

ATS Ydintekniikka 1/1982

FIR 1 -REAKTORI	J.Kuusi	1
SEURAN VUOSIKOKOUKSESTA		3
SEURAN LAUSUNTO YDINENERGIALAKITOIMIKUNNAN OSAMIETINNÖSTÄ II		5
YDINTEKNIIKAN SANASTON LAATIMINEN KÄYNNISTETÄÄN		7
LOVIISA 1 KÄYTTÖ		8
LOVIISA 2 KÄYTTÖ		10
TVO:N OLKILUODON LAITOKSET		12
ENERGIAKATSAUS VUODELTA 1981		14
KTM - GKAE SEMINAARI	P.Louko	19
REAKTORILÄITOS VVER-1000	V.P.Denisov	20
VVER-1000 ERIKOISPIIRTEET JA NOVORONESH-5 REAKTORIN KÄYTTÖNOTOSTA	A.S.Duhovensky	49
RAPORTTI OSALLISTUMISESTA TMI-2 LAITOKSEN DEKONTA- MINOINTIPROJEKTIIN v. 1981	P.O.Lehtinen M.Kautto	64
ENERGIAHUOLTO JA YMPÄRISTÖNSUOJELU	O.Ojala	77
PIENTEN SÄTEILYANNOSTEN TERVEYDELLISET VAIKUTUKSET	T.Rytömaa	80
FIR 1 -REAKTORILLA TAPAHTUVAN TOIMINNAN TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ	J.Kuusi	82
OTANIEMEN REAKTORI FIR 1 KOULUTTAJANA	P.Silvennoinen	90
YDINPOLTTOAINEPÄIVÄ - KATSAUS POLTTOAINETEKNIIKAN TILAAAN 21.1.1982	I.Mikkola	93

ATS YDINTEKNIikka

NUMERO 1/1982

HUHTIKUU 1982

JULKAISIJA Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland r.y.

TOIMITUS

PÄÄTOIMITTAJA

TKT HEIKKI REIJONEN
PUH. 90-4564148

VTT/SÄHKÖ- JA ATOMITEKNIIKAN
TUTKIMUSOSASTO
VUORIMIEHENTIE 5
02150 ESPOO 15

ERIKOISTOIMITTAJA

TKT LASSE MATTILA
PUH. 90-648931

VTT/YDINVOIMATEKNIIKAN LABORATORIO
LÖNNROTINKATU 37
00180 HELSINKI 18

TOIMITTAJA

FM LAUNO TUURA
PUH. 90-6172471

HELSINGIN KAUPUNGIN ENERGIALAITOS
PL 469
00101 HELSINKI 10

JOHTOKUNTA

PUHEENJOHTAJA

DI PAAVO HÖLMSTRÖM
PUH. 939-37211

RAUMA-REPOLA OY, PORIN TEHTAAT
PL 27
28101 PORI 10

JOHTOKUNNAN JÄSEN

DI MATTI KOMSI
PUH. 90-6160383

IMATRAN VOIMA OY
EERIKINKATU 27
00180 HELSINKI 18

VARAPUHEENJOHTAJA

DI HEIKKI RAUMOLIN
PUH. 90-523522

TEOLLISUUDEN VOIMA OY
KUTOJANTIE 8
02630 ESPOO 63

JOHTOKUNNAN JÄSEN

TKT LASSE MATTILA
PUH. 90-648931

VTT/YDINVOIMATEKNIIKAN LABORATORIO
LÖNNROTINKATU 37
00180 HELSINKI 18

RAHASTONHOITAJA

TKT AITO OJALA
PUH. 90-448311

INS.TSTO AITO OJALA
RUNEBERGINKATU 60 B 44
00260 HELSINKI 26

JOHTOKUNNAN JÄSEN

TKT ALPO RANTA-MAUNUS
PUH. 90-6167245

SÄTEILYTURVALLISUUSLAITOS
KALEVANKATU 44
00180 HELSINKI 18

SIHTEERI

DI SEPPO RUOTSALAINEN
PUH. 90-523671

TEOLLISUUDEN VOIMA OY
KUTOJANTIE 8
02630 ESPOO 63

TOIMIHENKILÖT

YLEISSIHTEERI

DI LIISA MÄKI
PUH. 90-6160510

IMATRAN VOIMA OY
EERIKINKATU 27
00180 HELSINKI 18

EKSKURSIOSIHTEERI

DI KLAUS KILPI
PUH. 90-648931

VTT/YDINVOIMATEKNIIKAN LABORATORIO
LÖNNROTINKATU 37
00180 HELSINKI 18

KANS.VÄL.ASIAIN SIHTEERI

TKT OLLI TIAINEN
PUH. 90-6172470

HELSINGIN KAUPUNGIN ENERGIALAITOS
PL 469
00101 HELSINKI 10

ATS-INFO PUHEENJOHTAJA

TKT PEKKA HIISMÄKI
PUH. 90-4566362

VTT/REAKTORILABORATORIO
OTAKAARI 3 A
02150 ESPOO 15

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

FiR 1 -REAKTORI 20-VUOTIAS

Lauantaina 27. päivänä maaliskuuta 1982 klo 16.11 tuli kuluneeksi 20 vuotta siitä, kun maamme ensimmäinen ydinreaktori, Otaniemessä sijaitseva FiR 1 -reaktori, ensimmäisen kerran käynnistyi ja Suomi astui atomiaikaan. Virallisesti reaktori vihittiin käyttöön elokuun 31. päivänä 1962 silloisen tasavallan presidentin Urho Kekkonen toimesta arvovaltaisen kutsuvierasjoukon läsnäollessa.

20-vuotissyntymäpäivät pidettiin reaktorilla perjantaina 26.3., jolloin kauppa- ja teollisuusministeri Esko Ollila vihki reaktorin uuden instrumentointijärjestelmän virallisesti käyttöön.

Reaktorin toiminnan ensimmäisinä vuosina oli pääpaino koulutuksella ja ydinteknisen toiminnan käynnistämisen edellytyksenä olevien oppilastöiden, käyttöohjeistojen, turvallisuusmääräysten, tutkimusohjelmien yms. laadinnalla.

Alkuaikojen koulutustoiminnan menestyksellisyydestä ovat osoituksena ne monet tohtorit, lisensiaatit ja insinöörit, jotka nykyään toimivat mitä moninaisimmissa ydinenergia-ohjelmaamme liittyvissä tehtävissä.

Varhaisessa vaiheessa kiinnitettiin huomiota myös energiantuotannon ulkopuolisten sovellutusten kehittämiseen. Tämän työn tuloksena onkin reaktorista ja siihen liittyvistä laitteistoista ja tietämyksestä tullut isotooppi-, säteily- ja mittaustekniikan välityksellä hyödyllinen työkalu maamme prosessiteollisuudelle, malminetsinnälle, ympäristönsuojelutekniikalle sekä lääketieteelle ja sairaanhoidolle. On ilmeistä, että teknologialle asetettavien vaatimusten jatkuvasti kasvaessa tämän erikoistyökalustonkin käyttötarve edelleen kasvaa.

Ydinenergiaohjelmamme jo päästyä hyvään käyntiin on tämän alan työn painopiste siirtynyt ydinjätehuoltoon ja reaktorien käyttötekniikan alueelle kuuluvaan tutkimukseen.

Reaktorin mekaanisten osien kunto on erinomainen ja sen ohjaus- ja säätöjärjestelmä on juuri uusittu kokonaisuudessaan. Niinpä se tulee ilmeisesti menestyksellisesti palvelemaan suomalaista tutkimusta ja tekniikkaa vielä toiset parikymmentä vuotta.

Niillä alueilla, joilla reaktorin intensiteetti ei riitä aivan huipputyöskentelyyn, on hankkiuduttu kansainväliseen yhteistyöhön. Merkittävin näistä yhteistyöhankkeista on maailman suurinta tutkimusreaktoria rakentavan Leningradin ydinfysiikan instituutin kanssa toteutettava SFINKS-projekti, joka tähtää magneettisten materiaalien tutkimiseen äärimmäisissä olosuhteissa ja palvelee siten mm. uusien energiantuotantomuotojen materiaalitutkimustarvetta.

Juhani Kuusi

SEURAN VUOSIKOKOUKSESTA 1982

Seuran 16. vuosikokous pidettiin 28. tammikuuta Helsingin Yliopiston Biokemian laitoksella. Kokouksen puheenjohtajana toimi Ilkka Mäkipentti. Käsiteltävinä asioina olivat sääntömääräiset asiat, joista oleellisimmat olivat toimintakertomuksen ja tilinpäätöksen hyväksymiset, tili- ja vastuuvapauden myöntäminen, vuoden 1982 toimintasuunnitelman ja talousarvion vahvistaminen sekä seuran johtokunnan muodostaminen.

Johtokunnan puheenjohtajaksi nimitettiin edelleen Paavo Holmström, jolloin hän tulee toimineeksi puheenjohtajana yhtäjaksoisesti sääntöjen salliman ajan eli 3 vuotta. Johtokunnan jäseniksi nimettiin uusina Matti Kosti ja Seppo Ruotsalainen. Varapuheenjohtajana toimii edelleen Heikki Raumolin ja taloudenhoitajana niinikään Aito Ojala. Sihteeriksi nimitettiin Seppo Ruotsalainen. Johtokunnan kokoonpano on esitetty lehden etukannessa.

Seuraavana vuonna eli vuonna 1983 erovuoroisia sääntöjen mukaan ovat puheenjohtaja Paavo Holmström, Lasse Mattila, Aito Ojala ja Heikki Raumolin.

Toimintavuoden tilintarkastajat ovat edelleen Leena Katajapuro ja Svante Ernstén.

Kuluvalle vuodelle vahvistettiin liittymismaksu ja jäsenmaksut seuraaviksi: Liittymismaksu 50 mk, vuosijäsenmaksu 50 mk, ainaisjäsenmaksu 750 mk ja kannatusjäsenmaksu 1000 mk.

ATS:n toimihenkilöt nimetty

Johtokunta on järjestäytymiskokouksessaan nimennyt seuran toimihenkilöt, edustajat eri järjestöissä, toimikunnat ja työryhmät:

Yleissihteeri	Liisa Mäki
Kansainvälisten asiain siht.	Olli Tiainen
Ekskursios sihteeri	Klaus Kilpi
ATS Ydintekniikka -lehti	
päätoimittaja	Heikki Reijonen
erikoistoimittaja	Lasse Mattila
toimittaja	Launo Tuura

Ekskursiotoimikunta	Antero Raade Olli Tiainen Klaus Kilpi Launo Tuura
ATS-info puheenjohtaja varapuheenjohtaja	Pekka Hiismäki Olli Heinonen Ilari Aro Heikki Niininen Pertti Siltanen Frej Wasastjerna
Sanastotyöryhmä	Heikki Raumolin Lasse Mattila Bjarne Regnell
Edustajat	
Sähköinsinöörijärjestöt TAVYN	Ami Rastas Pekka Louko
Tieteellisten seurojen neuvosto	Anneli Salo
Sähkö -lehden toimitusvaliokunta	Heikki Reijonen
Tekniikan Sanastokeskus r.y.	Heikki Raumolin
ANS yhdyshenkilö	Seppo Ruotsalainen
ENS Board	Olli Tiainen (ENS:n nimeämä)
General Assembly	Olli Tiainen *)
Steering Committee	Olli Tiainen
Information Comm.	Pekka Hiismäki
Finance Committee	Aito Ojala
Planning Committee	Heikki Raumolin
Programme Comm.	Ami Rastas
Publication Comm.	Lasse Mattila
Nuclear Europe -lehti	
Board of Management	Olli Tiainen
Toimitusvaliokunta	Lasse Mattila
Kirjeenvaihtaja	Launo Tuura
ENS:n kirjeenvaihtajajäsenet:	
Pekka Silvennoinen	Reaktorifysiikka ja polttoainekierto
Heikki Kalli	Matematiikka ja tietokonesovell.
Lasse Mattila	Ydinpolttoainetekniikka
Ami Rastas	Ydinturvallisuus ja säteilysuoj.
Asko Vuorinen	Voimantuotantojärjestelmät
Timo Haapalainen	Komponentit
Markku Winter	Instrumentointi
Jarmo Raussi	Yvl käyttökokemukset
Kari Törrönen	Materiaalitutkimus, reaktorikemia
Olli Heinonen	Jälleenkäsittely, jätteet
Seppo Vuori	Ympäristölliset näkökohdat
Rainer Salomaa	Fuusio

*) ENS:n Brysselin General Assembly:ssä huhtikuussa 1982 seuran äänioikeutta käyttää Heikki Raumolin.

SEURAN LAUSUNTO YDINENERGIALAKITOIMIKUNNAN MIETINNÖSTÄ II

Seura toimitti 14.1.1982 KTM:lle lausunnon ydinenergialakitoimikunnan osamietinnöstä II (ydinjätehuollon kustannuksiin varautuminen ja uraanikaivostoiminta). Oheisena johtokunnan hyväksymä lausunto-teksti, jonka valmisteli työryhmä O. Heinonen (pj.), L. Mattila ja A. Rastas. Tiivistelmä mietintötekstistä on julkaistu ATS Ydintekniikka -lehden numerossa 3/1981. Seuran lausunto osamietinnöstä I julkaistiin lehdessä 3/1980 ja osamietinnön I tiivistelmä 2/1980.

Asia

SUOMEN ATOMITEKNILLISEN SEURAN LAUSUNTO YDINENERGIALAKITOIMIKUNNAN MIETINNÖSTÄ II

Suomen Atomiteknillinen Seura (ATS) haluaa esittää kunnioittaen seuraavaa:

Lainsäädännön tavoitteet

Lausunnoissaan osamietinnöstä I 14.7.1980 Seura katsoi, että ydinenergialainsäädännön tulee luoda selkeät puitteet ydinenergian hyväksikäytölle siten, että se asetetaan tasavertaiseen asemaan muihin energiamuotoihin nähden. Samalla on taattava viranomaisille riittävä valvontamahdollisuus, jotta kansalaisten turvallisuus varmistetaan ja ydinenergian tuottamisesta aiheutuvat riskit pidetään pieninä verrattuna yhteiskunnassa esiintyviin muihin riskeihin. Osamietintö II:n osalta yleisinä periaatteina tulee olla, että ydinjätehuollon vaatimat varat kootaan voimalaitosten hyötykäytön aikana ja varojen keruuta ja säilytystä varten luodaan käytännössä hyvin toimiva järjestelmä, joka edistää jätehuollon turvallista ja tarkoituksenmukaista toteuttamista.

Luotavan lainsäädännön on kyettävä mukautumaan ydinenergia-alan nopeaan kehitykseen. Toisaalta lainsäädännössä ei pitäisi näkyä liian selvästi erilaisten mielipiteiden kausivaihteluita. Tästä seuraa, että lain tulee olla luonteeltaan pitkäaikaisesti käyttökelpoinen ja joustava ja sitä olennaisesti täydentävien asetusten ja säännösten valmisteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota. Huolellisen valmistelun merkitystä korostaa tilanne, että ydinjätelakien osalta Suomi tulee olemaan edelläkävijämaita.

Kommentit mietinnöstä

Toimikunta on Seuran mielestä tehnyt perusteellista työtä ja saanut aikaan seikkaperäisen lakiehdotuksen perusteluineen.

Seura kannattaa mietinnön ratkaisua olla laatimatta erillistä ydinjätelakia.

Käytännön toteuttamisen kannalta lakiehdotus sisältää kuitenkin eräitä välttämättä lisäharkintaa edellyttäviä kohtia, joista Seura haluaa ottaa esille erityisesti seuraavat:

Etukäteen kerättyjen varojen säilyttämismuodon valinnassa tulee erityistä huomiota kiinnittää siihen, että varat säilyttävät reaaliarvonsa. Siinä tapauksessa, että päädytään ulkoiseen rahastointiin, tulee varmistaa lakiehdotusta joustavampi ja oikea-aikaisempi varojen vapauttaminen voimayhtiöiden jätehuollon toteuttamistoimenpiteisiin. Varojen takaisinlainaus tulisi tehdä mahdolliseksi.

Ydinjätehuollon vaatimat varat tulee kerätä mahdollisimman tasaisesti koko hyötykäytön aikana niin, että ne laitoksen suunnitellun käyttöiän päättyessä vastaavat jäljellä olevien ydinjätehuoltotoimenpiteiden kustannuksia. Sen varalta, että hyötykäyttö päättyisi jostain syystä suunniteltua aikaisemmin, tulee voimayhtiöiltä edellyttää vakuudet, jotka kattavat keräämättä jääneet varat.

Seura ei näe tarpeelliseksi ydinenergialain ulottamista kaivostoimintaan, vaan näiltä osin vallitsevat puutteet ovat mielekkäimmin poistettavissa kaivoslakia ja säteilysuojauslakia kehittämällä. Ydinmateriaalien valvonta on perusteltua aloittaa esim. nk. yellow cake -vaiheesta, kun uraani on selvästi erotettu ydinenergiakäyttöön.

Valvontaviranomaisten välisten suhteiden selvään määrittelyyn tulee kiinnittää enemmän huomiota. Erityisesti tulee selvittää, mitä ydinjätehuollon aluetta (turvallisuus, taloudellinen toteutettavuus jne.) kukin viranomainen valvoo. Tulee pyrkiä siihen, että luvanhakija joutuu samassa asiassa asioimaan vain yhden viranomaisen kanssa.

Seuran kannanotto

Edellä esitettyyn ja aiempaan osamietintöä I koskevaan lausuntoonsa viitaten Suomen Atomiteknillinen Seura katsoo, ettei ydinenergialakiehdotus ole nykyisessä muodossaan riittävän kypsä ja harkittu annettavaksi eduskunnalle. Seuran mielestä lakiehdotuksen valmistelua tulee tehokkaasti jatkaa ottaen huomioon mm. yllä esitetyt periaatteet ja kiinnittää erityistä huomiota asetusten samanaikaiseen perinpohjaiseen valmisteluun.

Valmistelutyön edistyessä on Seura valmis esittämään lisäkannanottoja.

YDINTEKNIIKAN SANASTON LAATIMINEN KÄYNNISTETÄÄN

- 1
Tilanne

Seuran johtokunta on päättänyt käynnistää ydintekniikan sanaston laatimisen. Vuoden 1982 kustannusarviossa on varattu tarkoitusta varten varoja.

Asiaa on valmistellut sanastotyöryhmä Heikki Raumolin, Lasse Mattila ja Bjarne Regnell. Nyt on tarkoitus löytää asiasta kiinnostuneita seuran jäseniä osallistumaan sanaston laadintatyöhön.
- 2
Tavoitteena oleva sanasto

Tarkoituksena on laatia ydintekniikan alan käsitteitä selittävä sanasto, jossa olisi 500 - 1000 sanaa. Jonkinlaisena esikuvana on ruotsalainen standardi SMS 2800 julkaistuna "TNC55 KÄRNENERGI-ORDLISTA med svenska definitioner samt motsvarigheter på engelska, franska och tyska". Se sisältää 1400 sanaa.
- 3
Sanastotyön suoritus

Sanaston laatiminen vaatii työryhmän, jossa on puheenjohtaja, sihteeri ja 3 - 6 jäsentä. Sihteerin työpanos on merkittävin, jonkinlainen osapäivätyöpanos tarvitaan.

Sanastotyössä saadaan apua ja neuvoja Tekniikan Sanastokeskukselta, jonka jäsen ATS on.
- 4
Aikataulu

Sanaston laatiminen tarkistuksineen vie 2 - 3 vuotta.

Tavoitteena on, että kuluvan kevään aikana saatisiin työ organisoiduksi, jotta se voitaisiin käynnistää syksyllä 1982.
- 5
Tarvittavat toimenpiteet

Seura kutsuu jäseniään sanastotyöhön. Kiinnostuneita pyydetään ottamaan yhteyttä sanastotyöryhmän vetäjään Heikki Raumoliniin, puh. 523 522 tai seuran sihteeriiin Seppo Ruotsalaiseen, puh. 523 671. Lisätietoja saa tarvittaessa sanastotyöryhmän jäseniltä.

LOVIISA 1 KÄYTTÖ 1.1.-31.12.1981

Vuoden ensimmäisen neljänneksen laitos kävi häiriöittä. Maaliskuun lopulla laitos ajettiin kuumaseisokkiin höyrystintilassa olleen vuodon takia (kaksi mittausputkiston ensisulkua ja yksi takaisku vuotivat). Huhtikuussa turbo-generaattori 1 jouduttiin ajamaan alas säätö-öljypumpun akselin katkeamisen takia.

Toukokuussa SA10:n korkeapaineosan endoskooppiyhteen tiivistäminen aiheutti pienen tuotannonmenetyksen. Kesäkuun lopulla ajettiin alhaisen kulutuksen aikaan laitos kesäseisokkiin, joka kesti n. 3 viikkoa. Heinäkuun puolen välin ja syyskuun puolen välin välinen aika kului viikonloppusäätöjen merkeissä. Syyskuun lopulla ajettiin turbogeneraattori 1 päiväksi alas kasvaneiden laakeriväriinöiden takia (välykset kasvaneet).

Marraskuussa tapahtui laitoksen vuosihuolto, joka kesti 30 vrk. Vuosi päättyi kylmäseisokkiin, jonka syynä oli pääkiertopumpun tiivisteen kiinnileikkautuminen.

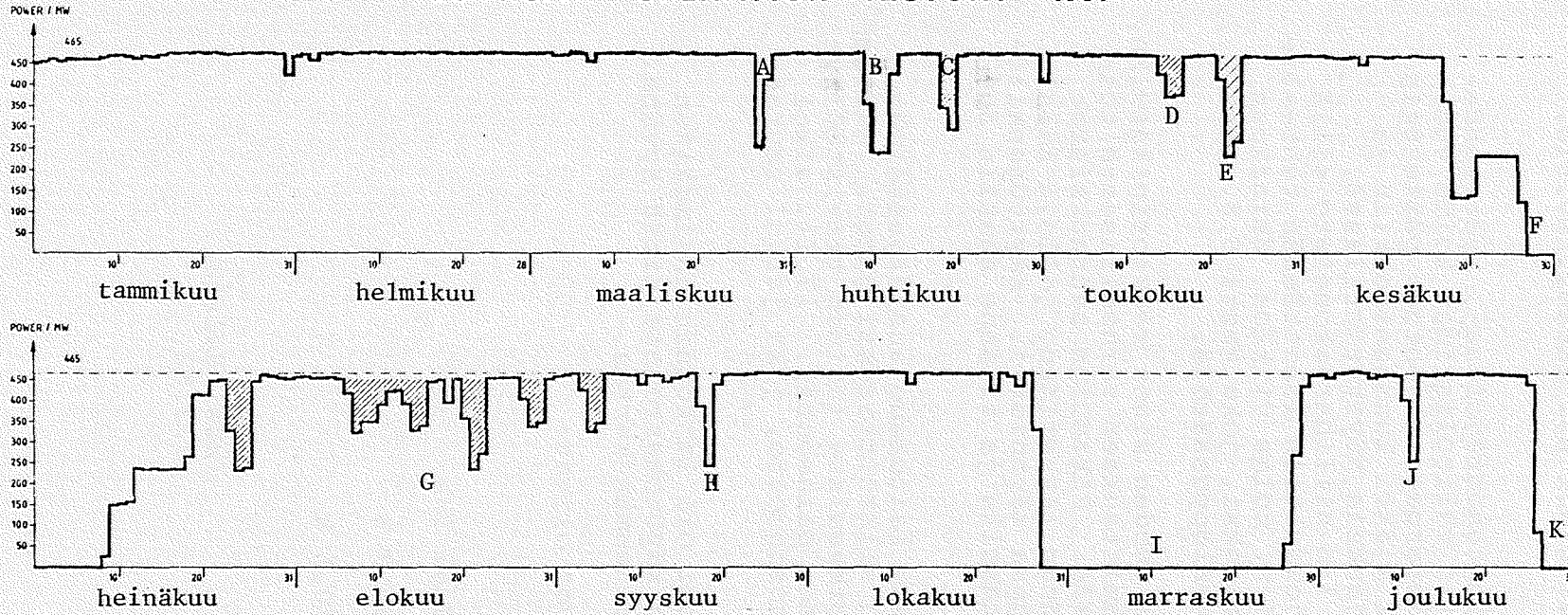
Kaiken kaikkiaan vuotta voidaan pitää erittäin hyvänä Lol:llä, sillä saavuttihan laitos uuden tuotantoennätyksen 3,28 TWh, joka vastaa 80,6 %:n käyttökerrointa. Kerroin olisi saattanut olla korkeampikin, kun otetaan huomioon, että vuoden aikana suoritettiin yhdeksän viikonloppusäätöä, joiden takia jäi sähköä tuottamatta n. 80000 MWh.

Käyttövuoden 1981 kokonaisarvot olivat:

LOVIISA 1

-	tuotanto	3,28 TWh
-	aikakäytettävyys	87,3 %
-	käyttökerroin	80,6 %

LOVIISA 1 OPERATION HISTORY 1981



A Höyrystintilan vuodon korjaus

B Turpiinipikasulku säätö-öljypumpun akselin katkeamisen takia

C,D Viikonloppusäätö

E Turbogeneraattorin korjaus ja viikonloppusäätö

F Suunniteltu kylmäseisokki alhaisen sähkönkulutuksen takia sekä turbo-generaattori n:o 1 roottorin korjaus

G Verkonsäätö

H Turbogeneraattori 1:n laakerin korjaus

I Vuosihuolto ja polttoaineenvaihto (30 päivää)

J Tuorehöyryputken eristeitten palo

K Kylmäseisokki (5 pvä) pääkiertopumpun tiivistevaurion takia



Verkon säätö alhaisen sähkönkulutuksen takia

LOVIISA 2 KÄYTTÖ 1.1.-31.12.1981

14 vrk:n takuuajo päättyi 5.1, jonka jälkeen alkoi laitoksen kaupallinen käyttö. 14.1. alkoi ns. laakerirevisio, joka kesti n. kaksi viikkoa.

Helmi-toukokuussa suoritettiin tehonrajoitus-, hyötysuhde- ja takuukokeita sekä tulpattiin välitulistimen kolme vuotavaa tuubia. Pienestä sähköntarpeesta johtuen päätettiin laitos ajaa 5.-8.6. väliseksi ajaksi kuumaseisokkiin ja tehdä joitakin pienempiä korjauksia höyrystintilassa. 9.6. paloi turbogeneraattori 3:n hiiliharjakoneisto sillä seurauksella, että roottori jouduttiin lähettämään tehtaalte korjattavaksi. Korjaus kesti n. kolme viikkoa. Heinäkuun puolella välissä alkoi kesäseisokki, joka kesti 8.8. asti. Elokuussa tehtiin useita viikonloppusäätöjä.

