

ATS

Tiedotuslehti n:o 6/1974

Sisältö:	s.
LOVIISA I POLTTOAINEEN VAIHTOKONEEN KONSTRUKTIO S. Blom ATS:n kokous 13-12-73	1
TEOLLISUUDEN VOIMA OY:N ESITTELY M. von Bonsdorf ATS:n kokous 16-5-74	14
HELSINGIN SEUDUN LÄMPÖVOIMA OY - SUUNNITELMAN ESITTELY E. Toiviainen ATS:n kokous 16-5-74	25
FINNATOM OY:N ESITTELY U. Luoto ATS:n kokous 16-5-74	33
YDINVOIMA-ALAN TUTKIMUSTOIMINNAN LÄHIAJAN NÄKYMÄT V. Palva ATS:n kokous 16-5-74	37
YDINENERGIAN KÄYTÖN TURVALLISUUSNÄKÖKOHDISTA O. Tiainen ATS:n kokous 19-9-74	44
REAKTORIONNETTOMUUKSIEN KOKEELLINEN JA ANALYYTTINEN SELVITTELY H. Reijonen ATS:n kokous 19-9-74	50
LOVIISAN YDINVOIMALAITOKSEN TURVALLISUUTEEN LIITTYVIEN LUOTETTAVUUSANALYYSIEN SUORITTAMINEN J. Ervamaa ATS:n kokous 19-9-74	65
TODENNÄKÖISYYSMENETELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO TURVALLISUUS- ANALYYSISSÄ T. Mankamo ATS:n kokous 19-9-74	71
KOKEMUKSIA DETERMINISTISEN JA PROBABILISTISEN TURVALLISUUSANALYYSIEN KÄYTÖSTÄ R. Tarjanne ATS:n kokous 19-9-74	81
ALUSTUKSIA AIHEESTA "YDINVOIMA SUOMESSA" M. Roos L. Nevanlinna ATS:n kokous 17-10-74	91 97

Blom

13.12.1973

LOVIISA I

POLTTOAINEEN VAIHTOKONEEN KONSTRUKTIO

Polttoaineen vaihtokone suorittaa nimensä mukaisesti ydinvoimalaitoksella käytettyjen polttoaine-elementtien vaihtoa uusiin. Tämä prosessi on mahdollista suorittaa reaktorin toiminnan aikana kuten esim. kaasujäähdytteisissä ja useissa raskasvesireaktoreissa tai sitten voimalaitoksen vuosiseisokin yhteydessä reaktorin ollessa pysähdyksissä. Näin tapahtuu tavanomaisissa painevesireaktoreissa ja kiehutusvesireaktoreissa.

Ensiksi mainitut, jatkuvaan lataukseen soveltuvat koneet ovat suuria ja raskaita laitoksia, joissa on lukuisia erilaisia toimilaitteita paineenalaiseen ja korkeassa lämpötilassa toimivaan reaktoriin tunkeutumisiksi ja sieltä otetun, voimakkaasti säteilevän, käytetyn polttoainetangon poiskuljettamiseksi. Jälkimmäisen lajin latauskoneet, joiden joukkoon VALMET Oy:n polttoaineen vaihtokonekin kuuluu, ovat rakenteellisesti yksinkertaisempia, ja niiden tekniset hienoudet löytyvät paikoitustarkkuuden ja toiminnan luotettavuuden alueista.

Polttoaineen vaihtokoneen eli PAV-koneen teknilliset alkuarvot ja toimintavaatimukset on annettu neuvostoliittolaisen tilaajan toimesta. Täydentäviä tietoja on saatu eurooppalaisista nosturinormeista sekä ydinvoimaloiden nosturi- ja kuljetinkalustoa koskevista turvallisuus- ja rakennemääräyksistä (VdTÜV-Merkblatt v. 1968). Edellä olevien avulla on voitu täsmentää osa suunnitteluun tarvittavasta tiedosta, mutta suuri osa, varsinkin sentyyppisistä ratkaisuksista, jotka ovat liittyneet pysäyttämistarkkuuteen, käytön luotettavuuteen ja suojajärjestelmään, on ollut pakko ratkaista omin voimin.

PAV-koneen tehtävät

Loviisan ydinvoimalaitosta varten suunniteltavalla PAV-koneella, kuvat 1 ja 2, tullaan suorittamaan seuraavanlaisia toimintoja polttoaineen vaihtotapah-tuman aikana:

- uuden polttoaineen tuontia latausaltaaseen ja siitä edelleen reaktoriin,
- käytetyn polttoaineen siirtoa reaktorista takaisin latausaltaaseen ja siitä edelleen kuljetuskontaineriin,

- käytetyn polttoaineen siirtoa reaktorissa vyöhykkeeltä toiselle,
- vuotavia polttoaine-elementtejä etsittäessä elementtien siirtoa reaktorista tarkastuspulloihin,
- vuotavien elementtien siirtämistä tarkastuspulloista painetiiviisiin säilytyspulloihin,
- tarkastus- ja painetiiviiden pullojen korkkien avaamista ja sulkemista,
- painetiiviiden säilytyspullojen siirtoa latausaltaasta kuljetuskontaineriin pois-siirtoa varten,
- reaktorin säätökoneistoon kuuluvien välitankojen irrottamista säätösauvoista ja niiden nostamista poiskuljetusasentoon,
- varsinaisten säätösauvojen poiskuljettamista ja takaisintuontia,
- säätösauvarakenteen kanssa yhdessä toimivan säätösauvan polttoaine-elementin vaihtoa,
- polttoaine-elementtejä reaktorissa pystyssä pitävien aukkojen puhdistusta erityisesti niitä varten mastoon suunnitellulla hiomalaitteella,
- säätösauvojen kanssa yhdessä toimivien polttoaine-elementtien iskunvaimennintappien puhdistusta toisella hiomalaitteella. Tällöin masto on venytettynä ääripituuteensa, ja sen alapää on n. 18 m lattiatason alapuolella.
- päämaston lisäksi koneeseen kuuluvan TV-maston avulla sekä polttoaine-elementtien että elementtejä tukevien rakenteiden kunnon tarkkailua. TV-mastolla voidaan laskeutua reaktoriin n. 20 m syvyyteen.
- päämaston ohella koneessa olevan TV-telekoopimaston ja sen päässä olevan TV-kameran avulla elementtien ja niitä kannattavien rakenteiden kunnon tarkkailua,
- mahdollisia muita häiriötilanteissa tarpeellisia erikoistoimintoja PAV-koneen päämastoon helposti liitettävien erikoistyökalujen avulla.

Polttoaineen vaihtokoneen rakenne

Silta ja vaunu ovat tavanomaisia teräsrakenteita. Maalaus käsittelyn avulla pinnat suojataan laitoksen suurta, 90 %:sta kosteutta vastaan. Maalauspintojen tulee kestää erilaisten kontaminanttien poistamiseen tarkoitettua painevesipesua 4 %:sella boorihappoliuoksella H_3BO_3 .

Sillan pääkannattajien jäykkyys on huomattavan suuri verrattuna esim. siltanosturien kannattajiin. Maks. kuormalla 20000 N kuormitettaessa sillan taipuma kasvaa vain 0,1 mm.

Ajokoneistot ovat portaattomasti säädettyjä niin, että sekä sillan että vaunun nopeuksia voidaan muuttaa rajoissa 0,2...15 m/min:ssa. Ajokoneistojen vaihteistot ovat erikoisrakenteisia, ylimitoitettuja lieriövaihteita. Niiden akselitiivisteet ovat kaksinkertaiset, niin että voitaisiin estää mahdolliset öljyvuodot reaktoriin. Lisäksi on jokaisen vaihteen alla öljykaukalo, johon öljy pääsee valumaan, jos tiivisteet alkavat vuotaa.

Irtainten osien pääseminen altaaseen on pyritty estämään lukitsemalla kaikki ruuvit ja mutterit, sokat jne. joko mekaanisesti tai hitsaamalla. Jonkin tällaisen esineen putoaminen reaktoriin kenenkään huomaamatta voisi olla tuhoisaa.

Vaunun hoitosillat ovat kolmessa eri tasossa, joista alimpaan on sijoitettu PAV-koneen täydelliset ohjauslaitteet. Ylin hoitotaso voidaan kallistaa sivulle, jonka jälkeen päämaston voi nostaa pois reaktorihallin nosturin avulla ja vaihtaa varamastoonsa.

Päämaston nostokoneisto on portaattomasti säädetty kuten ajokoneistotkin. Nostonopeutta voi säätää 0,2...15 metriin/min. Säätö tapahtuu oikosulkumoottorin syöttötaajuuden muuttamisen periaatteella. Taajuuden muuttamista ohjataan tyristori-invertterillä (ns. pulssin leveysmoduloitu oikosulkumoottorikäyttö).

Päämaston muodostaa 5 kpl sisäkkäisiä putkia, jotka on kiinnitetty ja laakeroitu vaunun runkoon. Päämasto avautuu putki kerrallaan ja ulottuu pisimmillään n. 18 metriä lattiataason alapuolelle. Mastot liukuvat sisäkkäin erikoismuovista valmistettujen liukujohteiden ohjaamina. Sisäin putki on kiinnitetty kahdella vaijerilla nostokoneiston köysitelään. Vaijerit toimivat erillisinä niin, että toisen vaijerin katkeaminen ei aiheuta vaaratilannetta. Molempien vaijerien varmuus murtoon nähden on kymmenen.

