinen rooli. Riskianalyysien ja riskienhallinnan periaatteiden soveltamisen tärkeyttä kannattaa erityisesti korostaa projektin alkuvaiheessa, jolloin päätöksillä ja vaihtoehtojen valinnalla voidaan vaikuttaa parhaiten projektin riskeihin. Myöhemmin projektin toteutuksessa ohjauksen painopistettä pyritään suuntaamaan niihin kohteisiin, joihin sisältyvä riski on suurin. □



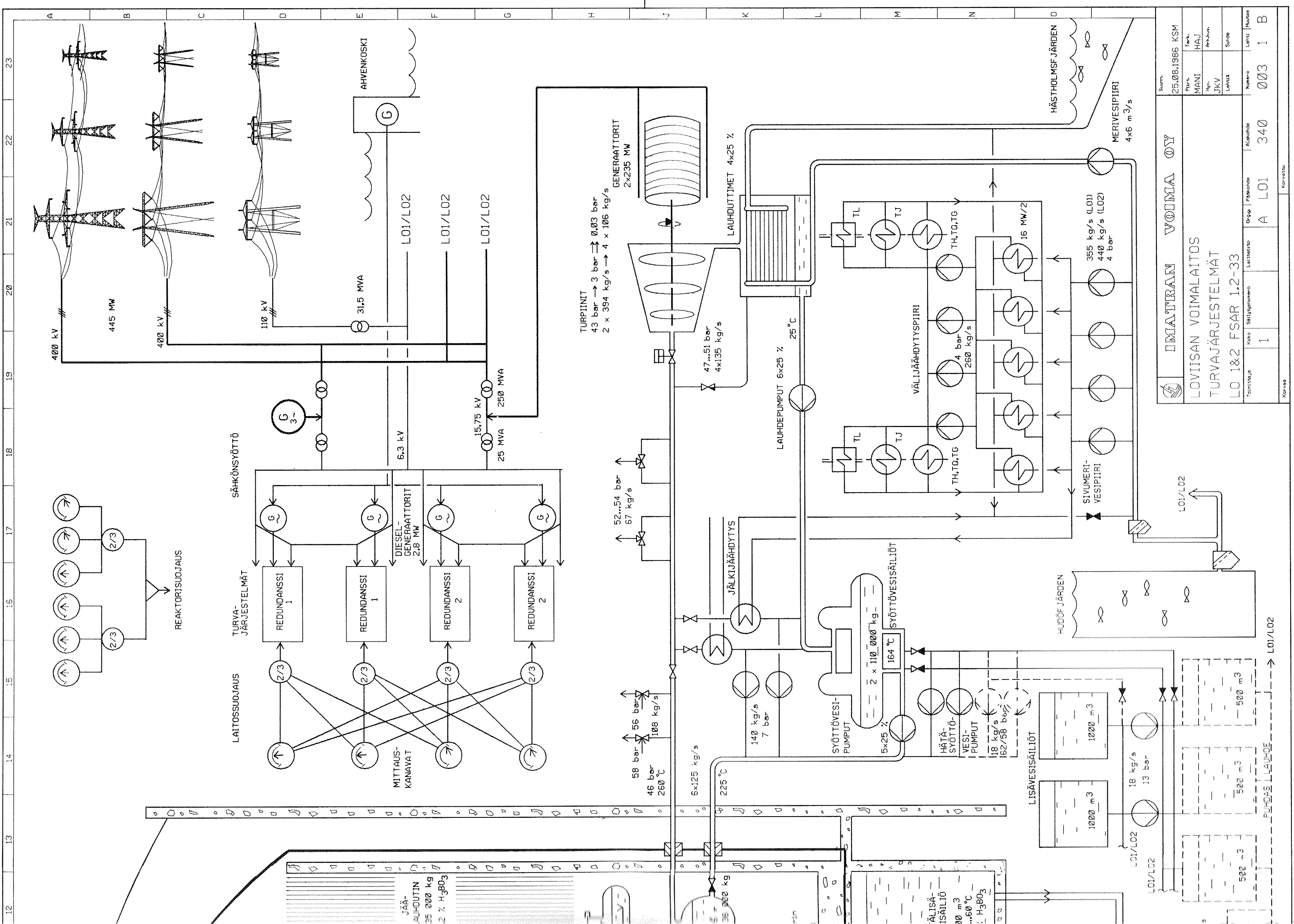
Timo Mikama
SVY:n arkisto

ATS:n johtokunnat seuran perustamisesta lähtien

ATS on perustettu vuonna 1966. Sääntöehdotusta laatimaan ja varsinaista perustamiskokousta koolle kutsumaan nimettiin toimikunta, jonka puheenjohtajana oli prof. Pekka Jauho, sihteerinä DI Kalevi Numminen sekä jäseninä DI Daniel Jåfs ja TkL Olavi Vapaavuori.

