

ATS Ydintekniikka n:o 2/1978

ENS NEWSLETTER 6		s. 2
KOTIMAAN TAPAHTUMIA		s. 8
ENERGIATUTKIMUKSEN KEHITTÄMINEN SUOMESSA V. Palva		s. 10
POHJOISMAISEN YDINENERGIATUTKIMUSYHTEISTYÖN NYKYNÄKYMISTÄ K. Rahka		s. 13
ENERGIANÄKYMÄT VUOTEEN 2000 KANSAINVALISEN TUTKIMUSRYHMÄN WAES:IN TULOSTEN POHJALTA J. Routti		s. 16
KOKEMUKSIA LOVIISA 1 KÄYTÖSTÄ A. Vuorinen & O. Viitasaari		s. 34
NEUVOSTOLIITTOILAISTEN YDINALAN ASIAANTUNTIJOIDEN VIERAILU SUOMESSA		
Ydinenergian kehitysnäkymiä F. Ovtsinnikov		s. 49
Painevesireaktorit Neuvostoliiton ydinvoimataloudessa V. Sidorenko		s. 58
Ydinvoimalaitosten laitteistojen nykyaikaiset materiaalit, uudet teknologiset valmistus- prosessit ja laadunvalvontamenetelmät A. Ovsejenko		s. 79

ATS YDINTEKNIikka

Numero 2/1978

Kesäkuu 1978

Julkaisija: Suomen Atomiteknillinen Seura
Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Ydinvoimatekniikan laboratorio
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki 18
puhelin: 90-648931

Toimitus: päätoimittaja
Lasse Mattila

toimittaja
Jorma Karjala

RAKENNEMUUTOS ON MUOTIA

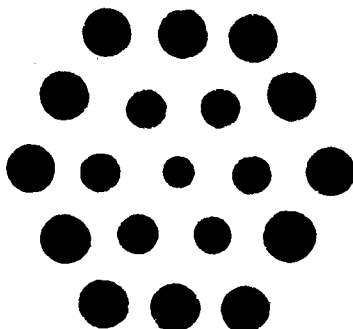
Ydinvoimalaitosten rakentamisessa maassamme on syntymässä luova tauko, joka asettaa laitevalmistajat ja osittain tutkijatkin uuteen tilanteeseen. Työ vähenee ja uhkaa loppua. On tietenkin ponnisteltava, jotta ydinvoimalaitosten rakentamiseen liittyvä tieto ja taito säilyisi ja lisääntyisikin. Silti on tarpeen harkita myös jonkinasteista uudelleen orientoitumista. Hankitun taidon soveltamisalaa voidaan laajentaa.

Eräs sopiva kohde on energian tarkoituksenmukainen käyttö, tavallisesti energiansäästöksi kutsuttu. Eriyistä ajankohtaisuutta tälle antaa se, että valtioneuvosto on periaatepäätöksessään energiatutkimuksen kehittämistä asettanut tärkeimmiksi tutkimuksen kasvusuunniksi energian säästön ja kotimaiset energiavarat. Myös valmisteilla olevassa energiapoliittisessa ohjelmassa nämä varmaan nousevat keskeisiksi kysymyksiksi.

Energian käyttö on jakautunut pieniin yksiköihin ja saa teknisenä toteutuksena mitä erilaisimpia muotoja. Siksi siitä on vaikea muodostaa akateemista oppirakennelmaa, siihen kohdistuva tutkimus pirstoutuu, samoin laitevalmistus. Energiansäästö muodostaakin kokonaisuuden vain käsitteellisellä tasolla.

Insinööriyön kannalta tällä ei ole kuitenkaan ratkaisevaa merkitystä. Mitä muuta on esimerkiksi ydinvoimalaitostekniikka, kuin rakennus-, kone- ja sähkötekniikkaa, joiden pohjana ovat yhteiset perustieteet. Yhtään väheksymättä sovellutuskohtaisia erityispiirteitä, voidaan sanoa, että suuri osa ydinvoimalaitosten rakentamisen parissa työskentelevistä tutkijoista, suunnittelijoista ja rakentajista voi vähäisin ponnistuksin soveltaa korkean ammattitaitonsa ratkaisemaan energian käytön ongelmia. Kysymys on asennoitumisesta ja organisaatiosta.

Timo Korpela



EUROPEAN NUCLEAR SOCIETY NEWSLETTER

SUBSTANTIALLY INCREASED ENERGY R & D

COULD SOLVE THE INTERNATIONAL CRISIS

by Reino Ekholm

WORLD 'WAR' III IS ON BUT GOVERNMENTS PAY LITTLE ATTENTION

The present global energy production of about 8TW (2kW/capita) is mainly based on oil and coal and directly associated with casualties in the range of 10 000 - 100 000 per annum. Single smog or coal mine incidents have caused casualties of the order of one thousand (the deaths blamed on the smog in London in December 1952 were estimated as 3000 - 4000). With a reasonable energy consumption growth corresponding to 5 kW/capita, our globe will have to be able to accommodate an energy production at the rate of 50 TW in the future. Recognising that the casualty rate would increase faster than linearly and that high cost energy will lead to casualties due to malnutrition, the situation can soon be as catastrophic as was World War II. The artificial oil crisis four years ago can be looked upon as the declaration of World 'War' III.

Though well aware of this, governments have not taken comparable actions since this is a new kind of war that has gradually sneaked up on us and since its causes are the already at length debated resource depletion, environment and population growth issues. The enemy; that is, actually, we, ourselves. His weapon is ignorance that is manifesting itself in many of the small things we do from wasting a plastic cup for a drink of water or a large paper towel for drying clean wet hands, to our habit of pouring our unnecessarily large and poisonous wastes into our waters and into the air.

Beside the growing number of casualties, we will be facing an enormous capital destruction also comparable to a war situation. Doubling of the oil price corresponds to cost increases equal to our military defence budgets. If nothing is done, the result will be a world catastrophe from which it will be very difficult to recover.

Extensive studies the world over have, however, now shown beyond any doubts that nuclear power causes casualties two orders of magnitude lower than coal and oil power and that it does not pollute the air, the soils and the waters. 100 reactors in the USA would cause radiation doses that are 1/50 of what we accept in our medical

care or a fraction of a percent of the natural radiation we are exposed to. Nuclear power is abundantly available now and the relatively cheapest source of energy. Cheap energy should in fact be restored to be a main objective in our energy R & D since at a global consumption of 50 TW, ^{*}, which in principle could be used to save the order of magnitude of 10M lives per annum. Obviously cheap energy can then in principle outweigh the losses of lives due to pollution of fossil fuels or failing safety measures. While pollution hits all categories of people (perhaps it hits the rich in the industrialised countries more), expensive energy is mainly fatal to the poor in the third world.

If we act now, as one would in a comparable global war, we should mobilize for energy and environmental R & D the means comparable to a military defence budget. One would then on an international scale:

- avoid a critical capital crisis and a catastrophic destruction and thus also avoid the need for reconstruction, since we would in fact be building the world rather than destroying it in our 'defence' action.
- we would develop clean, cheap energy sources for optimal applications
- provide energy independence for all nations
- reduce the senseless waste of our resources, products and energy
- stop the growing pollution from the present use of coal and oil whilst saving these resources for better and more efficient use.
- combat unemployment whilst developing advanced products for export purposes and raising our standard of living
- decrease the prospects for wars by redirecting our social habits and by retarding the arms race as a consequence of the international involvement in this campaign.

In the nuclear field this would involve for example the development and testing of the best HTRS and the MSBR for the use of thorium; the fast breeder, notably the LMFBR and the GCFR, for the best use of plutonium; district heating and propulsion reactors for further replacement of oil and natural gas; and commercialization of the most promising reactors and of closed fuel cycles under terms of sensible international legislation.

In the past one has turned to the USA for help at impending disasters. I think the time has come when Europe must exercise leadership and stand on its own feet. Should not a powerful initiative come from the ENS? Is this not one of the purposes why our society was formed?

* the saving of only 1% in energy costs

Reino Ekholm
Nykoping

corresponds to a saving of at least 50 G\$/year, Jan 1978

Mr Ekholm is Technical Coordinator of the OECD Gas Cooled Fast Reactor cooperative programme. He is the representative of the Swedish Nuclear Society on the ENS Steering Committee. He writes above in a personal capacity.

EUROPEAN NEWS

Appointments to JET

The (interim) JET Council have announced the appointment of Mr Hans Otto Wuster as Director of the JET project with M Paul-Henri Rebut as Deputy Director. Professor Rebut of course has up to now directed the design project for JET. The Chairman of the Management Committee is the head of the Frascati Laboratory, Italy, Sr Romano Toschi.

The appointments are seen both as a mark of confidence in the work of the design team and an appropriate european counterbalance now that the (first) JET project is to go ahead at Culham in the UK.

INTERNATIONAL NEWS

The Windscale Report

The lengthy judicial inquiry report on the proposals to extend the operations of British Nuclear Fuels at Windscale, conducted by Mr Justice Parker, has now been published. The UK Government, however, is not to decide on whether to accept the report as it stands yet but has arranged for parliament to debate the matter further.

Fast Reactor Training Courses

The Manager of the Fast Reactor Training Centre, UKAEA, Dounreay, Thurso KW14 7TZ, UK, announces the availability of 2 weeks fast reactor engineering and operation courses, to be held on dates convenient to enquirers in the spring and autumn of 1978.

Publications of Interest

UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, 1977 Report to the UN General Assembly

The Windscale Inquiry; Report by Mr Justice Parker, Vol I (£3.75), Vol 2 (£11), Vol 3 - index - (£0.55), Her Majesty's Stationary Office, UK.

NEWS OF NATIONAL SOCIETIES

The Finnish Nuclear Society held elections to office at the General Meeting in January. Officers for the coming year include:

President Olli Tiainen, Dr Tech
Vice President Paavo Holmstrom, MSc (Eng)
Secretary Launo Tuura, MSc

The Finnish Nuclear Society publishes a magazine to members, titled FNS Nuclear Technology, whose Editor-in-Chief is Lasse Mattila and editor Jorma Karjala.

THE ENS DIARY : FUTURE EVENTS OF INTEREST
new entries are side-starred **

- APRIL
- II
Advances in Techniques of Personnel Monitoring, Society for Radiological Protection, London **
- I3 - I4
British Institute of Radiology / Netherlands Society of Radiologists. Joint Meeting, London **
- 24 - 28
IAEA Nuclear Control and Instrumentation, Cannes
- MAY
- 9 - IO
Transport of Radioactive Materials, AERE Harwell Symposium (Education Centre, Oxfordshire UK). **
- 9 - II
4th International Conference on Advances in Welding Processes (Welding Inst, Abingdon CBI 6AL, UK) **
- 9 - I2
Vibration in Nuclear Plant, BNES Conference, Keswick, UK. **
- 22 - 26
International Congress: Société Française de Radioprotection, Nainville-les-Roche
- JUNE
- I5
Plutonium Recycling, SFEN/SFANS
- I8 - 23
ANS Annual Meeting, San Diego, California
- 26 - 30
IAEA Radiation Protection Monitoring, Stockholm
- 27 - 29
BNES/ANS/ASTM International Conference: Zirconium in the Nuclear Industry, Stratford-on-Avon, UK
- JULY
- 3 - I4
Summer School in Health Physics, (Radiation Protection) Imperial College, London SW7 2AZ, (Dr H D Evans). **
- AUGUST
- 23 - 30
IAEA Plasma Physics, Innsbruck
- SEPTEMBER
- 5 - 8
Second International Colloquium on Electron Beam Welding, Avignon, France (Secretary: M Buffereau, Commissariat a L'Energie Atomique, DMDIN DP 2 9II90 Gif sur Yvette, France)

17 - 21

IAEA General Conference, Vienna

25 - 29

International Conference on Neutron Physics and Nuclear Data for Reactors, AERE Harwell, OXII ORA, UK. **

OCTOBER

2 - 6

Nuclear Materials Safeguards Meeting IAEA , Vienna. **

3 - 7

Nuclex '78, Basle

16 - 19

Nuclear Reactor Safety, ANS Belgium/ENS, Brussels, Belgium (Belgonucleaire, rue du Champs du Mars 25)

13 - 17

IAEA/NEA Decommissioning Nuclear Facilities, Vienna

NOVEMBER

27

International Conference: Radiation Protection in Nuclear Power Plants and the Fuel Cycle, BNES UK.

1979

MAY

6 - 9

European Nuclear Society Conference ENC 79 Hamburg (Secretary: KTG 5300 Bonn, I - Heusallee 10 Germany)

JUNE

3 - 8

Annual Meeting American Nuclear Society, Atlanta, Georgia USA. **

AUGUST

Co-sponsored ANS and ENS Topical Meeting in Seattle, Washington, USA, on Fast Reactor Safety.

OCTOBER

Reactor Dosimetry Meeting, CNEN-CSN, Italy, I-0060 **

NOVEMBER

11 - 15

American Nuclear Society Winter Meeting, San Francisco, USA. **

1980

MAY

Fourth International Conference on Pressure Vessel Technology, Institution Mechanical Engineers, London SW1H 9JJ, UK. **

JUNE

8 - 13

American Nuclear Society Annual Meeting, Las Vegas. **

NOVEMBER

16 - 21

American Nuclear Society and Atomic Industrial Forum, Washington DC, USA. **

NAMES AND ADDRESSES OF ENS MEMBER SOCIETIES

- I.
 1. Afdeling voor Kerntechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs: ir R van Erpers Royaards, N V KEMA, Utrechtseweg 310, Arnhem, The Netherlands
 2. American Nuclear Society: Local Sections in Europe
 - Belgium: M G. Tavernier, Belgonucleaire, rue du Champ de Mars, 25, B-1050 Brussels
 - Central Europe: A. Bayer, KFZ, Postfach 3640, 7500 Karlsruhe, INR West Germany
 - France . M. Rozenhole, GAAA, 20 av Edouard Herriot F-92350 Le Plessis Robinson, France
 - Italy: Avv P Bullio, Via Paisiello, 26/28, I-00198, Roma
 3. British Nuclear Energy Society: Paul Wolff
c/o Institution of Civil Engineers,
I-5 Gt George St London SW1P 3AA
 4. Föreningen Kärnteknik: R I Ekholm, AB Atomenergi,
Fack, S-611 01 Nyköping I, Sweden
 5. Hellenic Nuclear Society: Dr C Apostolakis,
General Secretary, Isotopes Dept NRC 'Demokritos',
Aghia Paraskevi, Attiki, Athens, Greece
 6. Institution of Nuclear Engineers: Bruce Youngman, Secretary
I, Penerley Road, Catford, London SE6, UK tel: 698 1500
 7. Kerntechnische Gesellschaft im Deutschen Atomforum e.V
Allianplatz, Haus X D-5300, Bonn I, West Germany
 8. Schweizerische Gesellschaft der Kernfachleute
Dr P Tempus, c/o Eidg. Technische Hochschule
Ramistr. 101, CH-8006 Zurich, Switzerland
 9. Sociedad Nuclear Española: C Sanchez del Rio
Junta de Energia Nuclear,
Ciudad Universitaria Madrid, Spain
 10. Società Nucleare Italiana: Prof C. Salvetti c/o CNEN
Viale Regina Margherita, 125, I-00198 Rome, Italy
 - II.
 1. Société Française d'Énergie Nucléaire: Secretariat,
48, rue de la Procession, 75015 Paris Cedix, France
 12. Suomen Atomiteknillinen Seura-Atomtekniska Sällskapet I Finland
R.Y. (Finnish Nuclear Society FNS)
Valtion teknillinen tutkimuskeskus,
Ydinvoimatekniikan laboratorio, Loennrotinkatu 37,
SF-00180, Helsinki I8 Finland

KOTIMAAN TAPAHTUMIA

LOVIISA 1:N TILANNE

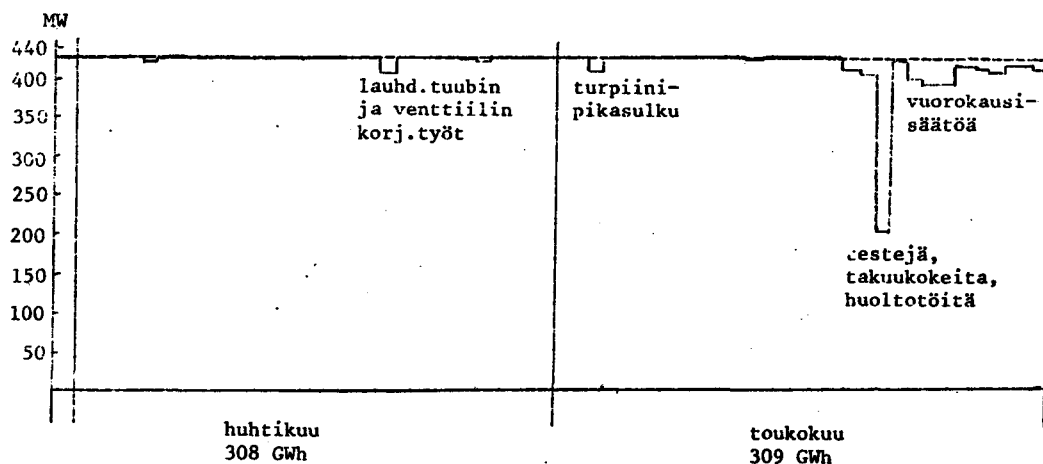
Edellinen tilanneraportti ATS-lehdessä kuvasi käyttöjaksoa 1.12.1977 - 29.3.1978. Jakson 29.3. - 31.5. käyttöhistoria on alla olevassa kuvassa.

Huhtikuun alussa käyttö oli tasaista. Toisen turpiinin eräs laakeri toimi epätavallisen kuumana mutta stabiilisti. 20.4. tehoa vähennettiin kolmen tunnin ajaksi lauhduttimen pienen vuodon paikallistamiseksi sekä erään sekundääripiirin venttiilin vesittämiseksi. 25. - 26.4. suoritettiin Loviisa 2:n höyryputkien puhallus Loviisa 1:n höyryllä.

3.5. tuli tilastojen vaatima turpiinipikasulku. Edellisestä oli jo kulunut viisi kuukautta! Syynä oli erään sekundääripiirin säätäjän vikaantuminen. 19.5. alkaen suoritettiin vuorokausisäätöä myöhäisen ja varsin pieneksi jääneen kevättulvan seurauksena. Öisin laskettiin tehoa 50 - 100 MW.

21.5. suoritettiin hyvin tuloksin sarja kokeita, mm. alitaajuuskokeilua 47 Hz:iin saakka. K.o. tehonlasku tapahtui melko tarkkaan tulvan aikaisen viikonloppusäädön merkeissä, joten varsinaista energian menetystä ei tullut. Samassa yhteydessä suoritettiin eräitä huoltotöitä sekundääripuolella. Reaktoria ei pysäytetty, vaikka molemmat turpiinit olivatkin jonkin aikaa irti verkosta kokeita varten.

LOVIISA 1:N VUOROKAUTINEN KESKITEHO 29.3. - 31.5.1978



----- = Säteilyturvallisuuslaitoksen asettama tehorajoitus 92 % reaktoritehosta

TILANNE OLKILUODOSSA

Pääpaino Olkiluodon ensimmäisellä laitosyksiköllä on tällä hetkellä käyttöönotossa ja koekäytöissä. Toisella laitosyksiköllä taas asennustyöt ovat edenneet täyteen laajuuteensa. Työntekijämäärä on kallistunut TVO II:n puolelle, joskin molemmilla laitosyksiköillä luvut ovat laskusuunnassa. TVO II:n henkilövahvuus oli toukokuun lopussa runsaat 1200 ja TVO I:llä noin 850. Teollisuuden Voima Oy:n oman henkilökunnan osuus Olkiluodossa on noin 260.

Rakennustöiden osalta on TVO I:n pääurakoitsija Oy Atomi-rakennus Ab luovuttanut urakkansa ASEFA-ATOMille. Jäljellä on joukko viimeistelytöitä. Tiloja on luovutettu ns. loppusaneerauksen tapahduttua keskusvalvomolle. Ulkoalueella ovat tekemättä mm. aitaukset, nurmetukset ja lopulliset asfaltoinnit.

TVO II-laitoksen runkotöistä on enää kesken reaktorirakennuksen eteläinen porrashuone sekä reaktorihallin katon keskiosa, jotka voitiin ottaa työn alle vasta, kun reaktorin paineastia oli sijoitettu paikoilleen. Reaktorin suojarakennuksessa on käynnissä polttoainealtaiden ruostumaton levyverhoustyö. Työt ovat edenneet yleisesti ottaen aikataulussaan.

Asennustyöt TVO I:llä, viimeistelytöitä lukuunottamatta, valmistuivat huhtikuun loppuun mennessä reaktorilaitoksen kuumakäytön vaatimaan valmiuteen. Turpiinilaitoksella on vähäinen osa asennustöistä tekemättä.

Pääosa laitoksen tiloista on suljettu käyttötiloiksi. Viimeisimmät merkittävät tapahtumat ovat olleet:

- reaktoripaineastian perustarkastus. Se sujui moitteettomasti eikä virheitä todettu,
- reaktorin suojarakennuksen lopullinen tiiveyskoe. Rakennus täytti runsaalla marginaalilla asetetun tiiveysvaatimuksen,
- kuumakoe 2.-25.5. välisenä aikana.

TVO II:n kohdalla asennustyöt reaktorilaitoksella on laitteiden osalta pääosin tehty. Raskasputkistoasennukset ovat edenneet ylimpiin kerroksiin ja pienputkistoasennukset on aloitettu. Ensimmäiset putkistojen viranomaistarkastukset tapahtuvat lähiaikoina.

Turpiinilaitoksella on esilämmittimet ja lauhduttimien runko asennettu. Myös sähköasennukset laitoksella ovat edenneet varsin pitkälle.

Reaktorilaitoksen kaapeliarinat on asennettu ja kaapelivedot samoin kuin kytkentätöitä ovat käynnissä. Ensimmäiset järjestelmäosat on jo otettu jännitteellisiksi. Instrumentoinninkin osalta painopiste on siirtymässä kytkentätöihin ja koestukset on voitu käynnistää.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Sähkö- ja atomitekniikan tutkimusosasto
Veikko Palva

ENERGIATUTKIMUKSEN KEHITTÄMINEN SUOMESSA

Kauppa- ja teollisuusministeriö asetti 1977-06-23 työryhmän selvittämään ministeriön rahoittaman energiatutkimuksen kehittämistä. Työryhmän tuli laatia ehdotus kauppa- ja teollisuusministeriön energiatutkimukseen osoittaman rahoituksen kehittämistä vuosina 1979...83 ja ehdotus näitten määrärahojen jaossa noudatettavista suuntaviivoista. Edelleen työryhmän tuli laatia ehdotus kauppa- ja teollisuusministeriön energiatutkimuksen hallinnollisesta järjestämisestä siten, että edellä sanotut tehtävät voidaan hoitaa jatkuvana toimintana.

Työryhmän puheenjohtajaksi kutsuttiin erikoistutkija Timo Korpela (kauppa- ja teollisuusministeriö), jäseniksi toimistopäällikkö Björn Blomqvist (kauppa- ja teollisuusministeriö), professori C.E. Carlsson (SITRA), professori Antero Jahkola (Teknillinen korkeakoulu), vanhempi budjettisihteeri Reijo Kosunen (valtiovarainministeriö), osastonjohtaja Lasse Nevanlinna (Imatran Voima Osakeyhtiö), professori Veikko Palva (valtion teknillinen tutkimuskeskus), maisteri Kari Teppola (Teollisuuden Keskusliitto) ja diplomi-insinööri Pertti Valtonen (Suomen Akatemia) sekä sihteeriksi erikoistutkija Seppo Hannus (kauppa- ja teollisuusministeriö).

Työryhmä luovutti mietintönsä kauppa- ja teollisuusministeri Rantalalle 1978-03-14.

Seuraavassa käsitellään lyhyesti työryhmän mietinnön olennaisia kohtia tutkimuksen tavoitteenasettelun ja toimenpide-ehdotusten osalta.

Energiatutkimuksen tavoitteet

Lähtökohtina energiatutkimuksen kehittämiseksi ovat energiapolitiikan tavoitteet, niistä johdettava tutkimustarve sekä tutkimustoiminnan ja sen rahoituksen nykytilanne.

Maamme energiapolitiikan ensisijaisena päämääränä pidetään taloudellisen toiminnan edellyttämää energian kysynnän ja hankinnan tasapainottamista. Päämäärään pyrittäessä ovat tavoitteina

- energian säästäminen ja kulutuskasvun hillintä,
- kotimaisen energian käytön lisääminen ja kehittämistyö,
- energiahuollon varmuuden lisääminen ja
- energiatalouden hoidon ja suunnittelun tehostaminen.

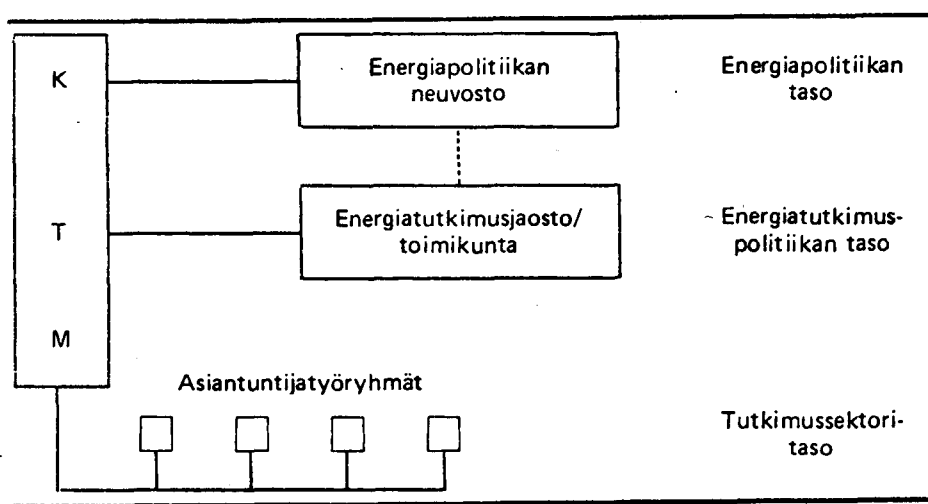
Energiapoliittiset tavoitteet edellyttävät energiaa tuottavan ja kuluttavan tekniikan kehittymistä nykytasolta. Tämä taas ei ole mahdollista ilman riittävää ja oikein ajoitettua tutkimus-, kehitys- ja selvitystyötä.

Energiatutkimukselle voidaan asettaa seuraavia energiapolitiikan päämääristä johdettuja yleisiä tavoitteita:

- Energiatalouden suunnittelun ja päätöksenteon tietopohjan vahvistaminen.
- Teknisesti, taloudellisesti ja ympäristön kannalta nykyistä edullisempien ja energiaa säästävien ratkaisujen etsiminen ja käyttöön soveltaminen energian hankinnassa ja käytössä.
- Kotimaassa tuotetun energian käytössä tarvittavan tekniikan kehittäminen riippuvuuden vähentämiseksi ulkomaisista energialähteistä.

Erityismäärärahoilla tarkoitetaan kauppaa- ja teollisuusministeriön energiaosaston energiatutkimukseen tarkoitettuja määrärahoja. Mainittakoon vielä, että työryhmän mietintöön sisältyy tutkimusrahoituksen yksityiskohtaisempaa jakautumista tutkimusalueille esittävä taulukko.

Työryhmä esittää, että kauppaa- ja teollisuusministeriön yhteyteen luodaan energiatutkimusta käsittelevä kolmitasoinen organisaatio, joka koostuu energiapolitiikan neuvostosta, sen tutkimusjaostosta tai erillisestä tutkimustoimikunnasta sekä asiantuntijatyöryhmistä.



Energiatutkimuksen mitoittamisen ja päätavoitteiden asettamisen käsittely kuuluu energiapolitiikan neuvostolle.

Energiatutkimusohjelman valmisteluun ehdotetaan alan asiantuntijoista muodostuvaa elintä, joka toimisi joko energiapolitiikan neuvoston jaostona tai kauppaa- ja teollisuusministeriön asettamana toimikuntana. Sen tehtäviin kuuluu mm. eri energiatutkimuksen rahoittajien toiminnan koordinaatio ja tutkimusrahoituksen suuntaamisen määrittely.

Tärkeimpiä energiatutkimuksen sektoreita käsittelemään tulisi perustaa erilliset asiantuntijatyöryhmät, jotka valmistelisivat eri osa-alueiden tutkimusohjelmia ja antaisivat lausuntoja yksittäisistä tutkimushankkeista.

- Energian tuotantoon ja käyttöön liittyviä laitteita valmistavan kotimaisen teollisuuden tiedon ja taidon kehittäminen.
- Yleisen teknisen valmiuden ylläpitäminen ja kehittäminen energia-alalla odotettavissa olevien muutosten ja uusien vaihtoehtojen varalta.

Työryhmä nojautui tutkimustarpeen määrittelyssä toimeksiannon mukaisesti aikaisemmin tehtyihin selvityksiin. Näistä oli keskeisellä sijalla kauppa- ja teollisuusministeriön aikaisemmin asettaman, 1976-03-31 mietintönsä valmiiksi saaneen ns. Palvan työryhmän työ (Suomen energiatutkimusohjelma 1976...85). Työryhmä katsoi, että tässä ohjelmassa esitetyt tutkimusaluekohtaiset tarvearviot (rahanarvon muutoksella korjattuina) ovat edelleen käyttökelpoisia ja otti ne tarkastelujensa lähtökohdaksi. Energiapoliittisten tavoitteiden painotuksessa on sen jälkeen tapahtunut muutoksia kotimaisten polttoaineitten käytön lisäämiseksi ja työryhmä rajasi ehdotetut erillistoimenpiteet tutkimustarvearvioitensa ulkopuolelle.