Kaikki päämaston veden kanssa kosketuksessa olevat osat ovat ruostumatonta terästä tai muuta korroosiota kestäväää raaka-ainetta. Jotta maston osien väliset liikkeet eivät aiheuttaisi iskuja maston mukana liikkuvalla polttoaine-elementille, ovat putkien välillä iskunvaimentimet, samoin ovat putkien välillä mekanismit, jotka estävät mastoa nostettaessa ja laskettaessa sen, että jokin maston putkista alkaisi liukua väärässä järjestyksessä. Näin voisi tapahtua silloin, kun maston liukukengät jostain syystä olisi säädetty liian tiukoiksi.

Maston alapäässä on tartuntamekanismi, jonka lukitseminen ja avaaminen tapahtuu maston kiertoliikkeen avulla.

Polttoaine-elementtien, säätösauvojen, vuotavien elementtien säilytyspullojen yms. käsittelyä varten voidaan maston alapäähän liittää erilaisia istukoita. Näitä säilytetään latausaltaassa veden alla olevassa telineessä, kuva 3. Vain näitä istukoita käyttämällä voidaan tarttua käsiteltävänä olevaan laitteeseen.

Kuvasta 4 voidaan nähdä, kuinka istukkaan tarttuminen latausaltaassa tapahtuu. Maston alapää, osa 11, lasketaan istukan varaan ja sitä kierretään 60° , jolloin istukan tapit, osa 14, kiinnittyvät maston uriin, osa 15.

Kun mastoa aletaan nostaa, jää telineeseen kuuluva keskitanko, osa 39, paikalleen ja sallii lukituskiilan, osa 18, laskeutumisen istukan vastaavaan uraan ja lukitsee näin istukan kiertymistä vastaan. Istukka voidaan irrottaa maston päästä tämän jälkeen ainoastaan painamalla kiilakappale jollakin tavalla ylös ja kiertämällä mastoa istukkaan nähden vastakkaiseen suuntaan kuin kiinnitettäessä.

Kuvasta 5 nähdään myös miten istukalla tartutaan varsinaiseen polttoaine-elementtiin. Tällöin istukan alapää painetaan elementin päässä olevaan reikään. Elementin tartuntanastat nousevat istukan uria pitkin ylöspäin, kunnes liike pysähtyy kiertyvän holkin, osa 22, pykälään, osa 26, jonka tällöin on oltava kiertyneenä uran, osa 24, kohdalle. Tämän jälkeen mastoa kierretään 60° ja aletaan nostaa. Elementin tapit laskeutuvat pykälän, osa 25, varaan ja siinä oleva rajakatkaisinvipu antaa signaalin siitä, että elementti on paikallaan ja nostoa voidaan jatkaa.

Polttoaine-elementin tarttumisesta saatavan impulssin lisäksi mastosta saadaan viesti siitä, että istukka on oikein kiinnittyneenä paikalleen.

Molemmat impulssit välitetään erikoisrajakatkaisimilla, jotka kestävät lämpöä -55° ... 120°C ja γ -säteilyä 10^7 röntgeniin saakka. Sen lisäksi ne kykenevät toimimaan vedessä useamman kilon paineen alaisena.

Polttoaine-elementtien pohjapesien hiontaa suoritettaessa valitaan latausaltaan telineestä istukan asemesta tarvittava hiomapää. Tämä lasketaan reaktoriin puhdistusta vaativaan aukkoon ja mastoa edestakaisin pyörittämällä suoritetaan haluttu hoonausoperaatio. Jatkuvaa kiertoa yhteen suuntaan ei voida toteuttaa, koska maston mukana liikkuvat vaijerit ja kaapelit sotkeutuisivat. Mastoa kierretessä on maks. vääntömomentti n. 700 Nm ja kiertonopeutta voidaan säätää alueessa 0,5...15 r/min.

Jos polttoaine-elementti ei painu itsekseen kokonaan pohjapesäänsä, on latausaltaassa erityinen lisäpaino, jolla voidaan maston päähän kiinnitettynä puristaa n. 6000 N lisävoimalla polttoaine-elementin pääty-pintaa.

Päämaston rinnalla on hieman hennompi ja vähemmän vaativaan toimintaan tarkoitettu televisiokameran teleskooppimasto. Rakenteeltaan se muistuttaa päämastoa. Sen nostokoneisto on portaattomasti säädettävissä nopeusalueessa 0,2...15 m/min. Lisäksi se voidaan kytkeä päämaston kanssa sähköisesti yhteen niin, että molemmat mastot liikkuvat aina samalla nopeudella ja yhtä aikaa.

TV-masto kiertyy oman akselinsa ympäri samoin kuin päämastokin, ja lisäksi sitä voi kiertää päämaston ympärillä alueessa $\pm 135^{\circ}$.

Mastoon kiinnitetty erikoisrakenteinen, vesitiivis TV-kamera kestää jatkuvaa käyttöä $+50^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa ja kokonaisannoksena 10^8 röntgeniä säteilyä. Kameran objektiivia sekä kuvakulmaa voidaan säätää kauko-ohjauksen avulla.

Polttoaineen vaihtokoneen ohjausjärjestelmä

Kaaviossa, kuva 6, voidaan tarkastella latauskonetta sen operaattorin näkökulmasta ja niistä toiminnoista käsin, joita sillä voidaan suorittaa. Koneen varsinaiset liikkeet on esitetty kuvan vasemmassa reunassa olevilla kirjaimilla; siinä näkyvät sillan ja vaunun ajoliikkeet, pää- ja TV-maston nosto-, lasku- ja kiertoliikkeet. Viimeisenä on anturi, joka mittaa päämaston kuormitusta. Näillä kaikilla on oma näyttölaitteensa koneessa olevassa käsiohjauspöydässä; samat näyttölaitteet ovat lisäksi apuohjauspöydässä kontainmentin ulkopuolella. Tällä tavalla tehdään mahdolliseksi polttoaineenvaihto tai jokin aputoiminto

silloin, jos kontainmentissa ei korkean säteilytason vuoksi voi oleskella pitempiä aikoja. Päämaston x- ja y-koordinaattien digitaalisten näyttölaitteiden lisäksi on ohjauspöydissä reaktorin ja latausaltaan aluetta jäljittelyä valotaulu. Tässä nähdään liikuvan valopisteen avulla jatkuvasti päämaston asema. Valotaulun avulla voidaan päämasto ajaa karkeasti oikeaan paikkaan. Digitaalista ohjausjärjestelmää käyttäen tehdään hienosäätö. Maston paikoitustarkkuuden on arvioitu olevan $\pm 2...3$ mm.

PAV-koneen turvallisuuden kannalta erittäin keskeinen tehtävä on koneen suojajärjestelmällä. Tällä halutaan etukäteen eliminoida erilaiset inhimilliset virhetoiminnot, tällaisia ovat mm:

- päämaston seiniin törmääminen altaan eri alueissa. Tämä on estetty rajakatkaisinpattereilla ja niihin liittyvillä sähköpiireillä, jotka pysäyttävät koneen liikkeen halutulla tavalla reaktorin eri alueissa.
- pääliikkeiden liiallinen kiihdyttäminen ja vastaavasti hidastaminen - estetään virran syöttölaitteissa olevilla rajoittimilla,
- sallitun kuorman tai momentin ylittäminen - estolaitteena on sähköisiä ja mekaanisia ylikuormituskytkimiä,
- voimakkaasti säteilevien polttoaine-elementtien liian ylös nostaminen - estetään mekaanisilla ja sähköisillä suojakytkimillä,
- polttoaine-elementin vaillinaisen kiinnityminen - estetään päämaston alapäässä olevien rajakatkaisimien ja suojakytkimien avulla.

Ohjausjärjestelmä kokonaisuutena suunnitellaan siten, että se myöhemmin voidaan kytkeä tietokoneeseen. Tämän avulla ohjauskäskyt voidaan antaa yhtenä, pitempänä ilmoituksena. Samalla tietokone valvoo, ettei toiminnoissa pääse tapahtumaan virheitä ja suorittaa tehtyjen operaatioiden kirjanpidon.