Heti syyskuun alussa tapahtui vuoden ainoa reaktoripikasulku, joka johtui höyrystimen pintamittauksen virheellisestä toiminnasta transienttitilanteessa. Pikasulun seurauksista mainittakoon paineistimen pinnan laskeminen, jolloin kaksi hätälisävesijärjestelmän pumppua käynnistyi. Käyttöhenkilökunta oli hyvin tehtäviensä tasalla ja tilanne saatiin nopeasti hallintaan.

Lokakuun lopussa laukesi sulake laitossuojajärjestelmän kaapissa aiheuttaen reaktorin alikriittiseksi menon. Marraskuussa sattui kaksi turpiinipikasulkuja (toinen tiivisteöljyn pinnasta ja toinen lauhduttimen paineesta). 17.11. alkoi stretch-out -ajo ja 30.11. vuosihuolto, joka jatkui seuraavan vuoden puolelle.

Ottaen huomioon, että em. vuosi oli laitoksen ensimmäinen käyttövuosi, voidaan 70,5 %:n käyttökerrointa pitää hyvänä. Viikonloppusäätöjä tehtiin seitsemän kertaa.

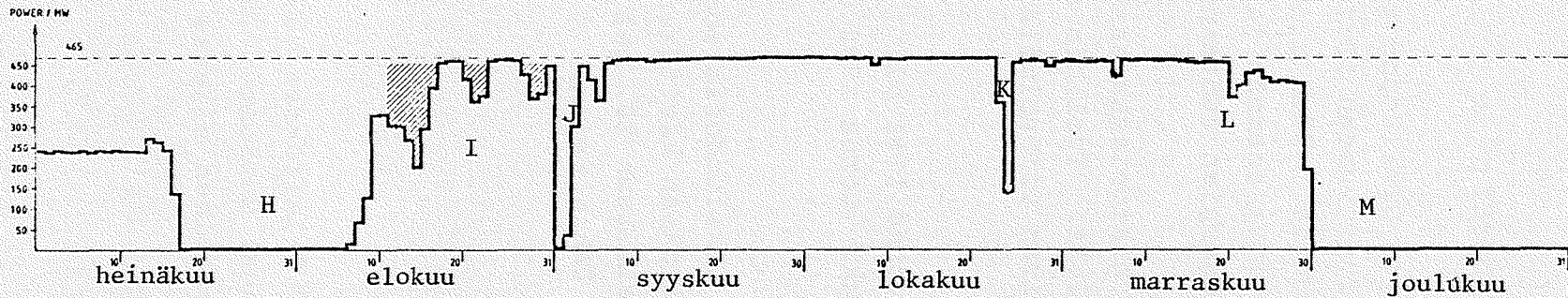
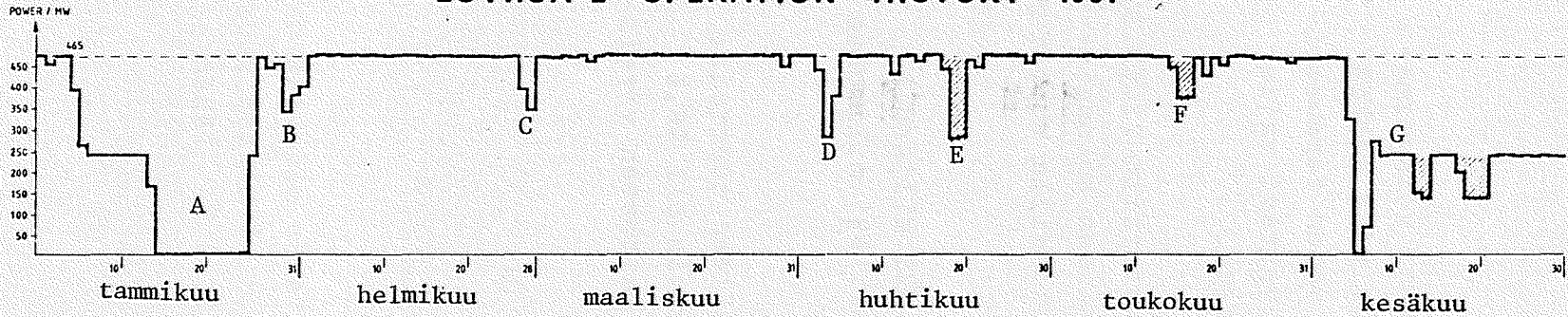
Käyttövuoden 1981 kokonaisarvot olivat:

LOVIISA 2

-	tuotanto	2,87 TWh
-	aikakäytettävyys	81,3 %
-	käyttökerroin	70,5 %

Jussi Helske
17.2.82

LOVIISA 2 OPERATION HISTORY 1981



- A Turpiinipikasulku ja suunniteltu kylmä seisokki
- B Tehonrajoituskoe
- C Tehonrajoituskoe ja välitulistimen vuoden korjaus
- D Välitulistimen vuoden korjaus
- E Verkonsäätö
- F Hyötysuhdekoe ja verkkonsäätö
- G Kuumaseisokki alhaisen sähkönkulutuksen ja turbogeneraattori 3:n hiiliharjakoneiston palon takia

H Suunniteltu kylmäseisokki korjauksia varten vähäisen sähkönkulutuksen takia

I Verkonsäätö

J Reaktorin pikasulku höyrygeneraattorin pinnanmittaushäiriöstä

K Reaktori alakriittinen laitossuojajärjestelmän vian takia

L Turbogeneraattori 3:n alasajo venttiilikorjausta varten sekä saman turpiinin pikasulku

M Vuosihuolto ja polttoaineenvaihto (38 päivää)



Verkon säätö alhaisen sähkönkulutuksen takia



19.2.1982

TSa/kk

1 (2)

TVO:N OLKILUODON LAITOKSET

Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon kaksi ydinvoimalaitosyksikköä tuottivat vuoden 1981 aikana sähköä runsaat 8 terawattituntia. Tämä oli yhden terawattitunnin verran budjetoitua enemmän ja vastasi vajaat 20 % koko maan sähköenergian tuotannosta.

Olkiluodon laitosten historiassa saavutettiin 22.12.81 merkittävä virstanpylväs. Tuolloin niiden kokonaistuotanto ohitti Loviisan ydinvoimalaitoksilla tuotetun sähkömäärän.

Yhtiön liikevaihto vuonna 1981 oli 1,021 miljardia markkaa. Vastaava luku vuonna 1980 oli 595 miljoonaa markkaa.

Vuoden 1982 alku oli Olkiluodossa edelleen tuottoisa. Tammikuussa TVO I-laitoksen käyttökerroin oli 98,6 ja TVO II:n 79,4. Helmikuun 20. p:nä laitosten yhteistuotanto saavutti 18 TWh:n rajan.

Tilanne laitoksilla

TVO I

Vuoden 1981 aikana TVO I-laitoksen tuotanto oli 4549 GWh. Vuoden käyttökertoimeksi muodostui 79,4 viimeisen vuosineljänneksen käyttökertoimen ollessa 81,8 %. Tähän on

...
vaikuttamassa neljän viikon pituinen polttoaineen-
vaihto- ja huoltoseisokki. Syksyn aikana laitoksella
oli kaksi seisokkia roottoreiden vaihdon takia. Loka-
kuun alussa vaihto uudentyypiseen roottoriin tehtiin
kymmenessä päivässä. Roottorin vaihdon jälkeen laitos
toimi täydellä teholla lukuunottamatta suunniteltuja
määräaikaiskokeita. Joulunpyhinä laitos ajettiin kyl-
mään tilaan roottorin tarkastusta ja eräitä turpiini-
laitoksen korjaustoimenpiteitä varten. Generaattorin
roottorin todettiin olevan hyvässä kunnossa. Seisokin
jälkeen laitos käynnistettiin uudelleen 29.12.81.

TVO II

Vuoden 1981 aikana laitos tuotti sähköä 3487 GWh ja
käyttökertoimeksi muodostui 60,8. Viimeisen vuosinel-
jänneksen käyttökerroin oli 97,6 %. Heinäkuussa tapah-
tuneen generaattorin roottorin vaihdon jälkeen laitos
kävi täydellä teholla lukuunottamatta määräaikaiskokeita
ja lokakuun puolivälissä sähköntarpeen vähäisyydestä
johtunutta tuotannon rajoitusta. Ainoa tuotantoon vai-
kuttanut häiriö oli laitoksen lyhyt irtoaminen verkosta
syöttövesilaitoksen erään laitteen virhetoiminnan joh-
dosta.

ENERGIAKATSAUS VUODELTA 1981

Vain yhden prosentin kasvu

Maassamme kulutettiin energiaa viime vuonna vähän yli 25 miljoonaa öljytonnia vastaava määrä, mikä vastaa 1 prosentin kasvua edellisestä vuodesta. Kulutuksen pieneen kasvuun vaikuttivat taloudellisen toiminnan selvä laantuminen ja edelleen jatkuva energiansäästötoiminta.

Sähköenergian kulutus lisääntyi edellisestä vuodesta 3,5 % ja nousi yli 41 miljaardiin kilowattituntiin. Samalla sähkön osuus kokonaisenergiasta nousi vajaalla kahdella prosenttiyksiköllä ja oli viime vuonna 36 %.

Kotimaisuusaste nousi

Viime vuosi oli vesivoimatilanteen osalta ennätysmäisen hyvä. Vesivoiman tuotanto nousi edellisestä vuodesta kolmanneksella. Tämä vaikutti ratkaisevasti myös energiahuollon kotimaisuusasteeseen. Osuus nousi 32 prosenttiin vuoden 1980 osuuden ollessa 29 %. Normaaliveiolosuhteissa kotimaisuusaste olisi ollut paria prosenttiyksikköä pienempi.

Ydinvoiman osuus kokonaisenergiasta nousi 14 prosenttiin vuoden 1980 tuotannon ollessa 7 %. Tuotanto oli vuonna 1981 14 miljardia kilowattituntia.

Öljyn kulutusosuus kokonaisenergiasta väheni vuoden 1980 45 prosentista 42 prosenttiin. Öljyn kulutuksen väheneminen on ollut parina viime vuonna nopeampaa kuin vuonna 1979 hyväksytyssä energia-poliittisessa ohjelmassa ennakoitiin. Öljy on menettänyt osuuttaan erityisesti lämmityksessä ja teollisuudessa.

Kivihillen käyttö väheni rajusti. Käyttö jäi alle 3 miljoonan tonnin, kun se vielä vuonna 1980 oli yli 5 miljoonaa tonnia. Tilanne johtui hyvästä vesivoimatilanteesta ja ydinvoiman tuotannon kasvusta. Kivihillen osuus kokonaisenergiasta putosi 15 prosentista 7 prosenttiin.

Sateinen kesä ei suosinut polttoturpeen tuotantoa, joka jäi selvästi tavoitteesta. Tuotantovaje vaikuttaa vasta vuoden 1982 kulu-tukseen. Viime vuonna turpeen kulutus nousi 10 % vastaten puolta miljoonaa öljytonnia. Turpeen osuudeksi kokonaisenergiasta muodostui 2 %.

Maakaasun käyttö supistui jo toisena peräkkäisenä vuonna. Kulutus oli 0,7 mrd m³, mikä vastasi 3 % kokonaisenergiasta.

Kotimaisen osuus kasvaa hitaasti

Viime vuosien tuontienergian hinnan nousut ovat parantaneet kotimaisten polttoaineiden kilpailukykyä energian tuotannossa. Nykyään polttoturve on jo kilpailukykyinen suurissa laitoksissa, erityisesti öljyyn verrattuna, mutta monin paikoin myös kivihiiileen nähden. Myös hakkeen ja muun puupolttoaineen kilpailukyky on parantunut. Sitä on lisäksi tuettu valtion rahoituksella.

Kaikkiaan kotimaisen energian osuuden arvioidaan nousevan viiden vuoden aikana vuoden 1981 normaalivesitilannetta vastaavasta 30 prosentista parilla prosenttiyksiköllä. Nousu perustuisi valtaosin turpeen käytön lisääntymiseen.

Kotimaisten polttoaineiden käytön lisääntyminen vaikuttaa osaltaan öljyn kulutukseen. Öljyä korvataan myös kivihiilellä. Öljyn kulutuksen arvioidaan tämän vuoksi vähenevän lähivuosina parin prosentin vuosivauhdilla. Tällöin öljyn osuus kokonaisenergiasta vuonna 1986 olisi enää 37 % vuoden 1981 osuuden oltua 42 %.

Ydinvoiman osuus kokonaisenergiasta ei enää lähivuosina nouse viime vuoden tasolta, joka vastasi likimain nykyisten laitosten tuotantokapasiteetin täyskäyttöisyyttä. Lisääntyvä sähkönkulutus peitetään vastapainevoiman tuotannon kasvulla ja hiililauhutusvoimalla. Hiilen kulutus jää vielä tänä vuonna runsaaseen 3 milj. tonniin, mutta viiden vuoden kuluessa kulutuksen arvioidaan yli kaksinkertaistuvan eli vuoteen 1986 mennessä se nousisi vähintään toissa vuotisen kulutushuipun tasolle.

TAULU: ENERGIAN KOKONAISKULUTUS ENERGIÄLÄHTEITTÄIN 1980 - 1986

	MAARA, Mängd, Quantity				OSUUS, Andel, Share			
	1980	1981 ^x	1982 ^E	1986 ^E	1980	1981 ^x	1982 ^E	1986 ^E
ÖLJY Olja Oil	11,24	10,59	10,4	10,4	45	42	41	37
MAAKAASU Naturgas Natural gas	0,79	0,63	0,7	0,8	3	3	3	3
HIILI Kol Coal	3,76	1,82	2,2	4,4	15	7	9	15
YDINVOIMA Kärnkraft Nuclear power	1,67	3,49	3,4	3,4	7	14	13	12
TUONTISÄHKÖ Elimport Electricity imports	0,31	0,56	0,7	0,8	1	2	3	2
TUONTIENERGIA Importerad energi Imported energy	17,77	17,09	17,4	19,8	71	68	69	69
VESIVOIMA Vattenkraft Hydro power.	2,52	3,36	3,1	3,0	10	13	12	11
TURVE Torv Peat	0,45	0,49	0,5	1,2	2	2	2	4
MUUT KOTIMAISET Övriga inhemska bränslen Other indigenous fuels	4,29	4,40	4,3	4,6	17	17	17	16
KOTIMAISET Inhemska energi, totalt Total indigenous energy	7,26	8,25	7,9	8,8	29	32	31	31
KAIKKIAAN Inalles Total	25,03	25,34	25,3	28,6	100	100	100	100

Teollisuuden polttoaineen kulutus tehostunut

Teollisuuden energian kulutus viittaa siihen, että yritykset ovat edelleen jonkin verran tehostaneet polttoainetalouttaan. Polttoaineiden kulutus aleni arviolta 1 %, kun teollisuustuotanto kasvoi saman verran. Sähkön kulutus teollisuudessa kasvoi sen sijaan vajaat 4 %.

Öljyn käyttö teollisuudessa on vähentynyt teollisuudessa jatkuvasti. Samoin maakaasun kulutus on alentunut, viime vuonna jopa viidenneksen. Kivihiili ja kotimaiset polttoaineet lisäsivät sen sijaan osuuttaan teollisuudessa.

Lämmitysenergiaa säästyi

Rakennusten lämmitysenergian käyttö tehostui oleellisesti viime vuonna. Lämpötilavaihtelut huomioon ottaen lämmitykseen käytettiin noin 5 % vähemmän energiaa kuin edellisvuonna.. Rakennustilavuutta kohti laskettuna lämmitysenergian kulutus on alentunut 1970-luvun alkuun verrattuna jo noin 20 %.

Perustan saavutetuille energiansäästöille ovat luoneet viime vuosien energiataloudelliset korjaustoimet ja tiukentuneet rakennusmääräykset sekä lämmityslaitteiden paremmat säätö- ja käyttöominaisuudet. Kehitystä ovat lisäksi vauhdittaneet viime vuosina voimakkaasti nousseet energian hinnat.

Öljyn käyttö talokohtaisessa lämmityksessä väheni voimakkaasti viime vuonna. Kaukolämmitys ja sähkölämmitys sen sijaan lisäsivät osuuttaan. Kun kaukolämmityksestä samalla yhä suurempi osuus tuotetaan kivihiilellä ja turpeella, vähenee öljyn käyttö lämmityssektorilla tulevinakin vuosina.

TAULU: TEOLLISUUDEN ENERGIAN KULUTUS 1980-1986

POLTTOAINEET, Bränslen, Fuels		1980	1981 ^x	1986 ^E
ÖLJY, Olja, Oil	Mtoe	3,0	2,9	2,7
HIILI, Kol, Coal	Mtoe	0,7	0,8	1,0
KAASU, Gas, Gas	Mtoe	0,6	0,5	0,6
MUUT, Övriga, Others	Mtoe	2,9	3,0	3,9
YHTEENSÄ, Totalt, Total	Mtoe	7,2	7,2	8,2
SÄHKÖ, Elenergi, Electricity	TWh	22,6	23,4	28,9

TAULU: KIINTEISTÖJEN LÄMMITYSENERGIA 1980-1986

		1980 ^x	1981 ^x	1986 ^E
POLTTOAINEET, Bränslen, Fuels	Mtoe	4,3	3,9	3,4
KAUKOLÄMMITYS, Fjärrvärme, District heating	TWh	11,9	12,3	16,5
SÄHKÖLÄMMITYS, Elvärme, Electric heating	TWh	3,2	3,4	5,0
HYÖTYENERGIA, Nyttoenergi, Final use	TWh	44	42	44

Kolmanne sähköstä ydin- ja vesivoimalla

Viime vuonna pystyttiin vesivoimalla ja ydinvoimalla tuottamaan poikkeuksellisen suuri osuus sähköstä. Koko sähköenergian hankinnasta tuonti ja vienti huomioon ottaen vesivoiman osuus oli 32 % ja ydinvoiman osuus 34 %. Tämän vuoksi tavallisen kivihiiltä tai öljyä käyttävän lauhdutusvoiman osuus jäi alhaisemmaksi kuin koskaan 1970-luvulla. Myös kustannuksiltaan kalliin kaasuturbiinivoiman osuutta voitiin alentaa. Käyttökustannuksiltaan halvan ydin- ja vesivoiman runsas saanti vaikutti osaltaan myös teollisuuden ja lämmitysvoiman tuotantoon. Kaikkiaan vastapainevoiman tuotanto supistui 14 %.

Sähkön hankintaan käytettiin viime vuonna 36 prosenttia kokonaisenergiasta. Osuus nousee vastaisuudessa sähkön kulutuksen kasvaessa muuta energiaa nopeammin. Vuonna 1986 osuuden arvioidaan olevan 39 %.

Tavallisen kivihiililauhutusvoiman osuus jää lähivuosina alhainseksi. Sen osuus nousee kuitenkin tasaisesti niin, että vuosikymmenen puolivälissä tuotetaan 15...20 % sähköstä näissä laitoksissa. Viime vuonna osuus oli vain 5 %. Lämmitysvoiman tuotannossa kivihiilen osuus kasvaa lähivuosina erityisen voimakkaasti.

TAULU: SÄHKÖN HANKINTA 1980-1986, TWh

				OSUUS, Andel, Share		
	1980	1981 ^X	1986 ^E	1980	1981 ^X	1986 ^E
VESIVOIMA, Vattenkraft, Hydro power	10,09	13,42	12,0	25	32	24
VASTAPAINVOIMA, Mottryckskraft, Back pressure power	10,74	9,24	12,7	27	22	25
YDINVOIMA, Kärnkraft, Nuclear power	6,68	13,97	13,5	17	34	26
MUU LÄMPÖVOIMA, Övrig värmekraft, Other thermal power	11,21	2,45	9,8	28	6	19
TUONTI, Import, Imports	2,39	2,77	4,0	6	7	8
HANKINTA, Tillförsel, Supply	41,11	41,85	52,0	103	101	102
- VIENTI, Export, Exports	1,16	0,53	1,0	- 3	- 1	- 2
KOKONAISKULUTUS Totalförbrukning, Total consumption	39,95	41,32	51,0	100	100	100

Energian tuonti 18,6 mrd mk

Energian tuonnin arvo oli viime vuonna 18,6 mrd mk. Lisäystä edellisestä vuodesta oli 2 mrd mk. Tuonnin arvon nousu aiheutui tuontihinnoista vaikka määrällisesti energian tuonti supistui. Koko tavarantuonnista polttoaineiden ja sähkön osuus oli 30 % eli 2 prosenttiyksikköä korkeampi kuin vuonna 1980.

Raakaöljyä tuotiin viime vuonna 10,8 milj. tonnia, miljoona tonnia vähemmän kuin edellisvuonna. Raakaöljyn tuontihinta nousi sen sijaan 28 %. Osaltaan hintakehitykseen vaikutti dollarin kurssin nousu.

Kivihiilen hankintatilanne muuttui viime vuonna Puolan hiilen-toimitusten vaikeuduttua. Viime vuonna Suomeen tuotetusta 5,5 milj. hiilitonnista Yhdysvaltain osuus oli 2,3 milj. tonnia, Puolan osuus 1,4 milj. tonnia ja muiden 1,8 milj. tonnia. Hiilen keskimääräinen tuontihinta oli 57 % korkeampi kuin edellisenä vuonna.

TAULU: ENERGIAN KULUTTAJAHINNAT

		1.1.1981	1.1.1982	MUUTOS % Förändring Change
BENSIINI, Motorbensin, Gasoline (92)	p/l	299	338	+ 13
KEVYT POLTTOÖLJY, Tun brännolja, Light fuel oil	p/l	126	153	+ 22
RASKAS POLTTOÖLJY, Tjock brännolja, Heavy fuel oil	p/kg	83	104	+ 25
JYRSINTURVE, Frästörv, Milled peat	mk/MWh	37	42	+ 14
KIVIHIILI, Stenkol, Hard coal (rannikolla)	mk/t	295	349	+ 18
KAUKOLÄMPÖ, Fjärrvärme, District heat	mk/MWh	134	154	+ 15
KOTITALOUSSÄHKÖ, Hushållselektricitet, Household electricity	p/kWh	31	34	+ 10

MAAILMAN ÖLJYNTUOTANTO, miljoonaa tonnia

	1980	1981	Muutos %	Osuus % 1980	1981
Pohjois-Amerikka	565	552	- 2,3	19,5	19,3
Karibian-alue	237	253	6,5	7,8	8,8
Etelä-Amerikka	58	59	2,1	1,9	2,1
Länsi-Eurooppa	118	125	6,0	3,8	4,4
Itä-Eurooppa	625	631	0,9	20,4	22,1
Afrikka	268	193	- 28,0	8,7	6,7
Lähi-Itä	947	812	- 14,3	31,0	28,4
Kauko-Itä	241	235	- 2,3	7,9	8,2
YHTEENSÄ	3059	2859	- 6,5	100,0	100,0
josta OPEC	1340	1125	- 16,0	43,8	39,4

Lähde: Petroleum Economist, tammikuu 1982

Ydinteknillinen
turvallisuuuststo P Louko/PLL 2.4.1982

KTM-GKAE SEMINAARI "TURVALLISUUSNÄKÖKOHTIEN HUOMIOONOTTAMINEN
VVER-REAKTOREILLA VARUSTETTUJEN YDINVOIMALAITOSTEN SUUNNITTELUSSA"

Kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) ja Neuvostoliiton atomienergian valtionkomitean (GKAE) väliin yhteistyösopimukseen liittyen järjestettiin Helsingissä 26...29.1.1982 turvallisuusseminaari. Avaustilaisuudessa puhuivat teollisuusneuvos Ilkka Mäkipentti KTM:stä, johtaja Kalevi Numminen IVOSTa ja neuvostoliittolaisen delegaation johtajana V.A Volkov GKAE:stä. Seminaariin osallistui kaikkiaan 93 henkilöä GKAE:stä, KTM:stä, STL:stä, VTT:ltä, HKE:ltä, TVO:sta, NOKIALta ja IVOSTa.

Esitelmää pidettiin yhteensä 21 kpl, joista muodostettiin seminaarijulkaisu, jota on vielä rajoitustusti saatavana (puh. 6160474).

Prof. Antti Vuorinen loi esitelmässään katsauksen reaktoriturvallisuuden suuntaviivoihin painottaen mm. seuraavia tutkimus-, kehittämisen- ja yhteistyötarpeita:

- Ydinvoimalaitosten teknisen tason, toiminnan ymmärtämisen ja käyttöhenkilökunnan pätevyyden parantaminen entisestään
- Valmiussuunnitelmat
- Ydinjätteen hoito
- Ydinaseteknologian leviämisen estäminen
- Käyttökokemustiedon vaihto

Esitelmäitsijä totesi myös todennäköisyyspohjaisen riskien tarkastelutavan merkityksen lisääntyvän tulevaisuudessa, pyrittäessä vastaamaan ydinvoiman peruskysymykseen "Miten turvallinen on riittävän turvallinen?".

Muissa esitelmissä käsiteltiin onnettomuusanalyysimenetelmille asetettavia vaatimuksia, pieniä vuotoja, neuvostoliittolaisia onnettomuusanalyysien laskentamenetelmiä, VVER-440 reaktoripaineastiateräksen neutronisäteilyhaurastumista, Loviisa 2:n reaktoripaineastian pinnoitevikoja, ydinpolttoaineelle asetettavia vaatimuksia ja sille tehtävän laadunvarmistuksen merkitystä, jäädytteenmenetysonnettomuuksien riskiarviointia ja annoslaskelmia. Three Mile Islandin vaikutuksia käsiteltiin onnettomuuden jälkeisen luoksepäästävyuden ja sekä instrumentoinnin että automaation kannalta.

Kuluvan vuoden aikana neuvotellaan vastaavantyyppisten seminaarien järjestämisestä tulevaisuudessa.

Alustus ATS:n kokouksessa
26.11.1981

"VVER - 1000 reaktorilaitos"

V.P.Denisov

VVER jaospäällikkö, Gidropress

- vuodesta 1972 itsenäinen yksikkö
- työntekijöitä noin 1700
- primääripiirin laitteita suunnitteleva organisaatio
- toimialaan kuuluvat:
 - kaikki PWR-laitteet
 - nopeat reaktorit
 - BOR-60
 - BN-350
 - BN-600
 - kaukolämpöreaktori VK-50
 - RMBK-reaktorit



"VVER - 1000 reaktorisydämen tärkeimmät erikoispiirteet ja joitakin johtopäätöksiä Novovoronezhin yvl:n viidennen laitoksen reaktorin käyttöönotosta"

A.S.Duhovensky

Ydinreaktoriosaston laboratorion varajohtaja, Kurtsatov-instituutti

- instituutissa noin 8000 työntekijää
- ydinreaktoriosasto
 - osastolla noin 2000 työntekijää
 - VVER-reaktoreita edelleen kehittävä osasto

V.P.Denisov

REAKTORILAITOS VVER-1000

LYHENNELMÄ

Esitelmän tarkoituksena on antaa informaatiota Neuvostoliittoon ja ulkomaille rakennettavien VVER-1000 ydinvoimalaitosten reaktorilaitosten teknisistä perusratkaisuista, osoittaa, että tehdyt ratkaisut rakenteissa, kaavioissa ja teknologiassa turvaavat yvl:n turvallisen ja luotettavan toiminnan suunnitellun toimintaiän ajan.