Johtokunnat:

1966	1967	1968	1969
pj Pekka Jauho vpj Uolevi Luoto rh Tapio Eurola sih Kalevi Numminen Pentti Alajoki Ilkka Mäkipentti Norman Westerberg	pj Pekka Jauho vpj Daniel Jåfs rh Tapio Eurola sih Jaakko Ihamuotila Pentti Alajoki Ilkka Mäkipentti Norman Westerberg	pj Uolevi Luoto vpj Daniel Jåfs rh Tapio Eurola sih Jaakko Ihamuotila Pentti Alajoki Jorma K Miettinen Antti Vuorinen	pj Uolevi Luoto vpj Daniel Jåfs rh Antti Vuorinen sih Jaakko Ihamuotila Jorma K Miettinen Kalevi Numminen Olavi Vapaavuori
1970	1971	1972	1973
pj Uolevi Luoto vpj M. von Bonsdorff rh Antti Vuorinen sih Olavi Vapaavuori Jorma K Miettinen Lasse Nevanlinna Kalevi Numminen	pj Anders Palmgrén vpj M. von Bonsdorff rh Jaakko Kajamaa sih Tapani Graae Lasse Nevanlinna Kalevi Numminen Olavi Vapaavuori	pj Anders Palmgrén vpj M. von Bonsdorff rh Jaakko Kajamaa sih Tapani Graae Juhani Kuusi Martti Mutru Lasse Nevanlinna	pj Anders Palmgrén vpj Erkki Vaara rh Jaakko Kajamaa sih Tapani Graae Juhani Kuusi Jouko Mikola Martti Mutru
1974	1975	1976	1977
pj Erkki Vaara vpj Martti Mutru rh Reino Hyvärinen sih Risto Tarjanne Juhani Kuusi Paul Laine Olli Tiainen	pj Erkki Vaara vpj Olli Tiainen rh Reino Hyvärinen sih Risto Tarjanne Paul Laine Bjarne Regnell Eric Rotkirch	pj Erkki Vaara vpj Olli Tiainen rh Reino Hyvärinen sih Launo Tuura Bjarne Regnell Eric Rotkirch Risto Tarjanne	pj Olli Tiainen vpj Paavo Holmström rh Pekka Hiismäki sih Launo Tuura Ami Rastas Bjarne Regnell Eric Rotkirch
1978	1979	1980	1981
pj Olli Tiainen vpj Paavo Holmström rh Pekka Hiismäki sih Launo Tuura Antero Raade Ami Rastas Anneli Salo	pj Olli Tiainen vpj Paavo Holmström rh Pekka Hiismäki sih Jorma Karjala Antero Raade Ami Rastas Anneli Salo	pj Paavo Holmström vpj Antero Raade rh Aito Ojala sih Pekka Louko Lasse Mattila Heikki Raumolin Anneli Salo	ph Paavo Holmström vpj Heikki Raumolin rh Aito Ojala sih Pekka Louko Lasse Mattila Alpo Ranta-Maunus Harry Viheriävaara
1982	1983	1984	1985
pj Paavo Holmström vpj Heikki Raumolin rh Aito Ojala sih S. Ruotsalainen Matti Komsu Lasse Mattila Alpo Ranta-Maunus	pj Heikki Raumolin vpj Alpo Ranta-Maunus rh Leena Katajapuro sih Pertti Visuri Matti Komsu Kari Törrönen Harry Viheriävaara	pj Heikki Raumolin vpj Matti Komsu rh Leena Katajapuro sih Esko Tusa Jukka Laaksonen Kari Törrönen Harry Viheriävaara	pj Heikki Raumolin vpj Harry Viheriävaara rh Leena Katajapuro sih Esko Tusa Erkki Aalto Jukka Laaksonen Kari Törrönen
1986			
pj Erkki Aalto vpj Jukka Laaksonen rh Seppo Salmenhaara sih Esko Tusa Antti Hanelius Ilkka Mikkola Björn Wahlström			



		Summa 25.08.1986 KSM
LOVIISAN VOIMALAITOS TURVAJÄRJESTELMÄT L0 1&2 FSAR 1.2-3.3	IMATRAN VOIMA OY	Piirust. MANI Hyvä. JKV Lehtola
Tositustapa 1	Sääntönumero 1	Numero 003
Ohje A	Pääkohde L01	Rikoksehd. 340
Koko 1	Lehtitavoite 1	Lehti 1
Korvaus Korvaus	Korvaus Korvaus	Korvaus Korvaus