Energiatutkimuksen julkisen rahoituksen nykytilanne kartoitettiin vuodelta 1977. Noin 25 Mmk kokonaisvolyymista oli ydintekniikan tutkimus 69 %, turvetutkimus 7 % sekä energian käytön ja säästön tutkimus 19 %. Energiatutkimuksen suorittajan mukainen kartoitus osoitti, että VTT:n osuus koko julkisesti rahoitetusta energiatutkimuksesta oli 61 %, teollisuuden 26 % ja korkeakoulujen 5 %.

Energiatutkimuksen kehittämistoimenpiteet

Työryhmä esittää energiatutkimuksen rahoituksen nostamista lähivuosina energiatutkimustarpeen edellyttämälle tasolle. Lisärahoitus ehdotetaan ohjattavaksi pääasiassa kauppa- ja teollisuusministeriön energiatutkimuksen erityismäärärahojen (v. 1977 taso 13,5 Mmk) kautta ja osittain teollisuuden tuotekehitys- ja tavoitetutkimusmäärärahojen energiatutkimukseen käytettävän osuuden (v. 1977 taso 3,3 Mmk) kautta. VTT:n tulo- ja menoarvion kautta energiatutkimukseen suunnatun rahoituksen oletetaan lähivuosina pysyvän nykytasollaan (noin 5 Mmk).

Työryhmä esittää tutkimusrahoituksen suuntaamista siten, että olennainen osa lisärahoituksesta käytetään energian käytön ja säästämisen sekä kotimaisten energialähteiden tutkimiseen. Työryhmän ehdotus julkisen rahoituksen jakautumisesta eri tutkimusalueille ilmenee oheisesta taulukosta (Mmk, v. 1977 hintataso).

Tutkimusalue	1977 toteutunut	1979 ehdotus	1983 ehdotus
Energian käyttö ja säästäminen	4,8	9,0	17,3
Kotimaiset energialähteet	1,7	4,0	7,0
Ydintekniikka	17,5	19,0	24,5
Energiajärjestelmät	0,8	1,3	1,8
Muut	0,4	2,0	3,2
Tutkimusrahoitus yht.	25,2	35,3	53,8
Erityismäärärahojen osuus	13,5	24,4	40,5

Klaus Rahka
Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Metallilaboratorio

1

1978-06-14

POHJOISMAISEN YDINENERGIATUTKIMUSYHTEISTYÖN NYKYNÄKYMISTÄ

Pohjoismaisille ydinenergiatutkimuslaitoksille on v. 1968 perustettu yhteistyöelin NAK, Nordiska Atomkoordineringskommittén, jonka tehtävänä on luoda ja ylläpitää yhteyksiä jäsenlaitostensa välillä, etsiä uusia yhteistyökohteita sekä edesauttaa ja koordinoida suoritettavaa yhteistyötä. Ydinenergiatutkimuksen lisäksi on yhteistyökohteita alettu etsiä myös energia-alalta yleensä.

NAK:ssa ovat edustettuina Forsøgsanlaeg Risø, Tanska, Institut for Atomenergi, Norja, Ab Studsvik Energiteknik (30.6.1978 saakka Ab Atomenergi), Ruotsi sekä Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

NAK toimii varatoimitusjohtaja - tutkimusjohtajatasolla ja siinä ovat tällä hetkellä varsinaisina jäsenenä yksi varatoimitusjohtaja - tutkimusjohtaja kustakin edustetusta laitoksesta sekä puheenjohtajana yhden jäsenlaitoksen toimitusjohtaja tai pääjohtaja. Puheenjohtajana toimii parhaillaan Niels W. Holm, Risø, jäsenenä Axel Olsen, Risø, J.O. Berg, IFA, Lars-Åke Nöjd, Studsvik, V. Palva, VTT sekä yhteispohjoismaisena jäsenenä F. Marcus, Risø. Lisäksi NAK:lla on sihteeri-toimisto, jonka sijoituspaikkana on tämän vuoden alusta Forsøgsanlaeg Risø. Sen esimies on F. Marcus. Lisäksi tilanteen niin vaatiessa toimii kunkin maan NAK:n jäsenen valitsema yhdysmies - Suomessa allekirjoittanut.

Kerron seuraavassa lyhyesti NAK:n viimeaikaisesta toiminnasta. Mikäli lukija haluaa lähempiä tietoja pyydän ottamaan yhteyttä.

NAK:n toiminta on paljolti välillistä koordinoitua koska sillä ei ole muodollisesti mahdollisuuksia päätöksentekoon esim. rahoituksen suhteen. NAK:n toiminta on näin ollen ajankohtaisten tutkimusaiheiden valintaa, tutkimusprojektiehdotusten toteutuksen suosittelusta, suoritusinstituuttien välisen vastuunjaon koordinoitua jne. NAK ylläpitää tavoitteittensa saavuttamiseksi kontakti- ja sektoriryhmiä (kontakt- och områdesgrupper). Näillä ryhmillä on puolestaan tehtäviä toiminta-alueidensa mukaisesti. Tällä hetkellä toimii Specialistgruppen "Nordiskt reaktorfysikmöte", joka mm. toteuttaa reaktorifysikaalisten ohjelmien vertailuanalyysijä (benchmark). Se myös nimeää yhteispohjoismaisen edustajan NEA:n (Nuclear Energy Agency, OECD) reaktorifysiikkakomiteaan. Edelleen toimivat Specialistgruppen "Miljökontaktgruppen" (MKG), jonka tehtävänä on selvittää ydinenergiatuotannon ympäristövaikutuksia, Specialistgruppen "Materialutvalget", joka koordinoi tutkimuksia rakennemateriaalitutkimuksen alueella, Specialistgruppen "Efterbestrålningsundersökningar" (Nordpie), joka välittää kokemuksia säteilytetyn ydinpolttoaineen tutkimuksista sekä työryhmä "Plutoniumelement", plutoniumia sisältävien polttoaine-elementtien tutkimus Studsvikissä ja Risøssa. Uusimpana tulokkaana on muodostettu Områdesgruppen "Energiforskning", jonka tehtävänä on etsiä tutkimusaiheita varsinaisen ydinenergiatutkimuksen ulkopuolelta. Ryhmä toteuttaa myös mahdollisten yhteispohjoismaisten tutkimusprojektien suunnittelun. Ryhmä aloitti toimintansa v. 1977 lopulla.

Useimmat NAK:n koordinoimista tutkimusprojekteista liittyvät ydinenergian käytön turvallisuusnäkökohtien selvityksiin, osa on energiatuotantoon ja -talouteen liittyvää. Edelleen tehdään sekä suoranaista kokeellista työtä että tietokoneiden avulla laskennallisia simulointeja.

NAK:n viime toimintakertomuskaudella 1.7.1975 - 31.12.1977 on toiminut 12 pohjoismaista yhteistyöprojektia, joista tällä kaudella on aloitettu seitsemän ja neljä on saatettu päätökseen. Osassa näitä projekteja on laajempikin kansainvälinen osanotto.

Päätökseen saatetuista yhteistyökohteista yksi, "System- och riskanalys för reaktoravfall", oli aloitettu toimintakertomuskaudella. Kolme muuta "Betongtankprojektet", Marvikenin suojarakennuskokeet sekä uusia polttoaineen suojakuoreksi sopivia putkimateriaaleja kehittävä Scanuk-tutkimus, oli aloitettu ennen toimintakertomuskauden alkua. Edelleen toimivia, ennen toimintakertomuskauden alkua aloitettuja yhteistyökohteita ovat Snodas l. "Spridnings- och dosisberäkningar", sekä "Fjärrvärmemodeller". Toimintakertomuskaudella aloitetussa pohjoismaiden välisessä NIPA-projektissa tutkitaan matala- ja keskiaktiivisen käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukseen, käsittelyyn, varastointiin ja säilytykseen liittyviä kysymyksiä.

NAK:n toimintaa vuosina 1975-1977 on leimannut pyrkimys aikaansaada tutkimus-yhteistyötä merkittävien kansainvälisten tutkimusprojektien kanssa ydinenergia-tuotannon turvallisuustutkimuksen alalla. Vuoteen 1980 asti jatkuvassa NAK:ssa edustettujen tutkimuslaitosten ja USNRC:n (United States Nuclear Regulatory Commission) NORHAV/LOFT-projektityhteistyössä parannetaan tietoutta jäähdytteenmenetyssonnettomuudesta mm. suorittamalla kokeellisia hätäjäähdytys-simulointeja ja kehittämällä laskentamalleja. Suomi ja Ruotsi ovat pitäneet jatkuvasti edustajaa LOFT (Loss of Fluid Test)-projektissa USA:ssa (edellisen suomalaisen edustajan kertomus julkaistiin ATS Ydintekniikka 1/1978:ssa).

NORHAV-projektia täydentävät vuoteen 1979 jatkuvat uusimmat laajasti kansainväliset Marviken-kokeet, joissa tällä kertaa tutkitaan kriittistä vesi- ja höyryvirtausta jopa puolimetrisistä purkausaukoista. Toimintakertomuskaudella päättyneissä Marvikenin suojarakennuskokeissa tutkittiin kiehumusvesireaktorin suojarakennuksessa jäähdytteenmenetyssonnettomuuden aikana syntyviä värähtely-ilmiöitä.

NAK:n toimintaa sivuavia projekteja ovat edelleen Studsvikissa käynnissä olevat Inter-Ramp ja Over-Ramp, joissa tutkitaan polttoainesauvojen käyttäytymistä tehotransienttitilanteissa. Molemmissa on pohjoismaiden lisäksi laajempikin kansainvälinen osanotto.

NAK:n toimesta on selvitetty yhteispohjoismaisia osallistumismahdollisuuksia USNRC:n HSST ja PBF eli Heavy-Section-Steel-Technology ja Power-Burst-Facility ohjelmiin. Pyrkimys on päästä läheiseen yhteistyöhön terästen murtumismekaniikan, ydinpolttoaineteknologian sekä eräiden turvallisuustutkimusprojektien tuloksien tarkastelussa sekä tulevien tutkimusalueiden määrittelyssä.

NAK:n toiminta luo monella tavalla edellytyksiä jatkuvien kansainvälisten suorien yhteyksien ylläpitoon. Välillisesti tämän takia on esim. VTT:n metallilaboratorio päässyt osallistumaan aineenkoetusalan yhteistyöhön ns. crack-arrest-testimetodin testauksessa, johon osallistuu kaikkiaan n. 30 laboratoriota kahdestatoista maasta. Edelleen VTT:n metallilaboratorio on liittynyt kansainväliseen yhteistyöhön korroosioväsytystekniikan alueella. Tässä työssä, jossa on n. 30 edustajaa kahdeksasta eri maasta, on tarkoitus luoda suositus reaktorijäähdyteolosuhteissa tapahtuvalle korroosioväsytysoestukselle.

NAK on edelleen myötävaikuttanut ruotsalais-suomalaisen SECURE-lämmitysreaktori-projektin toteuttamiseen.

Kaikki NAK:ssa edustetut tutkimuslaitokset joutuvat valtion rahoituksen kasvun pysähtyneenä hankkimaan kasvavan osan rahoituksestaan tutkimuspalvelusten

myynnillä. Tämän vaikutuksesta laitokset joutunevat osittain suuntaamaan aktiiviteettiaan myös sellaisille alueille, joilla ei käytännön syistä ole yhteistyömahdollisuuksia. Samalla on pantava merkille yleisesti näkyvä voimistuva pyrkimys tutkimusyhteistyöhön yli kansallisten rajojen. Kansainvälisellä yhteistyöllä pienet maat voivatkin päästä tuloksiin, joihin ne omien niukkojen resurssiensa turvin eivät yksinään pystyisi. NAK:n toiminta on eräs osoitus tällaisesta tuloksellisesta pyrkimyksestä yhteistoimintaan.

Teknillinen korkeakoulu
Teknillisen fysiikan osasto
Professori Jorma Routti

Alustus Atomiteknillisen Seuran kokouksessa 1977-05-26

ENERGIANÄKYMÄT VUOTEEN 2000 KANSAINVÄLISEN
TUTKIMUSRYHMÄN WAES:IN TULOSTEN POHJALTA

Neljän vuoden takainen "energiakriisi" eli öljyn hinnan moninkertaistuminen vuoden 1973 lopulla toi energiakysymysten keskeisyyden kaikkien tietoon. Sen sysäämänä käynnistyi myös useita energiatutkimusprojekteja, jotka pyrkivät kartoittamaan edessämme olevia näkymiä. Ehkä perusteellisoin koko maailmaa koskevista pitkän tähtäimen energia selvityksistä on toukokuussa 1977 ilmestynyt raportti, jossa päätöksensä esittää kansainvälinen vaihtoehtoisia energiastrategioita aikavälillä 1985-2000 selvittänyt työryhmä "Workshop on Alternative Energy Strategies, WAES". Olen toiminut projektin suomalaisena jäsenenä ja tarkastelen seuraavassa sen keskeisimpiä tuloksia. Aluksi on kuitenkin syytä selostaa lyhyesti projektin organisaatiota, työskentelyä ja metodiikkaa jo tulosten tulkinnan mahdollisesti aiheuttamia kysymyksiä varten.

Projektiorganisaatio globaaliin ja kansallisiin selvityksiin

Workshop on Alternative Energy Strategies on kaksi ja puoli vuotta toiminut kansainvälinen projekti, jonka käynnistäjänä ja johtajana on toiminut professori Carroll Wilson Massachusetts Institute of Technology'sta. Projektin johtoryhmän eli "Participant-jäsenet" ovat muodostaneet akateemisen, hallinnollisen tai teollisen johtoportaan edustajat 15 maasta. Kukin heistä nimesi tavallisesti omasta organisaatiostaan yhden tai useamman "Associate-jäsenen" projektin tutkimusryhmään. Projektiin liittyneet maat edustavat lähinnä OECD-teollisuusmaita. Mukana on ollut edustajia myös kahdesta OPEC-maasta. Osanottajat eivät ole olleet hallitustensa nimeämiä tai niiden mielipiteisiin sidottuja, mikä osaltaan on mahdollistanut nopean ja tehokkaan työskentelyn, ja projektin saattamiseen päätökseen kahdessa ja puolessa vuodessa.

	Factors That Influence Future Economy	Variables
1977-1985	World economic growth rate*: high (6%) or low (3.5%)	High Low
	Oil price: rising (\$17.25) constant (\$11.50) or falling (\$7.66)	17.25 11.50 7.66
	National policy response: vigorous or restrained	Vig Res
1985-2000	World economic growth rate: high (5%) or low (3%)	High Low
	Energy price: rising (\$17.25) or constant (\$11.50)	17.25 11.50
	Gross additions to oil reserves: 20 BB/YR or 10 BB/YR	20 10
	OPEC oil ceiling: 45 MBD or 40 MBD	45 40
	Principal replacement fuel: coal or nuclear	Coal Nuc

		A	B	C	D	E
1977-1985	Growth rate	High	Low	High	Low	High
	Oil price	17.25	17.25	11.50	11.50	7.66
	National policy	Vig	Vig	Vig	Res	Res

1985-2000	Growth rate	High	High	Low	Low	Low
	Energy price	17.25	17.25	17.25	11.50	11.50
	Reserve additions	20	20	20	10	10
	OPEC ceiling	45	45	45	40	40
	Replacement fuels	Coal	Nuc	Coal	Coal	Nuc
		C-1	C-2	D-3	D-7	D-8

* The period from 1973 to the end of 1975 is assumed to correspond to actual world economic conditions, with recovery to 1973 levels by the end of 1976 postulated.

National economic studies done under these assumptions, when summed, actually result in global rates of 5.2 and 3.4% to 1985 and 4.0 and 2.8% from 1985 to 2000.

We assume that the scenario variables are approximately independent of each other, within a certain range of values. Any combination of values may, then, be possible and no combination is automatically excluded from consideration.

Puutteena koko maailman energiatilannetta käsitelleessä projektissa tulee mainita sosialististen maiden syrjään jääminen; onhan niiden osuus maailman energiataloudesta lähes 30 %. Toisaalta niiden osuus maailman energiakaupasta oman ryhmittymänsä ulkopuolella on ja tulee olemaan suhteellisen pieni, vaikka tähän osuuteen mahtuukin esim. valtaosa maamme energiatuonnista. Myös kehitysmaiden edustus oli vähäinen ajatellen niiden kasvavaa merkitystä maailmantaloudessa. Niiden näkyvien tarkastelussa WAES nojautui suurelta osin Maailman Pankin laatiin selvityksiin. Toisaalta jo projektiin osallistuneet 15 maata kulluttavat nykyisin noin 80 % maailman energiasta sosialististen maiden ulkopuolelle.

Projektilla on ollut n. viiden hengen sihteeristö MIT:ssa. Selvitystöistä valtaosa on tehty jäsenmaissa yhteisissä kokouksissa sovitujen menetelmien ja aikatulun mukaan. Johtoryhmä on kokoontunut 7 kertaa ja tutkimusryhmä näiden kokousten lisäksi suunnilleen yhtä monen välikokoukseen. Kansallisten selvitysten teossa on apuna käytetty referenssiryhmiä, joiden laajuus ja työskentelytavat ovat vaihdelleet suuresti. Keskussihteeristön kustannuksista ovat vastanneet amerikkalaiset säätiöt. Kukin johtoryhmän jäsen on hoitanut oman maansa osanoton rahoituksen.

Suomalainen osanotto käynnistyi projektin jo toimittua noin vuoden verran. Professori Wilsonin esittämän osallistumiskutsun välitti tasavallan presidentin kansliapäällikkö Kauko Sipponen teknilliselle korkeakoululle, jonka nimeämänä toimin suomalaisena jäsenenä johtoryhmässä. Tutkimusryhmän jäsenenä toimi tekniikan lisensiaatti Seppo Hannus kauppaja- ja teollisuusministeriön energiaosastolta. Osallistumisemme kustannukset peitti Suomen Akatemian teknillis-tieteellisen toimikunnan myöntämä tutkimusraha sekä kauppaja- ja teollisuusministeriö. Sekä energiatietojemme keräämistä että tulosten hyödyntämistä ajatellen on suora yhteys energiaosastoon osoittautunut erittäin hyödylliseksi.

Skenarioiden eli vaihtoehtoisten kehityspolkujen metodiikka

Pitkän aikavälin kehityssennusteisiin on käytetty useita erilaisia lähestymistapoja. Tunnettuja ovat mm. Rooman klubin julkistamat Forres-

ter-Meadows'in mallien tulokset, jotka pohjautuvat systeemidynaamisiin, lähinnä differentiaaliyhtälöillä kuvattujen riippuvuuksien analyysiin. Vastaavaa menetelmää on sovellettu Suomenkin olosuhteisiin lyhyemmän aikavälin tarkasteluissa.

WAES:n puitteissa valittiin lähtökohdaksi vaihtoehtoisten kehityspolkujen eli skenarioiden tarkastelu. Tämä lähestymistapa on saavuttanut viime aikoina suosiota myös systeemidynamiikan aikaisempien käyttäjien joukossa. Yksikäsitteisen ennusteen asemasta pyritään tulevaisuutta kartoittamaan erilaisten keskenään yhteensopivien olettamuksien pohjalta. Energia-analyysissä keskeisiä olettamuksia ovat taloudellinen kasvunopeus, energian hintakehitys ja tärkeimmät energiapoliittiset ratkaisut. Näiden parametrien vaihtelurajat valitaan niin laajoiksi, että todellinen kehitys tulee suurella todennäköisyydellä sijoittumaan niiden määrittelemien kehityspolkujen haarukkaan.

Aikavälillä lähtövuodesta 1972 vuoteen 1985 tarkasteltiin viittä kehityspolkua, joiden skenarioparametrit on lueteltu oheisessa taulukossa. Näistä osaa jatkettiin vuoteen 2000 asti. Jälkikäteen ajatellen olisi taloudellisen kasvun nopeus, ainakin teollisuusmaiden viimeaikaisesta kehitystä ajatellen, voinut sisältää vieläkin hitaamman kasvunäkymän. Vastaavasti energian, erityisesti öljyn hintakehityksen vaihtelurajat olisivat voineet olla suuremmatkin, vaikka merkkejä tämän tarpeellisuudesta ei ehkä vielä ole näkyvissä.

Tulokset kirjoina ja raportteina

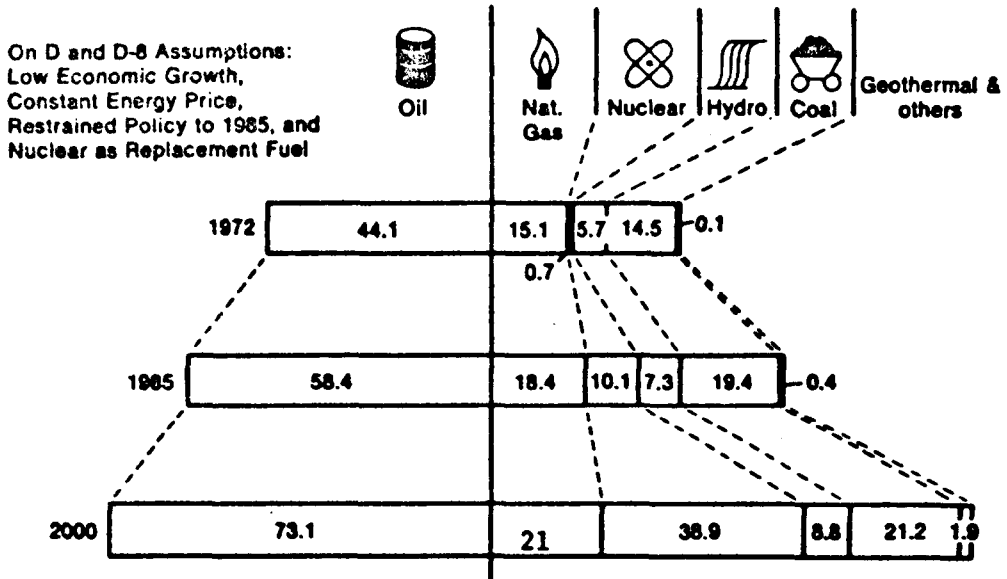
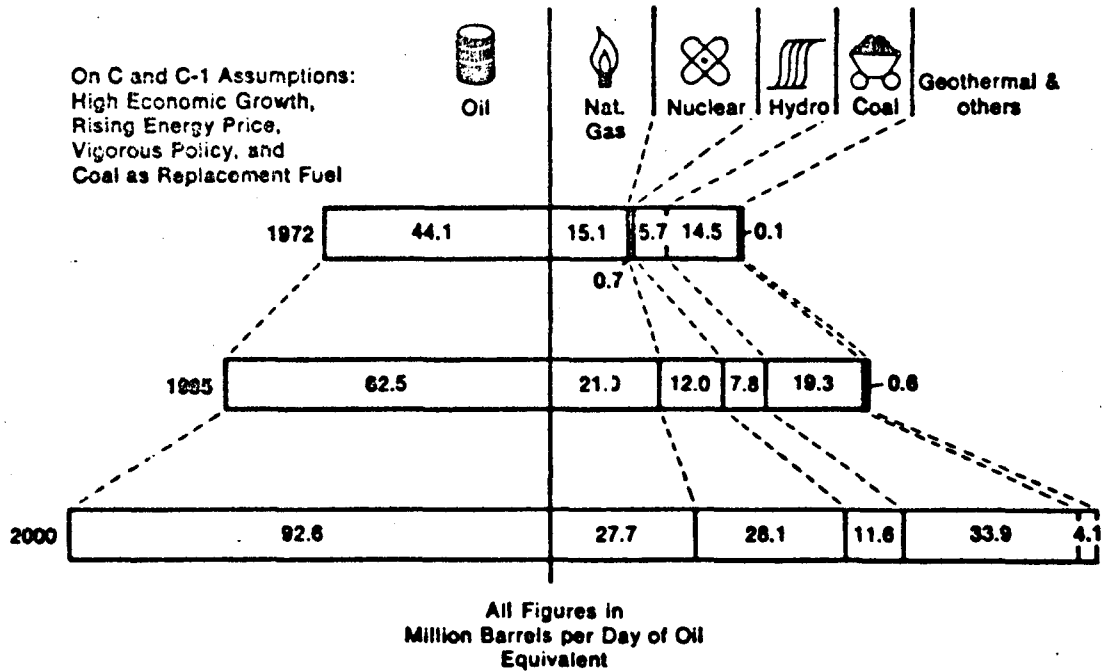
Työryhmän keskeisimmät tulokset on koottu laajapainoksiseen pääraporttiin

"Energy-Global Prospects 1985-2000", 291 p., McGraw-Hill Book Co, 1977, jota on saatavissa mm. Akateemisesta kirjakaupasta.

Yksityiskohtaiset analyysit energian kysynnästä ja tarjonnasta globaalille ja kansallisille tasoille sisältyvät kolmeen laajaan teknilliseen raporttiin

1) "Energy Demand Studies: Major Consuming Countries", 553 p., MIT Press, 1976,

Primary Energy Demand by Fuel Type, WOCA



2) "Energy Supply to the Year 2000: Global and National Studies", 406 p., MIT Press, 1977

3) "Energy Supply-Demand Integrations to the Year 2000: Global and National Studies", 705 p., MIT Press, 1977

Näitä lähinnä energiatutkijoille tarkoitettuja teknillisiä raportteja on Suomessa muutama kappale teknillisen alan kirjastoissa.

Maaailman energiakonferenssin WEC:n kokouksessa syyskuussa 1977 Istanbulissa on yksi laaja istunto varattu tulosten selvittämiseen. Muutenkin WEC:n vuoteen 2025 ulottamat omat selvitykset noudattavat metodikaltaan ja tuloksiltaan WAES:n kehittämiä ja projekteilla onkin ollut läheisiä suoria yhteyksiä.

Eri energiamuotojen yhtenäiset yksiköt

Eri energialähtiedien vertailua hankaloittaa monien yksiköiden käyttö. Tämän välttämiseksi on lähes kaikki WAES:n esittämät tulokset ilmaistu samaa yksikköä käyttäen, joksi nimenomaan öljyn keskeistä asemaa ajatellen on valittu 1 MBDOE, Million Barrels Daily of Oil Equivalent, eli miljoona tynnyriä öljyekvivalenttia päivässä. Tarkkaan ottaen tämä on tehon yksikkö, jonka muuntosuhteet muihin energian yksiköihin on ilmaistu oheisessa taulukossa. Sähkön osalta on edellä mainitusta fyysikaalisesta vastaavuudesta poiketen tavallisesti käytetty muuntosuhdetta, jonka mukaan sähköenergia vastaa $1/0.35 = 2.8$ -kertaista lämpösisältöä.

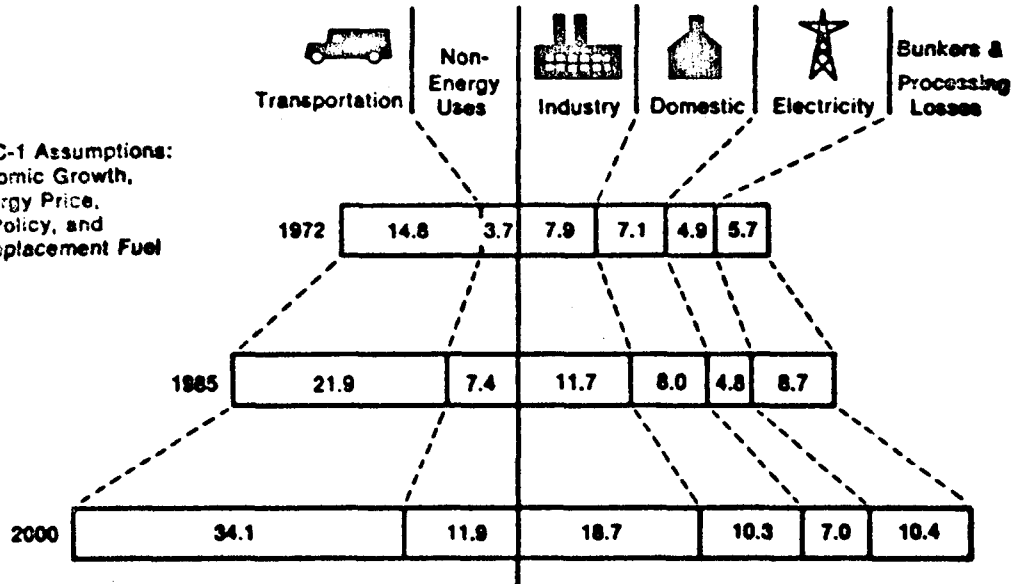
Suuruusluokkakuvan antamiseksi yksiköstä MBDOE todettakoon, että se vastaa noin 140 000 tonnin tankkerilastia päivässä, että maailman nykyinen energiankulutus on nykyisin noin 120 MBDOE, josta WAES:n analyysin tarkastelemassa WOCA-alueessa (World Outside Communist Areas) kokonaisenergiaa käytetään 80 ja öljyä 45 MBDOE, ja että Suomen energiankulutus on noin 0.4 ja öljynkulutus noin 0.2 MBDOE.