Esitelmässä on lyhyt SNTL:n ydinvoimalouden kuvaus, esitetään painevesireaktoreiden rooli, VVER-1000 reaktorilaitosta tarkastellaan loogisena painevesireaktoreiden kehityksenä mukaan lukien LO-1:n ja LO-2:n VVER-440, ja Suomeen tarkoitettu VVER-1000 reaktorilaitos yhtenä VVER-1000:n viimeisistä kehitysvaiheista. Esitetään tärkeimpiä tuloksia Novovoroneszhin V yksikön käytöstä. Kerrotaan ydinvoimalouden kehityssuunnitelmista SNTL:ssä, missä suuren osuuden tehon kasvusta muodostavat VVER-1000 ydinvoimalaitokset. Yleisesti esitetään VVER-1000 kehittämismahdollisuuksia verkon säätötoimintatilojen ("puolihiipputoimintatilat") tyydyttämisen ja polttoaineen palamajakson suurentamisen kannalta. Esitetään VVER-1000 sarjatuotantolaitoksen ja itse reaktorilaitoksen tärkeimmät ominaisuudet. Lyhyesti esitetään VVER-1000 laitoksen reaktorilaitokselle esitettävät päävaatimukset Suomessa mukaan luettuna turvallisuuskysymysten ratkaisut. Esitelmä perustuu julkaistujen artikkeleitten tietoihin.

Sisällysluettelo

1. Johdanto
2. Ydinvoimatalouden kehitys SNTL:ssä, painevesi-
reaktoreiden rooli
3. VVER-1000 painevesireaktoreiden reaktorilaitosten
kehityksestä
4. Novovoronezhin V yksikön VVER-1000 reaktorilai-
toksen ominaisuudet
5. Novovoronezhin V yksikön koekäytön tärkeimmät
tulokset
6. VVER-1000-reaktorilaitoksen parannukset
7. Turvallisuuskysymysten ratkaisu VVER-1000 reaktori-
laitoksessa
8. Tärkeimmät VVER-1000 reaktorilaitokselle asetetta-
vat vaatimukset Suomessa
9. Johtopäätös

Liitteet

Kirjallisuusluettelo

1 JOHDANTO

4. päivänä kesäkuuta 1981 suomalaisen toiminimen Imatran Voima Oy:n ja yleisliittolaisen yhtymän Atomenergoexportin välillä allekirjoitettiin sähköteholtaan 1000 MW:n yvl:n teknisen projektin yhteistyösuunnittelusopimus. Projektin pohjana on VVER-1000 sarjatuotantoreaktorilaitos, jota käytetään monissa Neuvostoliittoon ja SEV-maihin vuoteen 2000 mennessä rakennettavissa yvl:ssä. Seuraavassa on esitetty tietoja VVER-1000 reaktorilaitoksen tärkeimmistä erikoisominaisuuksista, sen luomis- ja parannuskeinoista.

2 YDINVOIMATALOUDEN KEHITYS SNTL:SSÄ

Neuvostoliiton ensimmäinen ydinvoimalaitos, joka oli varustettu uraanigrafiittireaktorilla ja sähköteholtaan 5 MW, käynnistettiin v. 1954 Obninskin kaupungissa. Ensimmäinen painevesireaktorilla varustettu ydinvoimalaitos käynnistettiin v. 1954 Novovoronezhissä ja sen sähköteho oli 210 MW.

Toimivien ydinvoimalaitosten teho Neuvostoliitossa 1. kesäkuuta 1980 oli 13 000 MW /1/, joista painevesireaktorilaitosten teho 3 145 MWe, ts. 24 %. Vuoden 1981 puoleen väliin mennessä otettiin käyttöön vielä kaksi VVER-440 laitossyksikköä: Kuolan laitoksen III yksikkö, Rovenin laitoksen I yksikkö. Tämän ohella SEV-maissa (DDR, Tsekkoslovakia, Bulgaria) on toiminnassa painevesireaktorilaitoksia, joiden yhteisteho on 4 030 MWe, ja Suomessa Loviisan yvl:n kaksi VVER-440 yksikköä.

Ensimmäinen VVER-1000 yvl SNTL:ssä aloitti toimintansa 30. toukokuuta 1980, jolloin käynnistettiin Novovoronezhin V yksikkö. XI viisivuotissuunnitelma sisältää 12 VVER-1000 yvl-yksikön rakentamisen mukaanluettuna Odessan lähellä sijaitseva ydinkäyttöinen lämpövoimala. Suunnitelmissa on VVER-1000 laitousyksiköiden rakentaminen Etelä-Ukrainan laitokselle (I ja II yksikkö), Kalininin laitokselle (I ja II yksikkö), Rovenin laitokselle (II yksikkö), Zaporozhen laitokselle (I ja II yksikkö), Hmel'nitskin, Krimin, Rostovin, Balakovskijin laitokselle. Ydinvoimalaitoksien sijoituskaavio Neuvostoliiton Euroopan puoleisessa osassa, ks. liitettä 1.

DDR:ssä, Tšekkoslovakiassa ja Bulgariassa on myös suunniteltu rakennettavaksi ennen vuotta 1985 VVER-1000 laitousyksiköitä.

Vuoteen 1990 mennessä VVER-1000 laitosten rakentaminen on vielä kasvava niin Neuvostoliitossa kuin myös muissa SEV-maissa. Näin ollen painevesireaktoreiden, erityisesti VVER-1000, ominaispaino lämpimpien 10 vuoden aikana kasvaa huomattavasti.

3 VVER-1000 PAINEVESIREAKTOREIDEN REAKTORILAITOSTEN KEHITYKSESTÄ

Teknisten tunnuslukujen ja käyttöönoton aikajärjestyksen perusteella painevesireaktorilaitokset voidaan ehdollisesti jakaa 3 sukupolveen:

Ensimmäinen sukupolvi - kokeelliset-tuotannolliset painevesireaktorit VVER-210 ja VVER-365 (käynnistys v. 1964 ja käynnistys v. 1969);

Toinen sukupolvi - sarjatuotanto VVER-440 (käynnistys v. 1971);

Kolmas sukupolvi - VVER-1000 reaktorilaitokset (käynnistys v. 1980).

Painevesireaktoreiden ominaisuuksien vertailu on esitetty liitteessä 2. Valintalähtökohtana suunnitteluratkaisuja tehtäessä kunkin kolmen painevesireaktorisukupolven kohdalla on ollut ennen kaikkea tärkeimpien reaktorilaitoskomponenttien - paineastioiden ja höyrystimien - rautateitse tapahtuvan kuljetusmahdollisuuden turvaaminen, mikä taas puolestaan antaa mahdollisuudet valmistaa ne kokonaan tehtailla. Tehdasvalmistus takaa valmistuksen laadulle ja rakenteiden luotettavuudelle pitkäaikaisen käytön yhteydessä asetettavien korkeidenkin vaatimusten täyttämisen. Kuljetettavuus rautateitse mahdollistaa rakentamisen monille Neuvostoliiton alueille ja muihin maihin.

VVER-210 paineastian mitat olivat käytännöllisesti katsoen maksimit rautatiekuljetettavuuden kannalta, siitä syystä siirtyminen VVER-440 ja VVER-1000 reaktoreihin on toteutettu pääasiallisesti reaktorin sisäisen tilan tehokkaamman käytön, jäähdyteparametrien suurentamisen, neutronikentän tasoituksen ansiosta, mutta myös reaktorisydämen ominaistehon nousun seurauksena (110 kW/l 46 ja 83 asemasta vastaavasti VVER-210 ja VVER-440). VVER-1000 reaktorin rakenteelliset ratkaisut perustuivat kahden ensimmäisen reaktorisukupolven viimeistelyihin ja pitkäaikaisessa käytössä koeteltuihin ratkaisuihin. Nimenomaan monien osien rakenteellinen muotoilu, materiaalit, valmistusteknologia ovat tässä yhteydessä kokeneet parannuksia /2/. Samanaikaisesti on ratkaistu Neuvostoliitossa v. 1973 voimaan saatettujen uusien turvallisuusvaatimusten täyttämistehtävä täysin.

Liitteessä 3 on esitetty Novovoronezhin V yksikön, ensimmäisen VVER-1000 reaktorin rakenne.

4 NOVOVORONEZHIN V YKSIKÖN VVER-1000 REAKTORILAITOKSEN OMINAISUUDET

VVER-1000 reaktorilaitos on ydinvoimalaitoksen perusosa ja yhdessä turbogeneraattorilaitoksen kanssa sitä käytetään sähköenergian tuotantoon peruskuormatilassa. Reaktorilaitoksella varustetussa yksikössä käytetään kahta turbogeneraattoria. Reaktorilaitoksen tärkeimmät ominaisuudet normaaleissa käyttötiloissa on esitetty liitteen 2 taulukossa 2. Reaktorilaitos sisältää pääkiertopiirin, paineistinjärjestelmän ja sydämen hätäjähdytysjärjestelmän passiivisen osan. Pääkiertopiirin kokoonpanoon kuuluvat VVER-1000 reaktori ja neljä kiertopiiriä, joista kukin muodostuu PGV-1000 höyrystimestä, pääkiertopumpusta, kahdesta pääsulkuventtiilistä ja Dn 850 pääkiertoputkista, jotka yhdistävät piirin komponentit reaktoriin. Polttoaineen ydinreaktion energia reaktorin aktiivisydämessä käytetään lämmittämään jäähdyte, joka kiertää suljetussa kiertopiirissä: reaktori-höyrystin-pääkiertopumppu-reaktori. Reaktorissa lämmennyt jäähdyte luovuttaa lämmön höyrystimissä ja palautuakseen pääkiertopumppujen kautta reaktoriin. Höyrystimissä (sekundääripiiri) kehitetty kyllästetty höyry virtaa turpiiniin.

Paineen aikaansaaminen ja ylläpito pääkiertopiirissä tapahtuu paineistinjärjestelmällä. Se pitää sisällään sähkölämmitinsarjalla varustetun paineistimen, kolme paineenalennuslaitetta, ulospuhallussäiliön ja putkijohdot venttiileineen.

Sydämen hätäjähdytysjärjestelmän passiivinen osa muodostuu sydämen hätäjähdytysjärjestelmän (SAOZ) säiliöstä, SAOZ-järjestelmän säiliöt reaktoriin yhdistävistä putkista ja venttiileistä näissä putkijohdoissa.

Järjestelmä on tarkoitettu reaktorisydämen hätäjähdytykseen, ehkäisemään sydämen sulamista primääripiirin vuotoissa. Sydämen hätäjähdytysjärjestelmän mitoitusperusteena on Dn 850 pääkiertoputken äkillinen poikittaiskatko jäähdytteen vuotaessa kahdelta puolelta.

VVER-1000 reaktorilaitos on sijoitettu sylinterinmuotoiseen hermeettiseen rakennukseen. VVER-1000 reaktorilaitoksen päälaitteisto ja putkijohdot on suunniteltu putkien poikittaiskatkojen kuormitukset huomioon ottaen.

5 NOVORONEZHIN V YKSIKÖN KOEKÄYTÖN TÄRKEIMMÄT TULOKSET

Koekäyttötöitä tehtiin Novovoronezhin V yksiköllä alkaen 20.6.1976 (paine- ja kierto- huuhtelu) 17.5.1980 saakka (käynnistämisen valmistelut ja kytkentä verkkoon) /3/. Työt tehtiin Neuvostoliitossa painevesireaktoreille kehitetyn ohjelman mukaan ja ne sisälsivät seuraavat vaiheet: eri järjestelmien toiminnalliset kokeet (samanaikaisesti asennustöiden kanssa); painekoe ja pääkiertopiirin kierto- huuhtelu; reaktorilaitoksen ensimmäinen laitteistorevisio; reaktorilaitoksen kuumakoe; reaktorilaitoksen toinen laitteistorevisio ja kontaintin koestus; reaktorisydämen lataus; fysikaalinen käynnistys; tuotannollinen käynnistys; vaiheittainen tehon nosto. Samanaikaisesti reaktorilaitoksen koekäytön eri vaiheiden kanssa tehtiin turpiinihallin koekäyttötöitä.

Kun otetaan huomioon, että VVER-1000 reaktorilaitoksen laitteisto ja järjestelmät ovat uusia ratkaisuja, koekäyttö oli laajuudeltaan suuri. Koekäyttötöiden tärkeimpänä tehtävänä oli vahvistaa oikeiksi reaktorilaitoksen laitteiston ja järjestelmien suunnitteluominaisuuksia, mitä tarkoitusta varten oli erikoismittalaitteita.

Kuumakokeen aikana mitattiin reaktorilaitoksen komponenttien ja putkijohtojen jännitys ja värinä, jäädytteen paineheitlahdukset ja pääkiertopiirin hydrodynaamiset ominaisuudet. Näiden mittausten toteuttamiseen asennettiin paineastiaan, reaktorin sisäosiin, kannen pulteille, reaktorin ylätilaan, loopin nr 4 putkille, pääkiertopumpun nr 4 rungolle, paineistimeen, paineistimen putkille, höyrystimen nr 4 rungolle ja kollektorille ja hätäjäähdytysjärjestelmän säiliölle noin 500 jännitysvastusta staattisen ja dynaamisen jännityksen mittausta varten, 266 lämpöparia, 73 värähtelymittaria ja yli 80 painevärähtelyanturia. Normaali-elementtien asemasta reaktorisydämeen asennettiin imitaattorit, jotka poikkesivat normaali-elementeistä vain polttoainesauvan materiaalin osalta. Imitaattoreilla oli nopeuden ja staattisen paineen mittareita elementtien sisäänmenossa ja ulostulossa (noin 50 kpl). Mittaukset tehtiin stationaaritilassa toimivien pääkiertopumppujen lukumäärän vaihdellessa, pääkiertopiirin ylösajo - alasajotoimintatiloissa ja myös toimintatilassa, jolloin turvajärjestelmät toimivat. Jäädytevirtaus lämpötilan ollessa 280°C oli $90\,000\text{ m}^3/\text{h}$ pääkiertopumppujen paineeron ollessa $\sim 6,3\text{ kg/cm}^2$.

Reaktorilaitoksen laitteiston jännitykset eivät ylittäneet laskennallisia arvoja. Havaittiin, että suurimmat mekaaniset jännitykset ovat transienttitoimintatiloissa paineastian yhteillä ja paineistimen putkilla. Saatujen tulosten nojalla voidaan suositella optimaaleja kuormitustoimintatiloja.

Primääripiirin ja reaktorin sisäosien elementtien värähtely osoittautui vähäiseksi: sisäosien värähtelymittauksen maksimiampplitudit eivät ylittäneet 30 μm suoja-putkiyksikölle ja 9 μm muille osille; pääkiertoputki-johtojen värähtely ei ylittänyt 10 μm eikä pääkiertopumppujen 120 μm . Paineheilahtelu paineastian sisällä ei ylittänyt 0,2 kg/cm^2 (maksimiarvo paineastian pohjan ja reaktoripesän välisellä osuudella).

Kuumakokeen aikana suoritettiin säätö- ja ohjausjärjestelmän, pääkiertopumppujen, hätäjärjestelmien, paineistinjärjestelmän, lisävesi- ja uloslaskujärjestelmän, välipiirin, reaktoripesän komponenttien toimilaitteiden ja sähkökaavioiden viritykset.

Fysikaalisen käynnistyksen aikana mitattiin säätösauvojen tehokkuus eri lämpötiloissa: sydämen erilaiset ominaiskäyrät. Samalla tavalla tarkistettiin boorinsyöttöjärjestelmän toiminta paineen laskiessa primääripiirissä (boorin hätäsyöttöpumput ja hätäakut).

Tehon käyttöönottovaiheessa tarkistettiin yvl:n toiminta täydellisessä sähkömenetyksessä, yvl:n itsesäätö, yksikön käyttäytyminen tehon pudotuksen yhteydessä, tutkittiin sydämen tehonkehityksen epätasaisuus ja polttoainesauvojen tila radiokemiallisten analyysien pohjalta. Tutkimukset osoittivat, että sydämen lämpökuormitusten jakautuminen vastaa suunniteltua (sauvojen tehon maksimiepätasaisuus ei ylitä 1,4 kyseiselle vaiheelle). Fission tuotteiden aktiivisuustaso on riittävän alhainen.

Höyrystimien separaatio- ja lämpökokeet olivat laajat. Kokeet tehtiin 50 %:n ja 100 %:n tehoilla nimellisestä. Yksi höyrystimistä varustettiin mittaussysteemillä höyrytilan kosteusjakautuman, vesitilan kierron ja hydrodynamiikan tutkimiseksi.

Kokonaisuudessaan kokeet osoittivat, että VVER-1000 reaktorilaitoksen höyrystimet takaavat tehon oton ja höyryn kehityksen suunnitellulla määrällä ja kosteudella. Lämmönsiirron määritetty kokeellinen kerroin vastaa suunnitteluarvoa. Suunnittelukarakteristikat varmistuivat koko reaktorilaitoksen laitteistolle.

Näin ollen koekäyttötyöt ja -kokeet, jotka tehtiin Novovoronezhin V yksiköllä tehonnoston aikana reaktorilaitoksen suunnittelutehon käytön alkuvaiheessa, vahvistivat VVER-1000 reaktorilaitoksen laitteiston luomisessa käytettyjen suunnittelu- ja konstruktööristen ratkaisujen oikeellisuuden.

6 VVER-1000 REAKTORILAITOKSEN PARANNUKSET

Novovoronezhin V yksikön VVER-1000 reaktorilaitoksen luomisprosessin yhteydessä tehtiin laitteiston ja järjestelmien parannuksia, joiden seurauksena määräytyi kaksi modernisointivaihetta:

I vaihe - käytetään modernisoitua reaktoria säilyttäen Novovoronezhin V yksikön layout- ja kaavioratkaisut. Tällaisia reaktorilaitoksia käytetään Etelä-Ukrainan yvl:llä (I ja II yksikkö), Kalininin yvl:llä (I ja II yksikkö).

II vaihe - käytettäessä modernisoitua reaktoria käytetään yvl:n reaktorilaitoksen ja yksikön täydellisempää layoutia kokonaisuudessaan, reaktorin sisäosien "märkkää" vaihtolatausta, laitteiston ja putkijohdojen kiinnitystä maanjäristyksen varalta.

Tällaisia reaktorilaitoksia käytetään painevesireaktoreilla varustetuilla yvl:llä, joita tullaan rakentamaan vuoteen 1990 mennessä.

VVER-1000 reaktorilaitosten ominaisuuksien vertailu on tehty taulukossa 2, liite 2. Modernisoinnin seurauksena tehdyt tärkeimmät muutokset:

Reaktori:

1. Käytetään vaipatonta elementtiä, minkä ansiosta reaktorin mittojen säilyessä sydämeen on sijoitettu 163 elementtiä 151 elementin asemasta.
2. Säättösauvojen lukumäärä on pienennetty 109:stä 61:een nostaten nipun sisältämien absorbaattoreiden määrää 12:sta 18:aan.

Kohtien 1 ja 2 muutosten seurauksena sydämen lämmönvaihtopinta kasvoi 6 %:lla, mikä yhdessä elementin energiakehityksen mikroepätasaisuuksien pienenemisen kanssa parantaa polttoainesauvojen toimintaolosuhteita.

3. On käytetty askelmaista sähkömagneettista, rakenteeltaan yksinkertaistettua toimilaitetta, jonka avulla voidaan lyhentää reaktorin pituutta ~ 3 m:llä.
4. On laajennettu sydämen energiajakauman valvontaa.
5. Reaktorin sisäosia on parannettu (väliseinä, suojaputkiyksikkö)
6. Reaktorin seisminen kestävyys on turvattu aina 9 ballin maanjäristykseen saakka.

Reaktorilaitos

1. Pääkiertopiirin layout on yksinkertaistettu poistamalla sulkuventtiilit Dn 850,
2. Reaktorin sisäosien vaihtojärjestelmää on yksinkertaistettu vesikerroksen alla tapahtuvan "märän" vaihto-kuljetuksen käyttöönoton ansiosta. Tällä turvataan reaktoritilan nosturin alaisten väylien korkeuden aleneminen ja vaihtolatauksen aikaisen säteilytilanteen paraneminen.
3. On otettu käyttöön maanjäristyksen kestävät (reaktorin, höyrystimien, paineistimien, hätätankkien, pääkiertopumppujen) komponentit ja (pääkierto-, paineistinjärjestelmän ja hätäjähdytyksen) putkijohdot, mikä turvaa VVER-1000 yvl-yksiköiden rakentamismahdollisuuden alueille, joiden laskettu seismisyys on ≤ 9 ballia.

VVER-1000 reaktorilaitoksen parannukset mahdollistavat teknis-taloudellisten tunnuslukujen kohottamisen ohella myös korkeampien tunnuslukujen saamisen yvl:n luotettavuuden ja turvallisuuden kannalta kokonaisuudessaan.

VVER-1000 reaktorilaitosta tullaan kehittämään jatkossakin, ensisijaisesti verkkokuormituksen vaihteluihin soveltuviksi, mikä vaatii piktäaikaiseen sykliseen kuormitukseen sopivien polttoainesauvojen kehittämistä.

7 VVER-1000 REAKTORILAITOKSEN TURVAKYSYMYSTEN RATKAISU

Painevesilaitoksen turvallisuus taataan seuraavilla päätoimenpiteillä:

1. Laitteiston ja normaalien käyttöjärjestelmien kehittäminen (polttoaine-elementit, paineastiat, pumput, höyrystimet), joiden toimintakykyisyys käyttöönsä kuluessa on varmistettu tarpeellisin osin laskennallisesti ja käyttötutkimuksilla.
2. Laitteiston valmistuksen ja asennuksen korkea laatu.
3. Laitteiston tilan valvonta kaikissa sen käyttövaiheissa.
4. Tehokkaiden suojatoimien ja -laitteiden kehittäminen ja toteutus onnettomuuksien estämiseksi ja syntyneiden häiriöiden rajoittamiseksi.
5. Toimenpiteiden kehittäminen ja toteutus, jotka on suunnattu onnettomuustilanteen yhteydessä vapautuvien radioaktiivisten aineiden leviämisen paikallistamiseen.
6. Turvataan tekniset ja organisatoriset toimenpiteet, jotka on suunnattu suunnittelun lähtöedellytysten toteutuksen tarkistukseen ydinvoimalaitosta käyttöön otettaessa ja kaupallisen käytön yhteydessä.
7. Normi- ja sääntöjärjestelmien, jotka säännöstelevät kaikkia turvallisuuden varmentavia teknisiä ja organisatorisia toimia, kehittäminen ja parantaminen.

VVER-1000 reaktorilaitosta luotaessa ratkaistiin monia sellaisia kysymyksiä, jotka liittyvät rakennemateriaalien, ja laitteiston optimirakenteiden valintaan, ja niiden toimintakykyisyyden perusteluihin.

Lujuutta ja toimintakykyisyyttä perusteltaessa otettiin huomioon monia tekijöitä: monimutkaisen konfiguraation omaavien elementtien jännitystilat, säteily- ja lämpöilmiöt,

materiaalin väsymiskysymykset piensyklisen kuormituksen (kuormitustilan muuttumisen vuoksi) ja monisyklisen kuormituksen (esim. jäähtytteen paineheilahtelun vuoksi) yhteydessä. Normaali tilassa vaikuttavien kuormitusten lisäksi otetaan huomioon onnettomuuskuormitukset, jotka pitävät sisällään maksimisuunnitteluonnettomuuden yhteydessä ja suurimman laskennallisen maanjäristyksen yhteydessä esiintyvät kuormitukset. Lujuusperustelut tehdään pahimmalla kuormituskombinaatiolla.

Laskennallisen perustelun ohella laitteistotarkastus sisältää:

- mallikokeet
- mallikappaleiden koestus koestusalustoilla, sisältäen käyttöikäkokeet
- vakiolaitteiston luovutuskokeet valmistajatehtailla

- reaktorilaitoksen kokoonpanossa tapahtuvat koestukset yvl:n koekäyttötöiden yhteydessä.

Pitkäaikaisilla, koealustoilla tapahtuvilla, ososuhteiltaan mahdollisimman lähellä yvl:n olosuhteita jäljittelevillä kokeilla tutkitaan komponenttien tiiveys, mukaan lukien reaktorin kansi, säätösauvojen toimilaitteet, polttoaine-elementit, pääkiertopumput.

Luonnonmukaisten olosuhteiden aikaansaaminen koealustoilla ei aina onnistu tietyille reaktorilaitoksen elementeille; Esim. reaktorin sisäisten laitteiden dynaamiset kuormitukset, putkistovärähtelyt. Tällaisissa tapauksissa mittaukset tehdään yvl:n prototyyppien vakiolaitteistolla koekäytön yhteydessä.

Reaktorilaitoksen turvallisuus- ja luotettavuuskysymyksessä on suuri huomio kiinnitetty hydrodynamiikan tutkimiseen jäädytteen suurilla virtausnopeuksilla, jotka ovat reaktorissa yli 5 m/s, putkistossa yli 10 m/s ja lämmönvaihtolaitteistossa yli 4 m/s. VVER-1000 reaktorilaitoksen turvallisuuden varmistamisessa tärkeä rooli on laitteiston valmistuksen ja asennuksen laadunvalvonnalla ja käytönaikaisella laitteiston tilan valvonnalla. Tehtailla valvonta tapahtuu "Laadunvalvonta ohjelman" mukaisesti pitäen sisällään uusimmat tarkastustavat. Ennen asennusta laitoksen laitteistolle tehdään vastaanotto-tarkastus, asennustöiden valvonta tapahtuu käyttäen menetelmiä, jotka ovat analogisia tehdastarkastuksen kanssa. Paineastian materiaaliominaisuuksien havaitsemiseksi itse reaktoriin on asennettu reaktoriteräksestä surveillance-näytteet, jotka säännöllisin väliajoin nostetaan ulos käytön aikana ja tutkitaan.

Yvl:n vaihtolatausseisokkien aikana tehdään ainetta rikkomat-
tomilla menetelmillä laitteiston tilan tarkastus ja valvonta.
Kerran neljässä vuodessa on iso revisio, jossa reaktorisydän
ja reaktorin sisäosat poistetaan samalla kun paineastian sei-
nien ja yhteiden tila tutkitaan.