Valmistusaikataulu

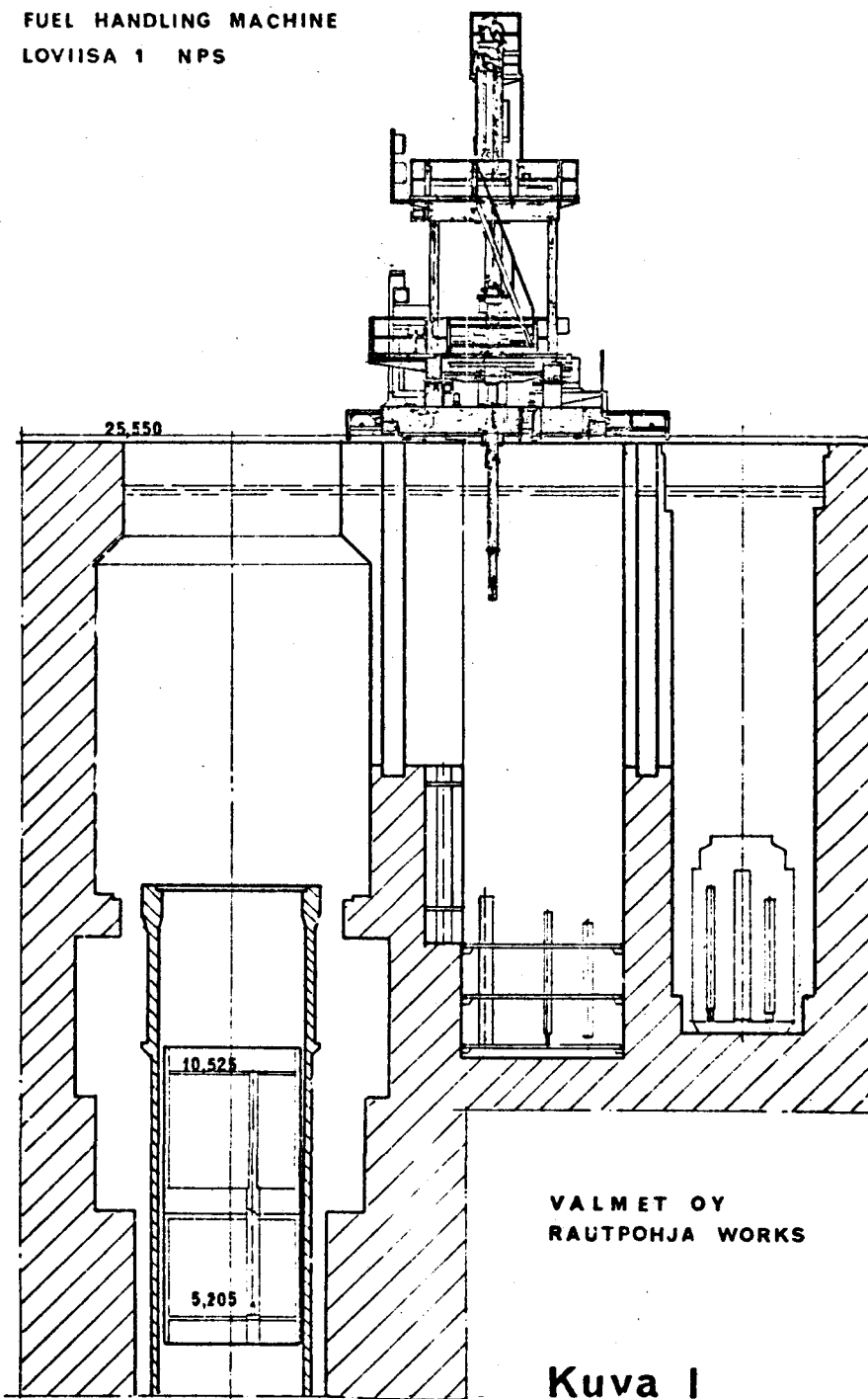
PAV-koneen suunnittelutyötä on tehty vuodesta 1971 lähtien, joskin vasta v. 1973 saatiin aktiivinen työskentely käyntiin.

Päämaston koekäyttö suoritettiin Valmet Oy:n Rautpohjan Tehtaalla maaliskuussa v. 1974. Koekäytön perusteella ei jouduttu tekemään mitään konstruktiivisia muutoksia joitakin materiaalien uudelleen valintoja lukuun ottamatta.

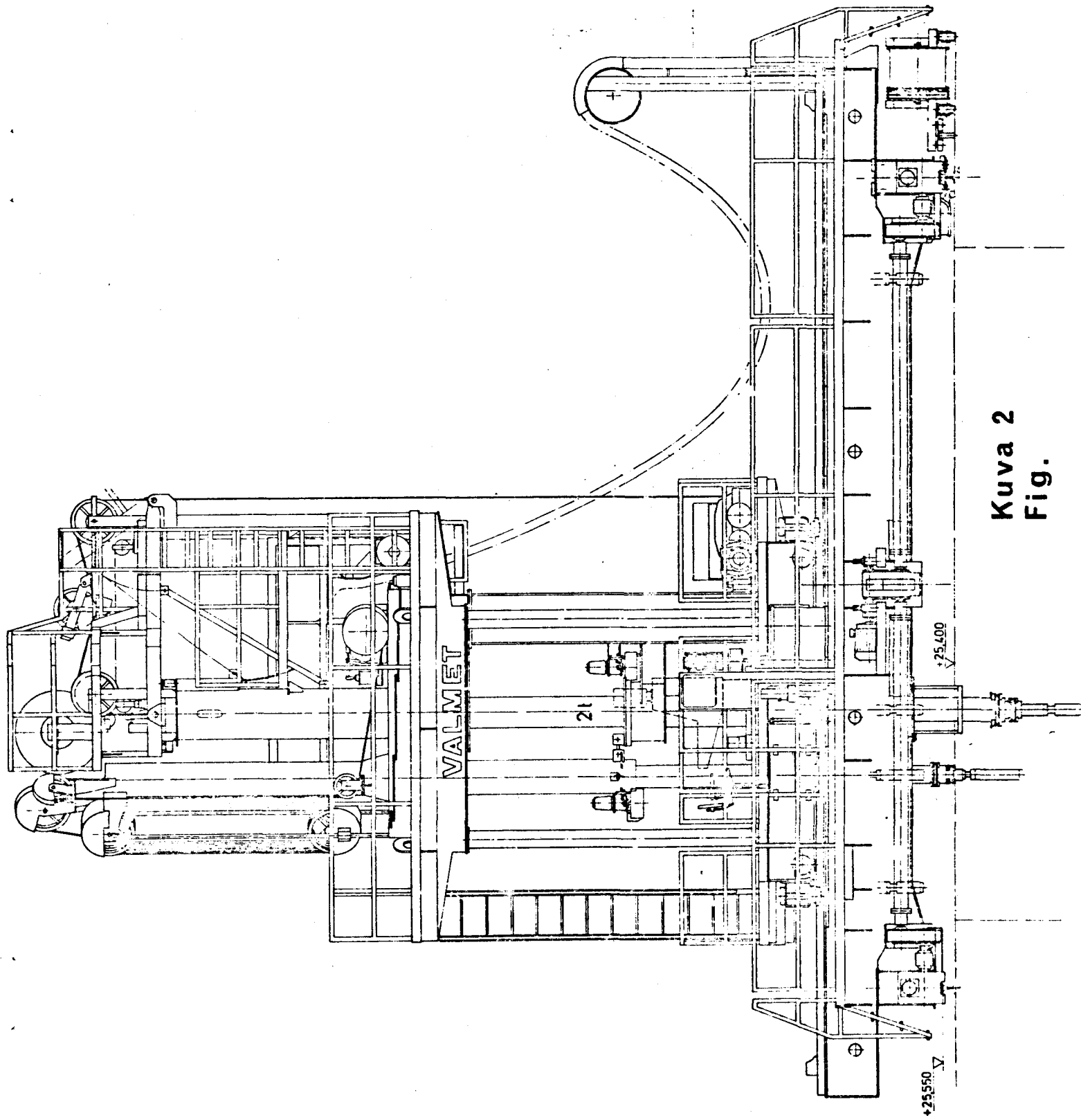
Koko koneen koekäyttö Rautpohjassa tapahtuu ensi kesänä elo- syyskuun aikana.

Vastaanottokokeet Loviisassa suoritetaan v. 1975 toukokuun loppuun mennessä.