Energian kysyntä kasvaa 2 - 2.5 kertaiseksi vuoteen 2000

Energian kysyntäarviot laadittiin kussakin maassa tarkastelemalla kansantalouden sektoreita aina 80:een asti. Kunkin sektorin näkymät

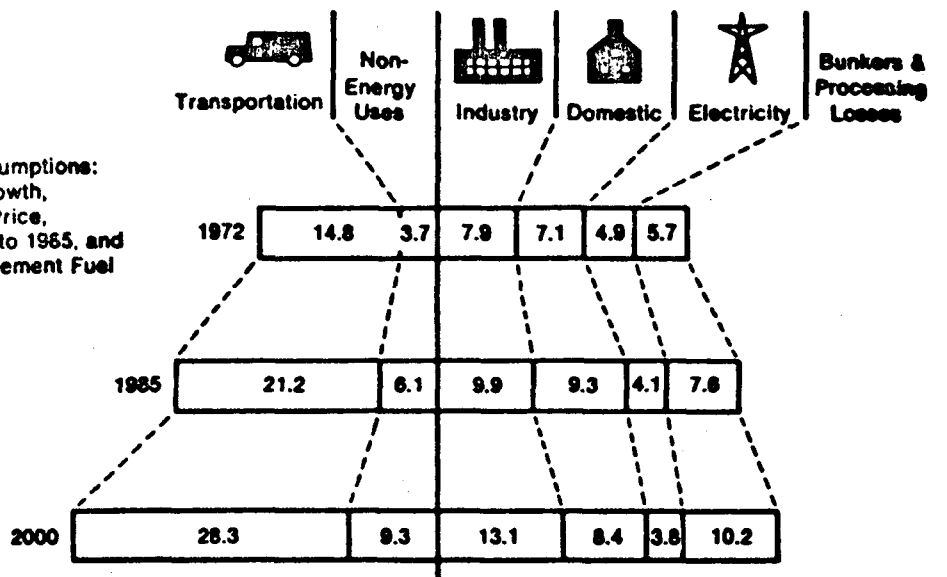
Oil Uses, WOCA

On C and C-1 Assumptions:
High Economic Growth,
Rising Energy Price,
Vigorous Policy, and
Coal as Replacement Fuel



All Figures in
Million Barrels per Day of Oil
Equivalent

On D and D-8 Assumptions:
Low Economic Growth,
Constant Energy Price,
Restrained Policy to 1985, and
Nuclear as Replacement Fuel



kartoitettiin sekä määrällisen kehityksen että energian käytön tehokkuuden osalta eri skenarioiden määrittelemissä puitteissa. Kussakin sektorissa määriteltiin lisäksi polttoaineiden vaihtelurajat.

Kysyntäarvioiden yhteenlasku maittain ja polttoaineittain ilmoittaa halutun energiankäytön ja siihen liittyvät polttoainekohtaiset vaihtelurajat. Esimerkkeinä näistä tuloksista tarkastelemme energian kysynnän jakautumaa polttoaineittain ja pääsektoreittain. Kokonaisarviot osoittavat, että energian kysyntä nousisi v. 2000 mennessä lähtöolettamuksista riippuen 2 - 2.5 -kertaiseksi nykyisestäään. Tällainen kokonaiskasvu vastaa keskimääräistä vuotuista kasvunopeutta 2.5 - 3.5 % aikaisempaan yli 5 % verrattuna. Tarkasteluihin sisältyy olettamuksia tuntuvista energiasäästöön ja tehokkaampaan käyttöön tähtäävistä toimenpiteistä sekä kehitysmaiden teollisuusmaita nopeammasta kasvusta. Kansantalouden ja energiankäytön kasvunopeuksien suhteen kehitys samoin kuin energian hintajoustopuutokset ovat vaikeasti arvioitavissa mutta keskeisiä energian kysyntään vaikuttavia suureita, joihin on WAES:n selvityksissä vain osittain voitu paneutua.

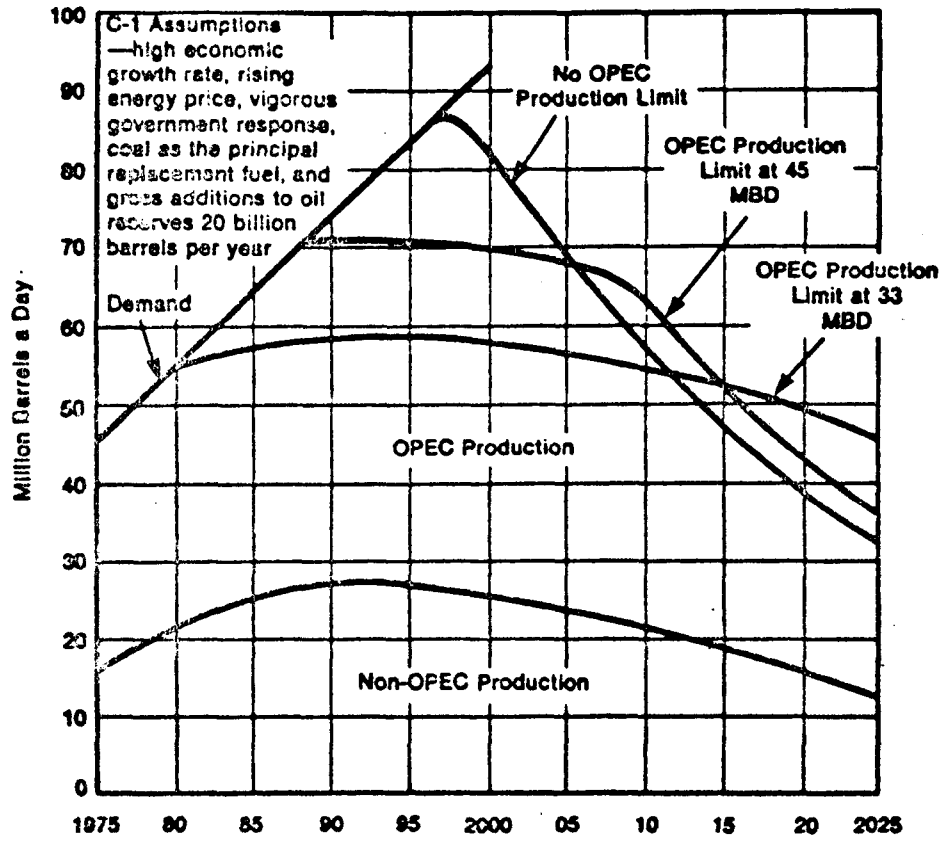
Energian tuotantomahdollisuudet nykyisistä ja uusista lähteistä

Myös energian tuotantomahdollisuudet arvioitiin eri skenariomuuttujien, eli lähinnä energian hinnan, määrittelemissä puitteissa. Tämä analyysi kohdistui kaikkiin nykyisiin ja tarkastelukauden uusiin tärkeisiin lähteisiin.

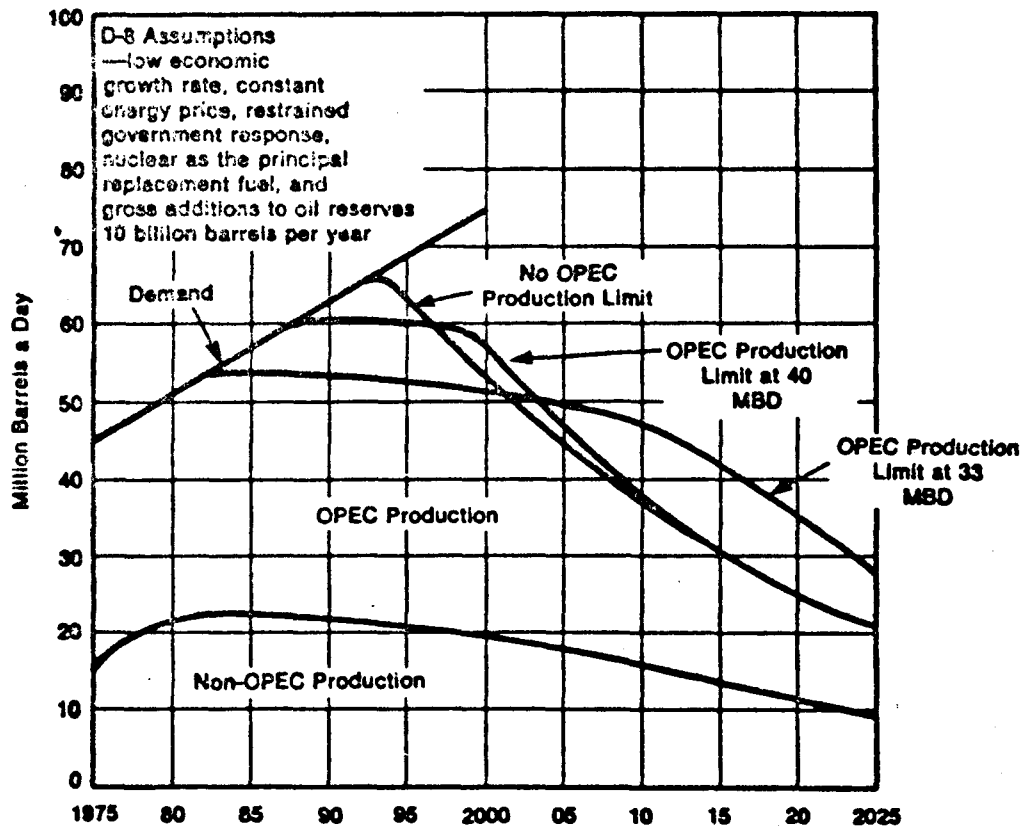
Öljyn tuotantokuippu saavutetaan

Maailman energian käytön kasvu viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana on rakentunut lähes kokonaan öljyn varaan. Kysyntäennusteiden mukaan öljy säilyttää suositummuusasemansa myös eri skenarioiden määrittelemissä kustannuskehyksissä. Sen osuus kokonaisenergiasta laskisi nykyisestä hieman yli 50 % osuudesta vain muutaman prosenttiyksikön v. 2000 mennessä ja käyttö kasvaisi noin kaksinkertaiseksi nykyisestä. Aikaisempaan 7 % verrattuna kasvunopeus olisi kuitenkin pienempi, 3,3 - 4,3 % vuoteen 1985 mennessä ja 1,5 - 2,6 % siitä eteenpäin.

WOCA Oil Production for C-1



D-8



Eräs WAES:n keskeisimpiä ongelmia on ollut öljyn tuotannon riittävyyden arviointi. Tähän tarkasteluun eivät riitä jo usein aikaisemmin esitetyt luvut tunnetuista tai arvioituista öljyvaroista ja niiden vertailu vuosikulutuksiin. Tällaisen staattisen tarkastelun asemasta on pyritty tilanteen kehityksen seuraamiseen skenarioiden määrittelyssä puitteissa.

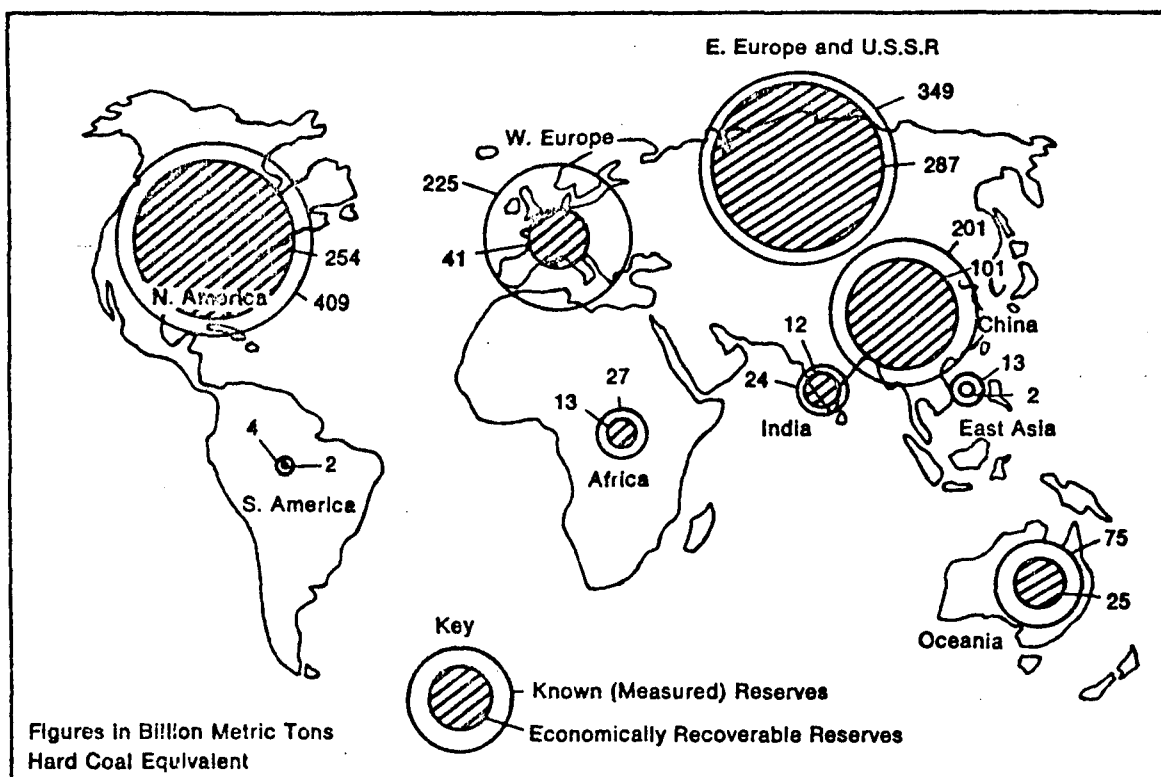
Tuotantokapasiteetti riippuu kokonaisvarojen ohella niiden vuosittaisista muutoksista sekä teknillisistä ja mahdollisesti poliittisista rajoituksista. Uusien löytöjen on oletettu lisäävän tunnettuja varoja joko yhtä paljon kuin viime vuosikymmeninä keskimäärin eli n. 20×10^9 tynnyriä vuodessa v. 2000 mennessä. Tunnetuista kentistä voidaan vuosittain tuottaa korkeintaan 1/15 teknillisistä rajoituksista johtuen. Näiden olettamusten puitteissa pystyisi öljyn tuotanto seuraamaan kysyntää 1990-luvun puoliväliin.

Teknilliseen rajaan asti ei tuotantopoliittisista rajoituksista johtuen ehkä ylletä. Erityisesti merkittävin tuottajamaa Saudi-Arabia halunee rajoittaa tuotantoaan alle teknillisen rajan, joka on 20 MBDÖE:n tienoilla. Tällaisista rajoituksista johtuen ajankohta, jolloin öljyn tuotanto jää projisoidusta kysynnästä jälkeen, tulee aikaisemmin. Seuraavaksi myöspitempi tasaisen tuotannon kausi, ja näennäinen öljyvaje kasvautti hitaammin. Palaamme myöhemmin mahdollisuuksiin öljyvajauksen täyttämässä muilla polttoaineilla tai kysyntää pienentämällä.

Maakaasun käyttöä rajoittavat kuljetusongelmat

Maakaasu on tärkeä polttoaine ja kemiallisen teollisuuden raaka-aine monissa teollisuusmaissa. Näiden maiden oma tuotanto kääntyy monissa tapauksissa laskuun ennen vuosisadan vaihdetta. Globaalisesti maakaasun tuotantokapasiteetti riittää kattamaan kysynnän, mutta kuljetusjärjestelmien rajoitukset, olivatpa ne pitkiä putkijohtoja tai nesteytetyn kaasun siirtojärjestelmiä, ovat huomattavia. Lähinnä tästä johtuen tulee maakaasun kysynnän täyttäminen olemaan vaikeaa. Teknillisten seikkojen määrittelyt tuotantohuiput ja rajoitukset tulevat parikymmentä vuotta myöhemmin kuin öljyn kohdalla. Maakaasun hintakehitys tulee seuraamaan öljyä ja myöhemmässä vaiheessa määräytyy kivihiiilestä tai muu-

Distribution of Coal Reserves



ten syntetisoivan kaasun kustannusten mukaan.

Takaisin kivihiileenkö?

Tunnetut kivihiilivarat ovat noin kuusinkertaiset öljyvaroihin verrattuna. Kivihiilen käyttö on myös pienempiä ja uusien esiintymien etsinnän, jota ei juuri ole harjoitettu viime aikoina, voidaan olettaa olevan tuloksellista. Hiilen tuotanto kasvaa WAES:n tarkastelukaudella kuitenkin voimakkaammin vasta öljyn niukkuuden tultua selväksi. Kivihiilen lisääntyvää käyttöä jarruttavat hitaat ja kalliit investoinnit sekä tuotannon että käytön puolella ja ympäristöongelmien ja käyttömu-
kavuuden asettamat rajoitukset. Pitkällä tähtäimellä on mahdollista että hiilidioksiidin pitoisuuden kasvu ilmakehässä rajoittaa hiilen käyttöä aikaisemmin kuin teknilliset tuotantorajoitukset, joihin maailman hiilivarat eivät anna aihetta vielä 100-200 vuoteen.

Kivihiilen käytön nopea kasvu edellyttäisi myös tuotannon nopeaa kasvua myös vientiä varten Yhdysvalloissa. Tätä mahdollisuutta on pidettävä epävarmana, vastustaahan sen kehitystä voimakas ympäristönsuojelu-
liike Yhdysvalloissa.

Kivihiili tulee olemaan myös merkittävä lähde nestemäisen ja kaasumaisen synteettisen polttoaineen tuotannossa. Uhkaavasta öljy- ja maakaasuniukkuudesta huolimatta tämän tuotannon käynnistymiselle ei kuitenkaan ole vielä nykyisillä öljyn hinnoilla taloudellisia edellytyksiä. Synteettisten polttoaineiden kustannukset arvioidaan noin kaksinkertaisiksi nykyiseen öljyn hintaan verrattuina. Tuotannon käynnistyminen on hidasta ja pääomia vaativaa eikä WAES:n arvioiden mukaan tuotanto tule olemaan merkittävä vielä tällä vuosisadalla.

Ydinenergian epävarmuustekijät

Uusista energialähteistä on ydinenergian potentiaali merkittävin. Sitä koskevien arvioiden tekeminen osoittautui kuitenkin vaikeimmaksi WAES:n puitteissa. Sekä osanottajien henkilökohtaiset näkemykset sen hyväksyttävyydestä että arviot yleisen mielipiteen kehityksestä vaihtelivat suuresti. Nämä tekijät samoin kuin kustannusten nousu sekä säh-

**Table 6-1 Summary of WAES Scenario Estimates for
Future-Installed Nuclear Power Capacity (WOCA)**

	1974	1985		2000	
	Installed Capacities	Maximum Likely	Minimum Likely	Maximum Likely	Minimum Likely
Nuclear Capacity GW(e) ¹	66.9	412	291	1772	913
Percent of Primary Energy in WOCA	2	9	6	21	14
Oil Equivalent (MBOE) ²	1.7	10	7	43	22

Table 6-2 WAES Scenario Estimates of Future-Installed Nuclear Capacity (As of October 1976)

GW(e) of Installed Nuclear Capacity

Region or Country	1974 Installed Capacity*	1985		2000			
		D (Minimum Likely)	C (Maximum Likely)	Rising energy price High economic growth		Constant energy price Low economic growth	
				C-1 "Coal"	C-2 "Nuclear" (Maximum Likely)	D-7 "Coal"	D-8 "Nuclear" (Minimum Likely)
Denmark	0	1	1	2	5	2	5
Finland	0	2.2	3.2	6.6	16.2	4.2	8.2
France	2.9	35	45	90	140	70	100
Germany	4.0	21	33	50	120	50	80
Italy	.8	5.4	9.4	20	60	20	60
The Netherlands	.5	1.5	2.5	10	16	6.5	10
Norway	0	0	0	4	4	2	3
Sweden	2.6	3.6	7.4	10	20	10	20
U.K.	5.8	14	15	33	58	29	50
Non-WAES Europe**	2.5	23	31	72	94	72	94
Total Europe	18.9	106.9	147.5	297.6	533.2	265.7	430.2
Canada	2.5	8	12	44.5	74	44.5	74
United States	40.4	127	168	380	620	380	620
Total No. America	42.9	135	178	424.5	694	424.5	694
Japan	3.9	25	40	75	120	75	100
Rest of WOCA (including Mexico)	1.2	24	47	212	425	148	300
	0	(2)	(3)	(40)	(80)	(20)	(30)
TOTAL WOCA	66.9	290.9	412.5	1009.1	1772.2	913.2	1524.2

* From The Atlantic Council, "Nuclear Policy" as revised for WAES countries.

** Non-WAES Europe includes Belgium, Luxembourg, Ireland, Austria, Greece, Yugoslavia, Portugal, Spain and Switzerland.

kön kysynnän hidastunut kasvuvauhti ovat pienentäneet merkittävästi ydinenergian kasvuennusteita muutama vuosi sitten tehdyistä.

WAES:n arviot ydinenergian osuudesta maailman kokonaisenergiasta vaihtelevat 14 ja 21 % välillä v. 2000. Nämä luvut vastaavat n. 900 - 1800 GWe sähkötehoa, joista suurempi öljy-yksiköissä ilmaistuna on n. 40 MBDOE eli suunnilleen maailman nykyinen öljynkäyttö. Näin suuren kapasiteetin kasvun katsotaan olevan myös teknillisesti mahdollista. Sitä nopeampaa kasvua rajoittaisivatkin ydinpolttoainekierron pullonkaulat uraanin louhinnan ja väkevöinnin kohdalla. Ydinenergian teknologian on oletettu pysyvän lähes nykyisellään, toisin sanoen kevytvesireaktori-valtaisena ja sähköntuottoon keskittyvänä. Nopeiden reaktorien osuuden arvioidaan jäävän alle 5 % tällä vuosisadalla. Fuusioreaktoreiden mahdollisen kaupallisen läpimurron on oletettu jäävän tarkastelukauden jälkeen.

Uudet ja uusiutuvat energialähteet merkitykseltään vielä vähäisiä

Fossiilisia polttoainevaroja täydentävät suuret öljyhiekka- ja -liuske-esiintymät. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin suuria taloudellisia, teknillisiä ja ympäristöllisiä vaikeuksia. WAES:n mukaan niillä saatettaisiin kattaa korkeintaan 1-2 % maailman energian tarpeesta vuosisadan vaihteessa.

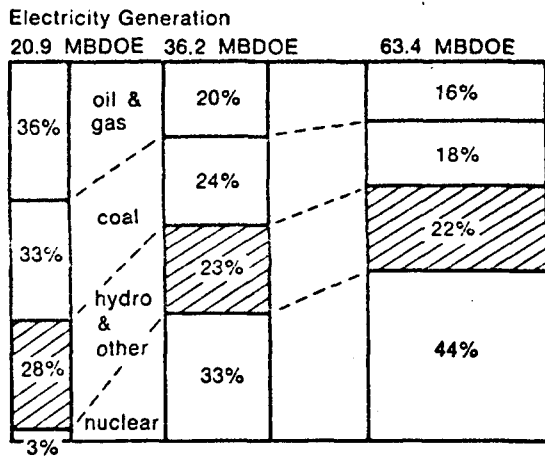
Uusiutuvista energiavaroista on nyt tärkein veisivoima, jonka kasvupotentiaali on edelleen suuri erityisesti kehitysmaissa. Vesivoiman merkitys tulee kuitenkin suhteellisesti laskemaan nykyisestä 2 % osuudesta. Auringon energian muut epäsuorat ja suorat hyödyntämismenetelmät ovat pitkän tähtäimen näkymiä ajatellen erinomaisen tärkeitä. Lupaavimpia ja nopeimmin kasvavia ovat sovellutukset rakennusten lämpötaloudessa. Tämän vaikutuksen arvioidaan kuitenkin jäävän noin 1 % kokonaisenergiasta vuosisadan vaihteessa.

Energian kysynnän ja tarjonnan sopeuttaminen

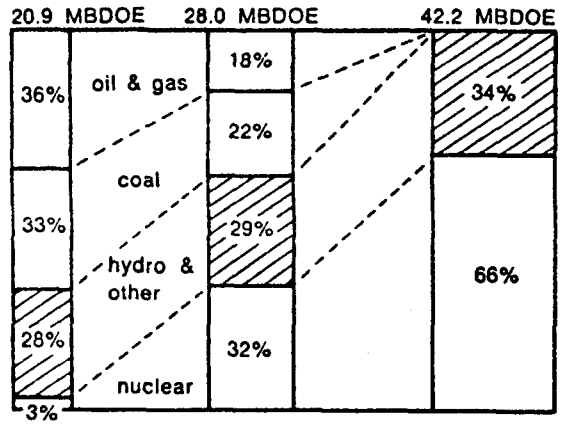
Verrattaessa energian tuotantomahdollisuuksia projisoituun kysyntään havaitaan, että 10-20 vuoden kuluessa syntyy erityisesti öljyn kohdalla

Comparison of Unconstrained and Constrained Mixes in Demand Sectors

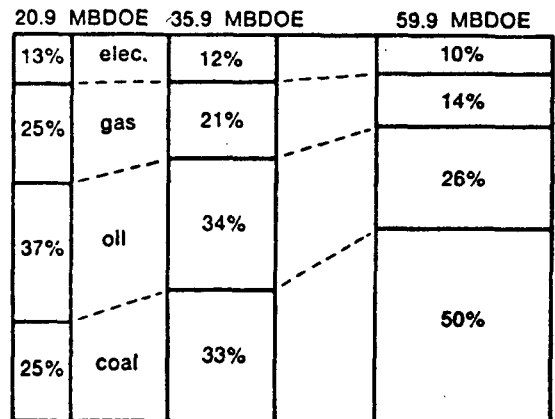
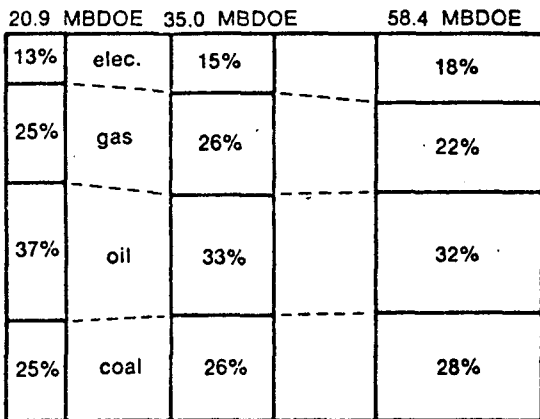
Unconstrained Mix



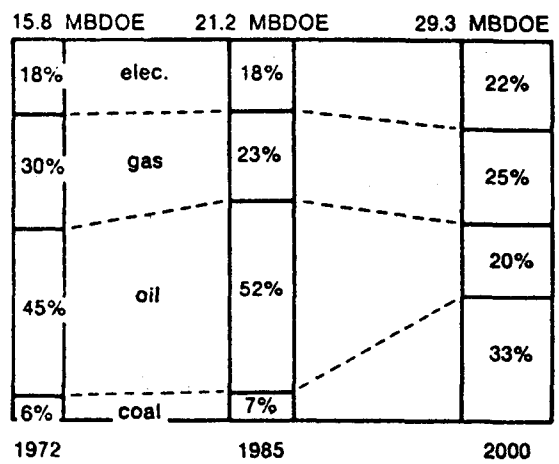
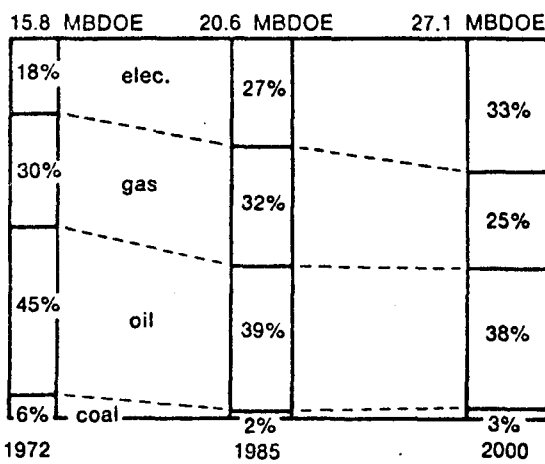
Supply-Constrained Mix



Industrial Uses



Domestic Uses



(Bars Proportional to Magnitudes)

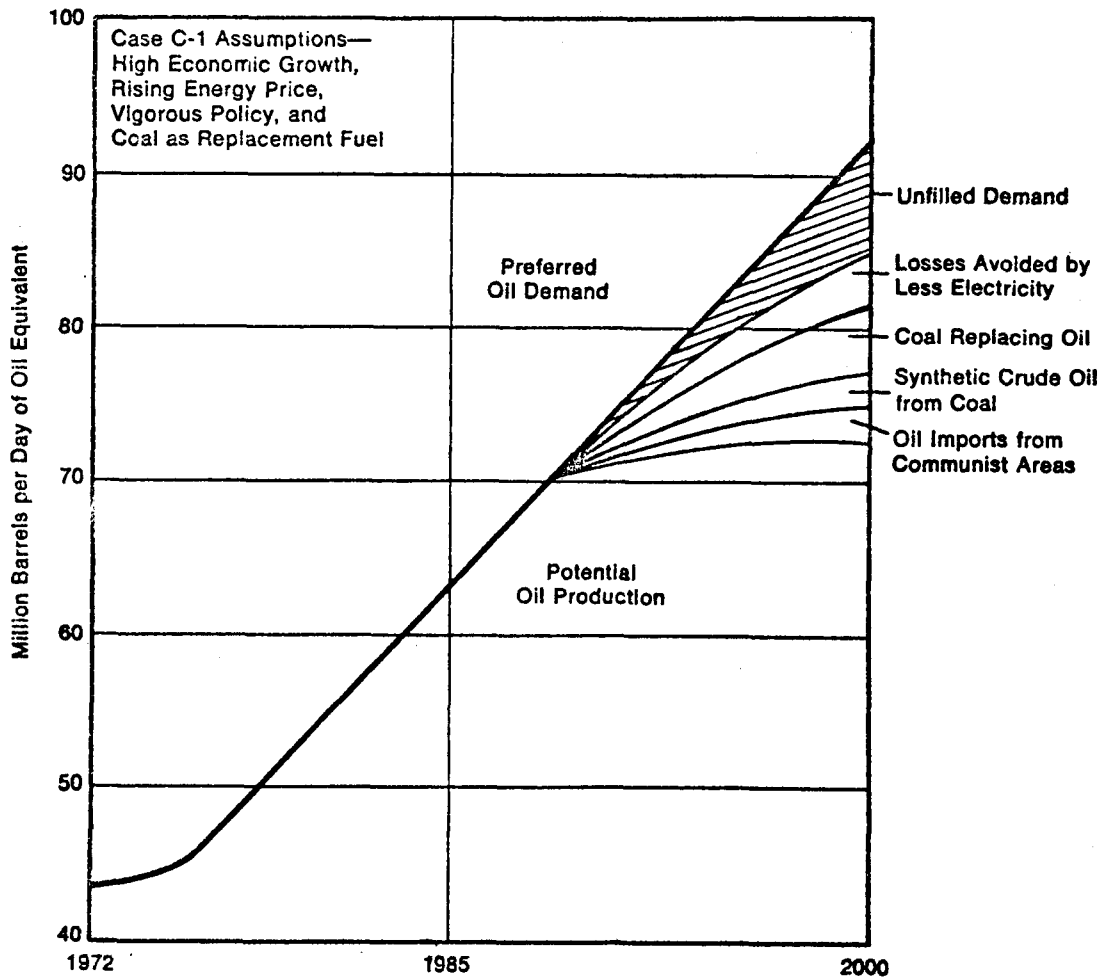
energiavaje. Käytännössä kysyntä ja tarjonta tietenkin pysyvät tasapainossa, ja vajetta tulee näin ollen pitää ao. skenarion sisäistä ristiriitaisuutta ilmentävänä. Korkeampi energian hinta on eräs ongelman ratkaisumekanismi, joka kuitenkin olisi epätoivottava. Energian hintajousto, eli hinnan muutoksen vaikutus kysyntään, on suhteellisen pieni ainakin lyhyellä tähtäimellä. Tästä johtuen hinta saisi nousta runsaasti pienenkin säästön aikaansaamiseksi.