Reaktorisydämen polttoainesauvojen vaippojen tiiveyden
käyttöiän aikana turvaamiseksi tehdään laajoja normaali- ja
onnettomuustilan tutkimuksia. Luonnonmukaisia elementtejä
tutkitaan hydrodynaamisilla koealustoilla, tutkimusreaktoreiden
loopeilla ja toimivilla reaktoreilla.

Reaktorin lämpötehon sallitun tason laskennallinen perustelu
tehdään riittävän konservatiivisesti. Siis mahdollisen pää-
kiertopumppumenetyksen sisältävän onnettomuuden yhteydessä ei
sallita lämmönsiirtokriisin syntyä polttoainesauvoilla, jotka
sijaitsevat pahimmissa olosuhteissa paikallistehon ja virtauk-
sen suuruuteen nähden. Tällöin pääkiertopiirin lähtöparamet-
rien (paine, lämpöteho, lämpötila sisäänmenolla reaktoriin)
katsotaan olevan mahdollisimman huonot kriisin, poikkeaman syn-
nyn, kannalta.

Ylläluetellut ja joukko muita toimenpiteitä turvaavat tarvit-
tavan VVER-1000 reaktorilaitoksen toimintakykyisyyden ja tur-
vallisuuden.

Laitosyksikön kokoonpanossa VVER-1000 reaktorilaitoksen tur-
vallisuuden takaaminen edellyttää teknisiä toimenpiteitä
(turva- ja paikallistavia laitteita), jotka on mitoitettu
mille tahansa normaalikäytön yksittäiselle laitehäiriölle
(jopa maksimisuunnitteluonnettomuudelle Dn 850 putkikatkos).

Järjestelmien ja laitteiden luotettavuus saavutetaan seuraavien tekijöiden ansiosta:

- Edellytetään mahdollisimman suuri turvallisuuslaitteiden riippumattomuus normaalikäytön laitteista ja toinen toisistaan;
- Otetaan huomioon yhden riippumattoman aktiivisen turvallisuuslaitteen vikaantuminen, mistä syystä edellytetään vähintään kaksinkertaista ja sellaisissa tapauksissa, jolloin on mahdollista turvallisuuslaitteiden ja normaalikäytön laitteiden yhtäaikainen vikaantuminen, kolminkertaista redundanttisuutta;
- Edellytetään riippumattomien passiivi turvallisuuslaitteiden kaksinkertaista redundanttisuutta, mikäli yhden vikaantuminen on mahdollista normaalikäytön laitteiden häiriön yhteydessä;
- Turvallisuuden turvaavat laitteet ja järjestelmät (sähkösyöttöjärjestelmä ja valvontalaitteet mukaan lukien) säilyttävät toimintakykyisyytensä kontaintin sisällä olosuhteissa, jotka syntyvät minkä tahansa suunnitteluonnettomuuden (jopa LOCA) yhteydessä siinä ajassa, joka oletetaan kuluvan onnettomuustilojen eliminointiin ja reaktorin jäähdyttämiseen.

VVER-1000 reaktorilaitoksella varustetulla yvl:llä on kontaintti, johon sisältyvät kaikki pääkiertopiirin käsittävät tilat ja reaktorihalli. Suojakuori on mitoitettu täydelle paineelle joka syntyy jäähdytteen täydellisessä menetyksessä, 5 kg/cm^2 (abs.).

Toisiaan korvaavien turva- ja paikallistavien järjestelmien riippumattomuus turvataan sijoittamalla ne eri tiloihin, erilliseen sähkönsyöttöön yms. Pääkiertopiirin osien siirtymisen rajoittamiseksi reaktiivisten kuormien vaikutuksesta vuotojen yhteydessä edellytetään erityistukien asentamista. Kontaintin seinät ja laitteisto suojataan missiilien ja jäähydesuihkun mahdolliselta vaikutukselta.

VVER-1000 yvl:n suunnitelmaan sisällytettyjen ratkaisujen toteuttaminen turvaa asianmukaisen turvallisuuden suunniteluksi käyttöiäksi.

8 TÄRKEIMMÄT SUOMEEN TARKOITETULLE VVER-1000 REAKTORILAITOKSELLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET

Suomeen tarkoitettuna yvl:n teknistä suunnitelmaa laadittaessa tullaan käyttämään VVER-1000 sarjareaktorilaitoksen pääkomponentteja ja lay-outia. Yvl tulee muodostumaan yhdestä yksiköstä, jonka yhteyteen olevalle alueelle on mahdollista rakentaa lisäyksikkö. Yksikkö sisältää VVER-1000 reaktorilaitoksen, jonka lämpöteho on 3000 MW ja kaksi sähköteholtaan 500 MW:n turbogeneraattoria. Yvl:n suunnitteluprojektissa tullaan tarkastelemaan kaukolämpöturpiinin käyttömahdollisuutta. Yvl-turvallisuus erilaisissa toimintatiloissa on analysoitava hyväksytyjen vaatimusten mukaisesti. Kaikki teknologiset järjestelmät ja komponentit, sähköjärjestelmät ja instrumentointijärjestelmät IVO tulee jakamaan suomalaista käytäntöä vastaaviin turvaluokkiin.

Mahdollisimman suuressa määrin pyritään käyttämään hyväksi koettuja komponentti-, laite- ja venttiilityyppejä. Reaktorin jäähdytteen painerajoissa olevat komponentit on suunniteltava korkeimpien laatuvaatimusten mukaan. Järjestelmien suunnittelun yhteydessä on erityistä huomiota kiinnitettävä seuraavien ilmiöiden eliminoimiseen tai pienentämiseen: kavitaatio, vesi-iskut, melu, ylimääräinen paineen menetys, painevärähtely ja heilahtelu.

Reaktorilaitoksen ja yvl:n kokonaisuudessaan järjestelmien ja komponenttien käyttö on mahdollista säätötoimintatilassa. Poikkeuksen tekee polttoaine, joka suunnitteluvaiheessa on mitoitettu yvl:n peruskuormatoimintatilalle. Neuvostoliitossa työskennellään VVER-1000:tta varten olevan polttoaineen luomiseksi, joka sallisi yvl:n käytön säätötoimintatilassa ja polttoaineen palaman suurentamisen kahdesta kolmeen vuoteen.

Suunnitteluprojektin yhteydessä tullaan harkitsemaan ratkaisuja, jotka ovat tarkoituksenmukaisia Suomen olosuhteissa tekniseltä ja taloudelliselta kannalta ja, jotka täyttävät ydin- ja säteilyturvallisuuden, henkilökunnan ja ympäristön suojelun vaatimukset.

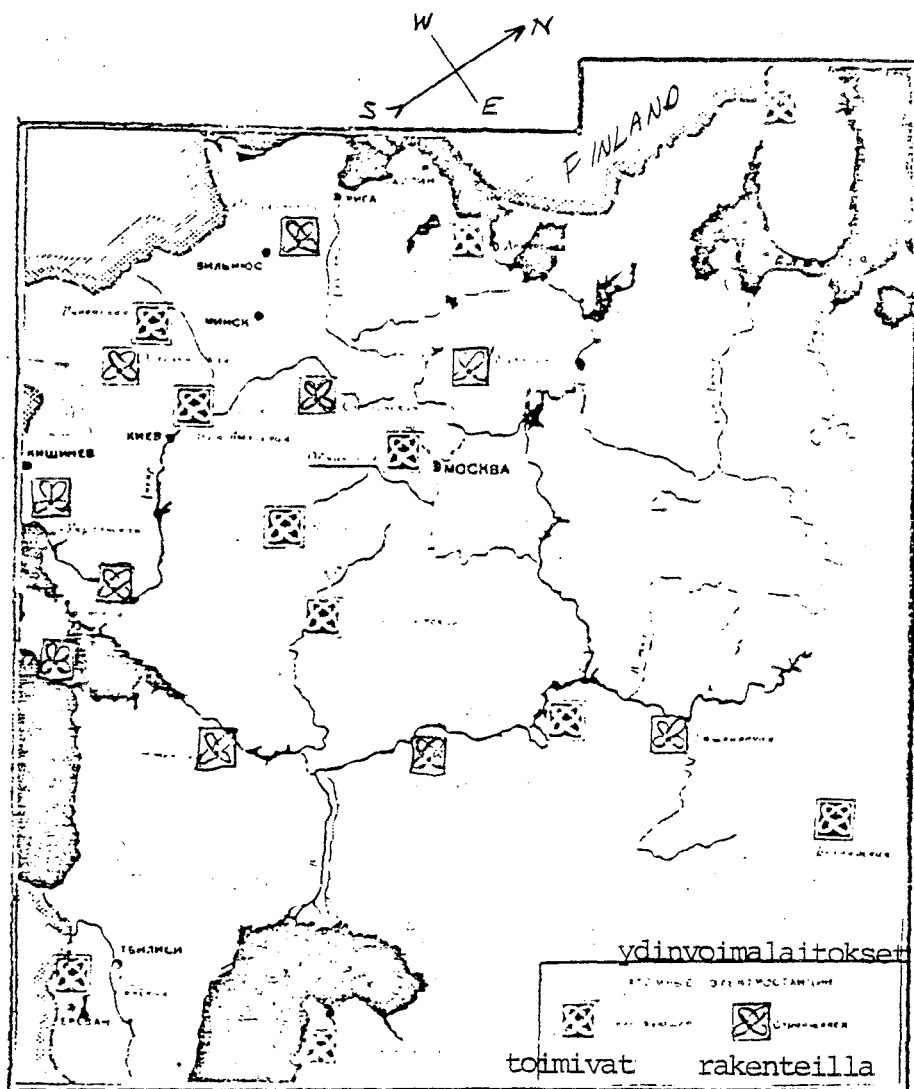
Yvl:n suunnitteluprojektissa AEE:n osuus tullaan toteuttamaan Neuvostoliitossa voimassa olevan normatiivisen teknisen dokumentaation mukaisesti: AEE:n omassa suunnitteluosuudessa käyttämien ratkaisujen tulee pohjautua yvl:n hyväksi koettuihin komponentteihin ja hyväksi koettuun teknologiaan. Lisäksi otetaan huomioon erikseen sopimuksessa sovitut vaatimukset. VVER-1000 sarjareaktorilaitoksen suunnitelmassa käytetyistä ratkaisuista poiketen yvl:n Suomeen tarkoitettussa suunnitteluprojektissa tullaan kehittämään:

- 1 Neljä riippumatonta turvajärjestelmää ts. ydinturvallisuuteen liittyvät järjestelmät tullaan suunnittelemaan 4-kertaisella redundanttisuudella
- 2 Vaihtolatausallas käytetyn polttoaineen 10 vuoden säilytystä varten.
- 3 Reaktorirakennukseen kuormat viedään vaakasuorassa olevan luukun kautta.
- 4 Erilainen lay-out reaktorin ympärille neutronivuon valvontajärjestelmää varten.
- 5 Rakennusalueen seismisyydeksi on otettu huomattavan vähäinen arvo, tämän mukaiset ovat myös muut anti-seismiset laitteiston ja putkiston vahvennukset.
- 6 Reaktorilaitoksen käyttötoimintatiloja lisätään.
- 7 Turvallisuutta ja luotettavuutta varmentavien järjestelmien joidenkin elementtien kohdentaminen, esim. boorinsyöttöjärjestelmän.

9 JOHTOPÄÄTÖS

Yhteinen neuvostoliittolais-suomalainen VVER-1000 reaktorilaitoksella varustetun Suomeen tarkoitetun yvl:n tekninen suunnitteluprojekti tekee mahdolliseksi, käyttäen hyväksi SNTL:n ja ulkomaisten vastaavien reaktoreiden painevesireaktoreista olevan kokemuksen, sellaisen ydinvoimalaitosprojektin luomisen, joka on korkealla laitosprojektin tasolla, vastaa nykyajan teknistaloudellisten tunnuslukujen ja ydin- ja säteilyturvallisuuden vaatimuksia, ja edesauttaa SNTL:n ja Suomen välisen voimatalousalan tieteellis-teknisen yhteistyön jatkokehitystä.

Yvl:n sijoituskaavio SNTL:n euroopanpuoleisessa osassa



Painevesireaktoreiden tärkeimmät ominaisuudet

Ominaisuudet	VVER-210	VVER-365	VVER-440	VVER-1000
Teho, MW				
Sähköteho	3 x 70	5 x 73	2 x 220	2 x 500
Lämpöteho	760	1320	1375	3000
Hyötysuhde, brutto %	27,6	27,6	32	33
Paine ennen turpiinia, ata	29	29	44	60
Primääripiirin paine, ata	100	105	125	160
Looppien lukumäärä	6	8	6	4
Veden virtaus reaktorin läpi, m ³ /h	36500	49500	39000	76000
Veden lämpötila sisäänmenolla reaktoriin, °C	250	250	269	289
Keskimääräinen lämpeneminen, °C	19	25	31	35
Reaktorisydän				
Ekvivalenttihalkaisija, m	2,88	2,88	2,88	3,12
Korkeus, m	2,50	2,50	2,50	3,50
Polttoaine-elementtien lukumäärä	343	349	349	151
Sauvatyyppisen polttoainesauvan halkaisija, mm	10,2	9,1	9,1	9,1
Sauvojen lukumäärä elementissä	90	126	126	331
Polttoainesauvojen hilaväli, mm	14,3	12,2	12,2	12,6
Uraanilataus, tn	38	40	42	66
Polttoaineen keskimääräinen palamasyvyys stationaarissa toimintatilassa, MWD/kgU	13	27	28,6	26-40
Polttoaineen vaihtolatausten välinen keskimääräinen toiminta-aika, h _{eff}	5200	6500	7000	7000
Lisättävän polttoaineen keskimääräinen rikastus stationaarissa toimintatilassa, at %	2,0	3,0	3,5	3,3-4,4
Reaktorisydämen keskimääräinen ominaisteho, kW/l	46	80	83	111
Keskimääräinen lineaarinen kuormitus, W/cm	97	125	131	176

74

Painevesireaktoreiden tärkeimmät ominaisuudet

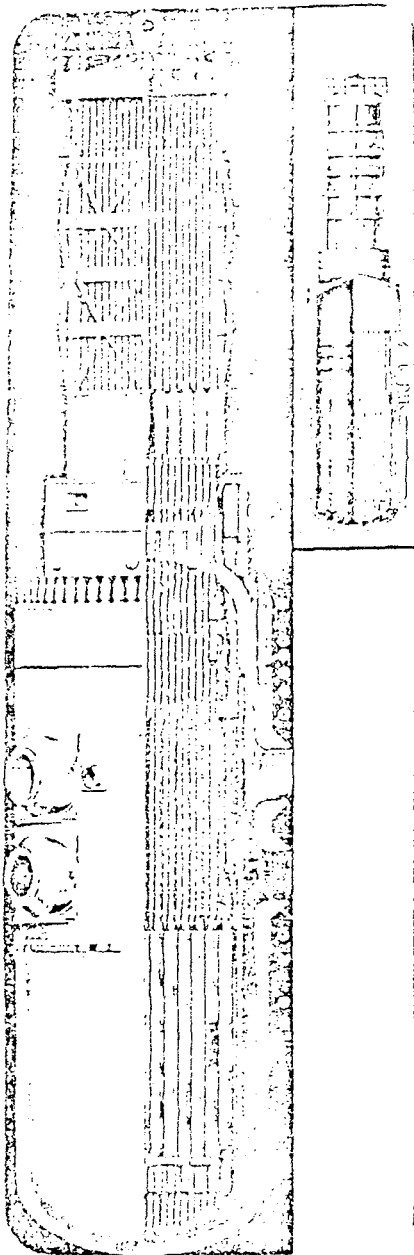
	VVER-210	VVER-305	VVER-440	VVER-1000
Alkureaktiivisuusvara kun $t = 20^{\circ}\text{C}$, %	11,5	13,8	18	22,5
Säätökoneistojen lukumäärä	37	73	37	109
Säätösauvojen kokonaiseffektivisyys, %	14	20,6	10	6,2

VVER-1000 REAKTORILAITOSTEN OMINAISUUKSIEN VERTAILU

	Novovoronezhin V yksikkö	I uudistusvaihe	II uudistusvaihe
Lämpöteho, MW	3000	3000-3200	3000-3200
Jäähdytteen paine, MPa	15,7	15,7	15,7
Jäähdytteen keskimääräinen lämpötila, °C	306	306-307	306-310
Jäähdytevirtaus reaktorin läpi, m ³ /h	80 000	80 000	80 000
Paineastian ulkohalkaisija, mm	4535	4535	4535
Reaktorin kokonaiskorkeus, mm	22 592	18 770	19 137
Reaktorisydämen ekvivalenttihalkaisija, cm	312	316	316
Sydämen korkeus käyttötilassa, cm	356	356	356
Sydämen ominaisteho, kW/l	111	107-115	107-115
Polttoaine-elementtien lukumäärä	151	163	163
Polttoaine-elementin muoto ja tyyppi	Kuusio ja vaippa	Kuusio ilman vaippaa	Kuusio ilman vaippaa
Elementin koko "avaimet käteen", mm	238	234	234
Polttoaineen lataus reaktorisydämeen (UO ₂), t	75,5	80	80
Polttoainesauvojen ulkohalkaisija ja sijaintiväli, mm	9,1/12,75	9,1/12,75	9,1/12,75
Keskimääräinen lämpövuoto W/cm	176	166-177	166-177
Polttoaineen palamajakson kesto, vuosi	2/3	3	3
Vaihtolatausten lukumäärä palamajakson aikana	2/3	3	3/6
Tuoreen polttoaineen rikastus stationaarissa vaihtolataustoimintatilassa, %	3,3/4,4	4,4	4,0-4,4

44

Polttoaineen palaman keskimääräinen syvyys, mm.	vrk/kg 27/40	40	40
Säätösauvojen lukumäärä	109	61	61
Säätösauvojen absorbaattorien lukumäärä	12	18	18
Lämpötila-anturien lukumäärä elementin ulostulolla	151	n. 100	n. 100
Neutronivuon reaktorinsisäiset anturien lukumäärät	31 x 7	72 x 7	72 x 7
Pääkiertopumppujen lukumäärä	4	4	4
Pääkiertopumppujen kulmakierrosnopeus rad/s	105	105	157/315
Pääkiertopiirin looppien sulkuventtiilien olemassa olo	on	on	Ei ole
Turbogeneraattoreiden lukumäärä ja tyyppi	2 x K-500-60/1500	1 x k_1000-60/1500	1 x K-1000-60, 1 x K-1000-65, 2 x TK-5000-60
Hermeettisten tilojen vapaa tilavuus, m ³	70 000	70 000	55 000
Erytisolosuhteiden huomioonotto projektissa	-	Maanjäristyskestävyys, 5-6 ballia	Maanjäristyskestävyys, 8-9 ballia, trooppinen ilmasto



VVER-1000 reaktori
Painevesireaktori VVER-1000 sähkö-
teholtaan 1000 000 kW:n voimatalous-
yksikkö, kuuluu paineastiattyypisiin,
lämpöneutroneilla toimiviin ja on
РЕАКТОР ВВЭР-1000

Водородной энергетический реактор ВВЭР-1000
для энергетического блока электрической мощ-
ности 1000 МВт относится к типу корпусных на-
сосов высокого давления и предназначен для работы
в качестве основной циркулирующей по двухконтурной
системе.

on tarkoitettu kaksipiirikaavioilla
toimiville ydinvoimalaitoksille.

Painevesivoimatalousreaktori VVER-1000:

Водородной энергетический реактор ВВЭР-1000:

yläyksikkö

верхний блок

lineaarinen askeltoimilaite

прямой линейный шагосовый

pultti

шпилька

surveillance-näyte

образцы-средствами

pääavaussauman tiivistesarja

комплект прокладок уплотнения главного разъема

paineastia

корпус реактора

suojaputkisyksikkö

блок защитных труб

pesä

место

suojaseinä

выгородка

elementti

элемент

lämpöeristys

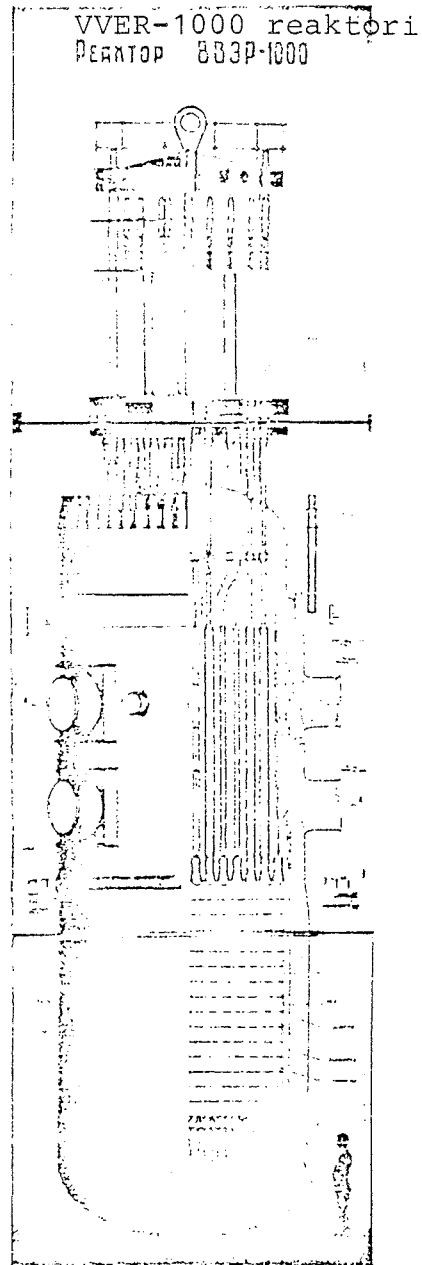
теплоизоляция

reaktorikansi

крышка реактора

reaktorisydän

сердечник реактора



KIRJALLISUUS

- 1 Kruglov A.K. "Ydinvoimalaitostiede ja -tekniikka - maan kansantaloudelle", "Atomnaja energia" lehti, nidos 50, julk. 2, helmikuu 1981
- 2 Denisov V.P. ja muut "Painevesireaktori yvl:n kehitys Neuvostoliitossa", "Atomnaja energia" lehti, nidos 31, julk. 4, lokakuu
- 3 Vihorev J V, Voznesenskij V A, Denisov V.P., Duhovenskiy A.A. "VVER-1000 reaktorilaitos- suunnittelun erityispiirteet, Novovoronezhin V yksikön käynnistytksen lopputulokset ja laitoksen jatkokehitys", "Atomnaja energia" lehti, nidos 50, julk. 2, helmikuu 1981
- 4 Sidorenko V.A. Voznesenskij V A., Stekolnikov V.V., Denisov V.P. "Painevesityyppisen reaktorin turvallisuusksymyksiä", esitelmä- IAEA-CN-36/344, Wien, 1977.

A.S.Duhovensky *)

"VVER-1000 REAKTORISYDÄMEN TÄRKEIMMÄT ERIKOISPIIRTEET JA JOITAKIN JOHTOPÄÄTÖKSIÄ NOVORONEZHIN YVL:N VIIDENNEN LAITOSYKSIKÖN REAKTORIN KÄYTTÖNOTOSTA".

LYHENNELMÄ

Esitelmässä on määritelty VVER-1000 reaktorin asema painevesireaktorien suunnittelussa ja on esitetty tärkeimmät VVER-1000 reaktorisydämen suunnittelussa käytetyt lähtöperiaatteet ja tärkeimpien rakenteellisten ominaisuuksien valintakriteerit.

Edelleen luetellaan suoritettuja kokeellisia tarkastusvaiheita ja esitetään tutkimustulosten antamia arvoja.

Jatkossa kerrotaan myös reaktorin polttoainejaksoa pidentävistä toimenpiteistä. Lopuksi esitetään tärkeimpiä käsityksiä, joihin perustuen suunnitellaan VVER-1000 reaktorilaitoksen käyttöä kaukolämpötarkoituksiin. VVER-1000 reaktorisydämen tärkeimmät erikoispiirteet ja joitakin päätelmiä Novovoronezhin yvl:n viidennen laitosisyksikön reaktorin käyttönotosta.

1

JOHDANTO

Tänä päivänä on selvästi nähtävissä suuntaus käyttää ydinvoimalaitoksia kattamaan huomattava osa energiantarpeesta. Tämän tehtävän ratkaisu perustuu mm. painevesireaktorien käytöstä saatuihin kokemuksiin. Sellaiset tärkeät ominaisuudet kuin taloudellisuus, kompaktiivisuus, rakentamiseen ja suunnitellun tehon saavuttamiseen kuluva aika, yksinkertainen ja luotettava käyttö, sekä tehonmuutokset tekevät tästä reaktorista hyvinkin houkuttelevan.

Näiden ominaisuuksien ansiosta painevesireaktorit ovat eniten käytettyjä niin SNTL:ssa kuin myös muissa maissa. Tällä hetkellä neuvostoliittolaista tuotantoa olevia VVER-reaktoreja on käytössä 23 (näistä VVER-440 reaktoreja 19). Tästä syystä on luonnollista, että voimatalouden ongelmia pyritään ratkaisemaan nimenomaan tämäntyyppisillä reaktorilaitoksilla,

*) ks. sivu 20.

suunnittelemalla niistä uusia malleja ja laajentamalla niiden käyttöaluetta. Näinollen uusien ongelmien ratkaisu määrää VVER-reaktorien kehityssuunnan.

Eräs tärkeimpiä tehtäviä on kehittää suurtehoinen reaktori-laitos.

Tilastot osoittavat, että ajan myötä voimatalouden kasvu toteutetaan säilyttämällä rakennetun tehon kasvuvauhti ennallaan, minkä seurauksena tehon absoluuttinen määrä lisääntyy vuosi vuodelta. Tämä taas johtaa yksittäisten koneistojen tehon johdonmukaisen kasvun. Tämä aiheutuu siitä, että toisaalta käytettävissä oleva voimatalouden koneenrakennusteollisuus ei selviydy alati kasvavasta koneistojen tarpeesta uusien tuotantotehojen käyttöönottoa edeltävän ajan puitteissa ja toisaalta voimansiirtojärjestelmien tehon kasvu sallii yhä suurempitehoisten koneistojen irtikytkemisen vauriotilanteissa vakavimmitta seurauksitta. Ydinvoimataloudessa pyrkimys nostaa yksikkötehoja on vieläkin suurempi kuin orgaanisen polttoaineen käyttöön perustuvassa sähkövoimateollisuudessa, koska ydinvoimasta tulee kilpailukykyinen vasta silloin kun käytetään suuria laitoksia. Lisäksi ydinvoimatalouden pyrkimyksissä syrjäyttää muut voimatalouden muodot on otettava huomioon, että sen kasvuvauhdin on oltava oleellisesti koko muun voimatalouden kasvua nopeampaa. Herää kysymys, minkälaiset reaktorit osoittautuvat tulevaisuudessa voimataloutta tyydyttäväiksi ja kuinka pitkällä aikavälillä, jos pidetään mielessä, että yksittäisten koneistojen teho jatkuvasti kasvaa. Mikä onkaan seuraava realistinen askel painevesireaktorien tehon kasvun kohdalla?