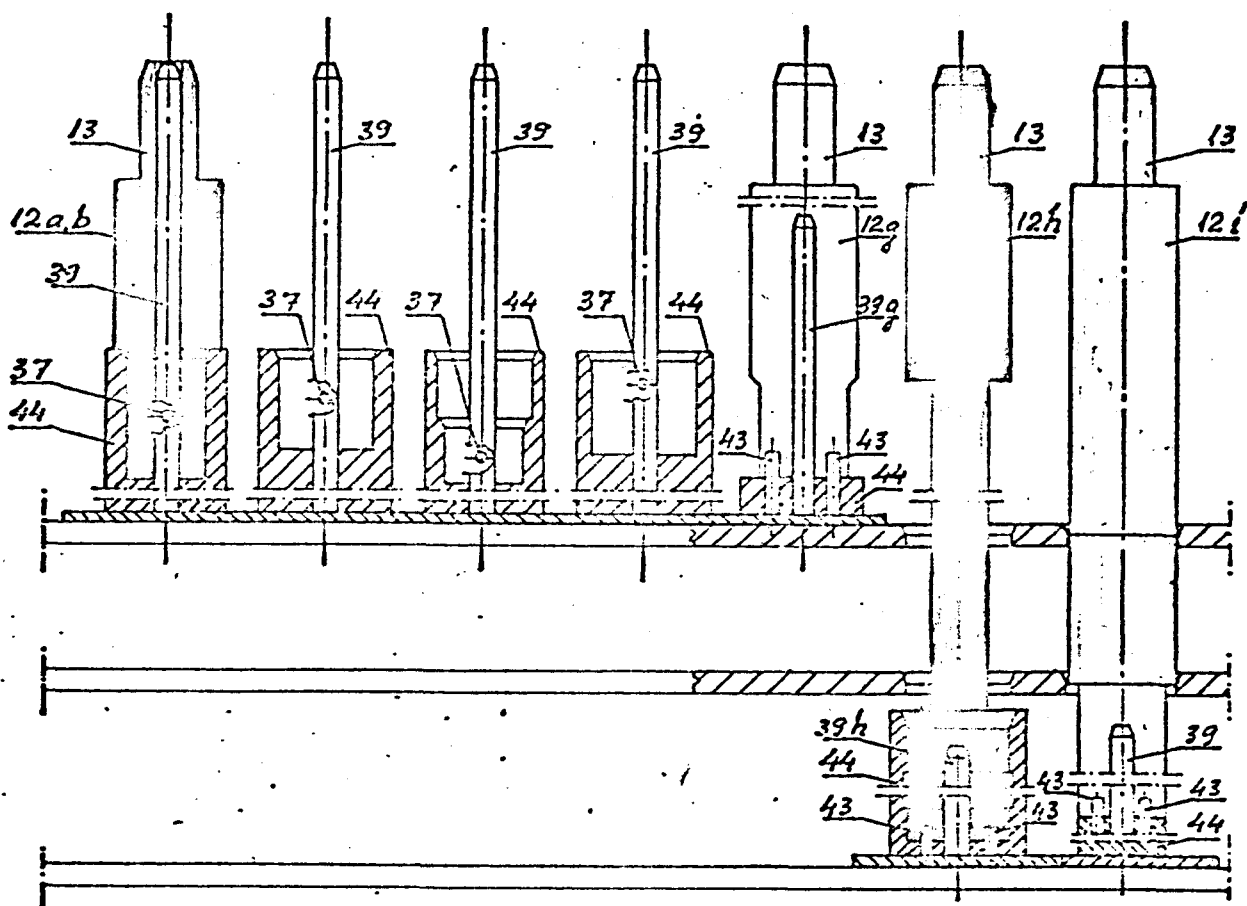
FUEL HANDLING MACHINE
LOVIISA 1 NPS



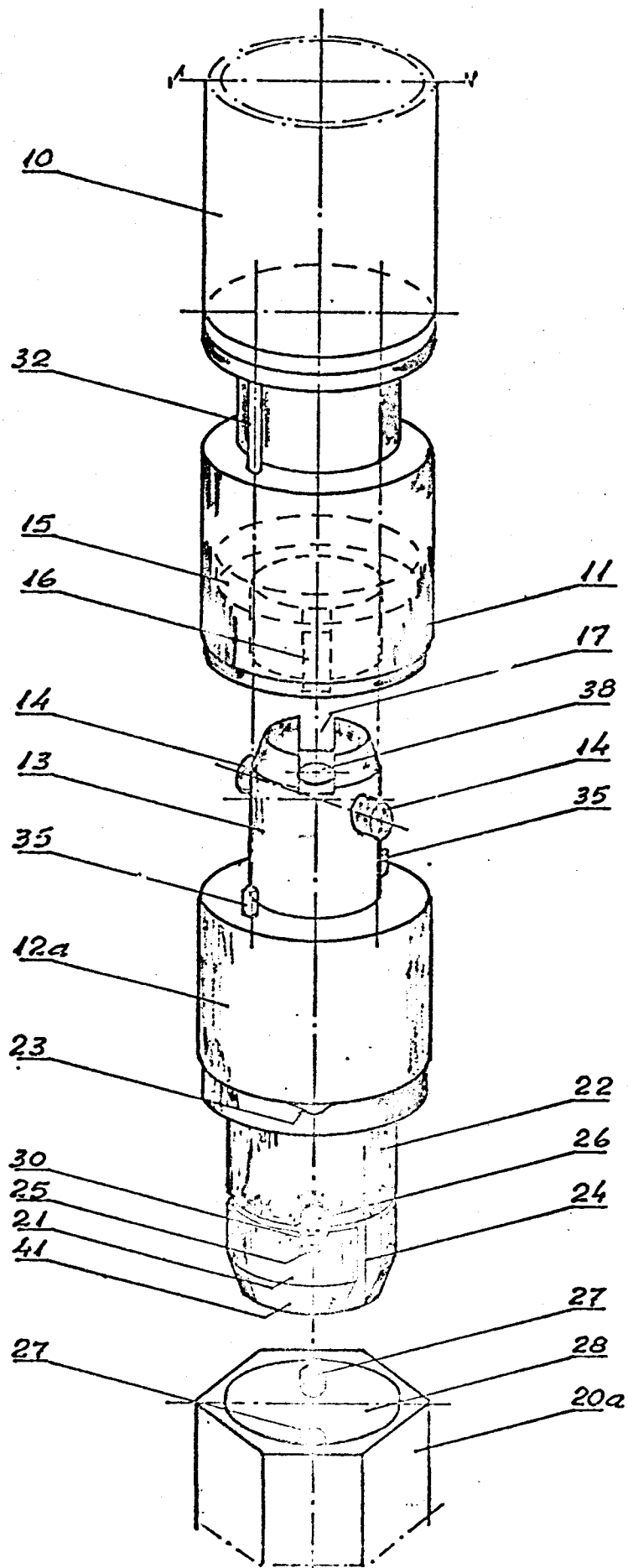
Kuva I
Fig.



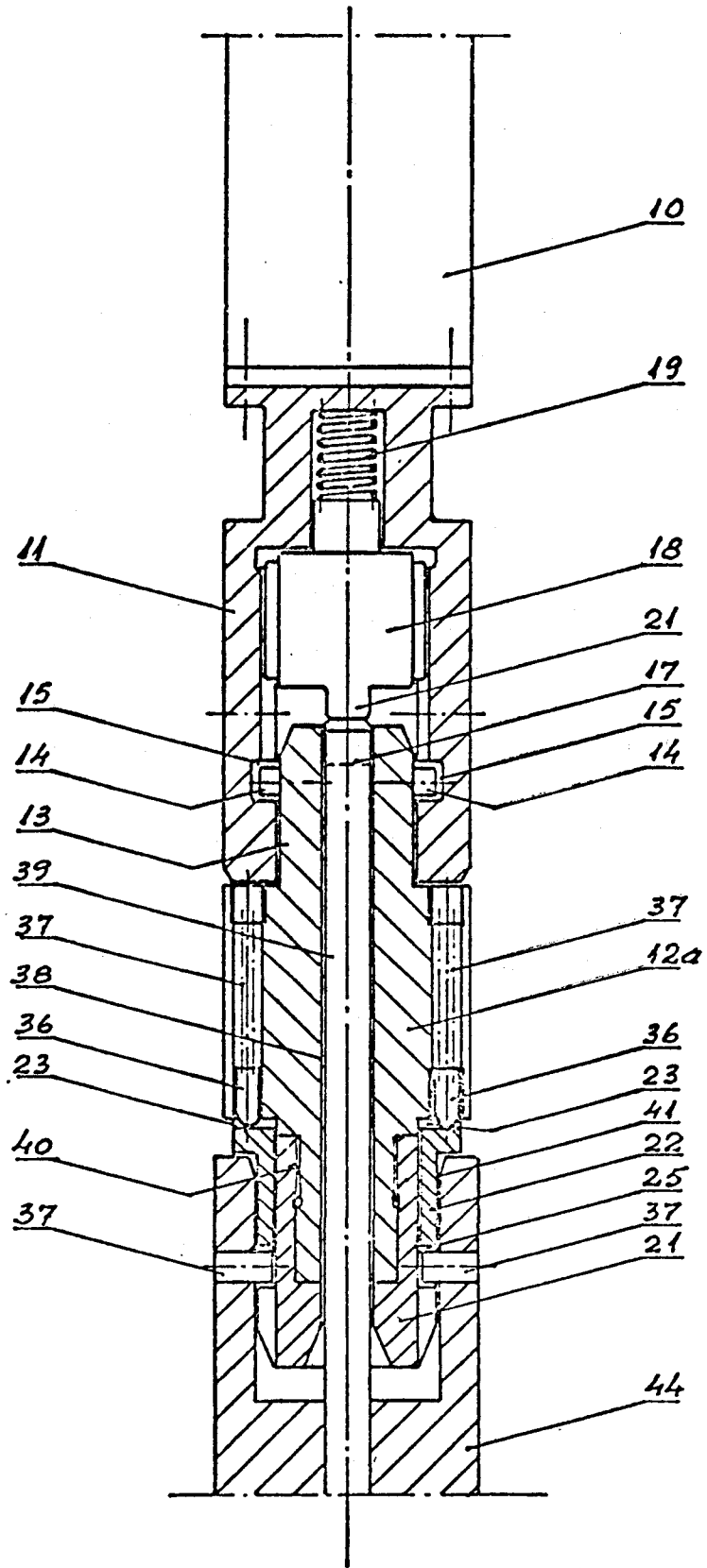
Kuva 2
Fig.



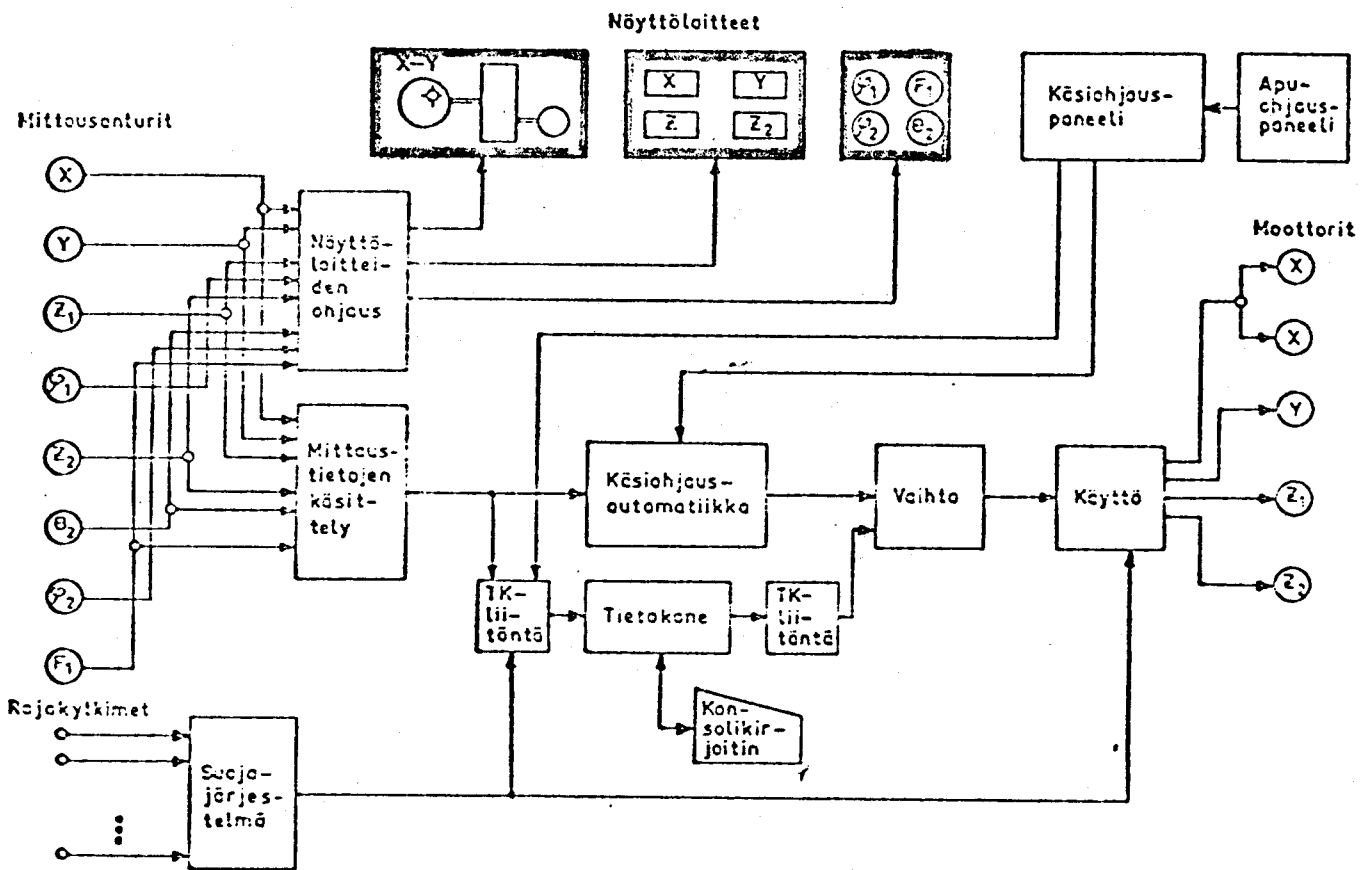
Kuva 3
 Fig.