Energian kysyntäarvioita laadittaessa kartoitettiin myös kunkin kulutussektorin preferoitu polttoaine ja sen vaihtelumahdollisuus. Näitä tietoja on WAES:ssa käytetty hyväksi haettaessa kysynnän ja tarjonnan tasapainoa öljyniukassa tilanteessa. Tulokset osoittavat polttoainejakautuman olevan hyvin erilainen tällaisessa tilanteessa. Todennäköisesti rajoitusten aiheuttamat polttoaineiden käyttötavan muutokset tapahtuvat kuitenkin melko hitaasti ja kuvastavat tilannetta vasta pitämällä tulevaisuudessa. Öljy ja maakaasu jäävät pisimpään liikenteen energialähteeksi ja kemiallisen teollisuuden raaka-aineeksi. Ydinenergian osuus sähköntuotannossa korostuu entisestään ja kivihiili tulee takaisin moniin teollisiin käyttöihin ja myös lämmitystarkoituksiin.

Öljyvajauksen täyttämistä ei vaikeuta niinkään paljon teknillisten mahdollisuuksien kuin ajan ja pääomien puute. Öljyvirtojen mittavuuden tähden vaatii niiden pienikin epätasapaino erittäin suuria ja kalliita korvaavia tuotantomekanismeja. Esimerkkinä voimme mainita 1 MBDOE korvaamisen vastaavan noin 15 miljoonan aurinkotalon rakentamista tai 100 GWe ydintehon käyttöön ottoa. Eri skenarioissa esiintyvän öljyvajeen suuruus on 15 - 20 MBDOE v. 2000 mennessä.

Suosittelavimmaksi osoittautuu energian säästöön pyrkiminen. Eri skenarioihin sisältyy jo hintamekanismin mukaan arvioitu säästöpotentiaali, joka nykytekniikkaan verrattuna on huomattava. Käsitykset energian niukkuudesta korostavat säästötoimien tärkeyttä, ja teknillisiä mahdollisuuksia lisäsäästöihin löytyykin. Suurempaa säästöalttiutta voidaan tällöin tavallaan pitää suurempia hinnan korotuksia ennakoivana kuin mitä skenarioissa on oletettu. Osittainen ratkaisumekanismi on myös nykyisen hitaamman kasvukauden jatkuminen. Se siirtäisi niukkuuden aikaa kauemmas ja antaisi enemmän aikaa välttämättömien muutosten toteuttamiseen. Samalla se kuitenkin rajoittaisi näiden muutosten aikaansaamisen mahdollisuuksia.

How Oil Supply-Demand Gap May Be Filled



Energiastrategioiden vaihtoehdot vähäiset

Pitkällä tähtäimellä energiajärjestelmien tulee rakentua hyötö- tai fuusioreaktoreiden tai uusiutuvien aurinkoon perustuvien lähteiden käyttöön. Suora siirtyminen niihin nykyisestä fossiilisten polttoaineiden hallitsemasta energiataloudesta ei kuitenkaan näytä mahdolliselta vaan välillä on vaikea siirtymäkausi. WAES-projektin etsimiä vaihtoehtoisia energiatratgioita tämän siirtymäkauden alkuvaiheelle ei juuri ole ainakaan globaalilla tasolla. Kansallisilla tasoilla tiettyjä vaihtoehtoja on, sillä kaikkien maiden ei ole tarpeen turvautua samoihin ratkaisuihin. Maailman energiatalouden kokonaiskehitys kuitenkin riippuu kansallisten ratkaisujen summasta. WAES:n selvitys osaltaan viitoittaa suuntaa kansallisille energiaohjelmille antamalla niille globaalisen taustatiedon.

WAES:n kokemuksen perusteella kansallisten energiatratgioiden laatiminen on globaalisia selvityksiä vaikeampaa. Toimenpiteiden ajoitus esimerkiksi öljyriippuvuuden vähentämiseksi on vaikea valita. Liian aikainen siirtyminen pääomavaatimuksiltaan kalliimpiin lähteisiin rasittaa kansantaloutta takamatta pitkäaikaisempaa käyttöoikeutta niukentuviin öljyvaroihin. Myöhästyneet toimenpiteet kustautuvat nopean mukautumisen kustannuksina ja häiriöinä. Markkinamekanismit yksinään eivät ole riittäviä säätelemään näitä transitiota. Investointeja, joiden hyöty materialisoituu vasta 10-20 vuoden kuluttua on vaikea perustella tavallisia talouslaskelmia käyttäen. Markkinamekanismien tueksi kaivataan voimakkaampia energiapoliittisia ohjelmia ja energian säästöä ja öljynkulutusta rajoittavia taloudellisia kannusteita ja pakotteita.

Käytettävissämme olevista "energiaresursseista" ehkä kuitenkin aika on niukin. Energiajärjestelmien hitaudesta johtuen on mahdollista, että energiaongelmat muuttuvat kriittillisiksi ennen kuin ne näyttävät tarpeeksi vakavilta tarvittavien muutosten aikaan saamiseksi.

KOKEMUKSIA LOVIISA 1 KÄYTÖSTÄ

1 YLEISTÄ

Loviisa 1 laitoksella on ensimmäinen käyttövuosi takanaan ja laitoksen käyttäjälle, Imatran Voima Osakeyhtiölle, kuten myös valvontaviranomaiselle, säteilyturvallisuuslaitokselle, on kertynyt monenlaista kokemusta sekä ydinvoimalaitoksen normaalista käytöstä että latausseisokista siihen liittyvine korjaus-, tarkastus- ja huoltotöineen. Tässä esityksessä selvitellään hiukan säteilyturvallisuuslaitoksen suorittamaa käytön valvontaa yleensä sekä tämän toiminnan mukanaantuuksia kokemuksia vuoden 1977 ja alkuvuoden 1978 osalta.

Seuraavassa on lyhyesti lueteltu STL:n suorittaman ydinvoimalaitosten käytön valvonnan lainsäädännöllinen tausta, valvonnan tavoitteet ja muodot. Valvonnan suhteen tärkeimmät velvoitteet on esitetty atomienergielainsäädännön mukaisessa käyttö lupapäätöksessä.

Lainsäädännöllinen tausta

- atomienergielainsäädäntö
- säteily suojaus "
- paineastialainsäädäntö
- atomivastuuta koskevat säännökset
- kansainväliset sopimukset
 - NPT valvontasopimus
 - kahdenkeskiset sopimukset
- STL:a koskeva lainsäädäntö

Käytön valvonnan tavoitteet

Todentaa, että

- turvallisuus on otettu huomioon oikealla tavalla
- laitos on teknisesti hyväksyttävässä kunnossa

- laitosta käytetään oikein ja hyväksytyjen rajoitusten ja määräysten puitteissa
- laitoksen käyttäjät osaavat tehtävänsä
- käyttäjiin ja ympäristöön kohdistuva säteilyrajoitus on hyväksytyissä puitteissa

Lisäksi

- tiedottaa muille viranomaisille.

Valvonnan muodot

- voimayhtiön raporttien tarkastus
- STL:n omakohtaiseen tarkastustoimintaan nojautuva valvonta
- korjaus- ja muutostöiden valvonta (myös latausvaiheen aikaiset työt)
- valvontatoimet poikkeuksellisissa tilanteissa
- valvontatoiminta koskeva STL:n suorittama raportointi.

Säteilyturvallisuuslaitoksen toiminta koskien Loviisa 1 laitoksen käytön valvontaa 1. käyttövuoden aikana voidaan jakaa kolmeen hieman toisistaan poikkeavaan jaksoon:

1. Tehonnostokokeitten valvonta ja tulosraporttien tarkastus
2. Normaalikäytön aikainen valvonta
3. Latausseinävalmistelu ja valvonta

Loviisa 1 laitokselle tehtiin STL:n toimesta vuonna 1977 kaikkiaan 236 tarkastusmatkaa tai seurantakäyntiä, jotka lähes kaikki reaktoriturvallisuusosaston toimesta. Tämän lisäksi Loviisassa toimi kaksi paikallistarkastajaa, jotka suorittivat vielä joidenkin Loviisa 1 laitoksen laitteiden rakenne- ja käyttöönottotarkastuksia vuoden 1977 alussa.

Käytön valvonnassa kulunut vuosi oli sekä IVO:n että STL:n osalta erilaisten toimintarutiinien sisäänajoa. STL onkin tässä suhteessa kiinnittänyt erikoisesti huomiota IVO:n käytön laadunvarmistusta koskeviin seikkoihin, joskus jopa aivan yksityiskohtiin mennessä, sillä tällä alueella on ollut havaittavissa ennakkosuunnittelun puutetta. Tarkastuskohteina ovat olleet mm. turvallisuusteknisten käyttöehtojen mukaiset koestukset, työnsuunnittelu ja kunnossapitotoiminta.

Turvallisuusselosteeseen IVO haki muutosta vuoden 1977 aikana kaikkiaan 31 kertaa. Nämä aiheuttivat turvallisuusselosteeseen (15 lukua) yhteensä 73 luvun korjauksen tai muutoksen. Turvallisuusselosteen käytön kannalta tärkein osa "turvallisuustekniset käyttöehdot" uusittiin vuoden 1977 aikana kahdesti.

Loviisa 1 laitosta koskevien erilaisten päätösten ja rakenteitten tarkastusten määrä väheni merkittävästi vuoden 1977 aikana verrattuna edellisvuoteen. Suurin osa päätöksistä koski nyt järjestelmien koekäyttöä. Paineastialainsäädännön mukaiset tarkastukset olivat vähentyneet lähes kymmenenteen osaan edellisvuodesta ollen käytön aikana määräraikaistarkastuksia sekä muutos- ja korjaustöiden tarkastuksia. Seuraavassa taulukossa on esitetty yhteenveto Loviisa 1 koskevista päätöksistä ja tarkastuksista vuosina 1976 ja 1977.

	1976	1977
Turvallisuusvalvontaa koskevat STL:n päätökset		
- rakenteet ja laitteet	776	195
- järjestelmien ennakkotarkastus ja koekäyttö	243	285
Turvallisuusvalvontaan liittyvät STL:n tarkastukset		
- rakennetarkastus	410	35
- KOT, toteamistarkastus	713	77
- KOT, varusteiden toiminta	29	7

KOT = käyttöönottotarkastus

2 KÄYTTÖKOKEMUKSET VUODEN 1977 AJALTA

2.1 Yleistä

Käyttökokemuksia STL julkaisee neljännesvuosi- ja vuosiraporteissaan, jotka on pääasiassa tarkoitettu kauppa- ja teollisuusministeriötä ja ulkomaisia viranomaisia varten. Lisäksi toimitetaan ns. "incident"-raportteja tärkeimmistä turvallisuuteen liittyvistä tapahtumista. Käyttökokemuksia esitellään tässä yhteydessä lähinnä vuosiraportin pohjalta keskittyen turvallisuuteen liittyvien tapahtumien ja reaktorin pikasulkujen analysointiin sekä säteilyturvallisuuteen.

2.2 Turvallisuuteen liittyvät tapahtumat

Vuoden 1977 aikana Loviisa 1 ydinvoimalaitoksella sattui 12 turvallisuuteen liittyvää tapahtumaa. Yksikään näistä ei aiheuttanut vaaraa kansalaisten terveydelle tai turvallisuudelle.

Ydinvoimalaitoksilla sattuvat tapahtumat on tässä yhteydessä jaettu kuuteen eri luokkaan turvallisuusmerkityksensä perusteella. Tapahtumien perusjaottelu pohjautuu siihen, onko vikaantumisen tms. ilmennyt laitteessa, jolla on merkitystä vain laitoksen käytölle (luokat 1 ja 2) vai laitteessa, jonka vikaantuminen voi aiheuttaa turvallisuusteknisten käyttöehtojen perusteella laitokselle käyttörajoituksia (luokat 3 ja 4). Eriasteisia onnettomuustilanteita varten (esimerkiksi primaari-piiriin kuuluvan putken murtuma) on lisäksi olemassa luokat 5 ja 6. Tapahtumien tarkempi luokittelu on esitetty seuraavassa luettelossa.

luokka 1, vika sellaisessa laitteessa tai järjestelmässä, joka ei ole välttämätön laitoksen käytölle tai turvajärjestelmien toiminnalle (ei sisälly tapahtumalistaan)

- luokka 2, vika sellaisessa laitteessa tai järjestelmässä, joka on välttämätön laitoksen käytölle, mutta ei turvajärjestelmien toiminnalle (ei sisälly tapahtumalistaan).
- luokka 3, vika laitteessa tai järjestelmässä, joka toimintakuntoisen redundanttisen laitteen tai järjestelmän tai sallitun korjausajan takia ei aiheuta alasajoa turvallisuusteknisten käyttöehtojen perusteella.
- luokka 4, vika laitteessa tai järjestelmässä, joka turvallisuusteknisten käyttöehtojen perusteella vaatii alasajon (Tähän luokkaan kuuluvat reaktorin pikasulut ovat erikseen omassa luettelossaan).
- luokka 5, primaaripiirin pienen putken ($d < 50$ mm) halkeama tai murtuma suojarakennuksen sisällä. PWR:ssä myös sekundaaripuolen putket suojarakennuksen sisällä.
- luokka 6, muu vielä huomattavampi tapahtuma.

Taulukoissa 1...4 on esitetty yhteenvetoja tapahtumista. Turvallisuuteen liittyvistä 12 tapahtumasta (taulukko 1)

- 9 on sellaista, ettei tilanteen korjaamiseksi tarvittu turvallisuusteknisten käyttöehtojen perusteella reaktorin pikasulkua tai alasajoa (luokka 3)
- 3 johti reaktorin sammuttamiseen turvallisuusteknisten käyttöehtojen perusteella (luokka 4)
- yhtään tapausta ei kuulu luokkiin 5 tai 6.

Taulukosta 2 ilmenee tapahtumien jakaantuminen eri järjestelmien kesken. Reaktorin apujärjestelmissä ja instrumentointijärjestelmissä esiintyi eniten turvallisuuteen vaikuttavia tapahtumia. Taulukossa 3 on esitetty tapahtumien jaottelu laiteluokittain. Säättö- ja sähkölaitteet vikaantuivat useimmin. Taulukossa 4 on esitetty vikaantumisten syyt. Useimmin syinä ovat olleet häiriö- tai virhesignaalit tai muut sähköiset viat.

Varsinaisten vikojen lisäksi laitoksella ilmeni 6 kertaa turvallisuusteknisten käyttöehtojen mukaisten koestusten ja tarkastusten laiminlyöntejä. Näitä tapauksia ei ole kuitenkaan taulukoissa otettu huomioon.

Taulukko 1

Turvallisuuteen liittyvät tapahtumat vuonna 1977 tapahtumaluokittain

Laitos	Luokka				Yhteensä
	3	4	5	6	
Lo 1	9	3	-	-	12

Taulukko 2

Turvallisuuteen liittyvät tapahtumat vuonna 1977 järjestelmäluokittain

	Lo 1
Alue, rakennukset	-
Reaktori	-
Reaktorin apujärjestelmät	4
Turbogeneraattorilaitos	2
Instrumentointi	4
Sähkölaitteisto	2
Apujärjestelmät	-
Muut järjestelmät	-
Yhteensä	12

Taulukko 3

Turvallisuuteen liittyvät tapahtumat vuonna 1977 laiteluokittain

	Lo 1
001-Paineastia	-
002-Lämmönvaihdin, säiliö	1
003-Putki	-
004-Laippaliitos	-
005-Venttiili	4
006-Pumppu, puhallin	1
007-Moottori, generaattori	-
008-Suodatin	-
009-Säätö- tai instrumenttilaite	6
010-Kytkinkojeisto	-
011-Muuntaja	-
012-Kaapeli	-
013-Muu laite	-
Yhteensä	12

Taulukko 4

Turvallisuuteen liittyvät tapahtumat vuonna 1977 tapahtumasyiseen

	Lo 1
501-Korroosio, eroosio	-
502-Epänormaali kuluminen	1
503-Epätasapaino, väsyminen	-
504-Vesi-isku, paineisku	-
505-Lämpöliike	-
506-Ylikuormitus	2
507-Palo, räjähdys	-
508-Maasulku, oikosulku	-
509-Jännitteen menetys	1
510-Koestussignaali	1
511-Häiriö- tai virhesignaali	4
512-Epänormaali paine, lämpötila, virtaus	2
513-Muu	1
Yhteensä	12

2.3 Reaktorin pikasulut

Reaktorin pikasulku eli säätösauvojen nopea meno reaktori-sydämeen ja siitä johtuen reaktorin alikriittiseksi tuleminen voi olla seurausta joko suojausautomaatiikan toiminnasta tai käsin tehdystä pikasulusta. Ensinmainittu tapaus on käytännössä yleisempi.

Pikasulkuja tapahtui vuoden 1977 aikana kaikkiaan yhdeksän. Lisäksi suoritettiin tehonnoston koeohjelmiin liittyen neljä pikasulkukoetta. Taulukosta 5 voidaan todeta, että instrumentointivika aiheutti useimmiten pikasulun.

Taulukko 5

Reaktorin pikasulut vuonna 1977 järjestelmäluokittain

	Lo 1
Reaktori	-
Reaktorin apujärjestelmät	-
Turbogeneraattorilaitos	1
Instrumentointi	8
Sähkölaitteistot	-
Muut	-
Yhteensä	9

2.4 Säteilyturvallisuus

2.4.1 Henkilökohtaiset säteilyannokset

Henkilökohtaiset säteilyannokset jäivät tarkasteluvuonna 1977 varsin pieniksi Loviisa 1 laitoksella eikä annosrajojen ylityksiä tapahtunut. Kollektiivinen ulkoinen säteilyannos kaikkien laitoksella työskennelleiden henkilöiden osalta oli 0,43 manrem ja sisäinen säteilyannos 0,12 manrem kilpirauhasannosta. Annosmääriin sisältyy 200 henkilön annostarkkailu. Henkilön vuotuinen annosraja on 5 rem. Taulukossa 6 säteilyannokset on jaoteltu työtyypeittäin:

Taulukko 6

Loviisa 1, henkilökohtaiset säteilyannokset

	ulkoinen	sisäinen
Normaali käyttö	-	-
Rutiinihuollot	0,21 rem	-
Erikoishuollot	0,10 rem	-
Määräaikaistarkastukset	0,12 rem	0,12 rem
Jätteen käsittely	-	-
Polttoaineen käsittely	-	-
Yhteensä	0,43 rem	0,12 rem

2.4.2 Radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön ja ympäristön säteilyannokset

Radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön ovat olleet pieniä Loviisa 1 laitoksella vuoden 1977 aikana, eikä asetettuja päästörajoja ole ylitetty. Taulukossa 7 on esitetty yhteenveto päästöistä jaoteltuna ilmastointipiipun, turbiinirakennuksen katon ja jäähdytysvesikanavan kautta tapahtuneiden

Taulukko 7

Loviisa 1, radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön 1977
sekä vastaavat ohjepäästörajat

Päästöreitti	Fissio- ja akti- vointikaasut (^{87}Kr -ekv.)		Jodit (^{131}J -ekv.)		Tritium		^{14}C		Fissio- ja aktivointi- tuotteet	
	Päästö (Ci)	Ohje- päästöraja (Ci)	Päästö (Ci)	Ohje- pääs- töra- ja (Ci)	Päästö (Ci)	Ohje- pääs- töra- ja (Ci)	Päästö (ci)	Ohje- pääs- töra- ja (Ci)	Päästö (Ci)	Ohje- pääs- töra- ja (Ci)
Ilmastointipiippu	60	160000	0,001 ¹⁾	1,5	70	-	} ~1	-	-	-
Turbiinirakennuk- sen katto	< 0,001	5000	< 0,00001	0,095	< 0,04	-		-	-	-
Jäähdytysvesikanava	-	-	-	-	30	4000 ²⁾		-	< 0,1	8,0 ²⁾

1) peräisin suodatintestauksista

2) ohjepäästöraja tiukempi kuin vastaava annosraja

päästöjen kesken. Päästömäärissä esiintyy konservatiivisia ylälikiarvoja mittaustekniikasta ja pienistä päästöistä johtuen.

Ilmaan tapahtuvien tritiumpäästöjen havaitsemisraja ylitetiin lokakuussa ja loppuvuoden mittaustulosten perusteella on laskettu likiarvio koko vuoden osalle.

Päästömäärissä turbiinirakennuksen katon kautta on eniten konservatiivisuutta, koska höyrystimien vuodoille on käytetty havaitsemisrajaa, eikä sekundaaripiirin puhdistuslaitoksia ole otettu huomioon.

Päästö- ja leviämistietojen perusteella on laskettu ympäristön kriittisen ryhmän yksilölle aiheutuvat säteilyannokset sekä kollektiiviset säteilyannokset, jotka on esitetty taulukossa 8. Annokset jäävät selvästi alle ohjeannosrajojen.

Taulukko 8

Loviisa, Ympäristöannokset 0-100 km alueella
1977

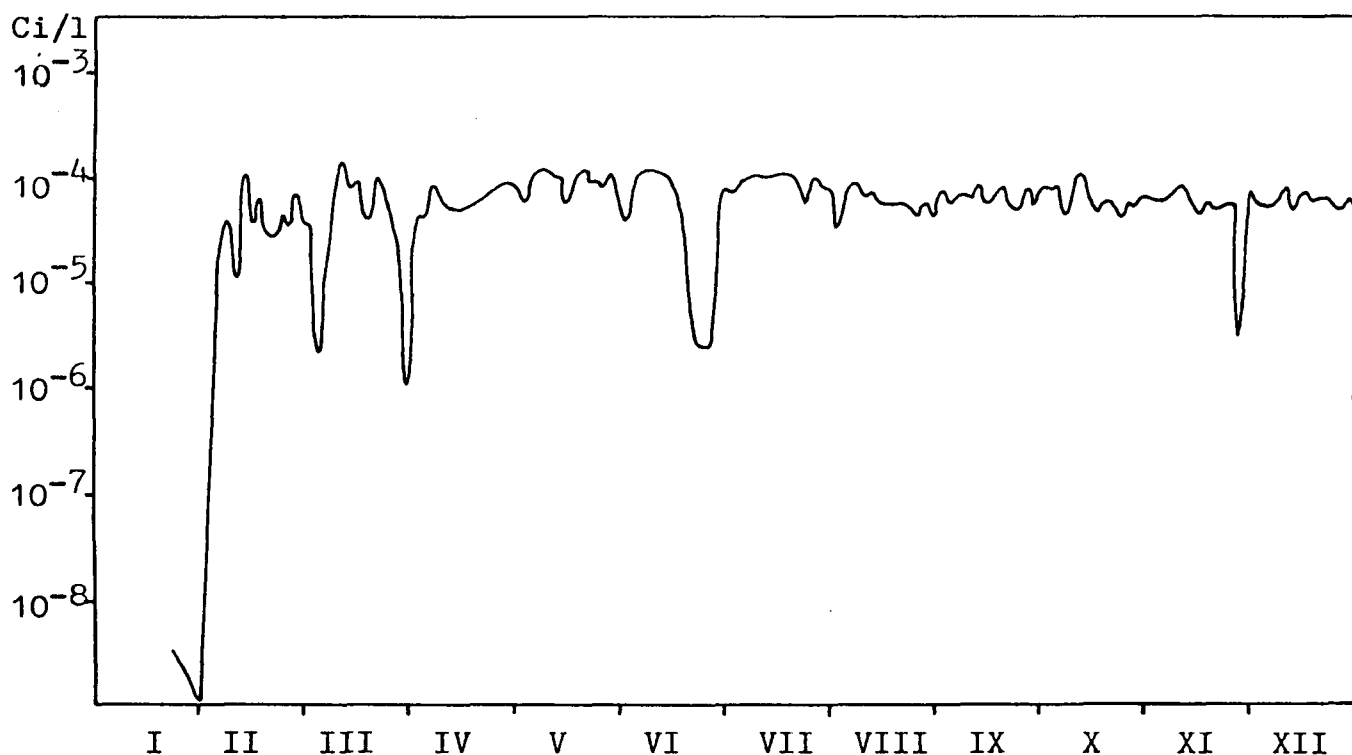
Kriittisen ryhmän yksilö	Annos (rem)	Laitospaikkakohtainen ohjeannosraja (rem/a)
Koko keho	$2 \cdot 10^{-6}$	10^{-2}
Kilpirauhanen	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Kollektiivinen annos	Annos (manrem)	Ohjeannosraja (manrem/a)
Koko keho	$6 \cdot 10^{-3}$	220
Kilpirauhanen	10^{-3}	220

2.4.3 Primaariveden kokonaisaktiivisuus

Varsinaisena perustana ympäristön säteilyturvallisuudelle on polttoaineen tiiveys, jolla on suora vaikutus primaariveden aktiivisuuteen ja sitä kautta päästöihin ja ympäristön säteilyannoksiin. Loviisa laitoksen osalta voidaan todeta, että primaariveden aktiivisuustaso on pysynyt erittäin alhaisena, kokonaisaktiivisuuden ollessa keskimäärin $10^{-5} \dots 10^{-4}$ Ci/l. Aktiivisuus muodostuu pääosin veteen lisättyjen kemikaalien aktivoitumistuotteista. Näytteenottoviive on noin 15 minuuttia, mutta sillä ei ole merkittävää vaikutusta aktiivisuustasoon. Kuvassa 1 on esitettyä Loviisa 1 laitoksen primaariveden kokonaisaktiivisuusdiagramma vuoden 1977 aikana.

Kuva 1

Loviisa 1, primaariveden kokonaisaktiivisuus 1977
(näytteenottoviive 15 minuuttia)



Asetettu kokonaisaktiivisuusraja on $8 \cdot 10^{-2}$ Ci/l

3 ALKUVUODEN 1978 KÄYTTÖKOKEMUKSIA

Alkuvuoden 1978 huomattavimmat tapahtumat olivat reaktorin tehon nostaminen tammikuussa väliaikaisesti 100 %:iin sekä vaihtolatausseisokki helmi-maaliskuussa lataus-, korjaus- ja tarkastustöineen.

Reaktorin tehon nostaminen kolmeksi päiväksi 100 %:iin kuului osana käytettävyystakuukokeisiin. Laitoksen tuottama bruttosähköteho oli 465-470 MW ja nettosähköteho 440-445 MW. Laitoksen suunnitteluarvot olivat 440 MW ja 420 MW.

Käyttöjaksona ennen latausseisokkia ei tapahtunut suunnittele mattomia reaktorin käyttökeskeytyksiä eikä sähköntuotannon keskeytyksiä. Yksi reaktorin pikasulku tapahtui kuitenkin reaktorin ollessa alikriittisenä ja latausseisokin jälkeisten fysikaalisten kokeiden yhteydessä suoritettiin reaktorin pikasulkukoe. Sähköntuotannon keskeytys valtakunnan verkkoon tapahtui kerran kokeiltaessa laitoksen siirtymistä omakäyttöteholle..

Ydinteknisen turvallisuuden kannalta vakavimmat tapaukset kolmen käyttökuukauden aikana olivat suojarakennuksen eristysventtiilien suuri vuoto, höyrystimen varoventtiilin virheelinen avautuminen ja siitä seuranneet lämpötilatransientit, varoventtiilien puutteellinen toiminta koestusten yhteydessä yleensä, eräiden ruuvien ja ruuvin osien irtoaminen pääkiertopumpuista, latauksen aikaisen neutronivuomittauslaitteiston viat sekä säätösauvavaikkeudet.