Tällä kohdalla tähän voidaan varmuudella vastata. Onhan käytössä olevien VVER-reaktorien joukossa jo yli vuoden ollut käytössä ensimmäinen kolmannen sukupolven reaktori, jonka lämpöteho on riittävä lähes 1000 MW sähkötehoa tuottavalle laitosyksikölle.

Kyseessä on Novovoronezhin yvl:n viides laitosyksikkö. Kahdensadan kalenterivuorokauden kuluttua siitä, kun yksikkö oli saavuttanut suunnitellun tehonsa käyttökerroin oli 79 % mikä on lähellä suunnitteluarvoa. Jo yksistään ensimmäisenä

käyttövuotena saavutettu edellämainittu arvo on osoitus niin sydämen kuin muunkin laitteiston riittävän luotettavasta toiminnasta.

Niinikään Novovoronezhin yvl:n viidennen laitoksen käyttöönotto on antanut mahdollisuuden tarkistaa monia suunnitteluratkaisuja ja saada ne kokeellisesti perustelluiksi.

Tässä esityksessä on tarkoituksenmukaista keskittyä joihinkin VVER-1000 sydämen erikoispiirteisiin ja Novovoronezhin yvl:n viidennen laitoksen reaktorilta saatuihin vastaaviin tuloksiin.

2

REAKTORISYDÄMEN TÄRKEIMMÄT OMINAISUUDET

Neuvostoliittolaisten VVER-reaktorien sydänten suunnittelussa sovellettavat lähtöperiaatteet ovat lähellä muiden maiden projekteissaan käyttämiä vastaavanlaisia periaatteita, mm. seuraavia:

- polttoaineena käytetään uraanidioksidia, jolla voidaan saavuttaa huomattavan suuria palamia ja estää jäähdytteen ja polttoainesauvojen vaippon keskinäinen kemiallinen vuorovaikutus käyttöparametreilla;
- käytetään primääripiirin jäähdytteeseen liuotettua absorbaattoria (boorihappoa) kompensoimaan riittävän pitkän polttoaineen palaman reaktorissa (lähes yksi vuosi) takaavaa ylijäämäreaktiivisuutta;
- sydämen polttoainesyklin järjestäminen niin, että vuosittain vaihdetaan osa polttoainetta reaktori avaamalla;

- käytetään mekaanisia säätö- ja suojauselimisiä kompensoimaan nopeita reaktiivisuusefektejä;
- käytetään sylinterimäisiä polttoainesauvoja;
- sijoitetaan polttoaine niin, että syntyy suotuisa tehonjakautumakenttä;
- käytetään myrkkysauvoja;
- täytetään laadullisesti vastaavat kriteerit, jotka luonnehtivat polttoainesauvojen eheyttä koko käytön ajan.

Yleisten periaatteiden ohella on syytä kertoa joidenkin ominaisuuksien eroavuuksista ja syistä, joihin nämä erot pohjautuvat ja joista ne määräytyvät.

Ennen kaikkea periaatteessa mahdollisista sylinterimäisten sauvojen tasaisen sijoittelun takaavista geometrisista hiloista (kolmio- ja neliöhila) neuvostoliittolaisia reaktoreja varten valittiin kolmiomainen uraani-vesihila, minkä seurauksena yksittäinen polttoainenippu (elementti) on muodoltaan kuusi-kulmainen prisma. Koska eräs tärkeimmistä polttoainehilan ominaisuuksista on veden ja uraanin välinen suhde, hilan muodolla ei ole ratkaisevaa merkitystä taloudellisen polttoaineenkäytön kannalta. Kuitenkin jatkossa hilan ja elementin muoto on vaikuttanut sellaisen sauvamäärän valintaan elementissä ja elementtimäärään sydämessä, mikä takaa riittävän sijoittelusymmetrian kun otetaan huomioon polttoaineen osittaiset yli-kuormitukset ja pyritään mahdollisimman hyvin käyttämään reaktorin paineastian koon mukaan määräytyvä sydämen pyöreä poikkipinta.

Ensimmäisissä VVER-tyyppisissä reaktoreissa ja VVER-440 sarjatuotantoa olevissa reaktoreissa käytettiin vaipallisia elementtejä, joissa kiinnityselementtinä on zirkoniumlejeeringistä valmistettu vaippa. Eräissä vauriotilanteissa tällainen rakenne haittaa luotettavaa jäähdytystä ja pääasiallisesti tästä

syystä todettiin tarkoituksenmukaiseksi VVER-1000 sarja-tuotantoa olevien reaktorien kohdalla siirtyä vaipattomiin elementteihin siirtäen tällä tavoin kiinnityselementin tehtävät teräsputkista kootulle rungolle, jonka sisällä liikkuvat mekaanisten säätö- ja suojauselinten absorboivat elementit. Tämä johtaa teräksen määrän suhteelliseen lisääntymiseen polttoainehilassa ja jonkinasteiseen polttoaineen palaman huonontumiseen. Tässä suhteessa samanlaisia elementtirakenteita on käytetty länsimaissa jo aivan ensimmäisissä PWR-reaktorien suunnitelmissa. On luonnollista, että yleisenä pyrkimyksenä on valmistaa elementin runko zirkoniumlejeeringistä.

Tärkeimpiä polttoainehilan ominaisuuksia, jotka vaikuttavat sellaisiin reaktorin suoritusarvoihin kuin poistettavan polttoaineen palaman syvyys, polttoainesauvojen ominaislämpökuormat, sydämen koko ja terminen teho, reaktiivisuuskertoimet ja boorihapon alkukonsentraatio primääripiirin jäähdytteessä ovat veden ja uraanin suhde sekä polttoainetabletin halkaisija. Kun näitä ominaisuuksia valittiin oli tärkeää löytää edellä esitettyjä reaktorin suoritusarvoja koskeva kompromissiyhdistelmä. Perusteluina käytettiin lukuisia polttoaineen palamalaskuja äärettömissä hiloissa primääripiirin jäähdytteen annetuilla parametreilla ja polttoaine-elementtien sopivilla lämpökuormilla. Laskujen tulokset on esitetty piirroksessa 1. Hilan optimaalisena tunnuskuuna käytettiin polttoaineen palaman syvyyttä kasvutekijän ollessa yhtä suuri kuin 1,0 (jossain määrin ehdollinen), mikä arvoltaan on lähellä reaktorista poistettavan keskimääräisen palaman saavuttaneen polttoaineen kasvutekijää. Lisäksi otettiin huomioon sähköenergian hinnanmuodostukseen kuuluvan polttoainetekijän riippuvuus reaktorissa saavutettavasta palaman syvyydestä, ts. otettiin huomioon se seikka, että on pyrittävä syvempään polttoaineen palamaan kuin VVER-440 reaktorissa (1).

Ratkaisevana tekijänä oli myös paineastian ulkomittojen rajoittaminen. Tällöin ehdottomana ehtona oli paineastian kuljetusmahdollisuus Neuvostoliitossa rautateitse. Sydämen äärimitat ja annettu terminen teho (3000 MW) määräisivät sydämen ominaistilavuuskuormaksi noin 115 kW/l. Jos määriteltävissä käyttötiloissa vältytään jäähdytteen kiehumiskriisiltä, tällaiset lämpökuormat pystytään saavuttamaan kun lämmityspinta on riittävän laaja. Tästä syystä polttoaine-elementtien halkaisija ei saa ylittää arvoa, joka määräytyy mm. polttoaineen sulamattomuuskriteerin mukaan mahdollisten reaktorin tehon karkaamisten yhteydessä tunnetuissa transienttitilanteissa. Lämpöteknisten laskujen pohjalta todettiin, että kummankin ehdon täyttävä polttoainetabletin halkaisija on 0,72 - 0,76 mm. Tällainen polttoainetabletin halkaisija antaa mahdollisuuden käyttää VVER-1000 reaktorissa ulkohalkaisijaltaan 9,1 mm sauvoja, joita käytetään VVER-440 reaktoreissa. Tällöin piirr. 1 mukaisesti saavutetaan polttoaineella alhaisempi palaman syvyys. Tästä huolimatta ainoastaan tässä tapauksessa on mahdollista kehittää kuljetuskelpoiselle paineastialle lähes 3000 MW:n tehoinen reaktori ja tällä tavoin saada suurin taloudellinen hyöty (polttoaine- ja pääomakomponentti) laitoksen kehittämistä maksimaaliseksi (2).

Polttoaineen palaman syvyyden saavuttamisessa syntyvä tappio kompensoidaan osittain valitsemalla hilan vesi-uraanisuhde lähelle arvoja, joilla palaman syvyys on maksimi (2,5). Hilan vesi-uraanisuhteen valitseminen yhtä suureksi kuin 2,5 ei ole mahdollista, koska se johtaa sydämessä positiiviseen takaisinkytkentään jäähdytteen lämpötilan ja tehon välillä koko palamajakson ajan, sekä sydämen korkeuden kasvattamiseen vakiolämmityspinnan säilyttämiseksi (t. paineastian pidentämiseen).

VVER-1000 polttoainehilan vesi-uraanisuhdeksi valittiin 1,90.

Hilaväli oli 12,75 mm VVER-440 reaktoreiden 12,20 mm hilavälin sijasta. Tällä arvolla vielä säilyy veden lämpötilan suhteen negatiivinen reaktiivisuuskerroin edellyttäen, ettei vedessä ole boorihappoliuosta (palamajakson loppu).

Jos vedessä on käyttötilaa vastaava alkuboorihappokonsentraatio (se boorihappokonsentraatio, joka kompensoi reaktiivisuusvaraa palamajakson aikana tapahtuvan polttoaineen palaman suhteen jakson alkuhetkellä), valittu vesiuuraanisuhteen arvo määrää reaktiivisuuskertoimen merkin vaihtumisen veden lämpötilan suhteen. Alempana esitetään Novovoronezhin yvl:n viidennen laitoksen reaktorin kokeista ja käytöstä saatujen tulosten perusteella tässä kerrottujen käsitysten vahvistuminen koskien polttoaineen palamaa ja reaktiivisuuskertoimen merkin käyttäytymistä veden lämpötilan suhteen.

Välillisenä vahvistuksena sille, että polttoainesauvan halkaisijan valinta pienemmäksi kuin maksimipalaman takaava halkaisija on osoittautunut oikeaksi voidaan pitää länsimaiden omaksumaa käytäntöäsiirtymisestä halkaisijaltaan 9,5 mm sauvoihin (elementti 17 x 17).

Erotuksena VVER-440 reaktorisydäimestä VVER-1000 sydän koostuu suuremmista 3,8 m pituisia sauvoja sisältävistä elementeistä. Tästä syystä säätö- ja suojauseliminä käytetään absorboivaa ainetta sisältävistä ohuista sauvoista koottuja nippuja.

3

SYDÄMEN KOKEELLISET ARVOT

3.1

Koelaitteistotutkimukset

Ennen ensimmäisen polttoaine-erän lataamista reaktoriin sille suoritettiin täysmittaiset koelaitteistotutkimukset. Näissä tutkimuksissa kylmässä tilassa kokeellisesti määritettiin seuraavat parametrit:

- reaktiivisuusvara
- boorihapon tehokkuus
- säätösauvojen tehokkuus
- tehojakautuma elementtien poikkipinnalla
- sydämen symmetrisyys
- osittain ladatun sydämen alikriittisyyden tarkastus

Esitetyt parametrit määritettiin myös laskennallisesti sydämen käyttötilalaskuissa käytettyjen ohjelmien tarkastamiseksi. Tehdyn työn tuloksena todettiin:

- kokonaisreaktiivisuusvaran oikea määrittäminen
- koko säätösauvajärjestelmän, erillisten ryhmien ja yksittäisten säätösauvojen tehokkuuden laskennallisten arvojen vahvistuminen
- boorihapon tehokkuuden poikkeaminen laskennallisista arvoista korkeintaan 10 %
- laskennallisten ja mitattujen tehojakautumasuureiden tyydyttävä yhtenevyys
- yksittäisten elementtien monistusominaisuuksien jonkinasteinen hajonta, mikä ilmenee tehojakautumakentän atsimutaalisena epäsymmetriana kylmässä tilassa 15% rajoissa

- osittain ladatun sydämen syvä alikriittisyys

3.2

Sydämen tutkimukset fysikaalisen käynnistyksen aikana

Sydämen neutronifysikaalisten ominaisuuksien kokeelliset tutkimukset moderaattorin lämpötilan ollessa yli 20°C tehtiin reaktorin fysikaalisen käynnistyksen yhteydessä. Määritettiin mm. vauriosuojan mekaanisten elinten differentiaali- ja integraalitehokkuuden arvot, sydämen reaktiivisuusvara 280°C :ssa sekä reaktiivisuuskerrointen riippuvuus jäädytteen lämpötilasta.

Fysikaalisen käynnistyksen yhteydessä saadut kokeelliset arvot tyydyttävästi yhtenevät vastaavien laskennallisten suureiden kanssa. Vauriosuojan tehokkuuden ja reaktorin turvallisen käytön kannalta parametrien laskennalliset arvot ovat mitattuja konservatiivisempia.

Novovoronezhin yvl:n viidennen laitoksen tehonnostokäyrä on esitetty piirroksessa 3 (3).

Ensimmäisen kerran reaktori tehtiin kriittiseksi 30.4.80 107°C :n lämpötilassa alentamalla primääripiirin jäädytteen boorihappokonsentraatiota. Säättävän ryhmän (ryhmä No 14) korkeudella 44% kriittinen boorihappokonsentraatio oli 8,1 g/kg. 279°C :n lämpötilassa ja toimivan ryhmän alaaäriasennossa - 8,2 g/kg.

Sydämeen normaalissa järjestyksessä laskettavien säätösauva-ryhmien tehokkuus mitattiin lämpötehon nollassa myrkyttämättömällä ja palamattomalla polttoaineella primääripiirin veden kahdelle lämpötilalle. Kaikkien säätösauvojen integraalinen tehokkuus oli (sulkeissa laskennallinen arvo)

- 107°C lämpötilassa 0,054 (0,041)
- 280°C lämpötilassa 0,074 (0,068)

Säätävän ryhmän (No 14) tehokkuus oli:

- 106°C lämpötilassa (44 % korkeudella) 0,0039 (0,0020)
- 280°C lämpötilassa (100% korkeudella) 0,0103 (0,0085)

Reaktorin fysikaalisen käynnistyksen yhteydessä suoritettut kokeet vahvistivat positiivisen reaktiivisuuskertoimen arvon jäädytteen lämpötilan suhteen. Sen riippuvuus jäädytteen lämpötilasta ja vertailu samanlaisiin laskennallisiin suureisiin on esitetty piirr.4.

Kokeellisten arvojen merkittävä hajonta voidaan selittää toimivan säätösauvaryhmän erilaisella asennolla. Tästä huolimatta laskennallisten suureiden jonkinasteinen systemaattinen ylittyminen on ilmeinen.

Reaktiivisuuden lämpötilakertoimen odotetun positiivisen arvon vahvistuminen tuoretta polttoainetta sisältävälle sydämelle on osoitus tämän parametrin olevan tekijän, joka rajoittaa vesi-uraanisuhteen aluetta polttoainehilaa valittaessa. Samalla saatu tulos on välillisesti osoitus laskennallisen reaktiivisuusvaran olemassaolosta polttoaineen palamaan nähden.

3.3

Tehonnoston aikaiset sydämen tutkimukset

Tällä hetkellä on päätöksessään reaktorin ensimmäinen käyttövuosi. Ensimmäisen latauksen polttoaineen palaman todellinen kesto on yhtenevä BIPR-5 ohjelman laskujen antamien optimistisimpien tulosten kanssa. Ohjelmalla BIPR-5 suoritettujen samanlaisten VVER-440 polttoaineen palamalaskujen kohdalla on havaittavissa jonkinasteista palamajakson ennakoitun keston ylitystä todelliseen nähden. Ensimmäiset VVER-1000 reaktorin polttoaineen palamasta saadut arvot antavat riittävän rohkaisevia parametreja kehitetystä sydämestä.

Sydämen tärkeä ominaisuus on tehojakautuman epätasaisuus. Toisaalta se määrittelee sydämen luotettavan toiminnan suunnitellulla tehotasolla ja toisaalta raja-arvojen varat vauriotilanteissa. Novovoronezhin yvl:n viidennellä laitoksiköllä tehojakautuma sydämen laajuudessa kartoitettiin in-core-järjestelmän avulla:

- jokaisen polttoaine-elementin teho voidaan määrittää elementin ulostulolämpötilan mukaan
- 31 elementillä tehon arvo ja sen jakautuminen sydämen korkeussuunnassa voidaan mitata seitsemän suoran varauksen virta-anturin avulla. In-core-järjestelmästä tuleva informaatio käsiteltiin kahdella tietokoneella, mistä tuloksena saatiin laajalti materiaalia, joka heijasti tehojakautumakenttää reaktorin eri tehotasoilla. Esimerkiksi piirr. 6 on esitetty tehojakautuma, joka on saatu 2900 MW tehotasolla käsittelemällä lukuisia veden lämpömittauksia elementtien ulostulossa. Maksimitehoisten elementtien neliöllinen keskivirhe on noin 8 %. Näinollen elementtien suhteellisen tehon mitattu maksimiero (1,33) laskennallisen arvon (1,38) suhteen on vähäinen ja on kyseisellä polttoaineen palaman hetkellä 4 %.

Tehon jakautumista sydämen alueella kuvaavan operatiivisen informaation saatavuus on antanut mahdollisuuden tutkia tehojakautumakentän muodonmuutosta transienttitiloissa kun reaktorin tehoa on laskettu tietyksi ajaksi.

Kehittelysuunnitelmat ovat osoittaneet, että VVER-1000 sydämessä on saattanut ilmetä xenonin paikallisen konsentraation jaksottaisia muutoksia. Tähän sydämen erikoispiirteeseen liittyen, joka pääasiallisesti määräytyy 3,5 m:iin nostetun korkeuden mukaa odotettiin vastaavaa jaksottaista uudelleenjakautumista elementtien korkeudelta. Koska korkeussuuntainen tehojakautuminen oleellisesti vaikuttaa termisten ääriarvojen varoihin, tähän asiaan kiinnitettiin erityistä huomiota.

Tutkittiin sydämen käyttäytymistä tiloissa, joissa reaktorin tehoa muutettiin palamajakson eri hetkillä. Sen jälkeen kun vakiintunutta xenon-jakautumista häirittiin voitiin havaita tehojakautuman muuttumista luonteenomaisissa pisteissä transienttitilan edetessä vapaasti (alennetulla tehotasolla) sekä säätösauvojen vaikutuksen seurauksena tehojakautumiseen. Saadut arvot osoittavat, että on mahdollista onnistuneesti sammuttaa xenonin paikallisten konsentraatioiden ajoittaiset heilahtelut.

Tällöin kuitenkin tarvitaan laskentamallin jatkokäsittelyä ja transienttitilan lähtöarvojen korjausta.

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että sydämen paikalliset lämpökuormat ovat ilmeisesti oleellisesti rajakuormia pienemmät ja koekäyttövaiheessa ilmenevistä lukuisista transienteista huolimatta polttoaine-elementtien kunto arvioidaan hyväksi. Jäähdytteen kokonaisaktiivisuus kuivan jätteen osalta ensimmäisen latauserän koko käyttöjakson aikana pysytteli $(4 - 6) \cdot 10^{-4}$ Ci/l tasolla.

4.

POLTTOAINEJAKSON KEHITTÄMISEN PÄÄSUUNTAUKSET

4.1

Siirtyminen kolmivuotiseen palamajaksoon

Ensimmäisten VVER-1000 reaktorien polttoaineen palamajakso tulee olemaan kaksi vuotta. Poistettavan polttoaineen keskimääräinen palaman syvyys ei ylitä 30 GW vrk/t. Toimivilta reaktoreilta saadun polttoaineen toimintakyvystä ko. palaman syvyydellä kertovan kokemuksen myötä pyritään tarkastelemaan mahdollisuutta siirtyä keskimääräisesti 42 GW vrk/t palamaan.

Tällä hetkellä on toiveita antavia tuloksia tällaisten palaman syvyyksien saavuttamisesta VVER-1000 parametreilla. Tulokset on saatu MR-reaktorin loopeissa koestetuilta nipuilta. On laadittu ohjelma, jonka mukaan Novovoronezhin yvl:n viiden-
nen laitosyksikön reaktorin yksittäisiltä elementeiltä saatujen positiivisten tulosten jälkeen siirrytään polttoaineen kolmi-
vuotiseen palamajaksoon jo käytössä olevilla ja käyttöön otettavilla reaktoreilla. On kehitetty kolmen vuoden palama-
jaksoon pohjautuva polttoainekierto. Oletetaan, että kolmivuotiseen polttoainekiertoon siirtymisellä pystytään alentamaan tuotettavan sähköenergian omakustannushinnan polttoainekomponenttia 15-17%:lla vastaavasta kaksivuotiseen polttoainekiertoon perustuvasta oma-
kustannushinnasta.

4.2

Kahteen vuotuisen vaihtolataukseen perustuvan polttoainekierron omaksuminen

VVER-1000 reaktorilaitosprojektin kehittelyn yhteydessä tarkas-
teltiin mahdollisuutta toteuttaa polttoainekierto kahdella vaihtolatauksella vuodessa. On laadittu polttoaine-elementtien siirtoa koskeva kahteen vaihtolataukseen vuodessa perustuva kaavio ja määritetty saavutettava polttoaineen palama kun lisättävän polttoaineen alkurikastus säilytetään ennellaan.

Laskut ovat osoittaneet, että saavutettava polttoaineen palaman syvyys kasvaa noin 10 %. Reaktorin lisäseisokin minimikesto ainoastaan polttoaineen vaihtolatausta varten (komponentteja korjaamatta) on arvioiden mukaan 7-12 vrk.

Näinollen reaktorin lisäseisokista polttoaineen vaihtolatausta varten aiheutuvia tappioita on verrattava hyötyyn, joka saavutetaan alentamalla energian omakustannushinnan muodostukseen

vaikuttavaa polttoainekomponenttia. Tämä taas riippuu niin polttoaineen hinnasta kuin myös yvl:n asemasta voimatalousjärjestelmässä.

5.

VVER-1000 REAKTORIN KÄYTTÖ KAUKOLÄMPÖTARKOITUKSIIN

Huomattava osuus polttoainetta käytetään lämmön tuottamiseen teollisuudelle ja kotitalouksille. Yleensä tämä lämpö kuljetetaan kuluttajille joko matalaparametrisen höyryn tai lämmitetyn veden muodossa.

Samanaikaisesti tällä hetkellä on jo saatu riittävää kokemusta painevesityyppisten ydinreaktoreiden käytöstä sähköenergian tuottamiseen. On todistettu, että ydinvoimalaitosten rakentaminen edellä mainittua tarkoitusta varten SNTL:n euroopanpuoleiseen osaan on taloudellisesti perusteltua. VVER-reaktorilla varustettujen voimalaitosyksiköiden muut tunnusluvut, esimerkiksi rakennusajat, suunnitellun tehon saavuttamisaika, laitosten säädettävyys sekä yksinkertainen, turvallinen ja luotettava käyttö ovat hyvinkin houkuttelevia. Näinollen on luonnollista, että tämäntyyppisiä reaktoreita pyritään käyttämään teollisuuden ja kotitalouksien kuluttaman lämmön tuottamiseen.

Sekundääripiirin höyry johdetaan lämmönkuluttajille 500 MW kaukolämpöturpiinilta erotettua reittiä pitkin. Täydellä lämpökuormalla sähköteho on 430 MW.

On todettava, että sovellettaessa VVER-1000 reaktoria kaukolämpötarkoituksiin tarkastellaan mahdollista tapaa turvata kaukolämpöä tuottavan yvl:n turvallisuus. Ensiksi käytetään jo kehitettyjä konventionaalisia turvallisuuskonseptioilla varustettuja reaktorilaitoksia. Tässä tapauksessa muiden toimenpiteiden ohella tärkeimpänä väestön turvallisuuden takaavana tekijänä on 25 km: etäisyys kaukolämpöä tuottavan yvl:n ja lämmönkuluttajan välillä.

Koska lämpöreittien ominaiskustannukset ovat korkeat tällaisen vaatimuksen täyttäminen alentaa ydinenergialähteellä tuotetun kaukolämmön taloudellista efektiä. Tästä syystä luonnollisesti pyritään lyhentämään lämpöreittejä. Tällöin jo suunniteltuihin ratkaisuihin kytkeytyy lisävaatimusten tarve. Ko. vaatimusten ottaminen suunnitelmissa huomioon oleellisesti muuttaa VVER-100 reaktorilaitosta, jonka käyttö osoittautuu välttämättömäksi kaukolämpöä tuottavan yvl:n jatkokehittelyvaiheissa.

Kirjallisuusviitteet:

1. S.A.Skvortsov "VVER plutoniumin kokoajina", "Kernenergi" 8/1972
2. V.A.Voznesenskij ym "Atomnaja energia", 1977, osa 43
julk. 6 s. 445.
3. Ju.V.Vihorev ym "Atomnaja energia", 1981, osa 50 julk. 2, s.87
4. V.A.Sidorenko, O.M.Kovalevitsh "Atomnaja energia", 1981,
osa 50, julk. 2
5. S.A.Skvortsov, A.S.Duhovenskiij, "Teploenergetika!", 1976,
osa 3, s, 3

Alustus ATS:n kokouksessa
25.2.1982

Yhteenveto raportista YJT-82-01

RAPORTTI VOIMAYHTIÖIDEN YDINJÄTETOIMIKUNNAN OSALLISTUMISESTA
THREE MILE ISLAND TMI-2 LAITOSYKSIKÖN DEKONTAMINOINTI
-PROJEKTIIN VUODEN 1981 AIKANA

Pekka O. Lehtinen TVO Martti Kautto IVO

1
THREE MILE ISLAND TMI-2 ONNETTOMUUDEN KUVAUS

Maaliskuun 28. päivänä 1979 tapahtui laitosyksiköllä sarja virhetoimintoja, jotka aiheuttivat onnettomuudeksi kutsutun tilanteen. Primääripiirin paineistimen varoventtiili (PORV) avautui operationaalisessa transientissa reaktorin korkean paineen ohjaamana, mutta virheellisesti ei sulkeutunut paineen myöhemmin laskiessa. Jäähdyte virtasi ulos näin syntyneestä aukosta paljastaen reaktorisydämen yläosan. Seurauksena oli polttoaineen suojakuoren ylikuumentuminen ja vaurioituminen. Fissiotuotteita vapautui jäähdytteeseen, rakennuksiin ja ulkoympäristöön.