Kuva 4
Fig.



Kuva 5
Fig.



Kuva 2.

Valmet polttoaineenvaihtokoneen ohjausjärjestelmä. (Valmet Oyj:n ja Oy Stromberg Ab:n kehittämä tietokoneen hyväksikäyttöön perustuva polttoaineenvaihtokoneen ohjausjärjestelmä.)

Kuva 6
Fig.

TVO:ssa on viime vuosien aikana tapahtunut voimakasta kehitystä. Toiminta keskittyy pääosaltaan kahdelle alueelle:

- toimintakykyisen voimantuottajayhtiön kehittämiseen
- suurvoimalaitosten rakentamiseen ja osakkaiden tulevan voimantarpeen tyydyttämisen suunnitteluun

Kuva 1
toiminta-
ajatus

2 Osakkaat

Kuva 2
osakkaat

TVO:n osakkaina ovat tällä hetkellä 21 teollisuus- ja voimayhtiötä. Valtion ja kuntien osuudet TVO:ssa ovat yhteensä 42 %.

3 TVO I

Kuva 3
Aikataulu

Tilattiin AA:lta vuosi sitten Letter of Intentillä. AA:n 60 kk pitkä toimitusaika alkoi 01.08.73. Lopullinen sopimus allekirjoitettiin 27.03.74. Laitos valmiina elokuussa 1978.

Kuva 4
1:20000 kartta

Laitospaikka on Olkiluodon saarella Eurajoen kunnassa. Naapuriksi tulee IVO.

Kuva 5
Laitos

AA:n toimitus TVO:lle tapahtuu "avaimet käteen"-periaatteella. Toisin sanoen AA toimittaa kaiken sen, mikä tulee voimalaitosrakennuksen seinien sisäpuolelle, ja hoitaa lisäksi joukon rakennusaikaisia ulkopuolisia järjestelyjä.

AA:n toimituksen arvosta tulee 40 % olemaan suomalaista työtä, suomalaisia materiaaleja ja laitteita.

TVO:n omiin projektivelvoitteisiin kuuluvat mm. laitospaikan alustavat työt, jäähdytysvesitunnelit, päämuuntaja ja voimansiirto, makean veden hankinta sekä eräät ulkopuoliset rakennukset.

Kuva 6
Läpileikkaus

TVO:n rakennuttaman ydinvoimalaitoksen nettoteho on 660 MW.

Kuva 7a
Malli

Reaktori on AA:n kehittämä kiehutusvesireaktori varustettuna sisäisillä pääkiertopumpuilla.

Paineenalennusjärjestelmällä varustettu suojarakennus.

Kuva 7b
Työmaajärjestelyt

Rakennusaikaiset työmaajärjestelyt käyvät ilmi kuvasta .

Työmaan välittömässä läheisyydessä on korkeatasoinen majoitusalue osittain valmistunut. Alueelle valmistuu kesäkuun alussa työmaaruokala. Työntekijöitä ja työmaan tarpeita varten valmistuu lähiaikoina palvelukeskus (posti, pankki, kauppa ym.) sekä yleisölle tarkoitettu informaatiokeskus.

Laitospaikalla on tällä hetkellä työntekijöitä n. 260 tietyt mukaanluettuina.

Reaktorin pohjaosia on ryhdytty valamaan samoin eräitä turbiiniosan pohjaosia.

AA:n rakennusurakoitsija, Työyhtymä Atomirakennus (Skånska Cementgjuteriet Ab, Vesto, Rakennus Oy, Ruola Oy) tulee suuressa määrin käyttämään liukuvalu-tekniikkaa betonirakenteita varten.

Rakennustöitä on kevään aikana haitannut pitkäaikainen lakko.

Reaktorin n. 600 tn painavan paineastian valmistus etenee suunnitelmien mukaisesti Uddcomb Ab:llä Ruotsissa. Paineastia toimitetaan Olkiluotoon v. 1975 lopussa.

Laitoksen (ja myös työmaan) pysyvä makeanveden saanti hoidetaan Eurajoen Tiironkoskelta n. 11,5 km vesiputkella, jossa käytetään pääosaltaan muoviputkea, Olkiluodolla sijaitsevaan välialtaaseen ja sieltä edelleen kaksoisputkella laitospaikalle. Koska tämä järjestelmä on suunniteltu tyydyttämään myös osan IVO:n tulevista tarpeista, ovat TVO ja IVO suunnitelleet yhteisen vesiyhtiön perustamista, jonka omistukseen nyt TVO:n toimesta rakenteilla olevat vedenhankintajärjestelmät tullaan siirtämään.

4 Luvat

4.1 Rakennuslain edellyttämä lupa

Tämän myöntää paikallinen rakennusviranomainen eli Eurajoen kunta. Kunta myönsi tämän rakennusluvan tammikuussa 1974 lääninhallitukselta anottuun

poikkeuslupaan perustuen.

Poikkeuslupamenettely johtui siitä, että sisäasiainministeriö on katsonut ydinvoimalaitosten rakentamisen rajoittavan maan käyttöä ympäristöalueilla ja että näille on laadittava asianmukaiset kaavat. Laitospaikalle on näin ollen laadittu rakennuskaava ja muille lähialueille n. 5 km säteellä ympäristön maankäytön yleispiirteitä käsittelevä suunnitelma.

Kaavat teetettiin kuntien toimesta TVO:n ja Imatran Voiman myötävaikutuksella ja heidän kustannuksellaan. Molemmat kaavat on lopullisesti hyväksytty ja voimassa.

4.2 Atomienergiälain edellyttämä rakennuslupa

Heinäkuussa 1973 TVO jätti kauppa- ja teollisuusministerille atomienergiälain edellyttämää rakennus- ja turvallisuuslupaa koskevan anomuksen.

Hakemuksesta kävi ilmi mm. seuraavaa:

Laitos suunnitellaan ja rakennetaan siten, ja laitoksen poistokaasun, nesteiden ja kiinteiden radioaktiivisten jätteen käsittely tapahtuu siten, että laitoksen käytön aikana täytetään radioaktiivisten aineiden päästöjen suhteen säteilysuojaviranomaisten asettamat vaatimukset. Lisäksi laitos varustetaan sellaisilla onnettomuuden leviämistä ehkäisevillä laitteilla, että laitoksen suunnitteluperustaksi määritetyssä onnettomuudessa täytetään viranomaisten sille asettamat vaatimukset.

TVO on varannut Olkiluodon laitosalueelta paikan neljälle laitosesyksikölle, kokonaistehomäärältään noin 4000 MW. Rakennuslupahakemuksessa on esitetty käyttösuunnitelma, joka huomioi kaikkien neljän laitoksen sijoittamisen alueelle.

Radioaktiivisten aineiden päästö ilmaan ja ympäristön vuorovaikutukset on analysoitu varsin pitkälle. On mahdollista arvioida väestön saamat säteilyannokset normaalikäyttöön tai onnettomuuksiin liittyvissä tapauksissa.

Tarkka kuvaus yksityisten järjestelmien ja komponenttien suunnitteluperiaatteista on esitetty hakemuksen liitteenä olevassa AA:n tekemässä alustavassa turvallisuusraportissa. Tähän raporttiin sisältyvää aineistoa on säteilyfysiikan laitokselle toimitettu jo vuoden 1973 alkupuolelta lähtien.

5 Olkiluodon ympäristössä tehtävät tutkimukset

Kuva 8

Olkiluodon ympäristöohjelmaa aloitettiin laatia TVO:n, Imatran Voiman ja säteilyfysiikan laitoksen edustajien välisissä neuvotteluissa jo vuonna 1972 pyrkien samalla ottamaan huomioon ne ohjeet, jotka muut viranomaiset tai laitokset olivat tähän tarkoitukseen antaneet. Ympäristöohjelman mukaisten tutkimusten tarkoituksena on antaa riittävä tietoperusta mm. seuraavia tarkoituksia varten:

- ympäristöolosuhteiden toteaminen ennen laitosten valmistumista ja laitosten käynnistymisen jälkeen
- tiedot alustavaa ja lopullista turvallisuusraporttia varten
- tiedot rakennus- ja käyttö lupaa samoin kuin vesioikeudellista lupaa varten

Kuva 9
Väestökartta

Kuvassa 9 esitetään kartta, josta ilmenee 5 km säteellä asuva vakinainen väestö ja kesäasutus. Nämä tiedot on kerätty mm. säteilyfysiikan laitoksen myöhempiä tutkimuksia varten. Voimalaitospaikan välittömässä läheisyydessä vakinainen asutus on vähäistä; yhden kilometrin säteellä ei asu vakinaisesti ketään.