Vaihtolatausseisokki tapahtui 15.2.-29.3. välisenä aikana. Sen kesto 42 vuorokautta ylitti 12 vuorokaudella suunnitellun. Varsinainen polttoaineen lataus tapahtui yhdeksässä vuorokaudessa. Latausseisokista aiheutunut säteilyannos oli noin 100 manrem, mikä vastaa muissa painevesilaitoksissa latausseisokin aikana saatuja kokonaissäteilyannoksia. Annosta voidaan pitää merkittävänä, kun otetaan huomioon primariipiirin varsin alhainen aktiivisuustaso. Ulkopuolista työvoimaa laitoksella oli yli 1100 henkilöä.

Tärkeimmät ja samalla suurimmat korjaus- ja muutostyöt ajoittuivat Loviisa 1 laitoksella luonnollisesti vaihtolatausseisokkiin. Paineistimen tukirakennetta muutettiin. STL antoi rakenteelle toistaiseksi ehdollisen käyttöluvan, koska paineistimen pohjan ja tukirakenteen välisen hitsin eräiden alimittaisuuksien vaikutusta vielä tutkitaan. Paineistimen tuen muutostyö oli seisokin pisin yhtämittainen työ kestäen 30 vuorokautta.

Pääkiertopumppujen aukaisut ja korjaukset kestivät myös lähes yhtä pitkän ajan. Korjausaikaa pidensi huomattavasti pumpuista irronneitten ja katkenneitten ruuvien aiheuttamat toimenpiteet.

Näiden lisäksi huomattavia ja pitkään kestäneitä töitä olivat putkikäyrien ja venttiilien vaihdot primaaripiirin puhdistusjärjestelmässä, lisävesi- ja vuotojenkeruujärjestelmässä sekä paineistimen ruiskutuslinjoissa. Reaktorin välijäähdytyspiirissä suoritettiin joitain putkistomuutoksia ja sivumerivesipiirissä siirryttiin monissa paikoin muoviputkien käyttöön korroosiovaikutusten vähentämiseksi.

Seisokin aikana suoritettiin myös paineastioiden määräaikaistarkastuksia, tärkeitä järjestelmäkokeita sekä vuosikoestuksia ja tarkastuksia. Mittavin koe oli reaktorin suojarakennuksen tiiveyskoe, jossa saatiin hyväksyttävät tulokset.

Suurimman ongelmakentän aiheuttivat venttiilit. Varoventtiilikokeita suoritettiin noin 40 venttiilille, joista usean toiminnassa esiintyi puutteellisuuksia. Puutteellisuudet keskittyivät erityisesti höyrystimien varoventtiilien osalla. Toisen vaikean ongelman muodostivat prosessiventtiilien tiiveyskokeet vaikean koestettavuuden johdosta.

Sähkö- ja instrumentointijärjestelmien osalta huomattavimpia koestuksia olivat dieseliin, kytkinlaitosten sekä reaktori- ja laitossuojausjärjestelmien vuosikoestukset.

Yleisen prosessitekniikan hankaluuden aiheutti jälkilämmön poisto reaktorista. Koska Loviisa 1 laitoksella jälkilämmönpoisto tapahtuu sekundaaripiiristä, oli vaadittavan kahden primaari-sekundaaripiirin käytössäpitäminen mutkasta, erikoisesti kun kaikki kiertopiirit olivat vuorotellen pois käytöstä korjaus- ja huoltotöiden takia.

NEUVOSTOLIITTOILAISTEN YDINALAN ASIAANTUNTIJOIDEN VIERAILU
SUOMESSA

Suomen Atomiteknillinen Seura kutsui vieraakseen Suomalais-Neuvostoliittolaisen tieteellis-teknillisen yhteistoimintakomitean kautta neuvostoliittolaisia ydinalan asiantuntijoita esitelmöimään alan uusimmista saavutuksista Neuvostoliitossa. Vieraina olivat

SNTL:n energetiikan ja sähköistämisen ministeriön
(Minenergo) varaministeri F.J. Ovtshinnikov

Kurtsatoville nimetyn atomienergiainstituutin
(Glavatom) professori V.A. Sidorenko

Energiaministeriön alaisen koneenrakennuksen tutkimus-
instituutin vt. pääjohtaja A.N. Ovsejenko.

Seuraavassa esitetään vieraiden Suomessa 17-24.5.1978 eri yhteyksissä pitämät esitelmät.

YDINENERGIAN KEHITYSNÄKYMIÄ

F. J. Ovtsinnikov

Haluan tutustuttaa teidät Neuvostoliiton voimatalouden nykytilaan ja kehitysnäkyymiin, ydinvoima mukaan lukien.

Voimatalous kokonaisuutena ja sen tärkein osa sähköenergetiikka luovat perustan kaikkien maiden talouselämän kehitykselle.

Lokakuun Suurta Sosialistista Vallankumousta seuranneena 60 vuotena maamme on muuttunut kehittyneeksi teollisuusvaltioksi. Tuotettavan energian kokonaismäärän suhteen Neuvostoliitto on tällä hetkellä toisella sijalla maailmassa USA:n jälkeen.

Maamme voimalaitosten nimellisteho on 240 milj. kW ja sähköenergian tuotto v. 1977 saavutti 1152 mrd. kWh. Nimellisen sähkötehon vuotuinen kasvu on viime vuosina ollut 13-14 milj. kW ja saavuttaa lähitulevaisuudessa 20 milj. kW.

Maamme orgaanisen polttoaineen varannot ovat valtavat (lähes 55 % maailman varannoista) ja vesivoimavarat huomattavan suuret (yli 10 % maailman voimavaroista). Kuitenkin yli 80 % näistä voimavaroista sijaitsee maan itäosissa, kun taas Euroopan puoleisessa osassa ja Uralilla asuu yli 75 % väestöstä ja käyttää 80 % kokonaisenergiasta. Tämä edellyttää jo nyt valtavia polttoaine- ja energiavirtoja maan itäosista Euroopan puoleiseen osaan, toisin sanoen 2000-4000 km etäisyydelle. Tällä hetkellä noin 40 % maan tavarankuljetuksista muodostuu polttoainekuljetuksista.

Maamme polttoaine- ja voimatalousvarannon kehitykseen suunnattujen eri vaihtoehtojen tarkastelu osoittaa, että on olemassa kaksi mahdollisuutta, joiden avulla voidaan ratkaista niin SNTL:n Euroopan puoleisen osan kuin myös koko maan energia-

huolto-ongelmat. Nämä mahdollisuudet ovat ydinvoimatalouden intensiivinen kehitys maan Euroopan puoleisessa osassa sekä lämpövoimalaitosten rakentaminen SNTL:n Aasian puoleisen osan hiiliesiintymien läheisyyteen. Vertailevat laskut ovat osoittaneet, että suurten sähköenergiämäärien siirto kaukosiirtojohtoja pitkin tällä hiilellä toimivilta voimalaitoksilta on taloudellisempaa kuin kiinteän polttoaineen kuljettaminen maan Euroopan puoleisiin osiin sähköntuotantoa varten.

Tällöin otetaan huomioon myös se, etteivät ydinvoimalaitokset ole ainoastaan lämpövoimalaitoksia taloudellisempia, vaan myös "puhtaampia", sillä miljoonien hiilitonnien tai muun orgaanisen polttoaineen polttaminen saastuttaa huomattavasti ilmatilaa. Tänä päivänä ei tätä ongelmaa ole lopullisesti ratkaistu missään. Vuosittain lämpövoimalaitokset päästävät ilmakehään satoja miljoonia tonneja hiiltä ja kymmeniä miljoonia tonneja rikki-dioksidia.

Tänä päivänä SNTL:n voimatalouden perustana ovat lämpövoimalaitokset, jotka tuottavat lähes 80 % kaikesta nimellisestä tehosta. Nykyaikaisten lauhdelaitosten kehitykseen liittyy höyryn alkuparametrien oleellinen nostaminen ja samanaikaisesti tapahtuva laitteiston yksikkötehojen lisääminen sekä laitoksen yksikkösuunnitteluperiaatteen hyväksikäyttäminen. Vuoden 1977 lopussa oli käytössä 375 yksikköä, joiden teho oli 150 MW ja yli ja joilla tuotettiin puolet kaikesta lämpövoimalaitoksien kehittämästä sähköenergiasta.

Uralilla sijaitsevilla Nazarovskin, Reftinskin ja Troitskin voimalaitoksilla toimivat polttoaineenaan lämpöarvoltaan matalaa hiiltä käyttävät 500 MW yksiköt, kun taas Ukrainassa sijaitsevat Slavjanskin, Uglegorskin ja Zaporozhjen 800 MW yksiköt käyttävät polttoaineenaan kaasumaista masuttia.

SNTL:ssä ollaan kehittämässä polttoaineenaan kaasumaista masuttia käyttävää 1200 MW yksikköä, jollainen on jo rakenteilla Kostroman laitoksella.

Suunnitteilla on polttoaineenaan kaasumaista masuttia käyttävien 500, 800 ja 1200 MW yksiköiden sarjatuotanto erityisesti niille alueille, joilla orgaanisen polttoaineen määrä on suuri. Näinollen Kazahian Sosialistisen Neuvostotasavallan Ekibastuzin hiiliesiintymän alueelle rakennetaan viisi 4 milj. kW voimalaitosta, joiden yksikköteho on 500 MW. Itä-Siperian Kansko-Atsinskin hiiliesiintymille suunnitellaan kymmenen 6,4 milj. kW voimalaitoksen rakentamista. Tjumenin alueen hiili- ja öljyesiintymille rakennetaan suuria voimalaitoksia ja Surgutskin vesivoimalaitos - 3:lle rakennetaan 1,2 milj. kW yksiköt.

Neuvostoliiton voimatalouden kehityksessä kaukolämmityksellä on erittäin tärkeä merkitys. SNTL:n kaukolämpöverkosto on johtavassa asemassa muihin maihin nähden. Kaukolämpökoneiden nimellisteho maassamme on lähes 35 % lämpövoimalaitosten tehosta. Uusien tehojen käyttöönotto lämpövoimalaitoksilla tapahtuu pääasiallisesti höyryn kriittisillä ja ylikriittisillä parametreilla (130 ja 240 kg/cm²) toimivien laitteiden ansiosta. Viime vuosina on ryhdytty sarjatuotantona valmistamaan ja käyttämään 250 MW suuritehoisia kaukolämpöturpiineja, joita asennetaan mm. Moskovan, Kievin ym. kaupunkien lämpökeskuksiin. Turpiinimme T-250-240 on tällä hetkellä ainoa maailmassa höyryn ylikriittisillä parametreilla toimiva kaukolämpöturpiini.

Tällä hetkellä pidämme ajankohtaisena kysymyksenä suurten kaupunkien kaukolämmityksen toteuttamista ydinkäyttöisten lämpövoimalaitosten ja kattilalaitosten avulla.

Ydinvoimatalous on jo lujittanut asemansa monien maiden kansantaloudessa. Jatkuvasti otetaan käyttöön uusia ydinvoimalaitoksia ja niiden tuottaman sähköenergian määrä kasvaa.

Maailman ensimmäistä Obninskiin rakennettua (1954) ydinvoimalaitosta seurasi sähköteholtaan 600 MW Siperian YVL:n käyttöönotto v. 1958, ja v. 1964 Novovoronezhin ja Belojarskin ensimmäiset yksiköt. V. 1977 oli Neuvostoliitossa eri rakennusvai-

heessa 17 ydinvoimalaitosta, joiden suunniteltu teho ylitti 58 milj. kW.

Novovoronezhin YVL:n teho on saavuttanut 1455 MW. Leningradin YVL:lla on otettu käyttöön kaksi 1000 MW yksikköä, Kurskin ja Tsernobylskin YVL:lla niinkään "tonniset", kaksi 440 MW yksikköä Kuolan YVL:lla ja yksi Armenian YVL:lla. Nopealla reaktorilla varustettu 350 MW Tshevtsekon YVL on käynyt hyvällä menestyksellä. Mielenkiinnolla voidaan seurata napapiirin takaisen Bilibinskin YVL:n toimintaa; laitoksella on neljä yhteisteholtaan 48 MW vesigrafiittireaktoria ja kaukolämpöturpiinia. Käytössä olevien ydinvoimalaitosten nimellisteho ylitti v. 1977 loppuun mennessä 8,0 milj. kW, mikä oli 3 % SNTL:n kaikkien voimalaitosten tuottamasta tehosta. Vuoteen 1980 mennessä ydinvoimalaitosten osuus koko maahan nähden nousee 6 % ja Euroopan puoleiseen osaan nähden 10 %. Ydinvoimalaitosten käyttökokemus on vahvistanut ko. laitosten korkeat käytettävyyssluvut niin luotettavuuden, turvallisuuden kuin myös taloudellisuuden kannalta. Tämän voisin esittää Novovoronezhin YVL:ta esimerkkinä käyttäen.

Novovoronezhin YVL:n käytöstä saadut tekniset ja taloudelliset arvot vv. 1971-1977

tunnusluku	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	yhteensä
nimellisteho, MW	1015	1455	1455	1455	1455	1455	1455	
energiantuotanto, mrd. kWh	2027	5413,4	367,44	9664	9138,2	9750	10080	49747
nimellistehon käyttökerroin, %	42	61	68	76	71,6	76	79	
sähköenergian omakustannushinta, kop./kWh	0,948	0,81	0,75	0,644	0,642	0,63	0,63	

Tästä taulukosta nähdään, että neljän reaktorin nimellisen sähkötehon ollessa 1455 MW sähköenergian tuotto v. 1977 ylitti 10 mrd. kWh. Tällöin nimellistehon käyttökerroin oli 0,79, mikä vastaa lähes 7000 käyttötuntia nimellisteholla.

Sähköenergian omakustannushinta oli 0,63 kop./kWh. Nämä luvut ovat huomattavasti paremmat kuin kiinteää polttoainetta käytävillä lämpövoimalaitoksilla.

Laitosalueella ja 40 km säteellä järjestelmällisesti suoritettavat radioaktiivisuusmittaukset osoittavat, ettei laitoksen toiminta vaikuta radioaktiivisten alkuaineiden pitoisuuteen ilmassa, maaperässä ja vesistöissä.

Korkeat luotettavuus- ja taloudellisuusluvut on myös Leningradin YVL:lla, jolla toimii kaksi RBMK-reaktorilla varustettua 1,0 milj. kW yksikköä. Nämä ovat grafiittimoderoituja paineputki-reaktoreja. Sähköenergian tuotto tällä laitoksella oli v. 1977 12,5 mrd. kWh huolimatta edelleen jatkuvasta käyttöönottojak-sosta ja energian omakustannushinta alhaisempi kuin tämän seudun lämpövoimalaitoksilla. Tällä laitoksella on otettu käyttöön polttoaineen vaihtoprosessi reaktoria pysäyttämättä, mikä oleellisesti nostaa taloudellisuuslukuja. Kuluvana viisivuotiskautena ts. vv. 1976-80 SNTL:n ydinvoimalatous kehittyi huomattavasti. Kun uusia laitoksia otetaan käyttöön 67-70 milj. kW, on niistä ydinvoimalaitosten osuus 13-15 milj. kW. Sitä paitsi kuten jo aikaisemmin mainitsin ydinvoimalaitoksia rakennetaan ainoastaan SNTL:n Euroopan puoleiseen osaan.

SNTL:ssa rakennetaan kahdentyyppisiä termisiä tehoreaktoreja, nimittäin VVER-tyyppisiä painevesireaktoreja ja RBMK-tyyppisiä grafiittimoderoituja paineputkireaktoreja (suurikokoinen, kanava-tyyppinen reaktori). Kahden erityyppisen reaktorin käyttö antaa mahdollisuuden hankkia kokemusta laajassa mittakaavassa sekä löytää kummankin tyyppin tekniset ja taloudelliset etuisuudet ja puutteet. Tämän lisäksi näiden reaktorien huomattavat raken-

teelliset erot antavat usealle koneenrakennustehtaalle mahdollisuuden valmistaa laitteistoa.

Ydinvoimataloudessa kuten myös konventionaalisessa voimataloudessa laitteiston teknisen kehittämisen perussuuntauksena on yksikkötehon nostaminen ja laitteiden lukumäärän supistaminen.

Näinollen 440 MW-tehoisten, VVR (PWR)-tyyppisten reaktorien sijaan on ryhdytty rakentamaan samantyyppisiä, mutta yksikköteholtaan 1000 MW reaktoreja. Tämän reaktorisarjan ensimmäinen yksikkö on rakenteilla Novovoronezhin YVL:lla.

SNTL:ssa on rakenteilla joukko RBMK-tyyppisillä reaktoreilla varustettuja 1000 MW laitoksia. Samanaikaisesti on laadittu suunnitelma ja aloitettu rakennustyöt uuden 1,5 milj. kW tehoinen, RBMK-1500 reaktoreilla varustetun ydinvoimalaitoksen perustamiseksi Liettuan Sosialistiseen Neuvostotasavaltaan.

Kun ydinvoimalaitosten osuus energiajärjestelmissä kasvaa, on tulevaisuudessa odotettavissa tehonsäätöongelman syntyminen energiajärjestelmässä. Me pidämme mahdollisena käyttää ydinvoimalaitoksia osittain vaihtokuormitustiloissa tietenkin ottaen huomioon ydinpolttoaineen käytön taloudellisuuden ja oletuksen polttoainesauvojen ennenaikaisesta vikaantumattomuudesta. Lisäksi on suunnitteilla ydin- ja vesivoimalaitosten laaja yhteiskäyttö pumppulaitokset mukaanluettuina tarkoituksena kattaa kuormituskäyrissä esiintyvät huiput. Tällaisen voimalaitoksen rakentaminen on suunnitteilla esimerkiksi Etelä-Ukrainan ydinvoimalaitoksen energeettisen kokonaisuuden yhteyteen.

Suurten lauhdelaitosten laajamittaisen kehityksen rinnalla maassamme suunnitellaan ydinkäyttöisten lämpövoimalaitosten ja kattilalaitosten rakentamista. Tietenkin ydinpolttoaineella toimivan keskitetyn kaukolämmönhuollon käyttö vaatii sen luotettavuuden sekä säteily- ja ydinturvallisuuden varmistavaa käytännön kokemusta. Neuvostoliitolla on kokemusta tällaisten laitosten käytöstä.

Pohjoisessa sijaitsevalla Bilibinon YVL:lla väliottohöyry syötetään neljältä sähköä tuottavalta turpiinilta lämmönvaihtimiin. Tällä tavalla hoidetaan voimalaitoksen eri rakennusten ja Bilibinon kylän lämmitys.

Kazahian Neuvostotasavallassa sijaitsevassa Shevtsenkon kaupungissa toimii nopealla reaktorilla (BH-350) varustettu YVL. Tämä laitos on rakennettu Kaspian meren rannalle, missä ei ole makean veden lähteitä, joten laitosta ei käytetä ainoastaan sähköenergian tuottamiseen. Osa laitoksen kehittämästä höyrystä (120 000 m³/vrk) käytetään suolaisen veden makeuttamiseen. Näinollen Shevtsenkon YVL:lla on kolme tarkoitusta: sähköenergian tuotto, meriveden makeuttaminen ja ydinpolttoaineen tuottaminen. Mielestämme nopeiden reaktorien kehittäminen on tärkein tavoite tulevaisuudessa. Tällä hetkellä Neuvostoliitossa on rakenteilla edellisiä täydellisempi nopealla reaktorilla varustettu Belojarsskin 600 MW laitos.

Svetsenkon kaupungin ja Belojarsskin ydinvoimalaitosten käyttöönotto antaa kokemusta natrium-järjestelmien käytöstä. Saadun kokemuksen perusteella voidaan kartoittaa nopeilla reaktoreilla varustettujen ydinvoimalaitosten rakennusohjelma tulevaisuudessa.

Tällaiselta näyttävät SNTL:n ydinvoimalatalouden kehitysnäkymät.

Vesivoimalatalouden kehitys maassamme tapahtuu kokonaisvaltaiseen porrastusperiaatteeseen perustuen. Tämä mahdollistaa vesivoimavarojen entistä tehokkaamman käytön ja ratkaisee monia kansantalouden ongelmia. Tähän päivään mennessä on porrastusperiaatteella padottu ja padotaan 25 jokea, joiden varsille on rakennettu 140 vesivoimalaitosta. Vesivoimalaitosten nimellinen kokonaisteho on lähes 90 milj. kW. Esimerkiksi Dneprilla on otettu käyttöön tämän porrastuksen kaikki kuusi vesivoimalaitosta, joiden kokonaisteho kohoaa 3,6 milj. kW. Volgan voimalaitosporrastus tulee käsittämään kahdeksan laitosta kokonaisteholtaan 8,6 milj. kW. Siperiassa Angaran ja Jenisein porras-

tukselle rakennetaan suuria vesivoimalaitoksia. Tämän porrastuksen valmistuttua sen vesivoimalaitosten nimellisteho saavuttaa 44 milj. kW monivuotisen keskituotannon ollessa 160 mrd kWh. Tämän porrastuksen voimalaitoksiin kuuluvat jo toiminnassa oleva Krasnojarskin 6,0 milj. kW tehoinen laitos sekä rakenteilla oleva Sajano-Shushenskin laitos, jolle asennetaan kymmenen 640 MW turpiinia.

Suurimmassa osassa maamme asutettua aluetta on käytössä yhtenäinen voimatalousjärjestelmä. Se kattaa lähes 7 milj. km² ja 200 milj. as. Tähän järjestelmään kuuluvien voimalaitosten teho on kohonnut 167 milj. kW tai 70 % nimellisestä kokonais-tehosta.

SNTL:n voimatalousjärjestelmällä on monia teknisiä ja taloudellisia etuisuuksia. Jo pelkästään käyttämällä sähkökuormitus-huippujen aikarajitusta koko maan pituudelta (11000 km, joka muodostuu seitsemästä aikavyöhykkeestä) säästetään yli 4,0 milj. kW. Voimatalousjärjestelmän edelleen kehittyessä säästetään tehoa lähivuosina 20-25 milj. kW.

Voimatalousjärjestelmän toteutus tapahtuu rakentamalla erityisiä korkeajännitejohtoja. Tällä hetkellä 500-330 kV linjojen kokonaispituus on lähes 45000 km. Donbassin ja Länsi-Ukrainan välille on rakennettu 1100 km pituinen 750 kV sähkönsiirtoyhteys.

Kuluvana viisivuotiskautena tämä siirtoyhteys ulotetaan Altbertirshin kaupunkiin Unkarissa ja tällä tavoin lujitetaan SNTL:n voimatalousjärjestelmän ja SEV:in jäsenmaiden yhdistettyjen voimatalousjärjestelmien välistä yhteyttä.

V. 1975 rakennettiin vielä yksi 525 km pituinen, 750 kV sähkönsiirtoyhteys Konakovon vesivoimalaitoksen (lähellä Moskovaa) ja Leningradin välille.

Rakenteilla on myös kokeellinen 1150 kV sähkönsiirtoyhteys

Itä-Novokuznetsk (Siperia), joka on ensimmäinen lenkki päälinjaa Siperia-Pohjois-Kazahstan-Ural-Euroopan puoleinen osa.

On ryhdytty 2414 km pituisen, 1500 kV tasavirtayhteyden Ekibastuz-SNTL:n keskiosa valmistelutöihin. Tämän johdon tekniset arvot tulevat olemaan lähtöperustana niille tutkimuksille ja kokeille, joiden tarkoituksena on kehittää kapasiteetiltaan 40 milj. kW 2200-2500 kV tasavirtayhteys Siperian ja maan Euroopan puoleisen osan välille.

Näinollen Neuvostoliiton voimatalouden pääsuuntaukset lähitulevaisuudessa voidaan kiteyttää seuraavaan muotoon.

1

Hiiltä polttoaineenaan käyttävien 4-6 milj. kW ja yksikkötehoaan 500000, 800000 ja 1200000 kW lämpövoimalaitosten rakentaminen SNTL:n Aasian puoleiseen osaan.

2

Sarjatuotantona valmistettavista yhdentyypisistä 1,0 ja 1,5 milj. kW tehoisista yksiköistä koostuvien ydinvoimalaitosten rakentaminen SNTL:n Euroopan puoleiseen osaan.

3

Suurten vesivoimalaitoskokonaisuuksien rakentaminen ratkaisemaan kansantalouden kehitysongelmia.

4

SNTL:n yhtenäisen voimatalousjärjestelmän edelleen kehittäminen liittämällä siihen Siperian ja Keski-Aasian enrgiajärjestelmät sekä rakentamalla 500, 750 ja 1150 kV siirtolinjoja.

Lopuksi haluaisin tähdentää, että voimatalouden ongelmilla on tänä päivänä hyvin ajankohtainen merkitys koko ihmiskunnalle. Tässä yhteydessä voisi erityistä mielihyvää tuntien todeta maittemme välisen hedelmällisen yhteistyön ydinvoimatalouden alalla.

PAINEVESIREAKTORIT NEUVOSTOLIITON YDINVOIMATALOUDESSA

V. Sidorenko

Yksi pääsuuntauksista Neuvostoliiton ydinenergiatalouden lähivuosien kehityksessä on painevesireaktori (PWR). Voimatalouden uuden suuntauksen merkityksellisyyden on perustuttava ennen kaikkea sen taloudellisuuteen. Muita erittäin tärkeitä vaatimuksia, jotka esitetään ydinvoimalaitokselle energialähteenä ovat turvallisuus ja luotettavuus. On kuitenkin ilmeistä, että vaadittavan turvallisuus- ja luotettavuustason saavuttaminen ilmenee lopulta myös yvl:n taloudellisissa indekseissä. Ensimmäiset kotimaiset painevesireaktorit ovat osoittaneet oikeiksi niihin sisältyvät tieteelliset ja tekniset perusteet sekä niiden suunnittelun toteutuksen.

Palautan mieleen kevytvesihidastetta käyttävän reaktorin tärkeimmät fyysiset erikoispiirteet.

Veden suuri tehokkuus neutronien hidastajana sekä pieni ero hidastusvälineissä polttoainehilassa ja puhtaassa vedessä, mikä johtuu kimmottoman hidastuksen oleellisesta osuudesta uraanilla, ovat antaneet mahdollisuuden käyttää poikkeuksellisen kompaktia polttoainehilerakennetta ja saada reaktoriin suuri teho aktiivisydämen ollessa kuitenkin pienikokoinen.

Ahtaat polttoainehilat saavat aikaan huomattavan poikittaisvaikutuksen nopeiden neutronien aiheuttamassa fissiossa.

Aktiivisydämen kompakti rakenne, johon on käytetty minimimäärä rakennusaineita, antaa mahdollisuuden saavuttaa verrattain hyvä lämpöneutronien käyttö.

Nämä ominaisuudet mahdollistavat sen, että saadaan tarpeelliset polttoainehilan neutronien fissiokertoimet resonanssikaappauksen ollessa melko korkea uraani-238:ssa. Neutronispektri käy-

tettävissä ahtaissa hiloissa osoittautuu verrattain jäykäksi; fissio- ja absorptioprosessit energioiden epitermisellä alueella saavat oleellisen merkityksen. Tällä tavoin turvataan plutoniumin kerääntymisen suuri nopeus ja sen oleellinen osuus energian tuotossa polttoaineen palamasyvyyden ollessa suuri.

Sintratun uraanidioksidin valinta polttoaineeksi on osoittautunut merkitykselliseksi kahdessa suhteessa. Tämä ydinpolttoainelaatu ei huuhtoudu reaktorin jäähdyteveteen ja takaa tästä syystä parhaat säteilyolosuhteet ja primääripiirin pienimmän saastumisen, jos polttoainesauvat rikkoutuvat. Uraanidioksidisten polttoainesauvojen toinen hyödyllinen ominaisuus on se, että ne säilyttävät toimintakykynsä melko syvissä palamissa, mikä taas edistää näiden reaktorien polttoainesyklin parantamista edelleen. On kuitenkin huomattava, että uraanidioksidin käyttö halkeavana aineena ei ole paras vaihtoehto polttoainesyklin fysiikan kannalta, ja aluksi sitä pidettiin kompromissina, joka täytti osittain fysiikan ja tekniikan vaatimukset. Siirtyminen tulevaisuudessa, sitä mukaa kun ydinpolttoaineteknologia kehittyy, tiiviimpiin metalliuraanipohjaisiin koostumuksiin avaa uusia mahdollisuuksia parantaa edelleen polttoainesyklin taloudellisia ominaisuuksia.

Reaktorisydämen päärakennusaineena on käytetty erityisesti tätä tarkoitusta varten kehitettyä zirkoniumseosta, mikä on turvannut reaktorin jäähdytteen melko korkeat parametrit ja lämpötehosyklin tyydyttävän termodynaamisen tehokkuuden. Samanaikaisesti on onnistuttu säilyttämään melko suotuisa neutronitasapaino reaktorisydämessä.

Painevesireaktorien käyttäminen ydinvoimalaitoksissa on johtanut siihen, että voimataloudessa on otettu käyttöön kyllästetyllä höyryllä toimivat turbogeneraattorit. Tällainen ratkaisu on osoittautunut periaatteellisen tärkeäksi, koska sen avulla ydinvoimalaitoksilla on saatu toteutetuksi melko tyydyttävä syklin hyötysuhde (27...34 %) reaktorin jäähdytteen lämpötilan ollessa rajoitettu (300...350 °C).