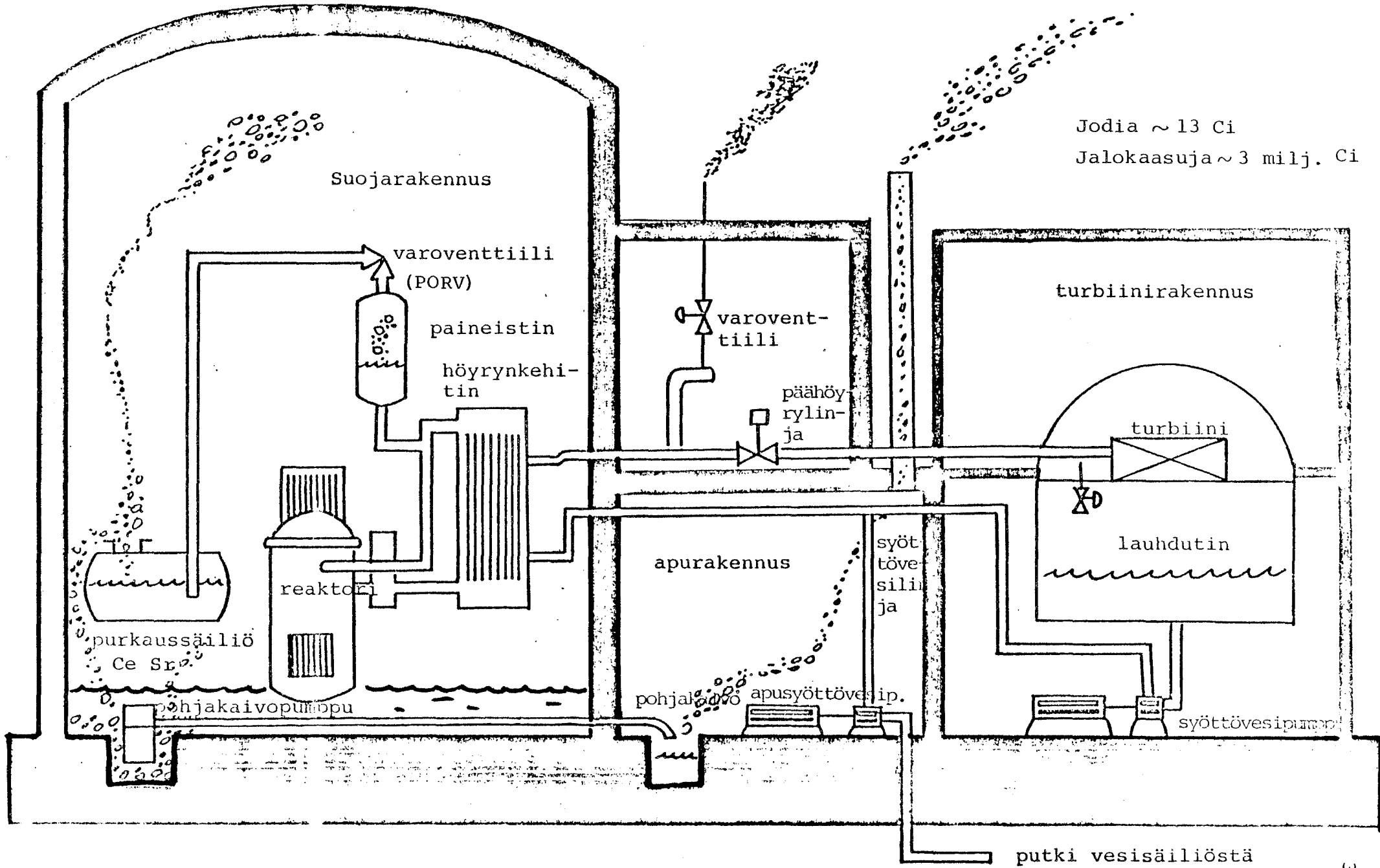
Reaktorin korkea paine johtui toisiopiirin jäähdytyskyvyn heikkenemisestä turpiinipikasulun yhteydessä varasyöttövesipumppauksen ollessa osittain käyttökunnoton kiinni unohtuneen huoltoventtiilin vuoksi. Kuvassa 1 on esitetty onnettomuuden pääelementti-kaavio. Kuva 2 esittää primääripiirin rakenteen.

Primääripiiristä ulos virtaava vesi täytti nopeasti purkaussäiliön tulvien suojarakennuksen pohjalle ja edelleen apurakennukseen. Kuuma vesi höyrystyi

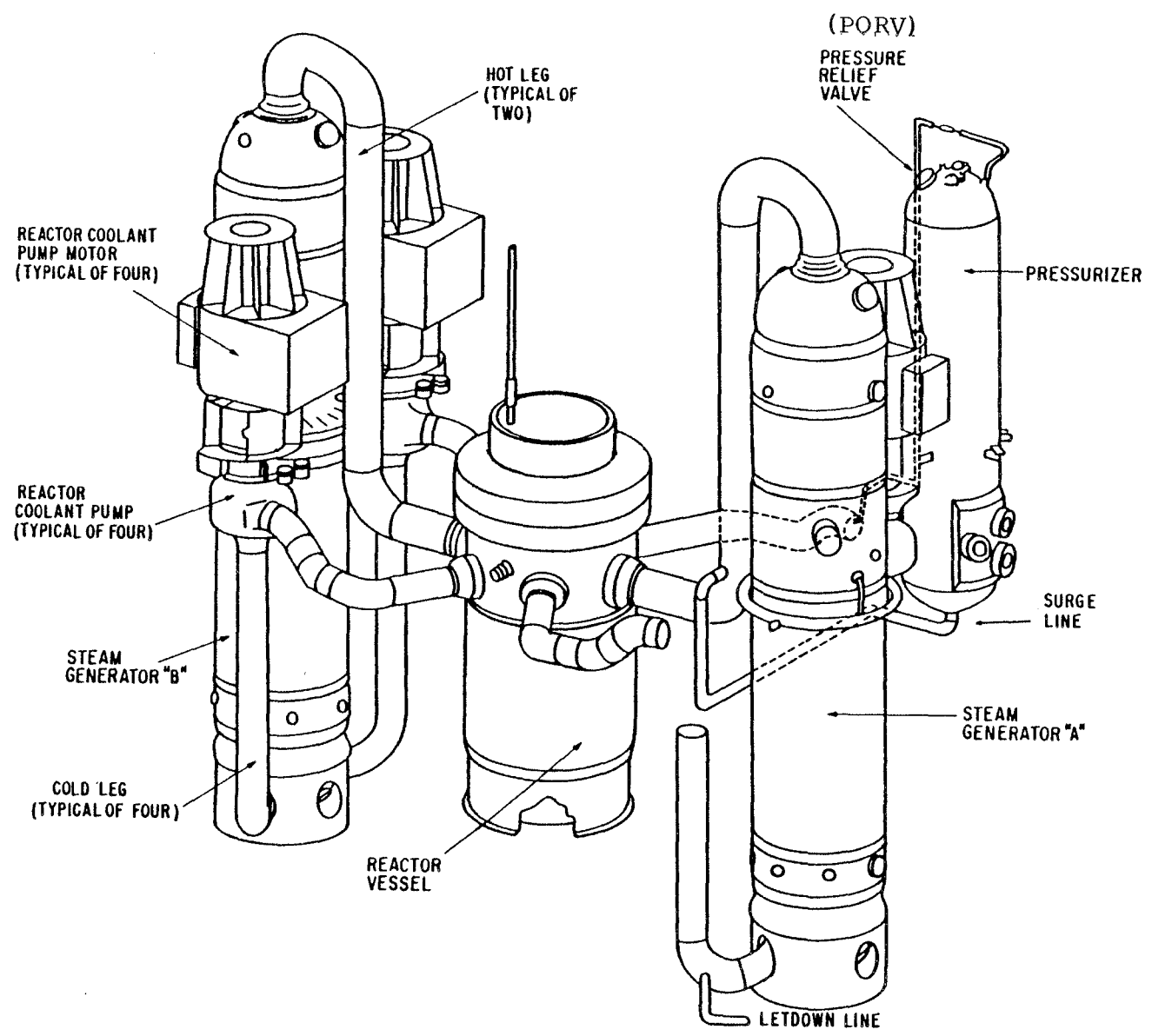
huonetiloissa kontaminoiden lattia-, seinä- ja kattopinnat sekä laitteistot, sähkö- ja instrumentointikotelot ja -kaapit, ilmastointijärjestelmät jne., ylipäättänsä kaiken ko. tiloissa olevan.

Fissiokaasut poistuivat apurakennuksesta ilmastoinnin kautta ulkoilmaan. Aktiivihiihisiuodattimien pidätyskyky ei ollut riittävä. Vapautuneet fissiokaasut, jotka pääasiassa sisälsivät jodeja n. 13 Ci ja jalokaasuja n. 3 milj. Ci, aiheuttivat lähistön asukkaille muutamien milliremien säteilyannokset. Kuva 3 esittää onnettomuuspäästön aiheuttamat keskiannokset lähiseudulla.

Laitoksen lattioille ja säiliöihin kerääntyi aktiivista vettä useita tuhansia kuutioita. Tämän veden kontaminaatio koostui lähinnä cesium Cs 137 ja strontium Sr 90 nuklideista. Kuva 4.

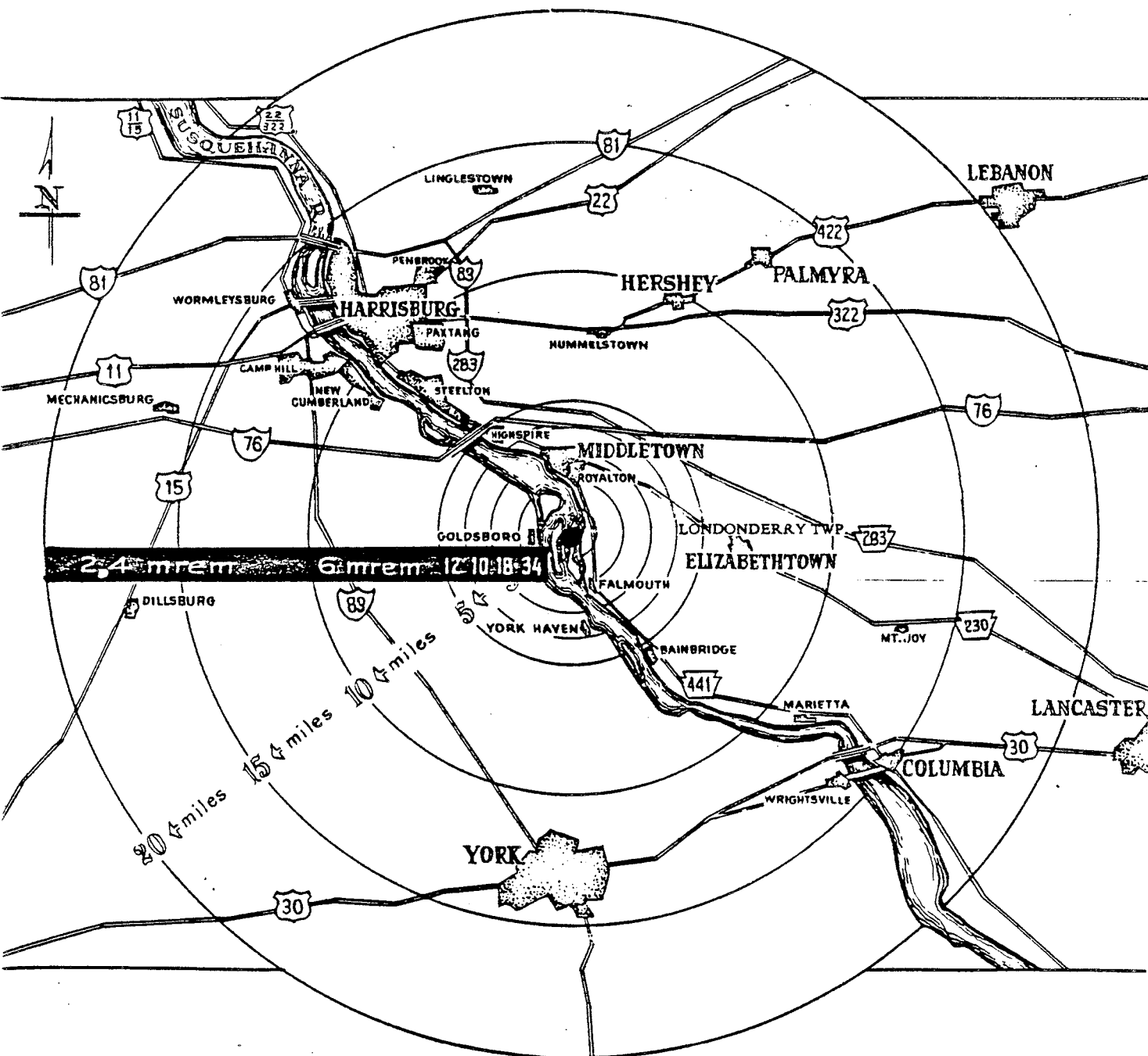


Kuva 1. TMI-2-Onnettomuuskaavio



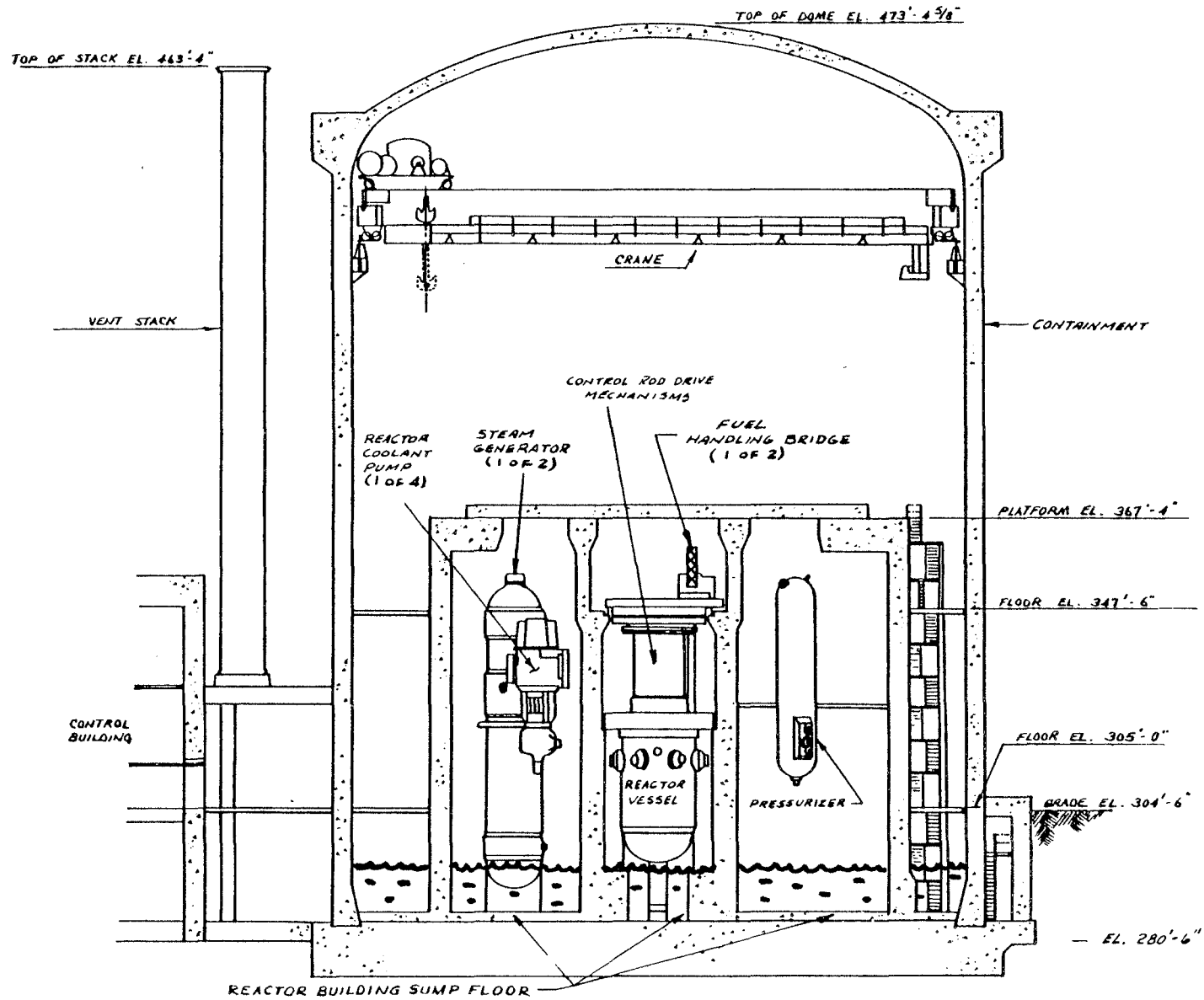
67

Kuva 2. TMI-2-primääripiiri



Kuva 3. TMI-2-onnettomuuden ympäristön asukkaille aiheuttama säteilyannos.

69



Kuva 4. TMI-2 reaktorin suojarakennuksen pohjalla makasi n. 2400 m³ aktiivista vettä onnettomuuden jälkeen.

SUOMEN TMI-OSALLISTUMINEN

Washingtonissa 1980 pidetyssä TMI-2 onnettomuus-seminaarissa GPU, EPRI, NCR ja DOE:n ja johtaja Antti Vuorisen STL väliset neuvottelut avasivat Suomelle mahdollisuuden osallistua onnettomuuslaitoksen dekontaminointi-projektiin. Osallistuminen päätettiin kanavoida Voimayhtiöiden Ydinjäte-toimikunnan kautta siten, että molemmat ydinvoimayhtiöt saisivat edustajansa mukaan. Jaksolle toukuusta elokuuhun 1981 nimettiin Pekka O. Lehtinen TVO:sta ja jatkojaksolle elokuusta marraskuuhun 1981 Martti Kautto IVO:sta.

Osallistumisen tuli olla kaikille osapuolille hyödyllistä. Mr Harold E Shaw, Manager of External Affairs TMI-2, Bechtel National, Inc, johti järjestelyjä ja määritteli osallistumisen tavoitteet seuraavasti:

- konsulttipalvelujen suorittaminen omistajayhtiölle, GPU, General Public Utilities
- ydinvoimalaitosonnettomuuden jälkeisiin kunnostusaktiviteetteihin tutustuminen
- vapaaehtoisen asiantuntija-avun tarjoaminen TMI-2-kunnostusohjelmalle.

Pekka O. Lehtinen työskenteli Recovery Engineering-osastolla, joka vastasi projektin toimenpiteiden koordinoinnista ja suunnittelusta. Pääaktiviteetti osallistumisajankohtana oli suojarakennuksen pohjalla makaavan korkearadioaktiivisen veden puhdistaminen SDS-järjestelmällä. Konsultointi koostui

pienehköistä erillistehtävistä, kuten SDS-järjestelmän toimintakelpoisuuden ja prosessikaavion tarkastamisesta, järjestelmän käyttöön liittyvien riskien kartoittamisesta ja analysoinnista. Polttoainemurskan kerääntymisen aiheuttama kriittisyysvaara ja muut epätoivotut tilanteet olivat käsittelyssä.

Martti Kautto työskenteli dekontaminointiosastolla suorittaen rakennusten ja laitteiden dekontaminointin johto- ja koordinoititehtäviä osallistuen myös koulutukseen aiheina elektro-polishing ja suojarakennustutkimuskäynnit.

Varsinaisten konsulttipalvelujen suorittamisen lisäksi oli osallistujilla mahdollisuus tutustua laajasti "TMI-2 Recovery" -projektin muihin alueisiin.

3

TMI-2 DEKONTAMINOINTIPROJEKTI

Projektin tehtävänä on:

- poistaa onnettomuudessa levinneet fissiotuotteet
- vaurioituneen reaktorisydämen poisto

Lähes kaikki sydämen ulkopuoliset fissiotuotteet on kerättävissä ja konsentroitavissa tunnetuin dekontaminointimenetelmin.

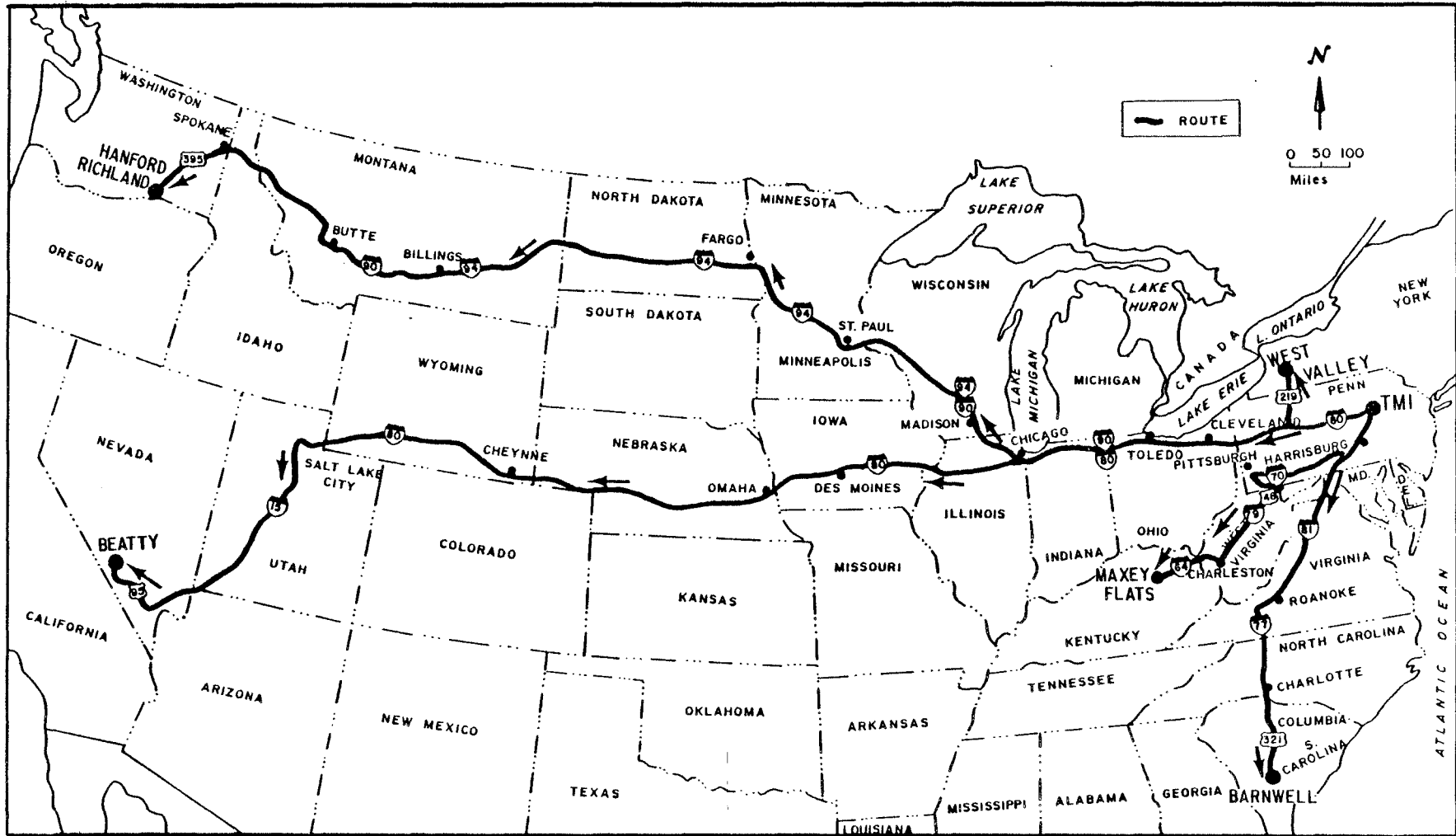
Apurakennuksien tilat ja laitteet voidaan pestä sopivilla nesteillä, joista ioninvaihdolla kerätään ko. nuklidit suodattimiin, jotka edelleen voidaan

loppusijoittaa olemassa oleville alueille, kuten Richlandiin, Washingtonin osavaltiossa, kuva 5. (EPICOR I ja II suodatusjärjestelmät)

Dekontaminoinnissa syntyvä roina, kuten erilaiset pesuvälineet, rätit kompaktoidaan ja lähetetään samoin maahanhaudattavaksi.

Reaktorin suojarakennuksen pohjalla makaava korkeaaktiivinen vesi ei sovellu puhdistettavaksi tavanomaisin ioninvaihtomenetelmin, johtuen lähinnä orgaanisen ioninvaihtohartsin huonosta säteilykestävyydestä pitkäaikaissäilytyksessä ja alhaisesta selektiivisyydestä Cs 137 ja Sr 90 nuklideille. Tämän ongelman ratkaisemiseksi suunniteltiin ainutkertainen epäorgaanista zeoliittia käyttävä ioninvaihtojärjestelmä "Submerged Demineralizer System -SDS", kuva 6. Käytetyille suodattimille (n. 15 kpl), jotka sisältävät kukin noin 60.000 Ci cesiumia ja strontiumia ei ole toistaiseksi löydetty loppusijoituspaikkaa. Niiden vähäisen määrän vuoksi on tutkimuskäyttöön sijoittaminen eräs vaihtoehto. Halukkaita vastaanottajia lienee löydettävissä.

Reaktorin suojarakennus on voimakkaasti kontaminoitunut, tausta-annosnopeutena mitattuna muutamasta sadasta milliremistä useaan remiin tunnissa. Tämä tekee dekontaminointitoimenpiteet monimutkaisiksi. Suunnitelmana on käyttää kauko-ohjattua korkeapainesteruiskutusta, jolla dekontaminoidaan ensin ylätasot ja edetään vaiheittain alemmaksi. Dekontaminointinesteet valuvat suojarakennuksen pohjalle, mistä ne pumpataan edelleen SDS-järjestelmään puhdistettaviksi.