Lisäksi on tarkkaan kartoitettu lähiseutujen maatalouselinkeinot, teollisuus, kalastus ja metsästys sekä alueen meteorologiset ja hydrologiset olosuhteet.

Olkiluodon ympäristöohjelman merentutkimusosa on laadittu yhdessä merentutkimuslaitoksen ja Imatran Voiman kanssa.

Kuva 10
Mallikokeet

Jäähdytysvesijärjestelyyn liittyvät mallikokeet on suoritettu Imatran Voiman vesilaboratoriossa. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää laitoksen rakenteeseen, veden jälleenkiertoon ja veden lämpenemiseen liittyvät kysymykset.

Kalataloudelliset selvitykset on aloitettu.

6 Sähkön siirto, varavoima ym.

TVO on IVO:n kanssa sopinut periaatteessa TVO I:n sähkön siirtämisestä IVO:n omistamaa 400 kV kantaverkkoa käyttäen. Periaatteessa on myös sovittu varavoima- ja yhteiskäyttökysymyksistä.

7 Polttoaine

TVO I:een tarvittavaa raaka-ainetta koskevat hankinnat ovat loppuvaiheessaan.

TVO solmi 08.02.1974 V/O Techsnabexportin kanssa uraanin väkevöintisopimuksen vv. 1976 ja 1985 väliselle ajalle.

Ensimmäisen latauksen elementtien valmistus tapahtuu ASEA-Atomin toimesta Ruotsissa.

8 Tulevaisuus

TVO selvittää parhaillaan seuraavan ydinvoimalaitos-yksikön rakentamista. On olemassa mahdollisuus ottaa käyttöön toinen yksikkö syksyllä 1980, kaksi vuotta TVO I jälkeen.

TVO:n toiminta-ajatus:

Osallistua osakkaittensa
sähkön tarpeen tyydyttämiseen
ensisijaisesti rakentamalla ja
käyttämällä suurvoimalaitoksia.

Kuva 1

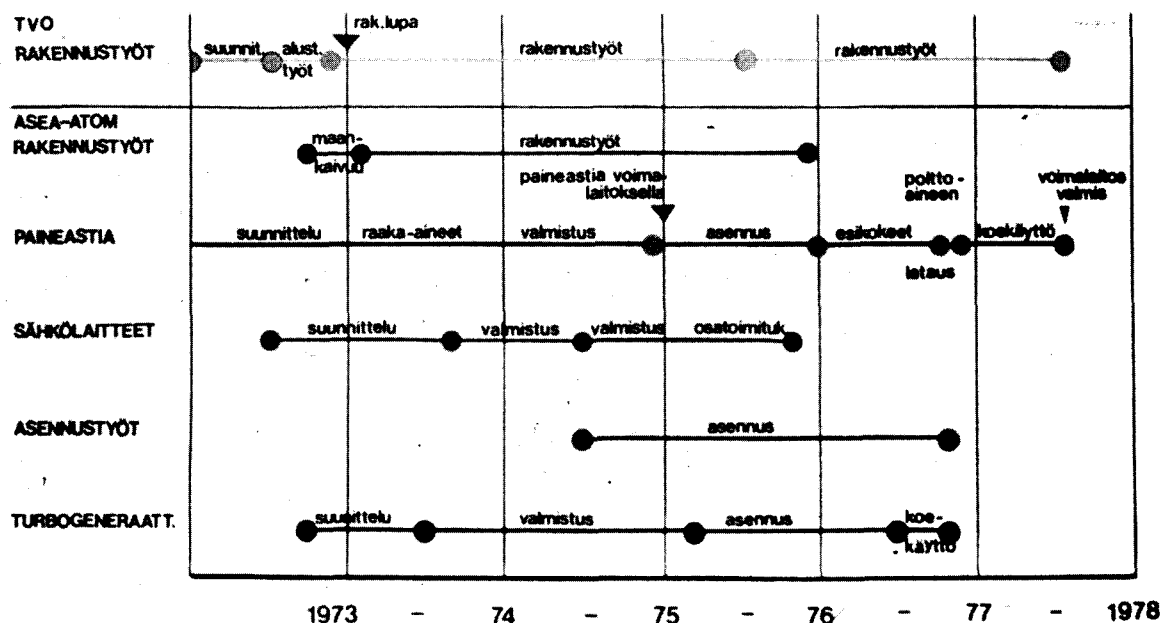
TEOLLISUUDEN VOIMA OY – INDUSTRINS KRAFT AB:N OSAKASYHTIÖT

A Ahlström Osakeyhtiö	Oy Nokia Ab
Enso-Gutzeit Osakeyhtiö	Oulu Osakeyhtiö
Etelä-Pohjanmaan Voima Oy	Paraisten Kalkki Oy – Pargas Kalk Ab
Etelä-Suomen Voima Oy – Sydfinska Kraft Ab	Pohjolan Voima Oy
Joutseno-Pulp Osakeyhtiö	Rauma-Repola Oy
Kajaani Oy	Revon Sähkö Oy
Kemira Oy	Oy Wilh. Schauman Ab
Kymin Osakeyhtiö – Kymmene Aktiebolag	G A Serlachius Oy
Oy Mankala Ab	Oy Tampella Ab
Metsäliiton Teollisuus Oy	Yhtyneet Paperitehtaat Oy
Neste Oy	