Ratkaisevina tekijöinä, jotka määräisivät ensimmäisen painevesitehoreaktorin (Novovoroneshin yvl:n I yksikön reaktorin) tehon - 210 MW (sähköä), olivat reaktorin paineastian mitat (ulkoläpimitta 3,8 m, pituus n. 12 m), jotka ovat käytännössä äärimittoja, joihin vaikuttavat tehdasvalmistuksen ja valmiin tuotteen rautatiekuljetuksen asettamat ehdot. Vaatimus reaktorin ja PWR-laitoksen muiden laitteiden rautatiekuljetuksista määrää edelleenkin tämän suuntauksen kehitystä ja sen teknisten ominaisuuksien parantamista. Reaktorin paineastiaan on käytetty erittäin lujaa matalasekotteista terästä, joka turvaa sen mahdollisimman pienet ulkomitat ja painon.

Novovoroneshin yvl:n I yksikkö otettiin käyttöön syyskuussa 1964 (käynnistysvuotenaan tämä yksikkö oli maailman suurin ydinvoimalaitos).

Painevesireaktoriensa kehityksen seuraava laatuaste (toinen sukupolvi) on reaktorilaitos VVER-440. Se on pohjana ensimmäiselle suurelle ydinvoimalaitossarjalle, koska tyydyttävät taloudelliset indeksit ovat tehneet näistä laitoksista täysin kilpailukykyisiä tavallista polttoainetta käyttävien laitosten kanssa käytännöllisesti katsoen kaikilla Neuvostoliiton euroopanpuoleisen osan alueilla. Näitä reaktoreja käytetään laajalti myös joissakin muissa maissa.

Kolmas sukupolvi on reaktori VVER-1000, jota rakennetaan Novovoroneshin ydinvoimalaitoksen viidenneksi yksiköksi ja joka on uuden sarjan ensimmäinen.

Väliasemassa ensimmäisen ja toisen sukupolven välillä on Novovoroneshin yvl:n toisen yksikön reaktorilaitos VVER-365. Siinä sovellettiin kaikkia tärkeimpiä aktiivisyyden parannuksia, jotka oli kehitetty keskitehoiselle sarjatuotantoreaktorille ja joita sittemmin käytettiin VVER-440:ssa. Jotta näiden ratkaisujen kokeileminen käytännössä ei olisi viivästynyt, ydinvoimalaitos ja reaktorilaitos täydennettiin pääasiassa laitteilla,

jotka oli suunniteltu ensimmäistä yksikköä varten ja mitoitettu käytännöllisesti katsoen samoille parametreille.

Näiden kolmen ydinvoimalaitossukupolven tärkeimpiä ominaisuuksia on verrattu alempana taulukossa 1.

Painevesireaktoriin kehityksen tärkein tekijä on voimalaitosyksikön yksittäistehon suurentaminen. Kuvassa 1 on kaaviomaisesti esitetty painevesireaktoriin tehosarja.

Yksittäisteholtaan suurempien painevesireaktoriin kehitys on läpikäynyt kaksi toisiaan seuraavaa parametrien korotusvaihetta, jotka ovat turvanneet Rankine-kiertoprosessin termodynaamisen tehon vastaavan kasvun.

Suoria keinoja painevesireaktoriin lämpötehon nostamiseen ovat lämmönsiirron epäyhdenmukaisuuden vähentäminen aktiivisydämessä, reaktorisydämen läpi kulkevan jäähdytteen virtauksen sekä polttoainesauvojen yhteispituuden ja pinnan suurentaminen ja parametrien työ- ja sallittujen ääriarvojen välisten marginaalien pienentäminen.

Reaktorin tehon nosto lämmönsiirron epäyhdenmukaisuuden pienentämisen avulla toteutettiin siirryttäessä Novovoroneshin yvl:n ensimmäisen yksikön reaktorisydäimestä toisen yksikön reaktorisydämeen.

VVER-reaktorit on suunniteltu toimimaan pääasiassa siten, että palamajakson aikana suoritetaan kolme kertaa reaktorin osittainen vaihtolataus. Vaihtolatausten välinen suunniteltu toimintajakso kestää toisen ja kolmannen sukupolven reaktoreilla 6500 - 7000 tehotuntia, mikä takaa laitoksen nimellistehon hyvän käyttökertoimen ja tekee mahdolliseksi vaihtolatauksen suorittamisen kerran vuodessa, voimatalousjärjestelmälle käytännöllisenä kevät-kesä-kautena. Kaikilla reaktoreilla VVER-210:ta lukuun-

ottamatta on käytössä sellainen vaihtolatausjärjestelmä, jossa aktiivisydämen äärialueet täytetään tuoreella polttoaineella, joka sitten siirretään sydämen keskialueelle (missä se on kaksi toimintajaksoa), josta se poistetaan. Tämä turvaa lämmönsiirron tarpeellisen tasaantumisen aktiivisydämessä: sen lisäksi tällöin pienenee poistettavan polttoaineen keskimääräisen ja suurimman palaman ero. Lämmönsiirron epäyhdenmukaisuutta vähennettiin vielä lisää ottamalla Novovoroneshin yvl:n toisessa yksikössä käytäntöön palaman säännöstely teholla primäärijäähdytteeseen lisättävän boorihappoliuoksen avulla.

Jäähdytteen virtauksen lisääminen vaatii uuden, tehokkaamman pumppulaitteiston suunnittelua (tai vaatii kiertopiirien lukumäärän lisäämistä reaktorilaitoksessa, mikä ei ole taloudellisesti tarkoituksenmukaista). Tärkeä tekijä, joka vaikeuttaa jäähdytteen virtauksen lisäämistä VVER-reaktorissa on veden nopeus reaktorisydämessä ja reaktorin paineastiassa.

Polttoainesauvojen kokonaispituutta voidaan lisätä kahdella tavalla: suurentamalla uraanin kokonaislatausta aktiivisydämessä ja pienentämällä polttoainesauvojen läpimittaa. Reaktorin paineastian tehdasvalmistuksen ja rautatiekuljetuksen periaate rajoittaa uraanin kokonaislatauksen lisäämistä, ja sen tähden tuli heti alussa tarpeelliseksi ottaa käyttöön polttoainesauvat, joiden läpimitta on jonkin verran pienempi kuin mitä muissa maissa käytetty.

Verrattain pieniläpimittaisten polttoainesauvojen käyttö varmistaa VVER:n kehityksen ensi vaiheissa reservin lineaarisessa lämpökuormituksessa, joka edistää polttoaineen energiakuormituksen ja reaktorisydämen tilavuuden huomattavaa suurentamista.

Parametrien työ- ja ääriarvojen välisten marginaalien pienentämisessä on erotettava kolme tekijää. Ensimmäinen liittyy reaktorissa tapahtuvia prosesseja koskevien tietojemme syventämiseen. Esimerkkinä suoritettavien tutkimusten alituisesta para-

nemisestä ja tulosten luotettavuuden lisääntymisestä on lämmönvaihtokriisin tutkiminen aktiivisydämen olosuhteissa. Ratkaisevaa tässä on tutkimusehtojen mahdollisimman suuri lähentäminen luonnollisiin toimintaolosuhteisiin. Toinen marginaalien pienentämistekijä liittyy reaktorissa toteutuvien parametrien tuntemuksen luotettavuuteen, ja sen ehtona on mittausjärjestelmien, ennen kaikkea reaktorinsisäisten mittausten parantaminen. Kolmas tekijä on lämmönpoistojärjestelmän luotettavuuden lisääminen, jonka avulla voidaan saada sama vaikutus, kun lämpötehoa lisätään ja virtausta lisätään vähemmän taikka suurempi tehonnosto virtauksen lisäämisen ollessa säädetty. Tällä tekijällä oli suurin osuus tehon nostossa siirryttäessä VVER-440:stä VVER-1000:teen, koska akselitiivisteettömät pääkiertopumput, joiden inertia on pieni, vaihdettiin erityisillä vauhtipyörillä varustettuihin pumppuihin, joissa on ulkopuoliset sähkömoottorit ja valvotut vuodot. Kuvassa 2 on esitetty eri tekijöiden merkitys tehon nostamiselle.

Tärkeitä tekijöitä tehon lisäämisessä ovat polttoaineen palamisyvyyden lisäys ja aktiivisydämen ladattavan polttoaineen lisäys. Tässä yhteydessä on painotettava, että paineastian rautatiekuljetus helpottaa ydinvoimalaitosten rakentamista monilla Neuvostoliiton ja muiden maiden alueilla, mutta rajoittaa käytännössä painevesireaktoriyksikön yksittäistehon arvoon 1000 MW (sähköä), mikä johtuu vaikeuksista sijoittaa suurempaa uraanilatausta. Rautatiekuljetuksen kannalta suurimmat mahdolliset paineastian ulkomitat saavutettiin jo reaktorilla VVER-210.

Optimaalisten rakennus- ja layout-ratkaisujen takaamiseksi yksikön tehoa nostettaessa on suurennettava myös pääkomponenttien tehoa ja kapasiteettia. Pyrkimys vähentää pääomakuluja sarjatuotantolaitoksissa ja käyttää järkipäisemmin valmistajatehtaiden tuotantokapasiteettia johtaa siihen, että laitekoon suurenustendenssistä tulee itseisarvo, joka ei liity yksikön tehon nostamiseen.

Laitekoon suurentaminen vaatii eittämättä oleellista parannusta laitteiden luotettavuuteen, mikä puolestaan johtaa laitoksen periaatekaavion, laitteiston layoutin ja korjauskeinojen joidenkin perusteiden tarkistukseen. Kaikista painevesireaktori-laitoksista saatujen kokemusten perusteella voidaan luottaa tällaiseen luotettavuuden kasvuun, ja tämä kokemus vahvistaa layout-ratkaisujen ja periaatekaavion yksinkertaistamisen tarkoituksenmukaisuuden.

On tunnettua, että ensimmäisessä reaktorissa (VVER-210) primääripiirin jokainen kiertopiiri sijaitsi eristetyssä boksissa, joka mahdollisti kiertopiirin laitteiden korjauksen reaktorin ja muiden kiertopiirien ollessa toiminnassa. Novovoroneshin yvl:n toisessa yksikössä jokaiseen boksiin sijoitettiin kaksi kiertopiiriä, ja VVER-440-reaktorilla kaikkien kuuden kiertopiirin laitteet on sijoitettu samaan boksiin; reaktorin VVER-1000 neljä kiertopiiriä suunnitellaan sijoitettavaksi samalla tavoi.

Jos seuraavana askelena tarkastellaan teholtaan n. 2000 MW painevesireaktorin rakentamista, voidaan kaavalla useita teitä tämän tehon saavuttamiseen.

Tällaisen yksikön tarvitsema lämpöteho 6000-6300 MW voidaan saada aktiivisydäimestä, joka sijoitetaan VVER-1000-reaktorille suunniteltuun paineastiaan. Tätä varten on käytettävä läpimitaltaan 6 mm polttoainesauvoja, suoritettava polttoaineen vaihtolataus kaksi kertaa vuodessa ja jäähdytysveden kokonaisvirtauksen säilyttämiseksi reaktorissa on kehitettävä kyllästynyttä höyryä, jonka paine on 47 kg/cm^2 . Polttoainesauvojen lämpökuormitusta voidaan suurentaa lämmönvaihdon tehostamiseen liittyvillä lisätoimenpiteillä.

Suosittelavampi on nykyään tapa, jossa säilytetään kaikki aktiivisydäntä koskevat tärkeimmät ratkaisut ja VVER-1000:n ääriparametrit. Tällaista yksikköä varten on rakennettava paineas-

tia, jonka sisäläpimita on 5,7 m ja johon voidaan ladata polttoainetta n. 150 t (metalliseksi uraaniksi laskettuna); on suunniteltava uusia, tehokkaampia höyrystimiä. Jos säilytetään VVER-1000-reaktorilaitoksen pumput, on sellainen kaavio mahdollinen, jossa on kaksi pumppua yhtä höyrystintä kohti; jos säilytetään kaavio, jossa on neljä pk-pumppua, on rakennettava kapasiteetiltaan n. 40000 m³/h pumppu.

Paineastian rautatiekuljetuksen vaatimuksista luopuminen johtaa siihen, että on joko käytettävä muita kuljetuskeinoja tai asennettava teräksinen paineastia ydinvoimalaitoksen rakennustyömaalla, mihin sopivat paremmin monikerroksiset paineastia, koska ne eivät vaadi paineastian lämpökäsittelyä asennuksen jälkeen.

Paineastia voidaan valmistaa paikan päällä paitsi teräksestä, myös esijännitetystä teräsbetonista; jälkimmäisen käyttö poistaa sitä paitsi painevesireaktorien tehon rajoituksen ongelman. Haurasmurtumasta johtuvien suurten säröjen muodostumisen mahdollisuus tekee betonisen paineastian periaatteellisesti turvallisemmaksi kuin metallinen paineastia. Betonisen paineastian yhteydessä tuntuu kuitenkin tarkoituksenmukaiselta käyttää kiehutustyyppistä painevesireaktoria, koska siinä on kaksi kertaa alhaisempi paine kuin ei-kiehutustyyppisessä.

Rinnan ydinvoimalaitosyksikköjen yksittäistehon nostamiseen liittyvien tehtävien ratkaisun kanssa tulee olemaan pitkän aikaa ajankohtainen syklin taloudellisten indeksien parantamisen ja luonnon uraanin ominaiskulutuksen vähentämisen ongelma.

Näihin päiviin saakka on pääsuunta VVER:n polttoainesyklin taloudellisuuden parantamisessa ollut polttoaineen palamasyvyyden suurentaminen. Novovoroneshin yvl:n toisen yksikön reaktorissa sekä VVER-440:ssä on jo saavutettu suunniteltu palamasyvyys, n. 28000 MWX d/t keskimäärin poistettavan polttoaineen osalta maksimipalaman polttoainesauvan osalta ollessa yli 40000 MW.vrk/t.

VVER-1000:n aktiivisyydän on suunniteltu keskimääräiselle palamasytyydelle 40000 MW·d/t maksimipalaman ollessa polttoainesauvan osalta 44000 MW·d/t; tätä varten vaihtolataukseen on saatava polttoainetta, joka on rikastettu arvoon 4,4 %.

Siihen asti, kunnes on saatu suurimittaista kokemusta polttoaineen käytöstä tällaisella palamalla, aktiivisyydän voi toimia, kun siihen lisätään rikastusasteeltaan 3,3 % polttoainetta palaman ollessa n. 27000 MW·d/t.

On muitakin keinoja parantaa VVER:n polttoainesyklin indeksejä.

Koska VVER:n säteilytetty polttoaine sisältää suuren määrän halkeavia isotooppeja, polttoaineen kemiallinen jälleenkäsittely ja jälleenkäsittelyn polttoaineen palauttaminen sykliin antavat mahdollisuuden alentaa luonnonuraanin kulutusta 40-50 % ja vähentää erotustuotannon tarpeellista kapasiteettia 40 %.

Uraanidioksidia tiiviimmän polttoaineen (esim. metalliuraanipohjaisten korroosiota kestävien yhdisteiden) kehittäminen ja käyttö painevesireaktoreiden aktiivisyydämessä tekisivät mahdolliseksi vähentää luonnonuraanin kulutusta vielä 35 %, erotustuotannon kapasiteettia 50 % ja polttoainekomponenttia 15 %. Näiden kanssa läheiset tulokset saadaan arvioista, jotka koskevat toriumia sisältävien polttoainesykliden käyttämistä painevesireaktorissa. VVER-1000-reaktorien mahdollisten polttoainesykliden tärkeimmät indeksit on esitetty taulukossa 2.

Suuren ydinyöimalaitosmäärän käyttöönotto maan voimatalousjärjestelmässä vaatii niiden käyttötilojen tarkistamista. Jos viime aikoihin asti yvl:lle voitiin turvata toiminta pohjakuormassa, niin tulevana vuosina niiden on toimittava myös kuormituskäyrien vaihdellessa. Kokemus painevesireaktoreiden toiminnasta vahvistaa, että reaktoreiden ohjaus on yksinkertaista ja on mahdollista seurata muuttuvaa kuormaa. VVER-reaktoreilla on erittäin

tärkeä ominaisuus - reaktiivisuuden negatiivinen lämpötila- ja tehokerroin ja tähän liittyvä kyky itse säätää ja rajoittaa tehoa. Painevesireaktorien aktiivisydämen tämän ominaisuuden säilyttämiseen on aina kiinnitetty erityistä huomiota. Esimerkiksi sen jälkeen, kun otettiin suunnitelmiin reaktorilaitokset, joissa oli nestemäinen boorisäätö, liuotetun absorbaattorin kompensoiman reaktiivisuusvaran maksimiarvon valinnan määräsi yksiselitteisesti negatiivisen reaktiivisuuskertoimen säilyttäminen kaikissa käyttötiloissa jäähdytteen lämpötilan osalta.

Painevesireaktorin mitat (verrattuna neutronien migraatioväliin) ovat varsin suuret. Voimakkaasti litistyneen neutronikentän olosuhteissa reaktorin tehon muutoksista, joita seuraa automaattisten säätösauvojen liikkuminen ja tehon avaruusjakauksen muuttuminen, on vaarana xenonin epävakaisuuden muodostuminen. VVER-reaktorien suuri negatiivinen tehon reaktiivisuuskerroin stabiloi kuitenkin tehokkaasti järjestelmän, siirtää olennaisesti epävakaisuuden rajaa kauemmaksi sekä vähentää neutronikentän mahdollisia poikkeamia siirtymäprosessissa. Reaktori VVER-440 on täysin vapaa xenonin aiheuttamista tehon "heilaheluista". Reaktorin VVER-1000 säteittäiset mitat myös takaavat neutronikentän vakavuuden aktiivisydämen vaakatasoisessa poikkileikkauksessa. Reaktorisydämen korkeuden lisääminen 3,5 metriin reaktorissa VVER-1000 edellytti erityistä korkeuskentän ohjausjärjestelmää, jonka on säilytettävä lämmönsiirron aksiaalinen epäyhdenmukaisuus siirtymäprosessien aikana sallittujen arvojen puitteissa.

Ohjattavissa olevan voimatalousyksikön suunnitteluongelman ratkaisemisessa on periaatteellisen stabiilisuuden lisäksi merkitystä muillakin rajoittavilla tekijöillä, joiden suhteen painevesireaktorilla varustetut ydinvoimalaitokset ovat eittämättä merkittäviä tulevaisuuden kannalta. Tässä on mainittava kysymykset, jotka liittyvät tarpeellisen ylijäämäreaktiivisuuden turvaamiseen ei-stationaarisen xenon-135-myrkyttymisen voittamiseksi, laitoksen parametrien poikkeamiseen nimellisarvoista ja kysymykset, jotka liittyvät teknologisten operaatioiden

toteuttamisen pitkäaikaisuuteen ja vaikeuteen käyttötilan muuttuessa.

Ensimmäisen ongelman ratkaisua olemassa olevissa PWR-laitoksissa helpottaa periaattellisesti suuri ylijäämäreaktiivisuus palamalta, jota voidaan käyttää siirtymäprosesseissa suurimmassa osassa reaktorin palamajaksoa ilman, että nykyisten laitosten suunniteltu polttoainesykli huononee erityisesti; tähän yleensä liittyy ohjattavissa olevan ylijäämäreaktiivisuuden muodostaminen. Kuva 3 esittää reaktorin VVER-1000 ohjattavuuden rajoja käytettävissä olevan ylijäämäreaktiivisuuden osalta.

Hyvät edellytykset toisen ongelman ratkaisuun tarjoaa PWR-laitoksille luonteenomainen primäärijäähdytteen työlämpötilan pieni muuttumisalue kuormien muuttuessa huomattavasti (30°C tehon muuttuessa 100 %). Primääripiirin laitteisiin kohdistuvat sykliset kuormat eivät osoittaudu liiallisiksi, ja reaktorin itsesäätöisyys auttaa pitämään laitoksen parametrit turvallisissa rajoissa.

VVER-reaktorien hyvä ohjattavuus on todistettu käytännössä; valvontajärjestelmien ja teknologisten kaavioiden parantaminen edelleen uusissa projekteissa on suunnattu laitoksen ohjauksen joustavuuden parantamiseen käyttötilojen muuttuessa usein.

Erikoista huomiota vaativana erityisongelmana pysyy polttoainesauvojen tarpeellisen kestävyuden turvaaminen, kun ne toimivat jatkuvasti muuttuvan tehon olosuhteissa.

Sähköenergian tuottamisen rinnalla uusi tärkeä ydinenergian käyttöalue, missä lähivuosina voidaan käyttää VVER-reaktorien kaikkia suunnittelukokemuksia on kaukolämmitys. Painevesireaktoreita voidaan soveltaa kaukolämmityksessä kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa on suunnitella ydinkäyttöisiä lämpövoimalaitoksia ydinvoimalaitoksissa käytettävien reaktorilaitosten pohjalta. Muutokset voivat koskea vain laitoksen höyryturpiiniosaa

ja jossain määrin niiden on koskettava päätöksiä, jotka on suunnattu laitoksen säteilyturvallisuuden parantamiseen, koska laitokset rakennetaan lähemmäksi tiuhaan asuttuja alueita. Tässä mielessä voivat ajan mittaan teräsbetonipaineastiat kiehutusreaktorit saada etusijan, mistä aiemmin mainittiin.

Toinen tapa soveltaa PWR-reaktoreita lämpöhuollossa on suunnitella erikoistuneita reaktoreja ydinkattilalaitoksiin. Erikoistuminen verrattain pienipotentialaisen lämmön (150-170 °C) tuotantoon antaa mahdollisuuden yksinkertaistaa ja halventaa pääkomponenttien käytössä olevia rakenteita, suunnitella luotettavampia ja turvallisempia laitoksia. Tarkoituksenmukaisimmat tavat PWR-laitosten tällaisessa yksinkertaistamisessa ovat luonnonkierron ja laitteiden yhtenäisen layoutin sovellutus, laitojen itsesäädön periaatteiden maksimaalinen käyttö yms. Useiden VVER-sukupolvien ja paineastiallisen kiehutusvesireaktorin VK-50 suunnittelusta, käytöstä ja tutkimisesta saatujen kokemusten avulla on mahdollista suunnitella parametreiltaan ja ominaisuuksiltaan optimaalinen laitos. Kolmikiertopiirisen laitoksen primääripiirin paineen ei tarvitse olla suurempi kuin 12-16 at. Laitteiden valmistus yksinkertaistuu jyrkästi. Lämpöhuoltoydinvoimalaitosten välttämätön taloudellinen tehotaso voidaan saavuttaa yksiköiden yksittäistehon ollessa n. 500 MW lämpöä. Lämpöydinvoimalaitoksen mahdollisen reaktorilaitoksen yleiskuva on esitetty kuvassa 4. Joka tapauksessa reaktorilaitosten käyttö lämpöhuoltotarkoituksiin pakottaa kiinnittämään erityistä huomiota turvallisuuden parantamiseen vastaisuudessa-kin.

Painevesireaktorien turvallisuuden takaamisessa kiinnitetään eniten huomiota laitteiden laatuun ja valvontaan sekä niiden luotettavuuden palauttamiseen käytön aikana.

Ensimmäisten laitojen projekteihin sisältyvät turva- ja suoja-
toimet vastasivat näillä laitoksilla sovellettua suurimpien

suunniteltujen onnettomuuksien rajoitettua mittakaavaa sekä suurta merkitystä, joka annettiin yvl:n etäännyttämislle asutuskeskuksista.

Ydinvoimalaitosten laajamittainen leviäminen johtaa potentiaalisen vaaran neutraloivien teknisten toimenpiteiden voimistumiseen. Tällaiset vaatimukset on asetettu viimeisen VVER-laitossukupolven projekteille, uusin laitosryhmä, jossa on VVER-440, mukaan lukien.

Onnettomuusprosessien luonteen analyysi osoittaa, että vaurioiden itse yvl:lle sekä lähiympäristön asujaimistolle vaaralliset seuraukset estetään ennen kaikkea suunnittelemalla luotettavia ja tehokkaita aktiivisydämen jäähdytystapoja. Jos hätäjähdytys estää polttoaineen sulamisen, niin ulkoisten suojaesteiden, kuten hermeettisten huonetilojen ja suojavyöhykkeen osa tulee vähemmän huomattavaksi.

Uusissa projekteissa on suurimmaksi suunnitelluksi onnettomuudeksi otettu jäähdytteen menetys primääripiirin pääkiertoputken katketessa.

Nykyään on suunniteltu reaktorisydämen hätäjähdytysjärjestelmä, joka antaa mahdollisuuden luottaa siihen, että suurimman putkijohdon (läpimitta 500 mm VVER-440:ssä ja 850 mm VVER-1000:ssa) katketessa ei polttoaineen sulamista tapahdu ja polttoainesauvat voivat rikkoutua vain osittain.

Tämän rinnalla on suunniteltu joitakin järjestelmävaihtoehtoja aktiivisuuden paikallistamiseksi yvl:n huonetiloissa. Järjestelmät on mitoitettu suurimman putkijohdon katkeamisvaurion varalta ja esitetty kaavamaisesti kuvassa 5. Reaktoriin VVER-1000 suunnitellaan rakennettavan hermeettinen teräsbetoninen suojakuori, reaktoria VVER-440 varten on suunniteltu paikallistavien huonetilojen vaihtoehtoja, jotka pohjautuvat sarjavalmistestien, hermeettisellä höyryseinoksilla varustettujen ydinvoimalaitosten tyyppilayoutiin.

Painevesireaktoreilla varustettujen toimivien ydinvoimalaitosten käyttökokemus osoittaa, että nämä laitokset ovat turvallisia energialähteitä, jotka eivät vaikuta mitenkään haitallisesti ympäristöön ja sen asujaimistoon. Siitä huolimatta ydinvoimalaitosten käyttöpiirin laajeneminen ja laitosten rakentaminen lähemmäksi asutuskeskuksia, esim. ydinkattilalaitosten rakentaminen, johtaa ehdottomasti turvallisuusvaatimusten jyrkkeneemiseen entisestään. PWR-suunnitelmien kokemus osoittaa, että korotetut turvallisuusvaatimukset voidaan täyttää näiden voimalaitosten tyydyttävien taloudellisten indeksien puitteissa.

PAINEVESIREAKTOREILLA VARUSTETTUIJEN YDINVOIMALAITOSTEN PÄÄTIEDOT

Taulukko 1

Tekn. tiedot	VVER-210	VVER-365	VVER-440	VVER-1000
Käyttöönottovuosi	1964	1969	1971	-
Teho, sähkö- lämpö-, MW	3x70	5x73	2x220	2x500
Hyötykerroin, brutto%	27,6	27,6	32	33
Höyrynpaine ennen turpiinia, ata	29	29	44	60
Höyrynpaine ata	100	105	125	160
Loopien määrä	6	6	6	4
Vesimäärä reaktorin läpi m ³ /h	36500	49500	39000	76000
Paineastian sisähalkaisija, mm	3560	3650	3560	4070
Yhden höyrystimen höyry- kehitys tn/h	230	325	425	1469
POLTTOAINESYDÄN				
Uraanin lataus, tn	38	40	42	66
Polttoaineen keskipalama stationäärisessä ajossa MW vrk/kg	13	27	28,6	26-40
Sydämen keskimääräinen ominaisenergiakuormitus, kW/l	46	80	83	III
Polttoaineen keskimääräinen energiakuormitus, kW/kg uraania	10,5	33	33	45,5
Jäähdytteen ominaisvir- taama, tn/h, MW	38	30	25	19
Veden lämpötila reaktorin sisäänmenossa, °C	250	250	269	289

Tekn. tiedot	VVER-210	VVER-365	VVER-440	VVER-1000
Keskimääräinen lämpeneminen reaktorissa, °C	19	25	31	35
Pääoman ominaiskulut				
*) rupl./kW sähköä	406	273	200	
Sähkön omakustannushinta				
***) kop/kWh	0,95 (0,788)	0,743 (0,569)	0,643 (0,584)	0,573

*) Novovoronezhin AVL:n mukaan

**) Novovoronezh-yksiköiden suunnitteluarvot. Suluissa todelliset arvot vuodelle 1976.

VVER-1000 MAHDOLLISEN POLTTOAINEKIERRON TEKNILLIS-TALOUDELLISET PÄÄSUORITUSARVOT (=0,8)

Taulukko 2

Polttoaine Kierron muoto	Dioksidi Avoin	Dioksidi Suljetut	Metalli kierrot	Metallitorium
Polttoainekomponentti (suhteellinen)	1	0,79	0,66	0,53
Luonnonuraanin kulutus (kg/MW sähkö.v.)	216	120	77	59
Jaon työ (kg err/MW sähkö.v)	132	79	38	52

Kirjallisuus

- 1 V. A. Sidorenko, Painevesireaktorit maan ydinvoimataloudessa, Atomnaja energija, nide 43, julkaisu 5, marraskuu 1977

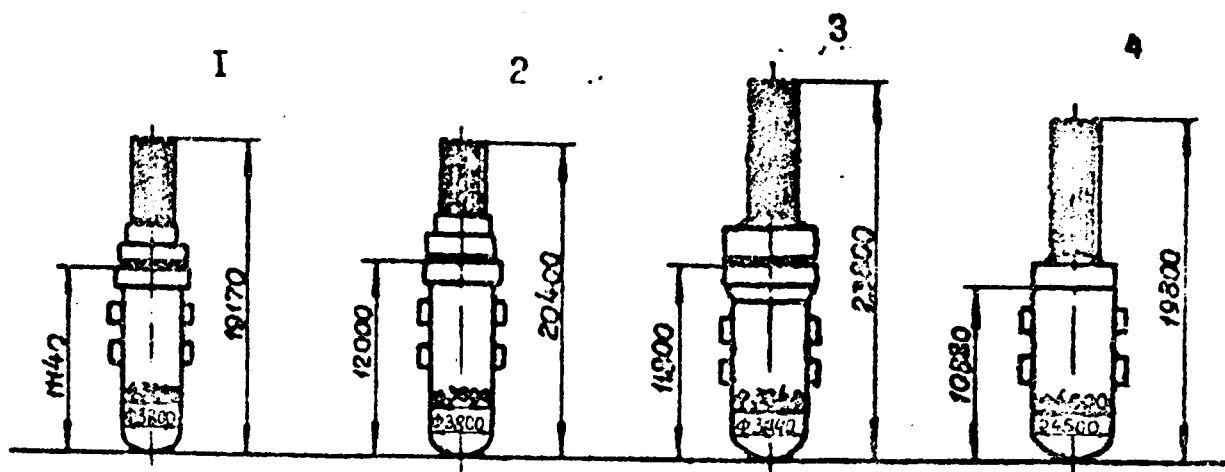


Рис. I. Развитие ВВЭР

- 1 - ВВЭР-210 (масса корпуса и реактора 223 и 470 т),
- 2 - ВВЭР-365 (241 и 523 т),
- 3 - ВВЭР-440 (200 и 573 т),
- 4 - ВВЭР - 1000 (304 и 730 т).