73

Kuva 5. TMI-2 matala-aktiivisen jätteen loppusijoituspaikat

4

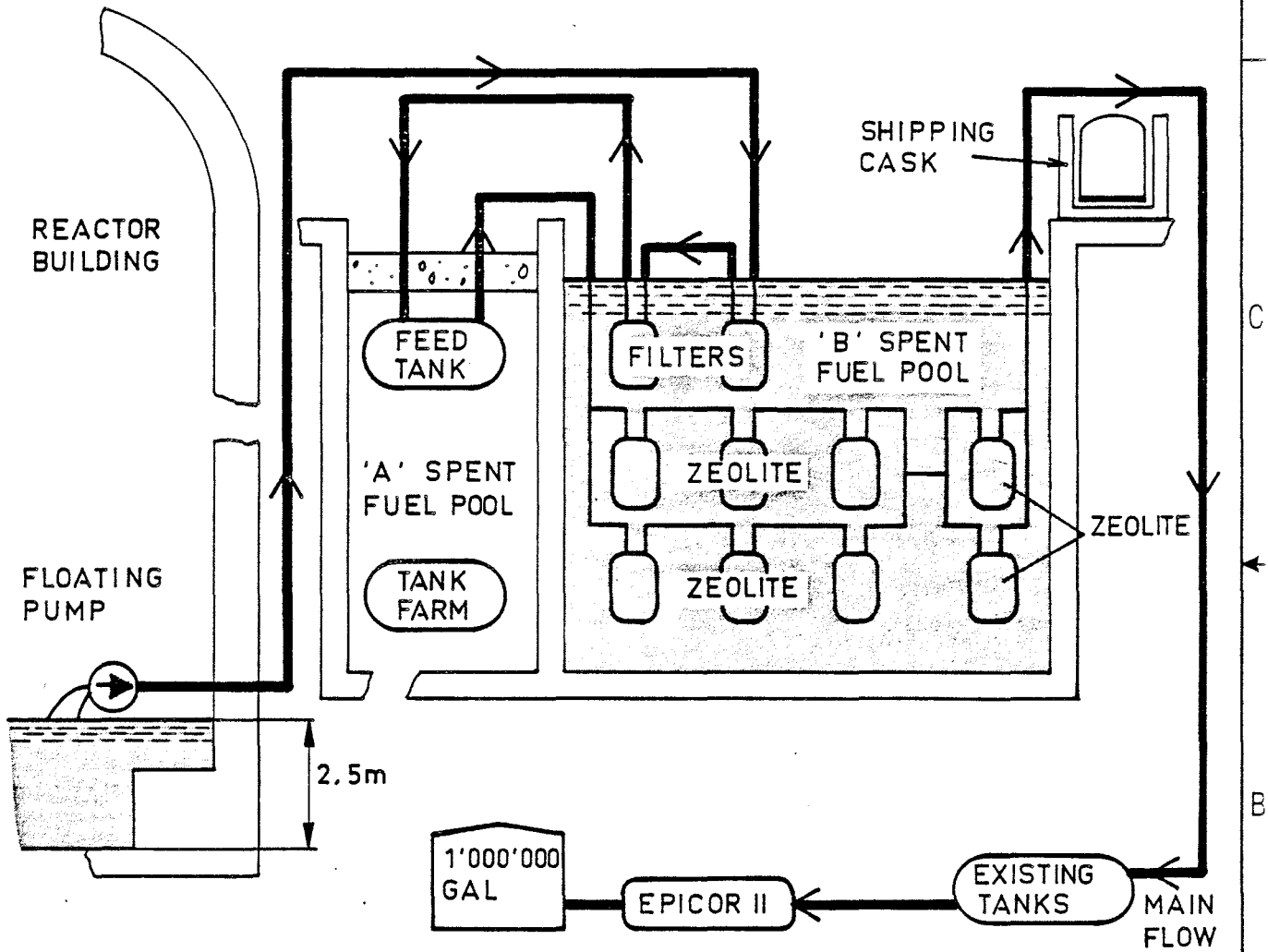
3

2

1

Muutos Rev	Lukum Number	Selitys Description	Suunn/Piirt./Pvm Design/Drw./Date	Tark/Pvm Chkd./Date	Tark Pvm Chkd./Date	Hyv./Pvm Appd./Date	Mikrol./Pvm Microf./Date

11



Kuva 6.

SUBMERGED DEMINERALIZER SYSTEM

TEOLLISUUDEN VOIMA OY

Työ n:o Job no		Mikrol./Pvm Microf./Date		Suhde Scale	
Piirt/Drw	bv	Tark/Chkd	Hyv/Appd	Sivu n:o Sheet no ()	
Pvm/Date	27.1.82	Pvm/Date	Pvm/Date		

SCHEMATIC DIAGRAM OF TMI-2 SDS

4 0 0 2 0 0 3 4

Liittyy piir. n:o Incl. in drw no	Korvaa piir. n:o Repl. drw no	Korvattu piir. n:o Repl. by drw no	Muutos Rev						
-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	------------	--	--	--	--	--	--

4

3

2

1

Suojarakennuksen dekontaminoinnin jälkeen voidaan ryhtyä reaktoripaineastian aukaisuun. Sydämen tilasta on useita arvioita. Suunnitelmissa käytetään arviota, jossa 50 % polttoaineesta olisi murskana eri kokoisina kokkareina upokasmaisesti sydämen yläosassa, kuva 7. Tämä murska poistetaan imuroimalla erityislaitteistolla. Lopun polttoaineen irrottamisessa tulee olemaan vaikeuksia tukirakenteiden vaurioista riippuen.

Polttoaineen poiston ja reaktoripaineastian kunnan toteamisen jälkeen 1985...86 lienee omistajayhtiöillä tarvittavat tiedot jatkopäätöksen tekoon; korjataanko TMI-2 käyttökuntoon vai romutetaanko laitos lopullisesti.

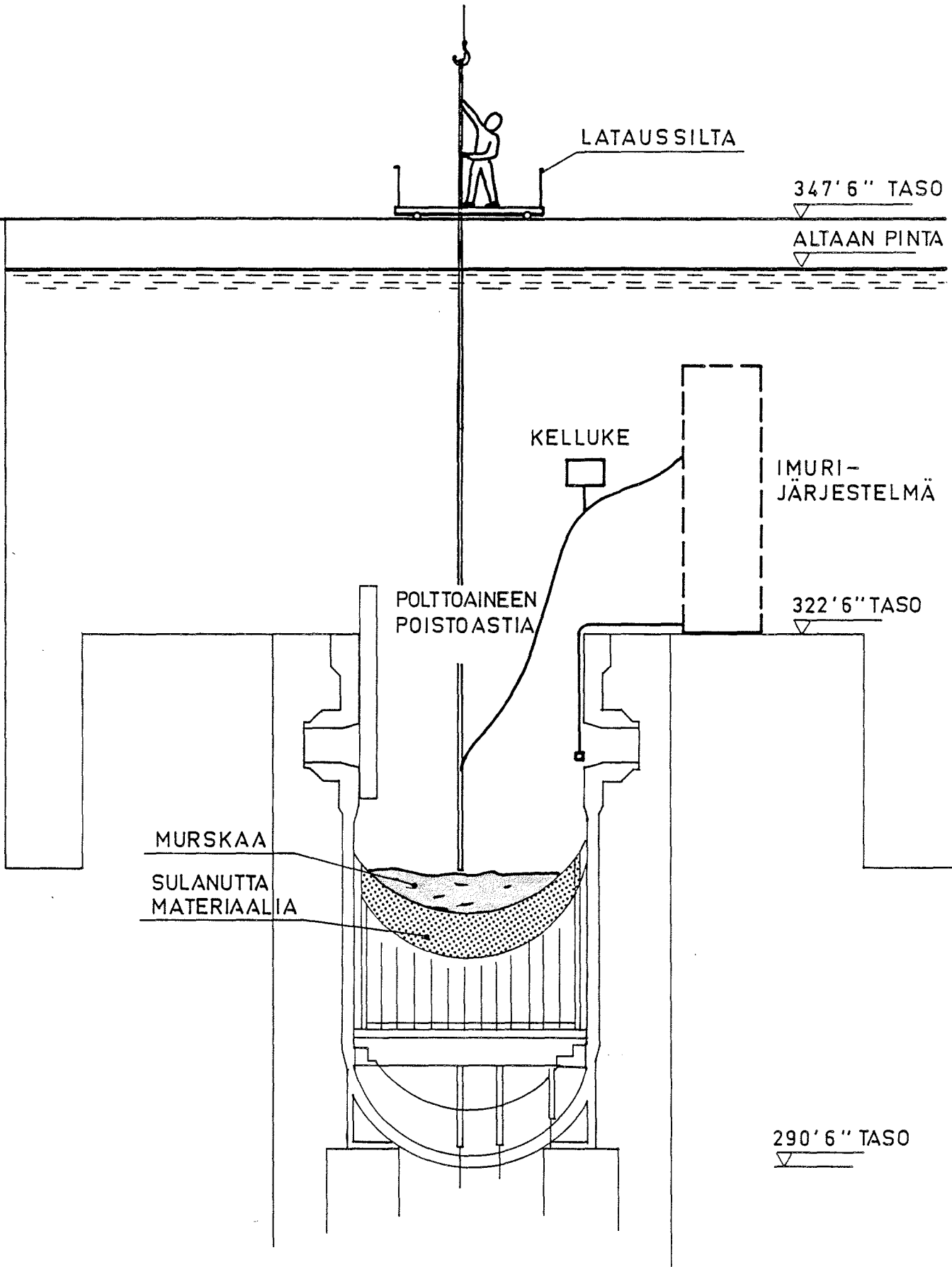
4

JOHTOPÄÄTÖKSET

TMI-2 dekontaminointi-projektiin osallistuminen tuo osallistujayhtiöille arvokasta käytännön tietoa onnettomuuden jälkeisistä toimenpiteistä. Tämä tietämys on hyödynnettävissä normaaleita radioaktiivisen jätteen käsittelymenetelmiä suunniteltaessa. TMI-2-projektin seuraava mielenkiintoinen vaihe on suojarakennuksen dekontaminointi vuoden 1983 aikana. Olisi syytä käynnistää hyvissä ajoin selvitykset YJT:n mahdollisuuksista osallistua jatkossa TMI-2-projektiin.

REAKTORISYDÄMEN IMUROINTI

13



Kuva 7.

ENERGIAHUOLTO JA YMPÄRISTONSUOJELU

Osastopäällikkö Olli Ojala, sisäasiainministeriö

1. Teollisuusmailla, jotka kuluttavat suurimman osan maapallon luonnonvaroista, on erityinen vastuu siitä, että näiden riittävydestä ja ympäristön suojelemisesta niiden käytön aiheuttamilta haitoilta huolehditaan. Energiantuotantoon käytettäviä luonnonvaroja tämä koskee aivan erityisesti. Teollisuusmaidenkin joukossa Suomen energiankulutus on verraten suuri, joten myös vastuumme on melkoinen.
2. Energianlähteitä on energiahuollossa käytettävä mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Kaikilla muillakin tavoin on huolehdittava energian säästämisestä, sillä se on toistaiseksi tärkein keino energiantuotannon ympäristövaikutustenkin kurissa pitämiseksi.
3. Kaikista polttoaineista, ts. sekä uudistumattomista fossiilisista polttoaineista ja niihin läheisesti rinnastettavasta turpeesta että puusta, jätteistä ja biokaasusta syntyy hiilidioksidia, jonka pitoisuus ilmakehässä näyttää jatkuvasti lisääntyvän. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden lisääntyminen muuttaa maapallon ilmastoja. Tästä voi aiheutua pahempia ympäristön muutoksia kuin mistään muusta ympäristöön vaikuttavasta ihmisen toiminnasta.
4. Arvokkaiden raaka-aineiden polttaminen on tuhlausta. Vaihtoehtoja niille ovat Suomessa vain vesivoima, aurinkoenergia, tuulienergia - ilmeisesti hyvin pienessä määrin - sekä ydinenergia. Uusia teollisia tai teknisiä energiantuotannon muotoja ehkä pystytään vähitellen kehittämään, mutta toistaiseksi ne eivät ole käden ulottuvilla.
5. Useiden polttoaineiden käyttöön liittyvät hiilidioksidiongelman lisäksi rikin oksidien päästöt, jotka ovat ominaisia esimerkiksi öljyn, kivihiilen ja eräiltä osin selluteollisuuden jäteliemen polttolle. Rikin päästöjen vähentämiseen on Suomessakin ryhdyttävä,

etenkin kun polttoaineiden rikkipitoisuudet ovat pikemminkin nousussa kuin laskussa. Kustannukset rikinpoistosta on jaettava oikeudenmukaisella tavalla kaikkien energian käyttäjien kesken.

6. Polttoaineiden käyttö aiheuttaa myös typen oksidien sekä ns. raskasmetallien, karsinogeenisten aineiden ja radioaktiivisten aineiden päästöjä. Ilmansuojeluongelmat eivät ratkea suosimalla pientaloja taikka kotimaisia polttoaineita tai vaikka molempia, varsinkin kun polttoaineiden käytön hyötysuhde on yleensä heikompi kuin suurissa. Pientalojen lämmityksen päästöt jäävät lisäksi elinympäristöön, koska pientalojen savupiiput ovat matalia.
7. Vesivoiman rakentamisen jatkaminen merkitsee vesistöjen luonnontilan, kalatalouden edellytysten ja virkistysarvojen tuhoamista ilman, että sillä olennaisesti helpotetaan energiahuoltomme pulmia. Tekoaltaissa ja säännöstellyissä vesistöissä tapahtuu huuhtoutumista ja eroosiota. Edellisestä voi seurata rehevöitymistä ja happamoitumista sekä jopa raskasmetallien kertymistä veden eliöihin. Jäljellä olevat koskemme ja vielä rakentamattomat yhtenäiset jokivesistöt, esimerkiksi Ounasjoki ja Tornionjoki, olisi jätettävä luonnontilaan.
8. Lämpövoimalaitosten, etenkin lauhdutusvoimalaitosten, jäähdytysvedet aiheuttavat ympäristön (veden ja ilman) lämpenemistä. Vaikutukset lie-
nevät pääasiassa paikallisia - lämpeneminen mm. edistää rehevöitymistä - mutta vaikutukset ilmastoonkin ovat mahdollisia.
9. Ydinjätteiden, erityisesti ydinpolttoaineiden kierrätyksestä syntyvien jätteiden aiheuttamat ongelmat ovat vaikeita. Ainakaan luonnonlait tai edes yhteiskunnalliset seikat (on väitetty ydinenergian varaan rakentuvan energiahuollon aiheuttavan vallan keskittymistä; tämä koskee kuitenkin kaikkea energiahuoltoa) eivät kuitenkaan ole esteinä ydinjäteongelman ratkaisulle. Ydinenergian käyttö edellyttää hyötöreaktoreita. On kuitenkin epävarmaa, voidaanko niihin turvautua, koska ne ovat ympäristönsuojelun kannalta sangen ongelmallisia.
10. Aurinkoenergia on pitkällä tähtäyksellä välttämätön lisä meidänkin energiahuoltomme turvaamiseksi. Se edellyttää kuitenkin suuria

pääomia ja huomattavaa materiaalien tuotantoa, joka tuskin on mahdollista ilman muiden energianlähteiden, kuten ydinenergian, käyttöä.

11. Energiahuolto on kokonaisuus, jota ei voida ympäristönsuojelunkaan kannalta tarkastella palasina, esimerkiksi yhtä energiajärjestelmää vastustaen ja toista vaatien. Energiahuoltoon kuuluvat myös energian siirto ja voimalaitosten sijoitus. Niidenkin aiheuttamat ympäristöongelmat on ratkaistava järkevällä ja ympäristönsuojelun kannalta hyväksyttävällä tavalla eikä tässäkään suhteessa ole osoitettavissa jonkin energiamuodon ehdotonta paremmuutta toisiin nähden.
12. Tämän hetken vaikeimmat energiahuollon ympäristöongelmat ovat hiilidioksidikysymys, rikin oksidien kaukokulkeutuminen, energiantuotantoon käytettävien luonnonvarojen ehtyminen, vesivoiman rakentamisen aiheuttamat peruuttamattomat ympäristömuutokset ja ydinpolttoaineen uudistamista koskevat ympäristöongelmat.

PIENTEN SÄTEILYANNOSTEN TERVEYDELLISET VAIKUTUKSET

Mikään säteilyannos (ionisoiva säteily) ei ole ihmiselle täysin turvallinen. Toisaalta kuitenkin suhteellisen suurikaan annos - esim. annosrajat moninkertaisestikin ylittävä säteilyannos - ei välttämättä (eikä edes yleensä) aiheuta mitään terveydellistä haittaa. Tällainen tilanne johtuu luonnollisesti siitä, että säteilyn aiheuttamat stokastiset haitat ovat luonteeltaan "kaikki-tai-ei mitään"-ilmiöitä: ihminen joko ei saa tai saa säteilyn aiheuttaman syövän ilman mitään välimuotoja.

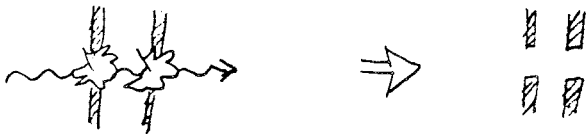
Syövän saamistodennäköisyys riippuu annoksesta - ja myös monesta muusta tekijästä: Annos/vaste-riippuvuus esitetään nykyisin hallinnollisesti monimutkaisella, matemaattisesti yksinkertaisella, mutta biologisesti kyseenalaisella yhtälöllä

$$E = (aD + bD^2) \exp(-\alpha D - \beta D^2)$$

Yhtälön kaksi ensimmäistä termiä kuvaavat karsinogeenisen vaikutuksen todennäköisyyttä annoksen (D) funktiona; eksponenttitermi taas ilmaisee todennäköisyyden, jolla muuntunut solu jää eloon ja jakautumiskykyiseksi.

Yhtälö saattaa joissakin ideaaliolosuhteissa olla oikea - tai ainakin täsmällisempi kuin 'vanha' lineaarisuusoletus. Biologisesti ongelmallista on kuitenkin se, että yhtälössä olevat vakiot a, b, α ja β ovatkin itse asiassa muuttujia. Hieman trivialisoituna tilanne on seuraava:

Vakio a ilmaisee todennäköisyyden, jolla yksi ionisoiva partikkeli aiheuttaa kaksi sellaista osunaa, jotka johtavat esim. DNA:n kaksoisketjun katkeamiseen:



Formalismien periaatteellinen heikkous on siinä, että biologisesti tärkeä todennäköisyys on DNA:n kaksoisketjun katkeaminen em. tavalla (eikä siis 'kaksoisosuma' sinänsä) ja tämä taas on mahdollista silloinkin, kun säteilyn aiheuttamia 'osumia' on vain yksi. Toisen 'osuman' voi aiheuttaa jokin muu karsinogeeni (esim. syöpää aiheuttava kemiallinen aine) tai co-karsinogeeni -

eli toisin sanoen säteilyn syöpää aiheuttava vaikutus voi suuresti muuttua eri olosuhteissa. 'Ympäristötekijöiden' lisäksi myös henkilön ikä, sukupuoli ja geneettiset ominaisuudet vaikuttavat annos/vaste-riippuvuuteen.

Em. yhtälö on johdettu 'säteilybiologisista' perusteista. Lähtökohta ei kuitenkaan ole välttämättä järkevä silloin, kun lopputuloksena, siis biologisena päätetapahtumana, on kliininen syöpä. Elimistössä syntyneen potentiaalisen syöpäsolun kehittyminen kliiniseksi kasvaimeksi on monimutkainen ja suureksi osaksi edelleenkin tuntematon tapahtumaketju, ja se saattaa aivan ratkaisevasti muuttaa malignin transformaation ilmituloa. Tähän viittaa vahvasti vahvasti mm. sellainen havainto, että soluviljelmässä ihmisen normaalisolu voidaan muuttaa pahanlaatuisiksi todennäköisyydellä, joka on suuruusluokkaa 10^{-6} rem^{-1} : jos näin tapahtuu myös elävässä elimistössä, täysikasvuisella ihmisellä 1 rem aiheuttaisi $10^{-6} \times 10^{12} = 10^6$ malignia transformaatiota! Koska säteilyn aiheuttamien syöpätapausten määrä epidemiologisten tutkimusten perusteella on kuitenkin 'vain' $10^{-4} \dots 10^{-3} \text{ rem}^{-1}$, eli siis kymmenkunta kertaluokkaa (!) pienempi kuin in vitro aikaansaatu maligni transformatio, säteilyn ja kliinisen syövän välinen riippuvuus ei todellakaan ole kovin yksinkertainen asia. Näin ollen ei myöskään olisi mitenkään yllättävää, jos säteilyn aiheuttamien syöpätapausten määrä vaihtelisi tekijällä 10 tai 100 riippuen siitä, miten syövän kehittymistä edistävät tai estävät mekanismit toimivat. Biologisesti on joka tapauksessa perusteetonta uskoa tai uskotella, että säteilyn ja syövän välinen riippuvuus olisi jokin annokseen sidottu tunnettu tai tuntematon "luonnonvakio", joka voidaan huolettomasti ekstrapoloida ihmisryhmästä toiseen ja muista ympäristötekijöistä välittämättä.

Edellä esitetyt ajatukset ovat hieman vieraita käytännön säteilysuojelutyölle, joka perustuu melko yksioikoisesti annosrajoitusajatteluun. Jos ja kun tämä ajattelu viedään niin pitkälle, että määrätään, että vuoden pituisten jaksojen keskiarvona globaalinen kollektiivinen efektiivinen annosekvi-valentti ei saa ylittää arvoa 10 manmSv/MW, niin aletaan lähestyä järkevyyden rajoja. Tuo annosraja on todellisuudessa vähemmän järkevä kuin määräys, että yhdellä asennetulla MW:lla saa vuodessa tappa enintään 0.0001 ihmistä syöpään.

FiR 1 -REAKTORILLA TAPAHTUVAN TOIMINNAN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄ

Tarkasteltaessa FiR 1 -reaktorilla tapahtuvan toiminnan tulevaisuuden näkymiä tehdään se seuraavien reunaehdoin ja olettamuksin.

Maassamme on ja tulee olemaan vain yksi tutkimusreaktori FiR 1 ja se tulee toimimaan vielä parisen vuosikymmentä. Viimeksi mainittua näkökantaa puolustavat reaktorin mekaanisten osien hyvä kunto, uudistettu instrumentointijärjestelmä, kohtuullinen polttoainereservi sekä hyvä tutkimuspalvelusten kysyntä.

Jos ajatellaan erikoisesti koko VTT:n reaktorilaboratorion tulevaa toimintaa ja toiminnan suuntaamista, voidaan edellä esitetty reunaehto vielä pukea seuraavaan selväkielisempään muotoon. Maassa, jossa on lähes ennätysluokkaa oleva ydinvoimaohjelma, voimakas prosessiteollisuus, laaja malmivarojen hupenemisesta kärsivä kaivosteollisuus, tiukat ympäristö- ja työympäristöstandardit sekä korkeatasoinen sairaanhoitojärjestelmä, on vain yksi tutkimusreaktori ja erittäin harvoja jos ainoatakaan sellaista säteilytekniikan tietämyksen ja laitteistojen keskittymää, jota TRIGA-reaktorin ympäristölaitteistot ja laboratoriot edustavat. Tästä reunaehdosta johtuu reaktorilaboratoriolle ilmeinen velvoite suorittaa tutkimustyötä ja tarjota palveluksia maassa esiintyvän lyhyemmän ja pitemmän tähtäyksen tarpeen mukaan suhteellisen laajalla rintamalla - luonnon-tieteellisestä perustutkimuksesta, teollisuuden ja ympäristönsuojelutekniikan erikoistutkimuksista ja

ydinenergian tuotantoon liittyvistä osatutkimuksista aina isotooppilääketieteen tutkimus- ja palvelutehtäviin asti. Tätä toiminta-alueiden moninaisuutta havainnollistaa kuva 1.

Perustutkimuksen osalta on tavallaan selvää, että maan voimakkaimman neutronilähteen ympärillä harrastetaan neutronifysikaalista materiaalien perustutkimusta. Huolimatta reaktorilaboratoriossa alueella tehdyistä mittausteknisistä innovaatioista, joilla pystytään käyttämään neutronit sangen tarkoin hyväksi, on reaktorimme liian pieni maailman huipputasoa edustavaan perustutkimukseen. Niinpä onkin katsottu parhaaksi hakeutua yhteistoimintaan suurempia reaktoreita omaavien laitosten kanssa. Merkittävin näistä yhteistyöhankkeista on maailman suurinta tutkimusreaktoria Leningradin lähelle Hatsinaan rakentavan Leningradin ydinfysiikan instituutin kanssa toteutettava SFINKS-projekti. Tämä VTT:n lentoaikamittausasiantuntemukseen ja neuvostoliittolaisen osapuolen polarisoitujen neutronien asiantuntemukseen rakentuva projekti tähtää mm. magneettisten rakenteiden tutkimiseen äärimmäisissä fysikaalisissa olosuhteissa ja palvelee siten mm. uusien energiateknologioiden materiaalitutkimustarvetta. Suomalaisen osuuden kustannusarvio laitteistojen osalta nelivuotisen valmistelu- ja rakentamiskauden aikana on suuruusluokkaa 2 milj. mk ja vuosittainen työpanos 4...5 miestyövuotta. Reaktorin ja spektrometrijärjestelmän valmistuttua vuonna 1985 alkava ensimmäinen mittausperiodi on alustavasti suunniteltu viiden vuoden mittaiseksi. Valmistelevat yhteistyömittaukset instituutin nykyisellä jo mittavalla reaktorilla käynnistetään ensi syksynä. Hankkeen rahoituksesta vastaa merkittävältä osin Suomen Akatemia. Suomalaisista yhteistyöosapuolista tulee erikoisesti mainita Teknillinen korkeakoulu.

Paitsi sitä, että hanke antaa mahdollisuuden jatkaa reaktorilaboratorion neutronifysikaalista tutkimusta todella erinomaisten edellytysten vallitessa, se avaa myös maan rakennekemisteille, biologeille ja monien muiden alojen tutkijoille mahdollisuuden päästä hyödyntämään instituutissa apuneuvoja, joiden hankkimiseen meillä Suomessa ei ole minkäänlaisia mahdollisuuksia.

Siirryttäessä tarkastelemaan teollisuuden, erikoisesti prosessiteollisuuden, geologian ja ympäristönsuojelutekniikan piiriin kuuluvia sovellutuksia tullaan alueelle, missä TRIGA-reaktori on parhaimmillaan. Tarkoitin tässä erikoisesti neutroniaktivointianalyysin sekä merkkiainetekniikan sovellutuksia.

Neutroniaktivointianalyyseissa näytteen kemiallinen koostumus määritetään reaktorissa radioaktiiviseksi tehdyn näytteen lähettämän säteilyn perusteella. Menetelmä soveltuu erinomaisesti toisaalta hankalien aineiden, kuten esim. kivi- ja maanäytteiden monialkuaineanalyysiin, toisaalta monien alkuaineiden erittäin pientenkin pitoisuuksien määrittämiseen pienissäkin näytteissä.