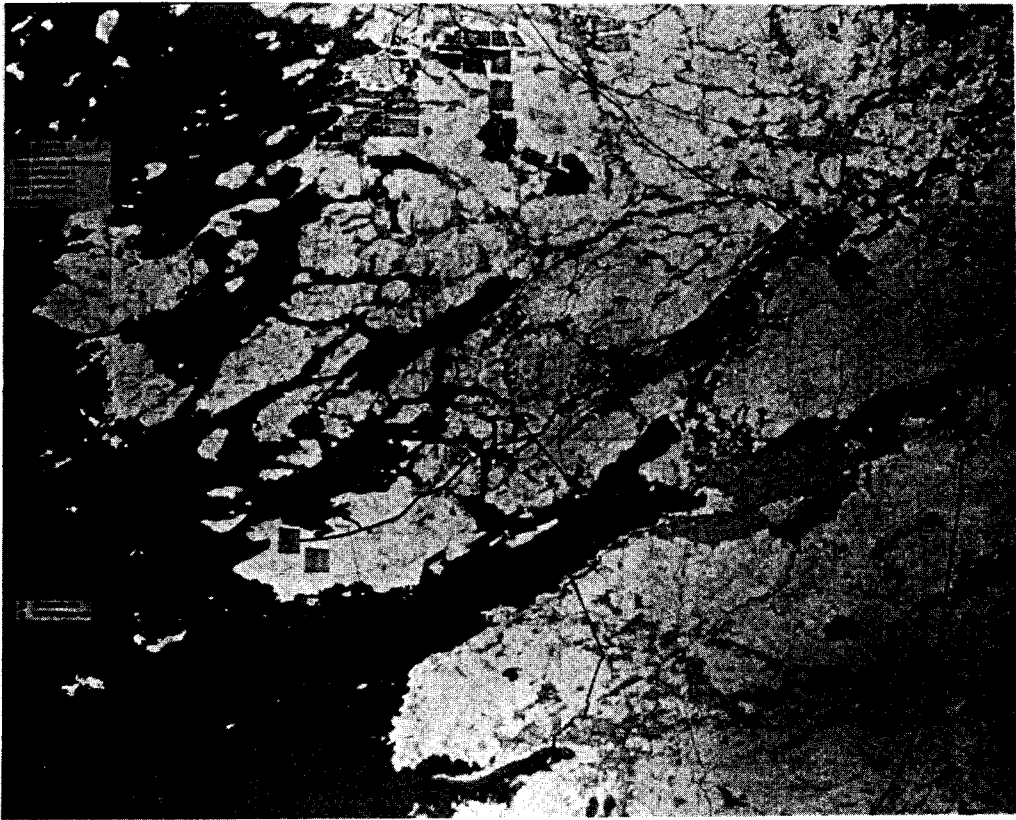
Kuva 2

TEOLLISUUDEN VOIMA OLKILUOTO

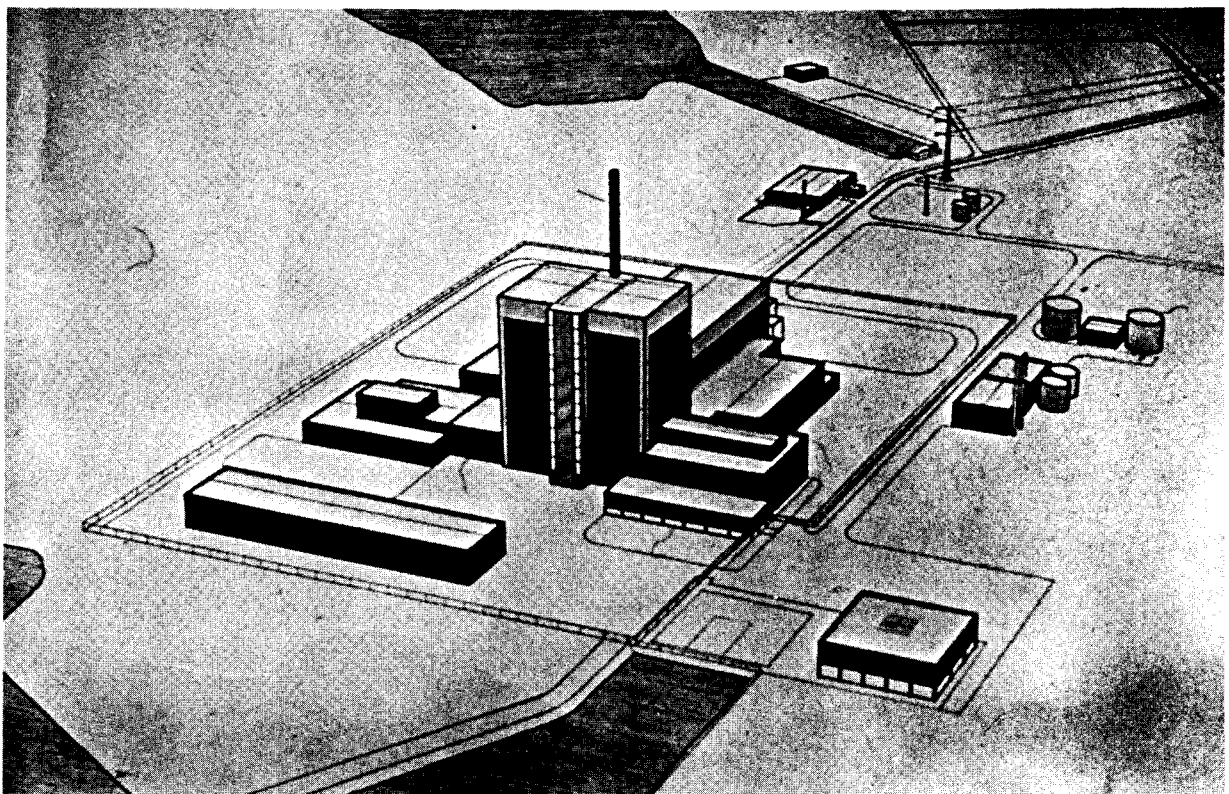
Rakennusaikataulu



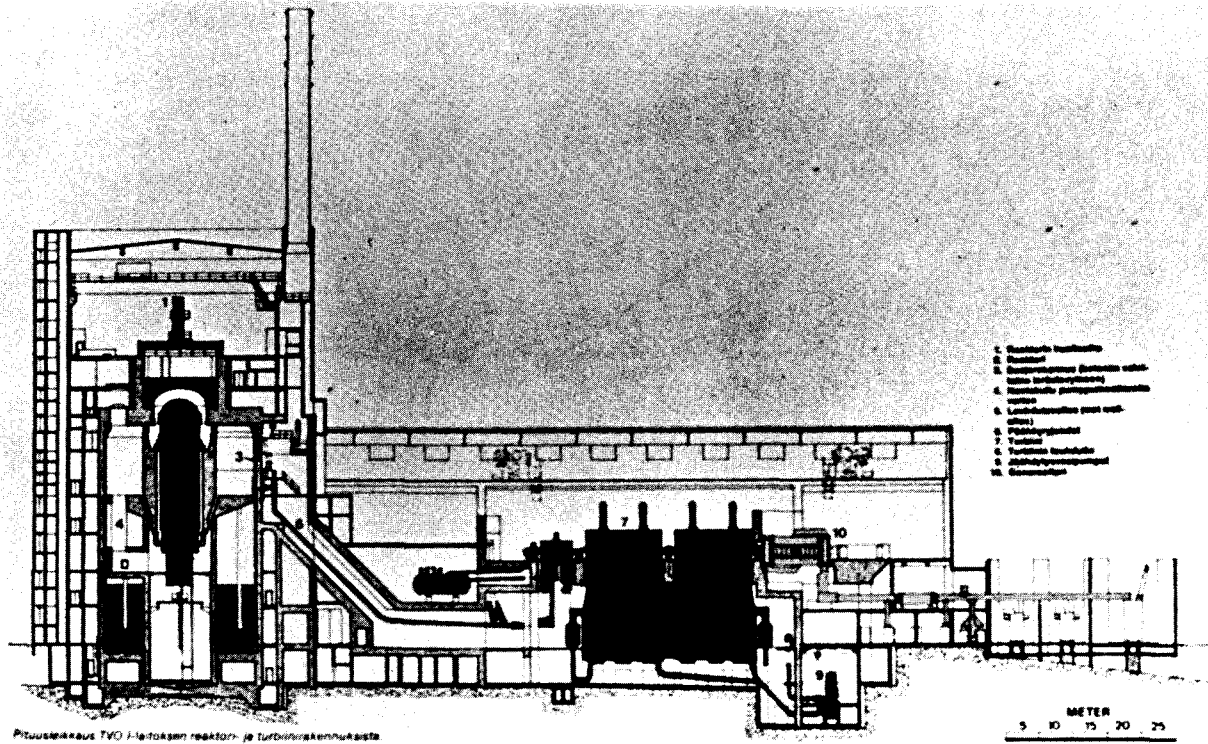
Kuva 3



Kuva 4

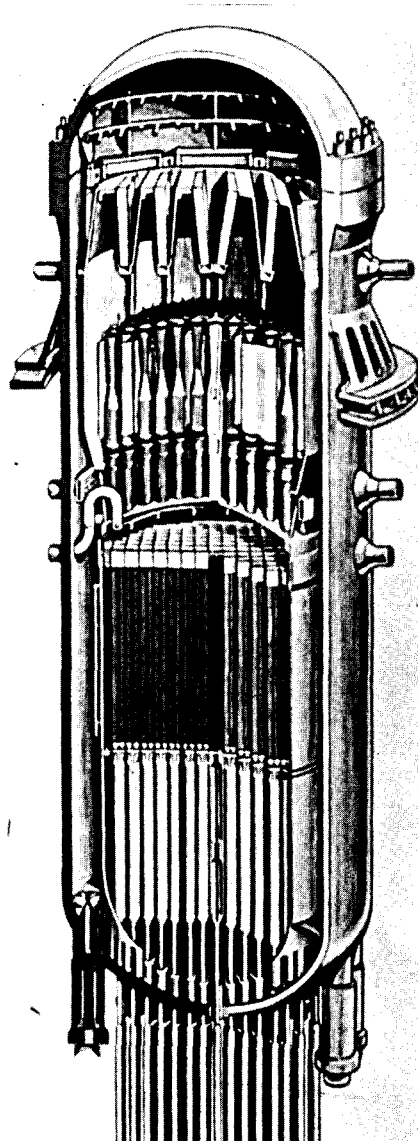


Kuva 5



Pituusleikkaus TVO-laitoksen reaktorin ja turbiinakentästä

Kuva 6



Current BWR design

Principal data for two standard versions of the ASEA-ATOM BWR

		2000	2100
Reactor power	MW(e)	2000	2100
Net electric power, approx. MW _e	MW _e	1750	1810
Number of fuel assemblies		492	670
Number of control rods		121	161
Reactor vessel diameter	m	3700	6400
Number of main circulation pumps		6	8
Recirculation flow rate	kg/sec	7500	10100
Operating pressure	bar	70	70
Fuel power density	kW/kg U	22.5	22.1
Core power density	kW/litre	47.5	46.5

Kuva 7a



Kuva 7b

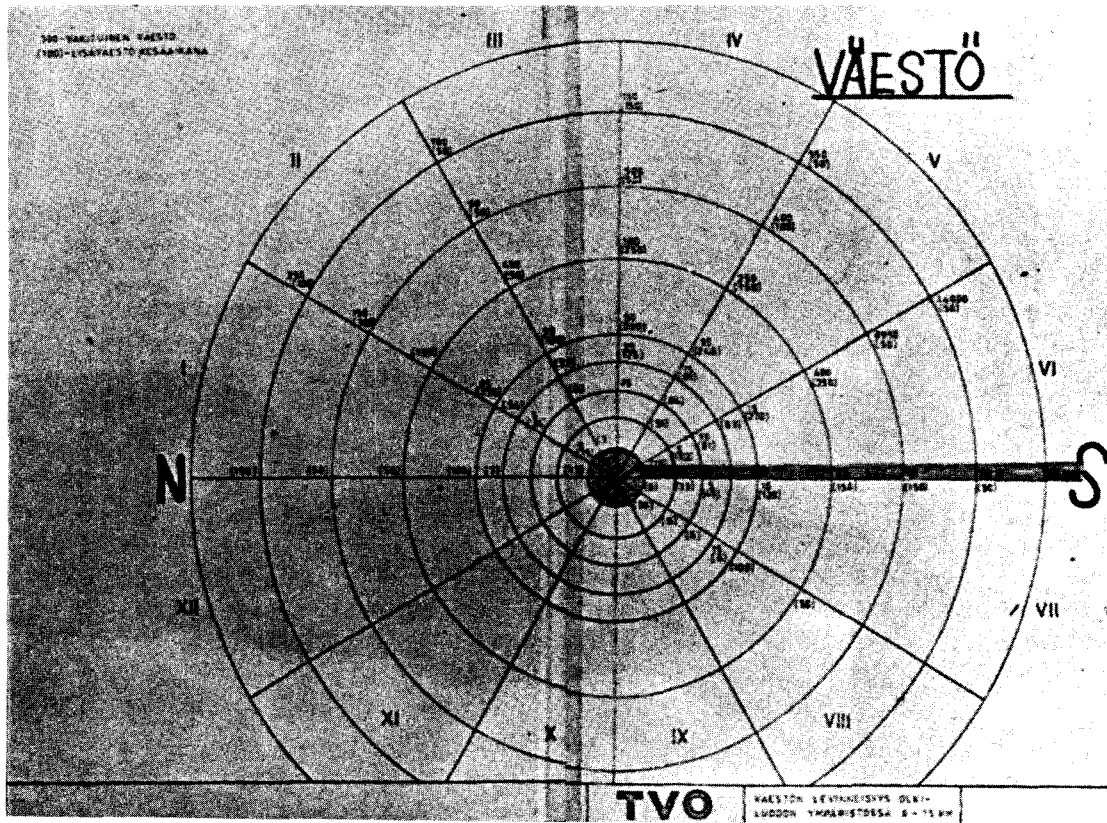
OLKILUODON YMPÄRISTÖOHJELMA

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	
GEOLOGIA	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■								
VAESTO	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				
ELINKEINDELAMA	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■			■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				
METEOROLOGIA	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■			■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	
MAKEAVESI	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■							
MERENTUTKIMUKSET	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■								
MUU					■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	

■ 1972 TEHDYT MITTAUKSET JA SELVITYKSET

■ TULEVAT MITTAUKSET

Kuva 8



Kuva 9



Kuva10

E. Toiviainen

1974-07-30

ESITELMÄ ATS:SSA 16.5.1974

Pääkaupunkiseudun (Pks) kunnat ovat jo vuodesta 1968 alkaen yhteistyössä selvittelleet alueen energiahuoltokysymyksiä.