Kuva 1 Painevesireaktoreiden kehitys

- 1 - VVER-210 (paineastian ja reaktorin massa 223 ja 470 tn)
- 2 - VVER-365 (241 ja 523 tn)
- 3 - VVER-440 (200 ja 573 tn)
- 4 - VVER-1000 (304 ja 730 tn)

Увеличение тепловой мощности во втором поколении ВВЭР

Увеличение тепловой мощности в третьем поколении ВВЭР

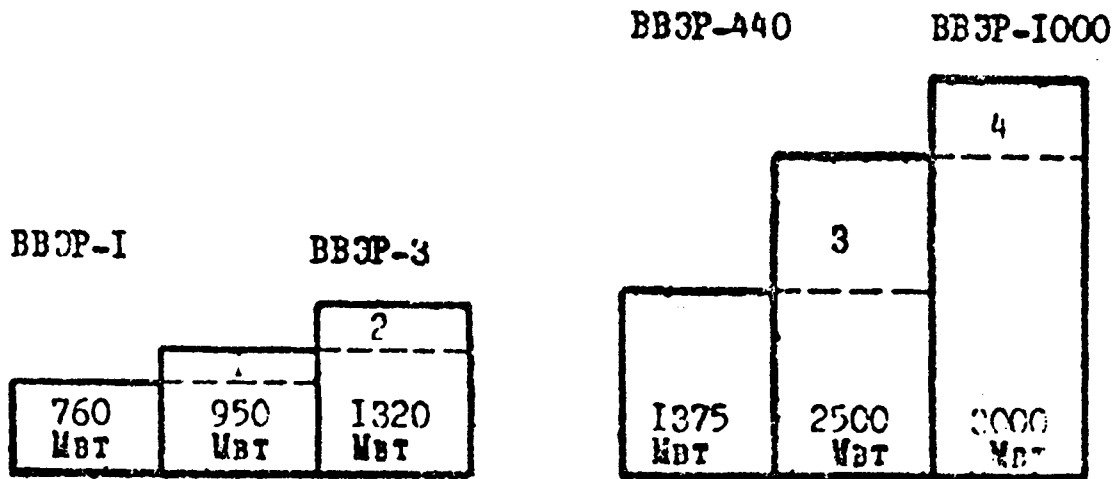


Рис.2. Роль различных факторов в увеличении тепловой мощности ВВЭР.

1. Расход теплоносителя, длина ТВЭЛ
2. Неравномерность тепловыделения
3. Расход тепловыделения, длина ТВЭЛ, запас до предельных значений
4. Конструкция насосов (инерционность)

Kuva 2 Erilaisten tekijöiden osuus VVER:n lämpötehon suurenemisessa

- 1 Jäähdytteen virtausmäärä, polttoainesauvan pituus
- 2 Lämmönkehityksen epätasaisuus
- 3 Lämmönkehityksen määrä, polttoainesauvan pituus, varaääriarvoihin asti
- 4 Pumppujen rakenne (jatkavuus)

Мощность, на которую произошел
сброс до 100%

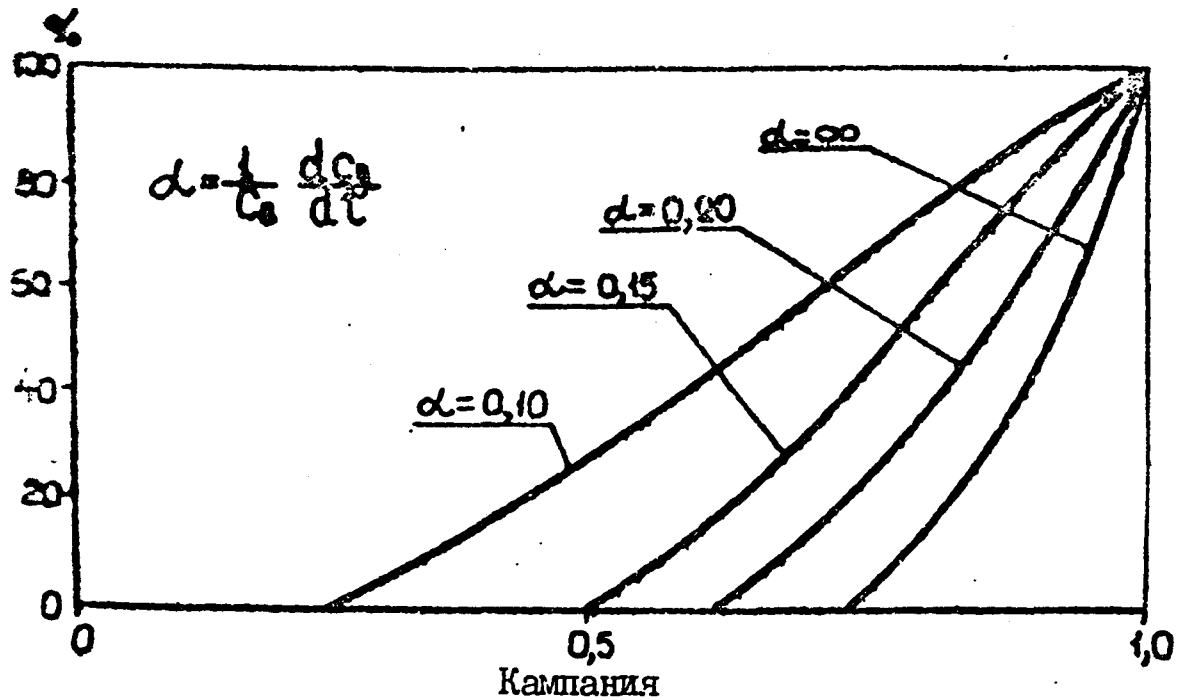


Рис.3. Характеристики маневренности АЭС с реактором ВВЭР-1000 без учета присутствия управляющей группы кассет в активной зоне (без изменения температуры воды при сбросе мощности). Обеспечивается удержание на мощности N и в любой момент подъем мощности до номинальной.

Kuva 3 VVER-1000 varustetun voimalaitoksen käyttöjoustavuuden ominaisuudet ohjauskasettiryhmän olemassaoloa sydämessä huomioon ottamatta (ilman veden lämpötilan muutosta tehoa pudotettaessa). Turvataan tehon N ylläpito ja millä hetkellä tahansa tehon nosto nimelliseen asti.

Kuva 4 Reaktorin
lay-out ydinkaukolämpö-
laitosta varten

- 1 - Betoninen suoja-astia
- 2 - Reaktorin varsinainen
paineastia
- 3 - Vetoalue
- 4 - Välilämmönvaihtaja
- 5 - Sydän
- 6 - Absorbaattorien
käytöt
- 7 - Betonin jäähdytys
- 8 - Rautavesisuojan
jäähdytys

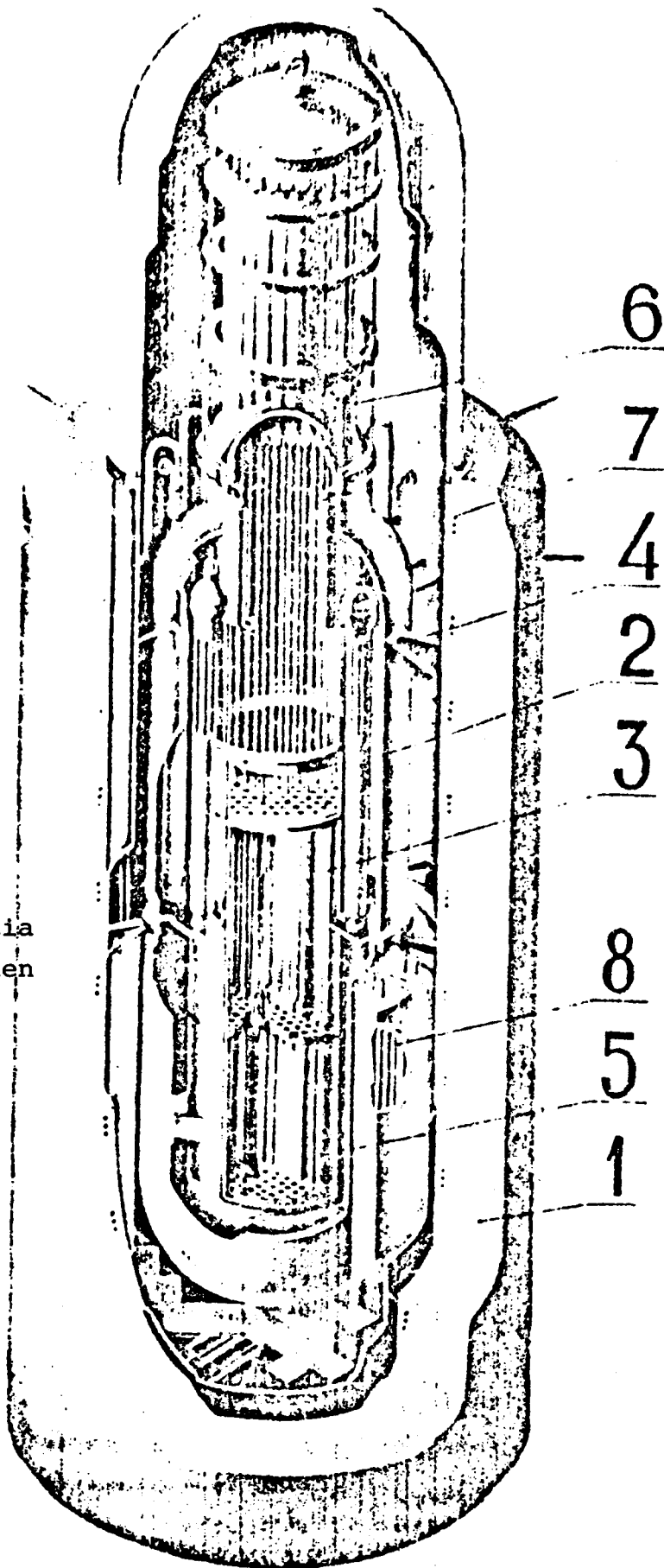
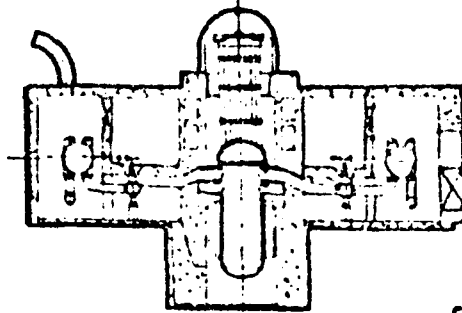


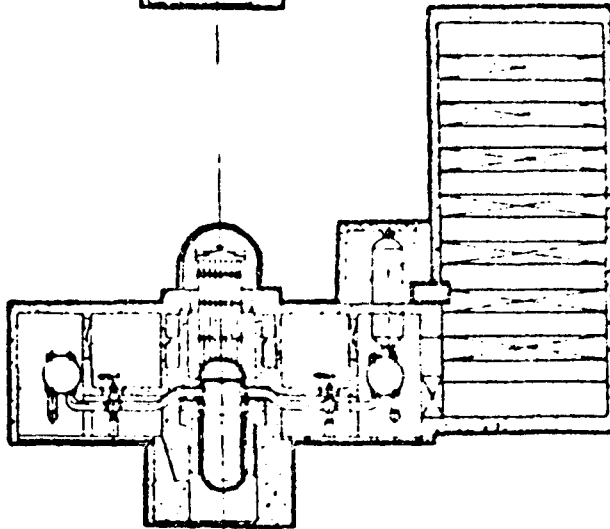
Рис. 4 Компонка реактора для атомной станции теплоснаб-
жения.

- 1- Бетонный охранный корпус; 2- основной корпус реактора;
- 3 - тяговый участок; 4- промежуточный теплообменник;
- 5- активная зона; 6 - приводы поглотителей; 7 - охлаждение
бетона; 8- охлаждение железобетонной защиты

$P_{\text{МАКС}} \approx 1 \text{ АТМ}$



$P_{\text{МАКС}} \approx 1 \text{ АТМ}$



$P_{\text{МАКС}} \approx 4 \text{ АТМ}$

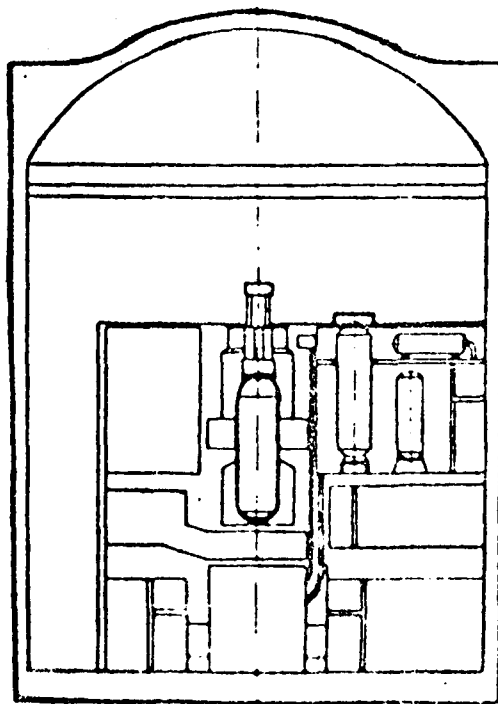


Рис.5. Варианты систем локализации аварий.
kuva 5. Häiriöiden paikallistamisjärjestelmien vaihtoehdot.

YDINVOIMALAITOSTEN LAITTEISTOJEN NYKYAIKAISET MATERIAALIT, UUDET TEKNOLOGISET VALMISTUSPROSESSIT JA LAADUNVALVONTAMENETELMÄT

A.N. Ovsejenko

Ydinvoimatalouden kehityssuuntana on suuren yksikkötehon omaavien aggregaattien luominen. Ydinvoimalaitosten laitteistolle on tunnusomaista ainutlaatuiset ääriarvot, rakenteen monimutkaisuus, korkeat laadulle, toimintavarmuudelle ja vaurioitumattomuudelle asetetut vaatimukset pitkän aikajakson kuluessa.

Ydinvoimalaitoskomponenttien suunnittelijat ja valmistajat törmäävät moninaisiin ongelmiin, joista kolme tärkeintä ovat:

- 1) ydinvoimalaitosten laitteiden korkean laadun varmistaminen,
- 2) valmistusvaiheen lyhentäminen, joka tällä hetkellä on 2-3 vuotta 1000-1300 MW painevesireaktoreille,
- 3) valmistuksen yksinkertaistaminen.

Suurten voimatalouslaitteiden tuotannon tieteellis-teknisenä pääperiaatteena, ja eritoten ydinvoimatalouden, tulee olla rakenteen, materiaalien, teknologisten valmistusprosessien, tarkastusmenetelmien ja tuotantovälineiden optimoinnin periaate.

Pelkästään rakenteiden tai materiaalien tai teknologisten prosessien paikallisten kehitys- ja parannustehtävien ratkaisu saattaa johtaa työmäärän, valmistusjakson kasvuun tai laadun heikkenemiseen. Esimerkiksi reaktorin paineastian valmistaminen levyaihioista pienentää konepaja- ja puristustuotannon työmäärää, mutta samanaikaisesti kasvaa hitsauksen, lämpökäsittelyn, mekaanisen käsittelyn, puhdistuksen ja korjaustöiden työmäärä. Tämän seurauksena kasvaa kokonaistyömäärä, tuotantojako pitenee, reaktorin paineastian laatu ja luotettavuus alenevat. Käytettäessä levyaihioita syntyy pitkittäisiä hitsisaumoja, joiden nimellisjännitykset ovat 2 kertaa suuremmat kuin rengassaumojen ja ne sijoittuvat maksimisaiteilyn vyöhykkeelle.

Siksi ydinvoimatalouden laitteiston laadun parantamiseksi, tuotantojakson ja -työmäärän pienentämiseksi on välttämätöntä rakenteiden ja materiaalien huolellinen viimeistely teknologisuuden suhteen kuten myöskin koko teknologisen tuotantoprosessin optimointi alkaen sulatuksesta, metallien puhdistuksesta ja päättyen mekaaniseen käsittelyyn, tarkastukseen ja koestukseen.

TSNIIT mash on yhdessä voimatalouden koneenrakennusalan tehtaiden kanssa kehittänyt niin uusia materiaaleja kuin optimoituja teknologisia prosesseja VVER-1000-reaktoreilla varustettujen ydinvoimalaitosten pääkomponenttien: reaktoripaineastiat, reaktorin kannet, höyrystinrungot, paineistinrungot, painevesisäiliörungot, pumppurungot, venttiilit, putkijohdot jne, valmistusta varten.

Uudet materiaalit

Ydinvoimalaitosten pääkomponenttien valmistukseen tarvitaan korkealaatuisia teräksiä, joiden tulee täyttää joukko vaatimuksia.

Ydinreaktoreiden paineastiateräksen tulee omata korkeat lujuus-, plastisuus-, iskusitkeysominaisuudet, riittävä säteilynkestävyys, alhainen transitiolämpötila, eivätkä ne saa olla herkkiä termiselle ja myötövanhenemiselle. Samanaikaisesti niiden tulee omata hyvät teknologiset ominaisuudet kaikissa tuotantovaiheissa mukaan luettuna sulatus, valu, painekäsittely, hitsaus, lämpökäsittely ja mekaaninen käsittely.

Tällöin vaatimukset kohdistetaan harkkovaluiksi painoltaan 220 tonniin asti, takeitten valmistukseen 130 tonniin asti seinämävahvuudeltaan 650 mm, jauhekaariautomatti- ja sähkökuonahitsaukseen aina 400 mm vahvuuksilla.

Tässä yhteydessä terästä valittaessa suuri merkitys on sen teknologisuuden, erityisesti kaasu- ja epäpuhtauspitoisuuden, vyöhyke- ja mikrosegregaatioherkkyyden, taipumuksen muodostaa halkeamia valukappaleen pinnalla, kuumamuokattavuuden, ylikuumenemistaipumuksen sekä päästönkestävyyden arvioinnilla.

Erityisen suuri merkitys on teknologisuudella hitsauksen ja pinnoituksen yhteydessä, jolloin teknologisuutta arvioidaan sellaisilla parametreilla kuin: halkeamisalttius, hitsauksen työlämpötila, nopean myötön tarve ja korjattavuus.

Neuvostoliitossa ydinvoimatalouden paineestioilta, eritoten reaktorin paineestialta, vaaditaan, että niitä on voitava kuljettaa rautateitse. Sen tähden paineestioiden on oltava huomattavasti pienempiä läpimitaltaan kuin saman tehoisten reaktorien USA:ssa,

Japanissa, Saksan liittotasavallassa, Ranskassa ja Italiassa valmistettavat paineastiat. Muissa maissa käytettäviä A-533 ja A-508 -tyyppisiä teräksiä ei voida käyttää neuvostoliittolaisissa yvl-laitteissa, mikä johtuu mekaanisten ominaisuuksien tason riittämättömyydestä ja alhaisesta säteilynkestävyydestä. Terästen A-533 ja A-508 huonoja puolia on myös taipumus iskusitkeyden alenemiseen moninkertaisten päästöjen aikana reaktorin paineastian valmistuksen yhteydessä.

Neuvostoliitossa on kehitetty teräksiä, joilla ei ole yllä mainittuja terästen A-533 ja A-508 huonoja puolia.

Teholtaan 440 MW reaktoriastioihin on kehitetty ja niihin käytetään nykyään kromi-molybdeeni-vanadiini-terästä. Tätä terästä ei kuitenkaan saanut käyttää 1000 mW reaktoriain paineastioiden valmistukseen. Sen karkenevuus ei ole riittävä suurissa poikkipinnoissa (600 mm) ja tämän johdosta sen mekaanisten ominaisuuksien taso on alentunut. Suuren vanadiinipitoisuuden johdosta tämä teräs vaatii korkeaa hitsauksen työlämpötilaa (350-400°C) ja muodostaa herkästi säröjä hitsauksen yhteydessä.

1000 MW reaktoriastioille on kehitetty ja otettu käyttöön uusi teknologisempi, erittäin luja teräs, joka ei vaadi yli 200°C työlämpötilaa hitsausta varten, on vähemmän altis hitsausvirheille ja jonka lujuusominaisuudet ovat paremmat (taulukko 1).

Tämän teräksen suuria etuja on korkea iskusitkeys. Kuten taulukosta 1 nähdään, pysyvässä vaipassa, jolle on suoritettu optimaalinen lämpökäsittely, iskusitkeys terävalloisilla sauvoilla (charpy v) lämpötilassa -20°C on 22,7 kpm/cm² tai enemmän. Kansainvälisten kriteerien mukaan transitiolämpötila (kuva 1) saavuttaa -100°C, mikä on huomattavasti parempi arvo kuin teräksillä A-533-B ja A-508 luokka 2. Kaikilta mekaanisilta ominaisuuksiltaan uusi teräs ylittää paineastiaterästen A-533-B ja A-508 luokka 2 ominaisuuksien tason.

1000 MW reaktorin paineastian materiaalille on asetettu korostetut vaatimukset säteilynkestävyyden suhteen. Neuvostoliitossa, esim. TSNIIT mashissa on suoritettu tutkimuksia teräksen kemiallisen koostumuksen, sulatusteknologian, lämpökäsittelyn ja muiden

metallurgisten tekijöiden vaikutuksesta paineastiateräksen haurastumisesta säteilytyksen johdosta. Tutkimukset ovat osoittaneet, että radikaalisin keino parantaa paineastiateräksen säteilykestävyyttä on vahingollisten epäpuhtauksien, etenkin kuparin ja fosforin pitoisuuden rajoittaminen. Tähän liittyen on TSNIIT mashissa kehitetty uusi paineastiateräksen sulatusteknologia, jonka avulla voidaan yli viisinkertaisesti vähentää teräksen fosfori-, arseeni-, kupari-, tina- ja antimonipitoisuutta sekä ylittää säteilykestävyyden takaamiseen vaadittava taso teräksen puhdistuksessa vahingollisista lisäaineista.

Neuvostoliitossa kehitetty uusi paineastiateräs, joka sulatetaan puhtaalla lisäaineella uuden teknologian mukaisesti kestää huomattavasti paremmin säteilyä kuin ulkomaalaiset A-533 ja A-302-merkkiset paineastiateräkset (kuva 2).

Höyrystimien runkoja, paineistimia, painevesisäiliöitä ja putki-johtoja varten on kehitetty uusi niukkaseoksinen perliittiteräs.

Tämän teräksen kohdalla on viimeistelty sulatuksen, taonnan, valsaamisen, stanssaamisen, hitsauksen, päällehitsauksen ja lämpökäsittelyn teknologiaa. Teräksen mekaaniset ominaisuudet arvioitiin peruslämpökäsittelyn (kuumennus 920°C :seen, ilmajäähdytys, kuumennus 900°C :een, karkaisu öljyssä, päästö 650°C) ja teknologisten lisäpäästöjen jälkeen, joiden kesto-aika oli 75 tuntia. Tuloksen mukaan uusi teräs täyttää teknisten ehtojen vaatimukset täysin. Kriittinen murtumislämpötila T_{Ka} iskuenergiakriteerillä 6 kpm/cm^2 (Charpy V koesauvoilla) on -50°C (kuva 3). Sen mekaanisten ominaisuuksien arvot ovat stabiilit koestuslämpötilojen $20-400^{\circ}\text{C}$ välillä (taulukko 2). Kauan kestävä päästö ei aiheuta mainittavaa haurastumista teräksessä.

Syklisen lujuuden kokeilla on saatu selville, että väsymislujuus 10^7 syklin pohjalta koestuslämpötilassa 350°C on sileillä koesauvoilla $37,5 \text{ kp/mm}^2$, lovetuilla koesauvoilla $25,5 \text{ kp/mm}^2$. Matalataajuinen väsymislujuus $5 \cdot 10^3$ syklin pohjalta on sileillä koesauvoilla $60,5 \text{ kp/mm}^2$ ja lovetuilla $41,5 \text{ kp/mm}^2$.

Teräksellä on korkea lyhytaikaisen virumislujuuden arvo - 45 kp/mm^2 nopeudella (10^{-5} % tunnin ajalta) ja virumisajan arvo 45 kp/mm^2 ekstrapoloituna 100 000 tuntiin. Teräkselle on tunnusomaista

korkea suhteellisen venymän (15,0 - 19,0 %) ja kurouman (72,0 - 75,0 %) arvo virumismurtuman yhteydessä. Alhaisen hiilipitoisuuden johdosta teräkselle on ominaista korkea teknologisuus hitsauksessa. Muutosvyöhykkeellä teräksen kovuus muuttuu mitättömän vähän. Hitsauksen työlämpötila ei ylitä 150°C, ja välipäästöt hitsauksen jälkeen voidaan korvata matalalla myöstöllä 200-300°C rajoissa.

Uusi teräs on osoittanut hyviä mekaanisia ominaisuuksia valetussa tilassa. Höyrystimen yhdealueen suurissa valuissa (paksuus 270 mm) mekaaniset ominaisuudet vastasivat ominaisvaatimuksia, jotka on asetettu taotuille aihioille.

Eniten aikaa vievä proseduuri pääkiertopumppujen ja venttiileiden valmistuksessa on sisäpuolinen korroosiota estävä päällehitsaus. TSNIIT mash on kehittänyt uuden ruostumattoman teräksen, josta valetaan pumppujen rungot ja venttiilit ja joka ei vaadi sisäpuolista päällehitsausta.

Korkeaparametrisessä vedessä, joka muistuttaa primääripiirin väliaineen koostumusta boorisäädön aikana lämpötila-alueella 300°C ja tasaisessa paineessa, uuden valetun ruostumattoman teräksen korroosionopeus on 0,002 q/m², h ja sen voi katsoa kuuluvan varsin kestäviin materiaaleihin. Tässä väliaineessa (pH=8,25) sillä ei ole taipumusta pistemäiseen korroosioon. Seisokitiloissa (20° - 100°C) boorisäätövedessä ja vesijohtovedessä teräksellä on korkeat korroosiokesto-ominaisuudet, eikä sillä ole taipumuksia raerajasyöpymiseen.

Korkeaparametrisessä booratussa vedessä uusi ruostumaton teräs ei ollut altis rakokorroosiolle 2500 h aikana.

Kanavatyyppisillä (kiehutusvesi-) reaktoreilla varustettujen atomivoimalaitosten separaattoreita ja välitulistimia varten on kehitetty nikkeliä sisältämätön ruostumaton mastensiittisferriittinenteräs. Tätä terästä suositellaan myös terästä OX18H10T korvaavaksi materiaaliksi putkien valmistuksessa, joita käytetään painevesireaktorilaitosten höyrystinten kollektoreissa ja muissa elementeissä.

Verrattuna teräkseen OX18H10T uudella ruostumattomalla teräksellä on koko joukko etuja. Se on jännityksen alaisena vähemmän taipuvainen kylmäkarkenevuuteen ja korroosiosäröilyyn, sillä on korkeampi myötöraja, se ei sisällä kobolttia eikä kallista nikkeliä, sillä on paremmat teknologiset ominaisuudet.

Tutkimuslaitoksessa CNJTT mash on kehitetty ja tutkittu uusia hitsausmateriaaleja reaktorin paineastiaa, höyrystintä ja muita primääripiirin komponentteja varten.

Uudella reaktorin paineastian hitsaukseen tarkoitettulla hitsauslangalla on se etu, että säteilyannoksen $7 \cdot 10^{19}$ n/cm² jälkeen transitio lämpötilan siirtymä on vain 30...40°C, mikä on 2...3 kertaa vähemmän kuin USA:ssa ja muissa maissa käytetyissä teräkissä (kuva 4). CNJTT mashissa on myös käytetty uusi helposti erottuva sulatusjauhe, joka ei vaadi käsityötä kuonan poistamiseksi ja vähentää kuonasulkeumien todennäköisyyttä hitsaussaumassa.

Uudet teknologiset prosessit ja valvontamenetelmät

Valmistuksen työmäärän ja kestoajan alentamiseksi sekä laadun ja luotettavuuden kohentamiseksi CNJTT mash on yhdessä muiden alan organisaatioiden ja tehtaiden kanssa laatinut uusia edistyksellisiä teknologisia valmistusprosesseja atomivoimalaitosten laitteistolle.

Alempana esitetään esimerkit tehokkaimmista teknologisista prosesseista, teknologisesta laitteistosta ja työkaluista.