Suomellekin tärkeän malminetsinnän piirissä käytetään merkittävässä määrin geokemiallisia menetelmiä, joissa suurista maa-, kivi- ym. yleensä hankalasti analysoitavista näytteistä tulee määrittää parinkinkymmenen hivenalkuaineen pitoisuudet. Pitkälle kehitetty ja automatisoitu neutroniaktivointianalyysitekniikka soveltuu tähän tarkoitukseen hyvin. Suoritetun kehitystyön tuloksena tulee laboratorion analyysikapasiteetti lähivuosina olemaan luokkaa 40 000 näytettä, mikä monialkuainemäärittysten kyseessä ollen vastaa noin miljoonaa alkuainepitoisuuden määrittämistä. Tämä alue tulee epäilemättä jatkossakin olemaan keskeinen

tutkimus- ja kehitystyön sekä kotimaisen ja ulkomaisen palvelutoiminnan kohde. Aktivointianalyysin tarpeisiin voidaan tuskin TRIGAA parempaa reaktoria maailmassa osoittaa.

Prosessiteollisuuden ja energiantuotannon prosessien tutkimiseen soveltuva merkkiainetekniikka on yksi keskeisiä reaktorin hyödyntämismuotoja. Prosessiin panostettu radioaktiivinen merkkiaine on kuin joukko valopisteitä, joiden kulkua voidaan seurata prosessiputkistojen ja astioiden seinämien läpi. Näin saadaan tietoa prosessien aikavakioista esim. säätötarkoituksia varten tai epätäydellisyyksistä tai vikatoiminnoista sekoittumisen ja virtauskuvioiden osalta. Yhdessä matemaattisen mallinnuksen ja säteilytekniikkaan ja teknilliseen fysiikkaan perustuvan mittaustekniikan kanssa merkkiainetekniikka tarjoaa oivan sekä lyhyen että pitemmän tähtäyksen apuneuvon prosessiteollisuudelle. Tälle alueelle panostetaan jatkossakin resursseja etenkin kun TRIGA-reaktori joustavakäyttöisyytensä puolesta soveltuu erinomaisesti suurenkin prosessimateriaalimäärien aktivointiin ja todella prosessien kulkua edustavan merkkiaineen valmistukseen. Vertailun vuoksi todettakoon, että Imperial Chemical Industries (ICI) -yhtiöllä on Englannissa oma Otaniemen TRIGA-reaktorin kaltainen tutkimusreaktori, jonka yhteydessä työskentelee erikoinen "Physics and Radioisotopes Services" -ryhmä (20 henkilöä). Ryhmä suorittaa vuosittain n. 2 000 prosessidiagnostista mittausta tai tutkimusta yhtiön oman prosessiteollisuuden piirissä.

Ympäristönsuojelutekniikan puolelta jätevesien käsittelyprosessit sekä jätevesien kulkeutuminen luonnossa ja yleensä vesien virtaus- ja laatuongelmat muodostavat tärkeän merkkiainetekniikan ja mallinnuksen käyttöalueen. Myös täällä käytettäviä apuneuvoja tullaan jatkossa kehittämään. Toiminnan menestyksellisyyden kannalta on kiinteä yhteistyö teollisuuden, kuntien ja viranomaisten kanssa keskeisen tärkeää.

Ydinenergian tuotantoon liittyvistä tutkimuskohteista ydinjätetutkimus on noussut laboratoriossa volyymitaan suurimmaksi. Ydinjäteongelmathan muodostavat mahdollisimman moniteknisen ja monitieteisen alueen ja alan tutkimuksessa on hyödynnettävä laajalti VTT:n monipuolisia resursseja. VTT:n ydinjätetutkimuksen tavoitteena voidaan pitää asiantuntemuksen ja valmiuden kehittämistä Suomea varten suunniteltavan ydinjätehuollon turvallisuuden ja tarkoituksenmukaisuuden arvioimiseksi sekä ratkaisumallien kehittämiseksi niihin alueen osaongelmiin, jotka ovat tutkimuskeskuksen avuin selvitettävissä. Reaktorilaboratorion osalle monitahoisesta ydinjäteongelmakentästä on erikoisesti laboratorion kokeellisten mahdollisuuksien ja näihin liittyvän tietämyksen vuoksi tullut tehtäviä jätteen käsittelyprosessien suunnittelun ja kehittämisen, ydinlaitosten käytöstäpoistomenetelmien suunnittelun ja jätetuotteiden pitkäaikaisominaisuuksien sekä jätteen ja loppusijoitustilan välisen vuorovaikutusilmiöiden tutkimisen piirissä. On ilmeistä, että ydinjätetutkimus tulee olemaan erittäin tärkeällä sijalla VTT:n ja laboratorion toiminnassa jatkossakin.

Kokeellinen reaktorifysiikan tutkimustyö ja reaktoriinstrumentointiin liittyvä kehitystyö maan ainoalla tutkimusreaktorilla ovat luonnollisia ydinenergiaohjelmaamme tukevia jatkuvia toimintoja, joiden suuntaa ja volyyimia pyritään säätelemään kulloinkin näköpiirissä olevan tarpeen mukaan. Instrumentoinnin piirissä tehdystä työstä on hyvänä referenssinä 20-vuotisjuhlien yhteydessä (26.3.1982) käyttöön vihitty reaktorin ohjaus- ja säätöjärjestelmä.

Reaktorifysiikkaa ja erikoisesti vuomitteustekniikkaa tarvitaan myös maamme tehoreaktoreiden paineastia-terästen ja muiden neutronisäteilyn alaisiksi joutuvien rakenne- ja komponenttimateriaalien valvontatutkimuksissa. Tämä valvontamittausprojekti kuumakammioineen ja niihin liittyvine apulaitteistoineen on ollut ja tulee olemaan

tärkeä lenkki maan ydinvoimaohjelmassa. Laboratorio tekee jatkossakin parhaansa tarpeellisen tietotaidon ja laitteistokannan kehittämiseksi ja palveluvalmiuden ylläpitämiseksi.

Isotooppilääketiede on viime vuosien aikana ollut yksi lääketieteen nopeimmin kehittyvistä alueista. Huolimatta viimeaikaisista muidenkin lääketieteellisten mittaus- ja tutkimusmenetelmien kehittymisestä tulee radioisotooppitekniikka edelleen vahvistamaan asemiaan eräillä sektoreilla kuten esim. funktiotutkimuksissa. Sekä spesifisiin merkattuihin yhdisteisiin, näiden käsittelylaitteistoihin, mittausmenetelmiin ja laitteistoihin ja tulosten käsittelymenetelmiin liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä tarvitaan. Yleisesti katsotaan, että maassa tulisi olla perustietämyksen ja tietynasteisen kriisiomavaraisuuden takaamiseksi myös omaa isotooppituotantoa. Laaja tuonti taas edellyttää laadunvalvonnan tehostamista. Mikä tai mitkä näistä alueista, joilla kaikilla laboratoriolle on kokemuksia menneiden vuosikymmenien ajalta, tulee olemaan keskeisin jatkossa, on parhaillaan selvityksen alaisena. Keskusteluja käydään mahdollisimman laajalti eri viranomaisten ja käyttäjien kanssa.

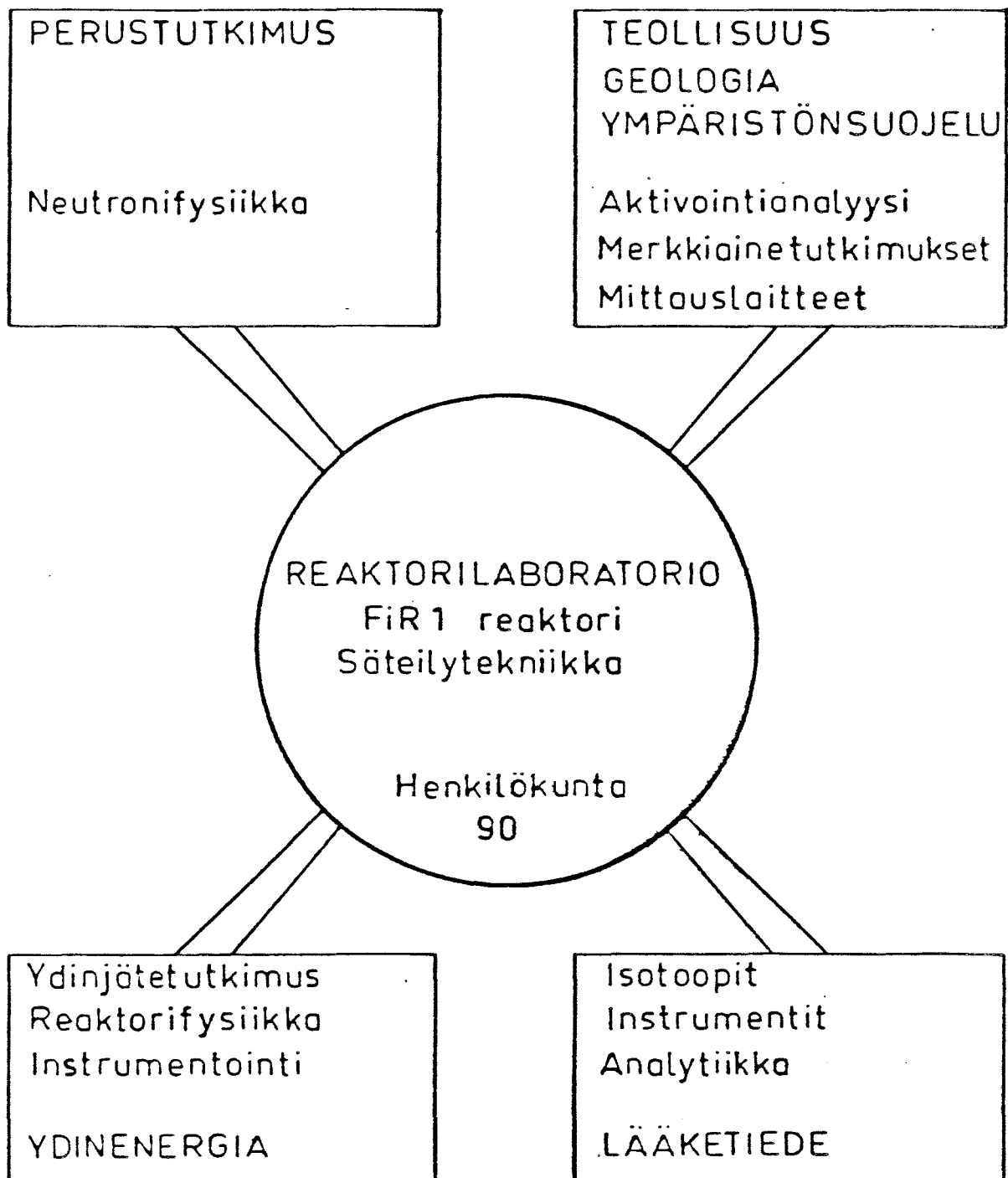
Lääketieteellisen ja työlääketieteellisen erikoistutkimuksen piirissä ultraherkillä mikroskooppisiin näytteisiin pystyvillä aktivointianalyysimenetelmillä on luonnollisesti monia erikoissovellutuksia.

Tutkimus- ja kehitystyön lisäksi koulutustoiminta tulee edelleen olemaan merkittävällä sijalla kaikilla laboratorion toiminta-alueilla, joskaan ei aivan niin dominoivasti kuin reaktorin alkutaipaleella. Onhan tärkeää, että yhteiskunnan eri sektoreille sijoittuu töihin henkilöitä, jotka hallitsevat alan ja ymmärtävät sen erikoishyödyntämismahdollisuudet. Kiinteä yhteys Teknilliseen korkeakouluun korostaa edelleen koulutustehtävää.

Toinen yhteinen piirre eri toiminta-alueille on kansainvälisen yhteistyön suuri merkitys. On selvää, että maan ainoalla tutkimusreaktorilla työskenneltäessä sekä työn tason vertailukohteita että virikkeitä on haettava suurelta osin ulkomailta. Toiminta kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n piirissä asiantuntija- ja muissa tehtävissä tulee jatkossakin olemaan vilkasta.

Edellä on nähty, että laboratoriolle on toimintamahdollisuuksia tai toimintavelvoitteita hyvin laajalla alueella. Tämä on toisaalta laboratorion rikkaus, toisaalta sen ongelma. On selvää, että tietynasteinen keskittymislinja tulee löytää. Toisaalta on muistettava, että lähes kaikilla alueilla on yhteisenä nimittäjänä säteilytekniikan ja fysiikan tietojen ja apuneuvojen hallinta. Tärkeää onkin, että perustietämystä ja taitoa kehitetään ja säilytetään vireys niiden ennakkoluulottomaan soveltamiseen mitä erilaisimmilla alueilla. Näin pystytään menestyksellisesti hyödyntämään reaktorin tarjoamia mahdollisuuksia ja kohtaamaan kunnialla ne vaikeudet, joita konjunktuurivaihtelut varmasti tuovat mukanaan seuraavalla kaksikymmenvuotiskaudella.

Tällaisena merkkipäivänä päivän sankarin jäljellä olevasta pitkäkähköstä toimiajasta huolimatta tulee luonnollisesti mieleen, mitä FiR 1:n jälkeen. Tähän on todettava, että TRIGAn seuraajaan liittyvät evaluointi- ja suunnittelu-tehtävät käynnistynevät tämän vuosikymmenen loppupuolella. Tämän työn suuntaukseen tulevat vaikuttamaan yleinen säteilylähteiden ja säteilyn käytön tekninen kehitys, maassamme tällä hetkellä luonnontieteiden sekä lääketieteen ja sairaanhoidon piirissä vireillä olevien suurhankkeiden edistyminen sekä kansainvälisen yhteistyön kehittyminen. Selvää kuitenkin on, että päivänsankarilla on edessä vielä monta sekä aktiivisen että radioaktiivisen toiminnan vuotta.



Kuva 1. FiR 1 -reaktoriin liittyvän toiminnan kohdealueet.

Otaniemen reaktori kouluttajana

Korkea koulutustaso kuuluu ydintekniikan parissa työskentelevien ihmisten ominaispiirteisiin. Tämä piirre lyö leimansa jo ydinvoimaohjelmien valmisteluvaiheessa. Akateemiset opinnot eivät yksin riitä vaan niiden ohella ja lisäksi tulee vastuunalaisiin tehtäviin hakeutuvien mieluiten osallistua myös omakohtaiseen tutkimustyöhön. Samoin käytännön tuntuma radioaktiivisten aineiden käsittelyyn auttaa ymmärtämään säädösten mukanaantuuksia rajoituksia.

Otaniemen Trigan käyttö on palvellut näitä koulutus päämääriä. Reaktori on sinänsä jo konkreettinen neutronilähde ja luo muutenkin riittävät edellytykset säteilyalttiuden havainnollistamiseksi. Nyt 20-vuotisjuhlan yhteydessä on paikallaan katsoa taaksepäin ja tarkastella määrällisesti sitä koulutettavien virtaa, joka on altistettu Trigasta lähtevälle opin säteilylle.

Koulutus ja tutkimus saivat 1962 oikeastaan lentävän lähdön, sillä teknillisen fysiikan osastossa oli jo muutaman vuoden ollut käynnissä kurssimuotoista opetusta. Lisäksi oli järjestetty joukko kursseja teollisuuden piirissä työskenteleville insinööreille. Näin onkin ymmärrettävissä se, että kymmenen ensimmäistä opinnäytetyötä saatiin maailmalle jo 1964 loppuun mennessä. Kaiken kaikkiaan 10-vuotiskaudella 1962-71 valmistui laskujeni mukaan 11 väitöskirjaa, 17 TkL-työtä ja 67 diplomityötä.

1960-luvun tutkimusaiheet tavoittivat jo heti alkuun konkreettiset neutroni- ja reaktorifysikaaliset kohteet kuten oheisesta taulukosta ilmenee.

Ydinvoimaohjelmamme alkuvuotena voidaan eräässä mielessä pitää vuotta 1969. Tuolloin ilmestyivät myös reaktorilaboratorion toimintakertomukseen niin maagisilta tuntuneet kirjaimet VVER. Jos tarkastelemme esimerkin vuoksi tuona vuonna opinnäytteen suorittaneita (2 TkT, 2 TkL, 10 DI), havaitsemme, että kolmea tai neljää mustaa lammasta lukuunottamatta kaikki toimivat vieläkin ydinteknikan parissa: STL 1, VTT 3, muut tutkimuslaitokset ja korkeakoulut 5, voimayhtiöt 3 sekä muu yksityinen teollisuus 2.

Arvioidessani koko 20-vuotiskautena tapahtunutta verensiirtoa reaktorilaboratoriosta (ja sen jaostona syntyneestä ydinvoimatekniikan laboratoriosta) olen päätenyt 150 hengen korville. Vuotuinen jakautuma käy ilmi oheisesta taulukosta. Vaihtelu ilmentää paitsi luovuttajan kulloistakin kykyä myös yhtä lailla teollisuuden imua. Vuosien 1973-75 ja 1979-80 piikit kuvaavat ehkä selvimmin juuri imua. Jälkimmäinen piikki osuu nimenomaan jätehuollon ja käytetyn polttoaineen käsittelyn puolella. Tutkimuspalvelutarpeen tyydyttämiseksi on kyseisiin VTT:n yksiköihin vielä turvattu noin 90 tutkijan joukko. Lisäksi on muistettava, että vuosittain on joukossa ollut keskimäärin 5 kesäharjoittelijaa eikä avustavan ja käyttöhenkilökunnankaan kautta annettu panos ole missään mielessä vähäinen.

Määrällinen anti on loppujen lopuksi vastannut hyvin voimayhtiöidemme ja muun teollisuuden tarpeita. Reaktorilaboratorion koulutus on lisäksi ollut pyyteetöntä. Koulutushyödynsaajia ei ole rasitettu sitoumuksilla, vaan laboratorio on aika ajoin omasta parhaastaan uhraten luovuttanut olennaisinta voimanlähdeään tarpeen niin vaatiessa.

PALVELUKSESTA EROKNEET (REA + YDI)

AKATEEMISEN LOPPUTUTKINNON SUORITANEET

1962 - 67 N. 20, JOISTA NOIN PUOLET JÄI
JATKO-OPISKELUN PARIIN

	KOKEMUSTA OMANNEET	VASTAVALMIS- TUNEET	YHTEENSÄ
1968	3	1	4
69	4	0	4
70	2	3	5
71	3	4	7
72	4	2	6
73	7	8	15
74	8	7	15
75	10	5	15
76	6	3	9
77	3	6	9
78	4	0	4
79	7	4	11
80	12	2	14
81	2	4	6
	<u>75</u>	<u>49</u>	<u>124</u>

- LISÄKSI VTT:N PALVELUKSESSA NYT N. 90 TUTKIJAA

TÄRKEIMMÄT 60 - LUVUN TUTKIMUSKOHTEET

HITAAT NEUTRONIT

LENTOAIKATEKNIikka
SIRONTAKOKEET
LAITESUUNNITTELU

AKTIVOINTIANÄLYYSI

AKTIIVISUUDEN MÄÄRITYS

MATERIAALITUTKIMUS

DIFRAKTIO
SÄTEILYVAURIOT (PUOLIOHTEET)
POSITRONIANNIHILAATIO

TEHOREAKTOREIDEN FYSIIKKA

ZIRKONIUMHYDRIDIT
RETERMALISAATIO

KOHINA-ANALYYSI

NUMEERISET LASKENTAMENETELMÄT

YDINPOLTTOAINEPÄIVÄ - KATSAUS POLTTOAINETEKNIIKAN TILAAAN 21.1.1982

1.
VOIMANTUOTANNON YKKÖNEN

Ydinpolttoaine on kiivennyt selväksi ykköseksi Suomen voimantuotannossa, sillä vuonna 1981 kulutusta sähköstä 34 % tuotettiin ydinpolttoaineella ja tuontipolttoainelaskua leikattiin 1,5-2,5 Mrd mk. Niinpä Atomiennergianeuvottelukunnan ydinpolttoaine-jaoston polttoainepäivä keräsikin viitisenkymmentä asiasta kiinnostunutta henkilöä Nokia Elekroniikan tiloihin 21.1.1982.

2.
KRITIIKKIÄ KUORMANSEURANNASTA

Saavutusten ja suunnitelmien kriittinen tarkastelu oli teemana. Kritiikkiä tuli ankarasti jo ensimmäisissä yleisöpuheenvuoroissa: turha puhua ydinpolttoaineesta niin kauan kuin se ei salli kuorman seurantaa ! Tähän aiheeseen palataan selostuksen lopussa erillisessä liitteessä.

3.
PÄÄNSILITYSTÄ VTT:LLE

Päivän avasi jaoston puheenjohtaja, tekn.lis. Heikki Väyrynen. Voimayhtiöiden polttoaineasiantuntijoiden (Moisio ja Patrakka) katsauksessa kotimainen valmius polttoaineen suunnitteluun, reaktorianalyysiin, valmistusvalvontaan yms. liittyvissä asioissa sai enimmäkseen myönteistä kritiikkiä. Pienillä hyvin kohdistetuilla panoksilla on lähinnä VTT:lle kehitetty käyttökelpoiset menetelmät ja muutamien pätevien asiantuntijoiden ryhmät. Voimayhtiöt ja viranomaiset, joiden oma miehitys on pieni, ovat yhä enemmän selviytyneet kotimaisten toimeksiantojen turvin polttoainetta ja reaktorisydäntä koskevista selvityksistä.

STL:n edustaja (ylitarkastaja Koponen) toi puolestaan painokkaasti esille, että ydinpolttoainealan resurssit ovat alimitoitettut myös voimayhtiöissä ja STL:ssä. Korkea laatu ei korvaa täysin pientä määrää. Pitäisi olla myös henkilöitä, joilla on aikaa paneutua erityiskysymyksiin.

4.
RESURSSIKAPEIKKOJA

Tulevaisuutta arvioivat Kurikka ja Mannola sekä VTT:n puolelta prof. Silvennoinen ja tri Mattila. Hydraulikka ja transienttianalyysit ovat osoittautuneet pullonkaulaksi eräissä selvityksissä. Laskentamenetelmät ovat aikaa vieviä ja henkilöstöä on kovin vähän. Tämän alan kehitysmäärärahoja tulisi lisätä mm turvallisuusanalyysin takia. Hydraulisen kiertopiirin tarpeellisuus polttoainepun muutosten vaikutusten selvittämiseksi oli esillä, samoin kuumakammio puhutti.

5.
YHTEISTYÖPROJEKTEJA

Prof. Forsténin esitykseen perustuen ulkomaalaisten yhteistyöprojektien valinta todettiin tyydyttäväksi. Kansainvälinen palaman nostoa tutkiva projekti ja Ruotsin "Superramp", jossa selvitetään kestävyyttä tehonmuutoksissa, käsittelevät keskeisiä ongelmia. Halden-projektissa Norjassa on koulutettu väkeä ja saatu polttoainetta ja valvomoa koskevia sovelluksia. Käytetyn polttoaineen käyttäytymistä varastoinnissa selvitetään TVO:lle arvokkaassa BEFAST-projektissa. Superrampin jatkeen on syytä jatkaa jossakin muussa tehonmuutostutkimuksessa, koska ongelman selvittämiseen tarvitaan lisää tietoja.

6.
PÄÄTÖS

Loppukeskustelun veti työryhmien esitysten pohjalta KTM:n ylitarkastaja Manninen. Arvokkaita näkemyksiä kiteytti myös prof. Vuorinen, jonka kärsivällinen läsnäolo pantiin merkille. Hän korosti mm., että sydämen sulamistilannekin pitäisi pystyä analysoimaan.

Monet alan ihmiset ihmettelevät, miksi polttoaineen käyttäytymisen pieniä tutkimus määrärahoja on valtion budjetissä alennettu edelleen, juuri kun ydinpoltttoaineen valtakunnallinen merkitys on korostunut. Polttoaine on lisäksi se osa voimalaitosta jota vaihdetaan vuosittain ja kehitetään jatkuvasti ja jonka käyttäytyminen muutostilanteissa on ratkaisevan tärkeä ydinvoimalaitoksen turvallisuudelle.

Liite:

Kuormanseurantakysymyksestä ja muista polttoaineen suunnitteluperusteista

Nykyiset ydinvoimalaitokset on rakennettu pääasiassa peruskuorman ajoa silmällä pitäen. Niistä saadaan polttoainnen halpuuden takia eniten hyötyä ajamalla suurin osa vuodesta täydellä teholla ja pysäyttämällä ne kevättulvan/kesäloman aikana vuosihuoltoon.

TVO:n polttoainesauvojen suurin lineaariteho on noin 40 kW/m. Ne kestävät tasaista ajoa ja lisäksi kohtuullisesti tehon nostoja rajoitusten mukaan tehoalueella 60 %-100 %. Polttoaine saataisiin kestävämpään tehonmuutoksiin paremmin alentamalla lineaaritehoa alueelle alle 30 kW/m. Tähän voidaan päästä esim. vaihtamalla polttoainepun 8 x 8 sauvaa ohuempaan (ja kalliimpiin) 9 x 9 sauvaan.

IVO:n Loviisan polttoaineen lineaariteho on alueella alle 30 kW/m. Alhainen lineaariteho, polttoaineen keskireikä, esipaineistus sekä tablettien ja suojaputkien tarkka laatu ovat eräitä tekijöitä, joiden avulla tehonmuutosten sietokykyä saavutetaan.

Kuormanseurannan esteenä ovat myös voimalaitoksen muut materiaalit, esim. putkien yhteydet ja T-liitokset. Niiden kestävyyttä ja elinikää ei ole syytä koetella tarpeettomasti kovin usein tehtävillä huomattavilla tehon muutoksilla. Uusien laitosten mitoituksessa ja materiaalivalinnoissa voidaan kuorman seuranta ottaa paremmin huomioon, mikäli siihen on vakavaa tarvetta.

Voidaan kysyä, eikö ole tärkeämpää kehittää polttoainetta kestävämpään suurempia palamia, saada polttoaineesta irti enemmän energiaa, pienentää käytetyn polttoaineen määrää, kehittää kestävyyttä transi-enttiolosuhteissa. Viimeksimainittu ominaisuus käy tosin yksiin kuormanseurantaominaisuuksien kanssa. Kaiken kaikkiaan lineaaritehon alentaminen ja laatuvaatimusten tarkistaminen ovat keskeisiä kehityskysymyksiä.

Kehitystyö on kuitenkin hidasta. Koepolttoainesauvojen säteililytys eri palamiin ennen tehonnostokokeita kestää jopa useita vuosia, ja samoin kestää useita vuosia saada prototyyppipolttoaineista kokemuksia ja mittaustuloksia ydinvoimalaitoksilla. Kehitystyön ongelma on se, että polttoainetta kuluu niin vähän, niin hitaasti. Sekä Loviisan että Olkiluodon polttoaineen käyttäytymistä tarkastetaan ja mitataan vuosittain ja kumpikin voimayhtiö osallistuu kansainvälisenä yhteistyönä tehtäviin kehitysohjelmiin.