1. Paksun levyn päällystys räjäytysmenetelmällä turvaa lujan liitoksen ja samalla korkeat teknillistaloudelliset indikaattorit. Verrattuna päällehitsaukseen ("claddingiin") pienenee huomattavasti suojakerroksen paksuus (turvataan pienempi takuupaksuus); päällystetyn teräksen oikaisemisen ja hiomisen tarve jää käytännöllisesti katsoen pois. 70... 100 mm paksu rakenneteräs, joka päällystettiin räjäytysmenetelmää käyttäen 3...4 mm paksulla teräksellä OX18H10T on n 2 kertaa halvempi kuin vastaava cladding-päällystetty teräs. Räjäytyspäällystysmenetelmä on otettu käyttöön ja sovelletaan jo

uusille levyille, joiden pinta-ala on $16,5 \text{ m}^2$ ja paksuus 70...100 mm (rumpuseparaattorit, hydroakkumulaattorit yms). Samalla saavutetaan liitoksen tiiveys, joka on lähes 100 %. Sellaisten levyjen kuumataivutus ja muottitaonta ei aiheuttanut kerrostumien muodostusta tai vaurioita päällystyskerroksessa.

2. Päällystetyistä levyistä valmistettujen reaktoripohjien ja kansien muottitaonta. Monimutkainen ja työmäärältään suuri korroosiolta suojaavan päällehitsauksen ("claddingin") valmistusprosessi jää pois kansien ja pohjien osalta.
3. Reaktorin paineastian putkiyhdealueen valmistus stanssaamalla (reunoittamalla) putkiyhteet kokonaan taotuista vaiפוista. Kansainvälisen käytännön mukaan reaktorin ja höyrystimen paineastian sekä muiden atomivoimalaitosten laitteiden putkiyhteet valmistetaan hitsaamalla erikseen valmistettu putki astian vaippaan kiinni.

Putkiyhteiden uusi stanssausteknologia vaikuttaa varsin tehokkaasti paineastian luotettavuuden parantamiseen, lyhentää valmistusprosessia ja sen työmäärää. Menetelmällä varmistetaan, että saadaan putkiyhteet tarvittavalla halkaisijalla ja seinämäpaksuudella, jotka vastaavat lujuusvaatimuksia ja myöhemmin liitettävien putkien suositeltavia automaattihitsauksen ehtoja.

On kehitetty monitoimilaite, jonka avulla saadaan säteittäiset putkiyhteet reaktorin paineastioiden vaipoille ja epä-säteittäiset putkiyhteet höyrystimien vaipoille, jotka toimivat 1000 MW painevesireaktoreissa. On kehitetty myös menetelmiä, joilla saadaan kokonaan stanssatut putkiyhteet kollektorin ja höyryseparaattorin vaipoille, jotka toimivat 1000 MW kiehutusvesi-(kanava-)reaktoreissa.

Jokaisen putkiyhteen stanssaus suoritetaan yhdellä aihion asetuksella muotiin. Yhdellä vaipan kuumennuksella voidaan suorittaa peräkkäinen kahden putkiyhteen stanssaus. Yht'aikaa putkiyhteen stanssauksen kanssa suoritetaan vaipan kalibrointi putkiyhdealueella sekä vaipan soikeuden oikaisu.

4. Uusi valmistusteknologia suurimittaisille kokonaan stanssa-
tuille muotoelementeille korkeissa paineissa ja lämpötilois-
sa toimivia putkijohtoja varten (paksuseinäiset T-kappaleet
ja jyrkästi taivutetut kaavoituskappaleet).

Teknologinen prosessi turvaa T- ja kaavoituskappaleiden val-
mistuksen erilaisista teräsmerkeistä, s.o. hiili- seoste-
tuista ja ruostumattomista teräksistä.

Eräällä voimatalousalan koneenrakennusministeriöön kuulu-
valla tehtaalla on siirrytty valmistamaan stanssausmenetel-
mällä käytännöllisesti katsoen kaikki ne T-kappaleet, jotka
aikaisemmin valmistettiin hitsaamalla, valamalla tai tako-
malla (80 tyyppimitoitusta halkaisijaltaan 133-465 mm put-
kille). Tähän tarvittiin ainoastaan neljän eri mittaisen
yleisimestin valmistamista.

T-kappaleiden stanssausprosessin teknologiset mahdollisuu-
det:

- 1) Yhteen ja rungon seinämäpaksuuksien ja halkaisijoiden
suuruudet ovat käytännöllisesti katsoen rajoittamattomat,
- 2) seinämäpaksuuden suhde ulkohalkaisijaan on $S_0/D_0 = 0,04-0,2$;
- 3) yhteen sisähalkaisijan suhde rungon sisähalkaisijaan on
 $0,5-1,0$;
- 4) yhteen takuukorkeus silloin kun yhteen seinämän ohenemi-
nen päädyssä on 30-35 % on $0,2-0,25$ rungon ulkohalkaisi-
jasta.

Stanssausprosessi tapahtuu yhdellä kuumennuksella ja aihion
yhdellä käytöllä meistissä tavallisilla hydraulisilla puris-
timilla. Putkiaihioista valmistettavien putkimutkien stans-
sausprosessi ja meistin rakenne takaavat 90° -kulmassa ole-
vien putkimutkien saamisen yhdellä aihion kuumennuksella ja
yhdellä puristimen luistin iskulla. Tuotannossa on otettu
käyttöön eri teräksistä valmistettavien, halkaisijaltaan
aina 273 mm yltävien putkimutkien stanssaus.

Hitsatuista ja saumattomista galvanoiduista putkiaihioista valmistettavien, halkaisijaltaan D_{nim} -850 mm putkimutkien stanssausta varten on kehitetty oma teknologiansa ja varusteensa.

Putkimutkien stanssausprosessin teknologiset mahdollisuudet:

- 1) putkimutkien ulkohalkaisija on käytännöllisesti katsoen rajoittamaton,
 - 2) aihion seinämän suhteellinen sallittu minimipaksuus $S_0/D_0 = 0,06$;
 - 3) putkimutkan pienin suhteellinen säde (vinouden keskiarvosäteeseen suhde ulkohalkaisijaan) $R/D=0,8$,
 - 4) seinämän suurin mahdollinen oheneminen kuperalla puolella 6 % asti
- 180°-kulmassa oleville putkimutkien kaksivaiheista stanssausmenetelmää varten on kehitetty oma teknologinen prosessinsa ja omat meistinsä.

Putkimutkien stanssaukseen kehitettyjen prosessien etuna on se, että 90° ja 180° putkimutkat saadaan sellaisina, että niiden suorien päätyosuuksien pituus on 30-40 % ulkohalkaisijasta.

Yhtenä kokonaisuutena stanssattavien T-kappaleiden putkimutkien valmistus ei edellytä erityistä kuumennus-, puristus- tai konekalustoa.

Stanssattaessa T-kappaleita ja putkimutkia uudella teknologialla työn tuottavuus nousee 2-3 kertaiseksi tuttuihin stanssausprosesseihin verrattuna.

T-kappaleiden ja putkimutkien omakustannushinta laskee 30-40 % verrattuna hitsaamalla, valamalla tai takomalla valmistettavaan vastaaviin kappaleisiin.

5. Höyrystimen rungon yhdevaipan valuteknologia vähentää 50 t metallin kulutusta, alentaa mekaanisen työstön laajuutta 1,5 kertaaisesti, vapauttaa ainutlaatuiset konepaja- ja puristin-koneet, hitsaus- ja termiset laitteet sekä metallinleikkaus-

koneet. Valoksille on tehty kaikki pätevyyskokeet ja ne täyttävät ydinvoimalaitosten primääripiirin osille asetetut kansainväliset vaatimukset (taulukko 4).

Metallin kokonaismäärä, joka tarvittaisiin pintavikojen korjaamiseen, ei ylittäisi 0,1 % vaipan nettopainosta. Ulkomaalaisten specialistien tietojen mukaan yvl:n valettujen osien valmistus on taloudellisesti oikeutettua, jos korjauksen yhteydessä päällehitsataan metalli 5 % osan painosta.

6. Pk-pumppujen GTN-195 ja venttiilien D_{nim} -850 runkojen valuteknologia ruostumattomasta teräksestä, teknologia sulkee pois taonnan, stanssauksen, hitsauksen ja sisäpuolisen päällystyksen.
7. Kaksinauhainen automaatti valanteiden päällystystä varten, jotka menevät kaksikerroksisen levyn valssaukseen.
8. Teknologinen prosessi ja laitteet vaippojen kaksinkertaista päällehitsausta varten nelinkertaisen asemesta, mikä vähentää työmäärää ja päällehitsausprosessia 1,5-2 kertaisesti. Meneillään on yksinkertaiseen päällehitsaukseen tähtäävät kehittelytyöt; siinä käytetään uutta nikkeli-seosnauhaa.
9. Höyrystimien ja muiden paksuseinäisten astioiden rengassaumojen automaattinen kaasusähköhitsaus, kun railo on kapea (laite A CY-1). Koska sauman poikkileikkauspinta pienenee jyrkästi verrattuna U-railoon, niin sulatetun metallin määrä vähenee 2,5 kertaisesti, sisäisten jännitysten ja hitsausmuodonmuutosten taso laskee, taataan suotuista metallin rakenne saumassa ja muutosvyöhykkeellä sekä hitsiliitoksen korkealaatuiset mekaaniset ominaisuudet.
10. Automaattilaite jauhekaarihitsausta varten antaa mahdollisuuden hitsata reaktorin VVER-1000 kaikki ulkopuoliset rengassaumat, joissa seinämän paksuus on 300 mm ja painastiaan liittyvien runkotuotteiden saumat. Samalla hitsiliitoksen laatu paranee huomattavasti, tehokkuus kasvaa ja työolosuhteet paranevat.

11. Laitteistosarja, joka tarvitaan lämmönvaihtimien elektrinisuihkuhitsaukseen, antaa mahdollisuuden hitsata suuri määrä erilaisia lämmönvaihtimentyyppisiä tuotteita. Laitteen erikoisuus on se, että tuote on osa sitä tilaa, jossa syntyy alipaine ja jonka päädyt rjataan sulkukammioilla.

Laitteeseen kuuluu järjestelmä, joka puoliautomaattisesti säätää elektorinisuihkun hitsattavan putken puskuliitoksen ja rekisteröi samanaikaisesti kyseisen putken sijainnin putkilevyssä.

12. Kokonaislaite "Hitsauskeskus" on tarkoitettu höyrystimien PGV-440 ja PGV-1000 runkojen hitsaamiseen. Laitteen erikoisuutena on se, että voidaan liittää yhteen vaipat ja etukäteen kiinnihitsatut ja stanssatut putkiyhteet Du 800-1190.

"Hitsauskeskus" mahdollistaa tuotteiden mekaanisen työstön hitsausta, kuumennusta, termistä lepoa, ulkoa ja sisältä tähtävää hitsikuvun työstöä sekä ultraäänitarkastusta varten. Hitsausliitoksen vikojen korjaus on myös mahdollista.

13. Yhtenäistetty automaattihitsauslaitteisto höyrystimien PGV-1000 Du 350...Du 1200 putkiyhteille railon ollessa yksi- tai kaksipuolinen. Railojen täyttö tapahtuu panemalla päälle rengaspalot automaattihitsauksella sulatusainekerroksen alla. Hitsausprosessia ohjataan kauko-ohjauspulpetista.

14. Uusi lämpökäsittelyteknologia lyhentää päästöjen kestoajan melkein puoleen ja turvaa hitsausliitosten lujuuden.

15. Säteilevillä sähkövastuslämmittimillä varustettu konsolilaite, joka on tarkoitettu reaktorin paineastian putkiyhdealueen automatisoituun kuumentamiseen hitsausta varten. Lämmityslaitteen teho on 1500 kVA lämmitysalueen leveys 1,5 m, hitsausta varten tehtävän kuumennuksen lämpötila on 200...250°C, kuumennusnopeus on 40...50°C/h.

Samanaikaisesti suoritetaan ulkoapäin induktiomenetelmällä lämmitys, jossa käytetään teollisuustaajuissa virtoja sekä litteiden induktorien järjestelmää.

16. On kehitetty teknologiset prosessit ja laitteet höyrystimen pohjan ja rungon hitsausta valmistelevaa säteilylämmitystä varten sekä suoraviivaisten sähkökuonahitsaussaumojen kuumennusta varten.
17. Esikuumennuksen ja sitä seuraavan lämpökäsittelyn teknologinen prosessi asennusolosuhteissa hitsaussaumoilta, jotka yhdistävät putkijohdot reaktorin putkiyhteisiin. Aidossa mallissa on tutkittu ne pysyvät jännitykset, jotka syntyvät hitsauksen ja lämpökäsittelyn uuden teknologisen prosessin käytön johdosta. Osoitettiin, että ne eivät ylitä sallittuja arvoja.
18. 1000 MW reaktorin kannelle on kehitetty kierteillä varustettuja yhteitä käyttävä rakenne ja valmistusteknologia. Kannen rakenne on teknologisempi kuin hitsatuilla yhteillä varustetun kannen.
19. Reaktorin kannen ja pohjan ulkopinnan jälkityöstöön sekä päällehitsatun kerroksen työstöön käytetään käsin tehtävän viimeistelytyön (hionta) syrjäyttäviä teknologisia prosesseja ja laitteita.
20. YVL:n runko-osien suurten sisäpuolisten kierteiden työstöön tarkoitettut teknologiset prosessit ja välineet. Runko-osien valmistuksessa käytetty teknologia työstettäessä halkaisijaltaan 60-200 mm ja nousultaan aina 6 mm sisäpuolisia kierteitä edellytti kierteiden jyrsimistä käyttäen useasta mittalaitteesta koostuvaa sarjaa (4-6 mittaa) ja kierteiden kalibroinnista vastaavasti 2-3 pyörivällä kierrepäällä. Tämä prosessi on vähätuottoinen ja aiheuttaa kierrevikoja (kierteen harjan murtumisia, lohkeamisia, reunahaavoja), joi- ta ei pystytä eliminoimaan edes kierteiden moninkertaisella kalibroinnilla pyriviä kierrepäitä käyttäen. Pinnan tarkkuuden ja annetun karheuden luotettava ja stabiili varmistam-

minen saavutetaan käyttämällä TSNIIT mashin kehittämiä kier-
teiden moninkertaiseen jyrsimiseen tarkoitettuja säädettäviä
kierteiden jyrshintäpäitä. Säädettävien kiertojyrshintäpäiden
edut:

- 1) mahdollisuus käyttää järkeviä leikkauskaavioita ja
leikkaavan osan geometriaa,
- 2) jyrshintäharjojen automaattinen poisto kierteistä jyr-
shintäprosessin päätyttyä,
- 3) mahdollisuus säätää jyrshintävän kierteen mittoja laa-
jalla alueella,
- 4) mahdollisuus asentaa samaan runkoon laajalle kierre-
halkaisija-alueella tarkoitettuja jyrshintäharjoja,
- 5) työkalumateriaaliksi säästö.

Ydinvoiman koneenrakennuksen laajan osavaliokoman 64-200
mm, jopa 6 mm kierrevälisen kierreaukkojen valmistuksen,
uuden teknologian ja kierteityspään rakenteen käyttökokemus
on osoittanut, että tällöin työn tuottavuus nousee 2-3 ker-
taisesti, työstön puhtaus paranee 1-2 luokkaa, työkalujen
valmistuskustannukset alenevat 5-6 kertaa, toimenpiteiden
suoritusvarmuus ja stabilisuus sekä työolosuhteet paranevat
huomattavasti.

21. Suojaputkisyksikön soikeiden aukkojen teknologinen prosessi
ja asennus tuotantokäsittelyä varten.
22. Kaksitoistakarainen työstökone höyrytimen kollektorien
aukkojen porausta varten.
23. Koneellinen teknologia ja laitteet primääripiirin astioiden
sisä- ja ulkosaumojen työstä varten.
24. Koneellinen laite reaktorin paineastian sisäpinnan hiomista
varten itsesäätyvillä hiomalaikoilla monilaikkahiontamenetel-
mällä, joka poistaa raskaan käsityön.
25. Vaippojen mekaaniseen työstöön yhdistetty vaippojen auto-
maattinen ultraäänitarkastusmenetelmä. Laitteistolla voidaan
havaita 8-400 mm syvyydessä olevia vikoja, joiden ekvivalent-

tipinta-ala on 4 mm^2 , tarkastusnopeuden ollessa 60 m/min. Viat merkitään vaipan runkoon ja kirjataan piirturilla.

Automatisoidussa koepenissä suoritetaan YVL:n sylinterimäisten astioiden pitkittäissaumojen ja ympyräsaumojen tarkastus, tarkastustulokset kirjataan automaattisesti sähkötermiselle paperille, käytössä on erikoinen elektroninen laitteisto, johon voidaan kytkeä aksustisia järjestelmiä muutamiin kanaviin.

CNIIT mashissa on kehitetty joukko etsintälaitteita, joiden avulla voidaan huomattavasti parantaa tarkastuksen kapasiteettia ja luotettavuutta.

26. Ferromagneettisista materiaaleista valmistettujen vaippojen magneettipartikkelikoe vaippojen mekaanisen työstön prosessin aikana karusellityöstökoneessa. Laitteistolla voidaan havaita 0,3 mm ja sitä syvempiä pintavikoja tarkastusnopeuden ollessa 80 m/min. Viat merkitään suoraan vaipan pintaan.
27. Hitsisaumojen automaattinen ultraäänitarkastusjärjestelmä (kuva 26). Ydinvoimatalouden konerakennuksen teknologian kehittämisen ja parantamisen pääsuuntana on tuotannon tehostaminen, työkentän laajentaminen, toimenpiteiden limittäminen valmistuksen suurtoisyyden ja valmistusjakson supistamiseksi. Yhtä suuri merkitys on teknologisten prosessien ja työprosessien optimoinnilla ja vakauttamisella, jotta valmistuksen laatu ja tarkkuus paranisivat.

Teknologisten prosessien tulee olla mahdollisimman sopivia automatisointia varten, joka ei ainoastaan nosta kapasiteettia ja paranna työolosuhteita, vaan myös takaa korkeamman laadun koska teknologiset prosessit on vakautettu ja niitä voidaan ohjelmoidusti säätää.

Teknologisten prosessien tehokkain säätömenetelmä on adaptiivinen ohjaus, jolloin antureilla kirjataan työprosessien todelliset parametrit ja takaisinkytkennän avulla ne korjataan ihanteellisiin arvoihin.

Teknologinen laitteisto vaikuttaa oleellisesti YVL:n valmisteiden valmistuksen laatuun ja valmistukseen tarvittuun työmäärään. Teknologisen laitteiston avulla tulee saavuttaa korkea tarkkuus kinematiikassa, suuri jäykkyys, teknologisten prosessien parametrien stabilisuus, varmuus ja pitkä käyttöikä. Suuri merkitys on myös instrumenttien, varusteiden, perus- ja teknologisten materiaalien sekä aihoiden laadulla. Tämän vuoksi YVL:en ainutlaatuisten valmisteiden tuotanto on varustettava korkealaatuisella, nykyaikaisella teknologisella laitteistolla.

Keskuslämpötila									
+20°C				+350°C				+20°C	-20°C
$\bar{\sigma}_B$ KP/MM ²	$\bar{\sigma}_{0,2}$ KP/MM ²	δ %	ψ %	$\bar{\sigma}_B$ KP/MM ²	$\bar{\sigma}_{0,2}$ KP/MM ²	δ %	ψ %	ak iskusitkeys	ak Charpy V
69,2	59,6	25,0	77,3	61,3	53,0	19,0	75,2	27,0	26,3
71,0	62,2	24,0	77,0	61,3	52,6	19,2	76,2	27,5	20,3
69,2	58,6	24,6	77,7	58,8	48,8	19,2	74,6	26,0	20,0
67,5	57,7	25,0	77,0	58,2	49,5	17,0	74,7	27,6	25,0
TU 62,0	50,0	15,0	55,0	55,0	45,0	14,0	50,0	6,0	4,0

Taulukko 1. Uudesta teräksestä valmistetun reaktorin paineastian taotun pohjavaipan mekaaniset ominaisuudet (D=4500 mm, paksuus 240 mm, austenitointi 920°C, pitoaika 8 h, karkaisu vedessä, päästö 650 °C 16 h, ilmajäähdytys ja päästö 625°C, 25 h + päästö 650°C, 20 h), murtuma -100 % sitkeä.

Mekaaniset ominaisuudet	Lämpötila, °C								
	20	100	150	200	250	300	350	375	400
$\bar{\sigma}_B$ KP/MM ²	65	61	59	59	59	59	59	59	56
$\bar{\sigma}_{0,2}$ KP/MM ²	50	48	47	46	45	44	44	44	41
δ %	25	24	22	22	22	22	22	23	23
ψ %	71	71	72	70	69	69	70	70	72
ψ_B %	8	7	6	7	7	6	8	7	8

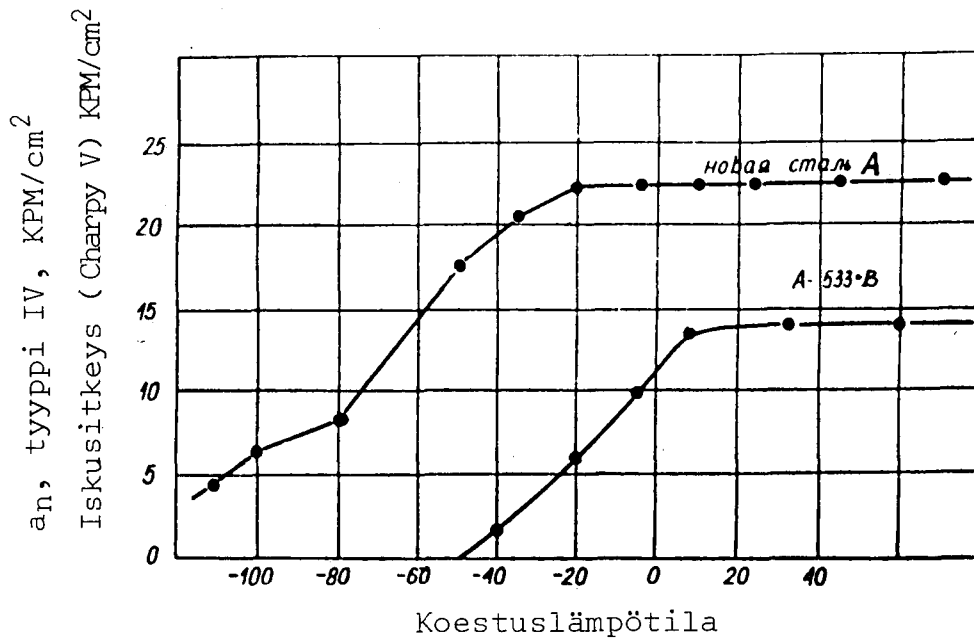
Taulukko 2. Höyrystimien runkojen ja muiden säiliöiden valmistuksessa käytettävän uuden teräksen mekaaniset ominaisuudet lämpötilojen 20...400°C välillä.

Teräs	+20°C					+350°C	
	σ_B kp/mm ²	$\sigma_{0,2}$ kp/mm ²	δ %	ψ %	a_k kpm/cm ²	σ_B kp/mm ²	$\sigma_{0,2}$ kp/mm ²
Ilman nikkeliä	55	40	30	60	15	50	32
OX18H10T	50	20	40	55	-	36	16

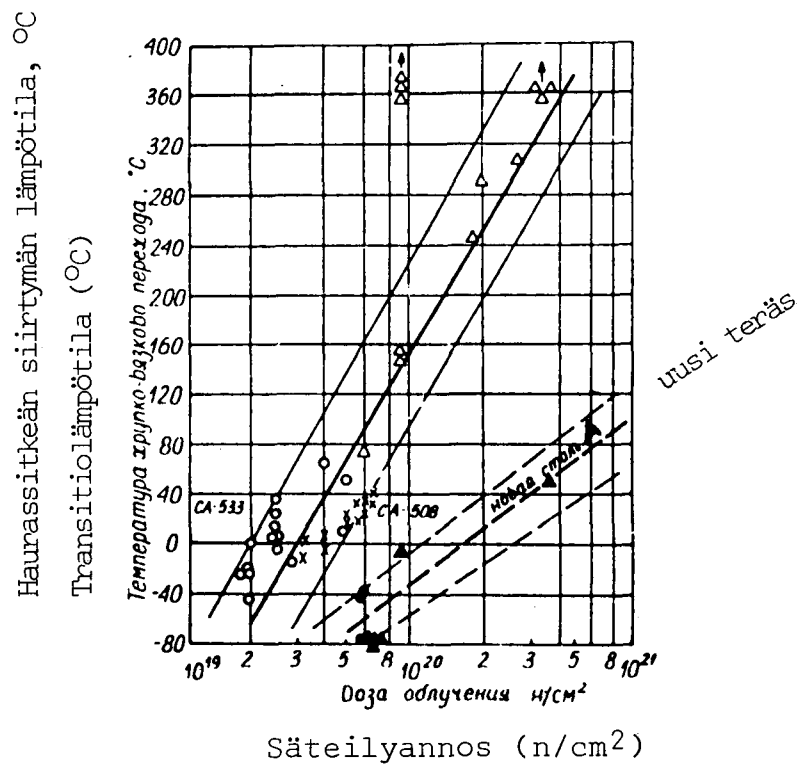
Taulukko 3. Ruostumattomien terästen mekaaniset ominaisuudet.

Tutkittava materiaali	+ 20°C				+ 350°C				A_{kt} kpm/cm ²		
	σ_B kp/mm ²	$\sigma_{0,2}$ kp/mm ²	δ %	ψ %	σ_B kp/mm ²	$\sigma_{0,2}$ kp/cm ²	δ %	ψ %	+ 20°C	0°C	-10°C
Perusaine	69,1	52,9	19,0	52,6	58,0	44,5	16,7	55,0	12,3-17,9	5,9-7,3	4,6-9,0
	70,7	56,4	26,7	55,7	58,7	44,7	19,0	57	15,7	6,4	6,8
Hitsiliitos	65,9	51,2	16,3	64,0	57,3	45,8	13,3	53,3	15,6-18,7	12,5-16,8	8,7-13,4
	67,2	52,0	19,3	67,9	60,1	48,0	16,8	62,3	16,7	14,3	10,9
Hitsiaine	64,5	55,6	22,7	58,5	63,4	51,6	16,7	57,8	13,9-14,0	8,5-14,7	7,8-12,7
	66,0	56,6	25,3	66,8	64,0	53,6	20,0	57,8	13,9	12,5	9,9

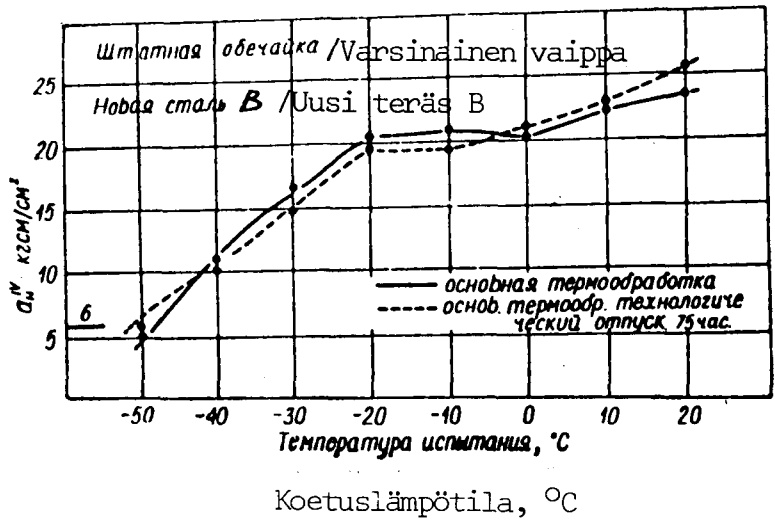
Taulukko 4. Uudesta niukkaseoksisesta perliittiteräksestä valmistetun höyrystimen valetun vaipan mekaaniset ominaisuudet (lämpökäsittely: päästö 620°C, 5 h + päästö 650°C, 10 h).



Kuva 1. Teräksen iskusitkeyden (Charpyn mukaan) riippuvuus lämpötilasta. Vertailun vuoksi on esitetty amerikkalainen teräs A-533-B.

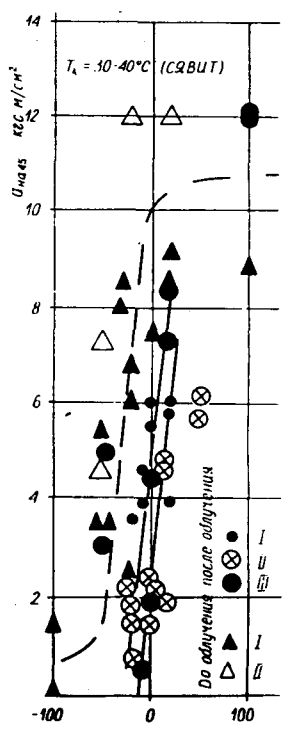


Kuva 2. Uuden teräksen säteilykestävyys.



— varsinainen lämpökäsittely
 - - - varsinainen lämpökäsittely, teknologinen päästö, 75 h

Kuva 3. Uuden teräksen iskusitkeyden (Charpyn mukaan) riippuvuus lämpötilasta ja käyrien vertailu lämpökäsittelyn jälkeen.



△ I ennen säteilytystä
 △ II
 • I
 ⊗ II säteilytyksen jälkeen
 ● III

Kuva 4. Uusien hitsisaumojen säteilykestävyys

Energy Uses by Sector, WOCA