Vuonna 1971 asetettiin järjestyksessä toinen Energiahuolto-toimikunta (EHT), johon kuuluu 16 jäsentä. Nämä edustavat Pks:n 4 kaupunkikuntaa ja niiden omistamia sähkölaitoksia. Toimikunnan jäsenet koostuvat kunnallisista luottamusmiehistä ja sähkölaitosten virkamiesjohtoa edustavista henkilöistä. Luottamusmiehet muodostavat selvän enemmistön.

EHT on tarkistuttanut Ekono Oy:llä ne tutkimukset ja suunnitelmat, jotka aikaisemmin oli Pks:n tulevasta energiahuollosta tehty.

Ekonon selvittelyraportin pohjalta EHT on sitten käynyt neuvotteluja Imatran Voima Osakeyhtiön (IVO) kanssa yhteistyömahdollisuuksista. Näissä neuvotteluissa on päädytty yhteisymmärrykseen uuden ydinvoimalaitosyhtiön, Helsingin Seudun Lämpövoima Oy:n (HSL) perustamisesta. Yhtiön perustamista koskeva ehdotus on parhaillaan Pks:n kuntien hallintoelinten käsiteltävänä.

Ehdotuksen mukaan tulisi IVO omistamaan puolet HSL:n osakepääomasta toisen puolen jakaantuessa Pks:a edustavien osakaiden kesken seuraavasti:

Helsingin kaupunki	29,5 %
Espoon Sähkö Oy	11,5 %
Vantaan Sähkölaitos Oy	8,5 %
Kauniaisten kaupunki	0,5 %

Yhtiö rakentaisi 2 kpl ydinlämmitysvoimalaitoksia, toisen Pks:n itä- ja toisen sen länsipuolelle. Kummankin ekvivalenttinen sähköteho olisi 2 x 1000 MW. Nämä yhdistettäisiin sähköpuolelta 400 kV atomirenkäaseen ja kaukolämpöpuolelta vahvalla kaukolämmön pääsiirtojohdolla toisiinsa.

Esitelmässä selostettiin tämän jälkeen Pks:n energiahuolto-suunnitelmia Ekonon selvittelyraportin pohjalta ottaen lisäksi huomioon HSL:n perustamissuunnitelman ja viimeisimmät kustannustiedot. Selostus rakentui kuvien ja piirrosten varaan, joita oli yhteensä 10 kpl.

Seuraavassa referoidaan muutaman kuvan avulla selostuksen keskeisimmät kohdat:

Kuvassa 1 on esitetty käyrä, joka kuvaa Pks:n alueen sähkötehon tarpeen kasvuennustetta. Ennusteen mukaan kasvaa sähkötehon tarve 1970-luvulla keskimäärin 9 %/v, 1980-luvulla 8 %/v ja 1990-luvulla 5,5 %/v. Kuvan porraskuviosta käy ilmi ydinlämmitysvoimalaitosten alustava rakennusohjelma. Sähkötehon lisäykset on esitetty tyypillisessä talvikauden käyttötilanteessa, jossa lämmitysvoimalaitoksilta otetaan maksimi kaukolämpöteho. Niinpä esim. Pks:n sähköteho-osuus itäisen ydinvoimalaitoksen kummastakin koneistosta on vain n. 340 MW nimellisen 500 MW sijasta, kun turbiinin väliotoista otetaan samanaikaisesti kaukolämpötehoa 1150 MW. Kuvasta ilmenee edelleen, että esim. v. 1985 olisi Pks:n käytettävissä omaa sähköntuotantokapasiteettia seuraavasti: vesivoimaosuuksia 30 MW (alin viiva), ydinvoimaa 680 MW, tavanomaista lämpövoimaa 610 MW ja kaasuturbiinivoimaa 118 MW eli yhteensä 1438 MW. Vuonna 1985 jouduttaisiin ostamaan alueen ulkopuolelta vain jonkin verran lisää varatehoa. Muina vuosina sen sijaan jouduttaisiin ulkopuolisilta sähkönhankkijoilta ostamaan sekä huippu- että varatehoa.

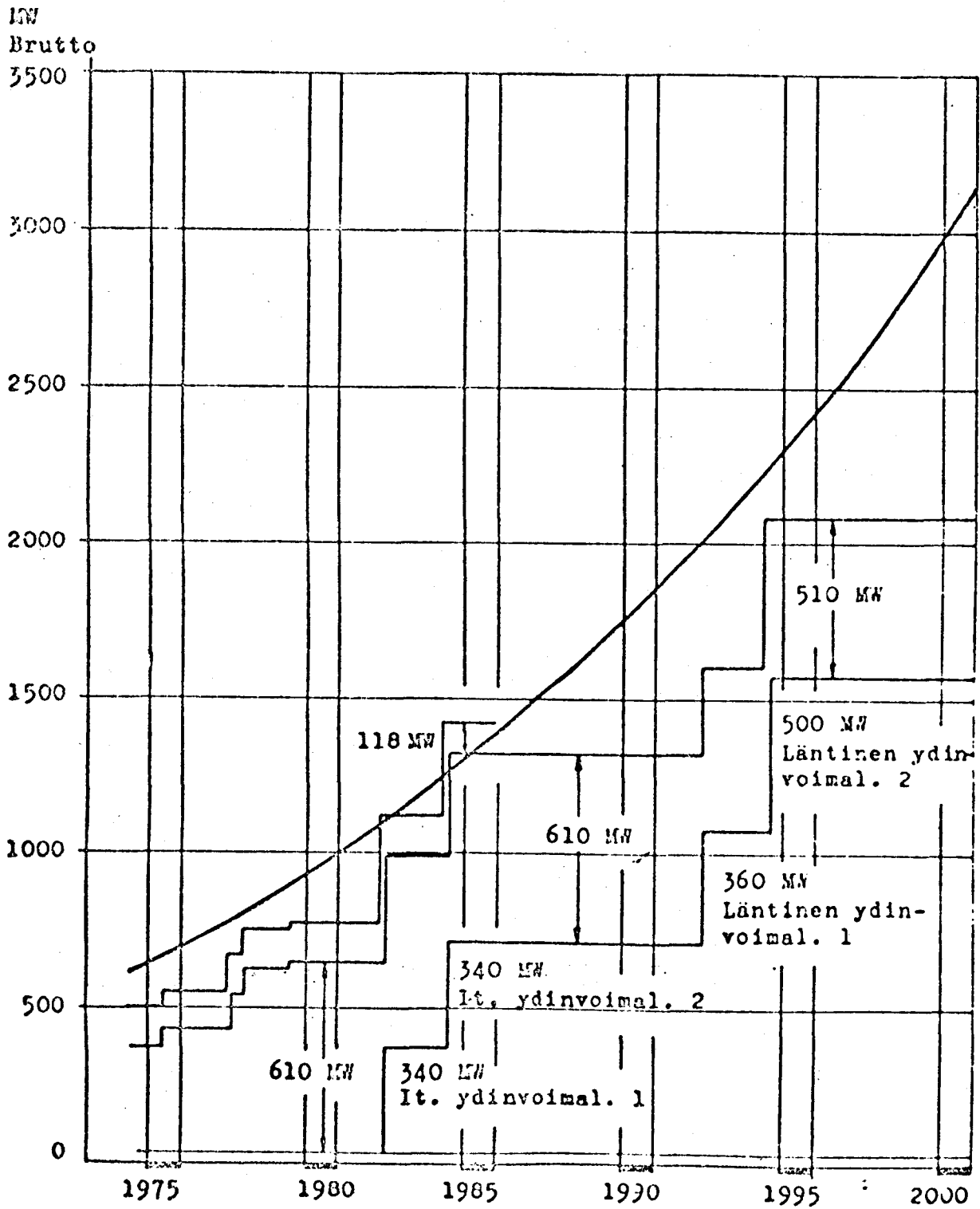
Kuvassa 2 on esitetty kaukolämpötehon kasvuennustetta kuvaava käyrä sekä kaukolämmön hankinnan rakennusohjelma perustehon osalta edellistä kuvaa vastaavassa talvikauden käyttötilanteessa. Kuvan mukaan saataisiin v. 1985 kaukolämpötehoa itäisestä ydinvoimalaitoksesta yhteensä 2300 MW ja tavanomaisista lämmitysvoimalaitoksista yhteensä 1085 MW. Huippu- ja varatehon tarve tyydytetään lämminvesikattilalaitosten avulla. Huomattakoon,

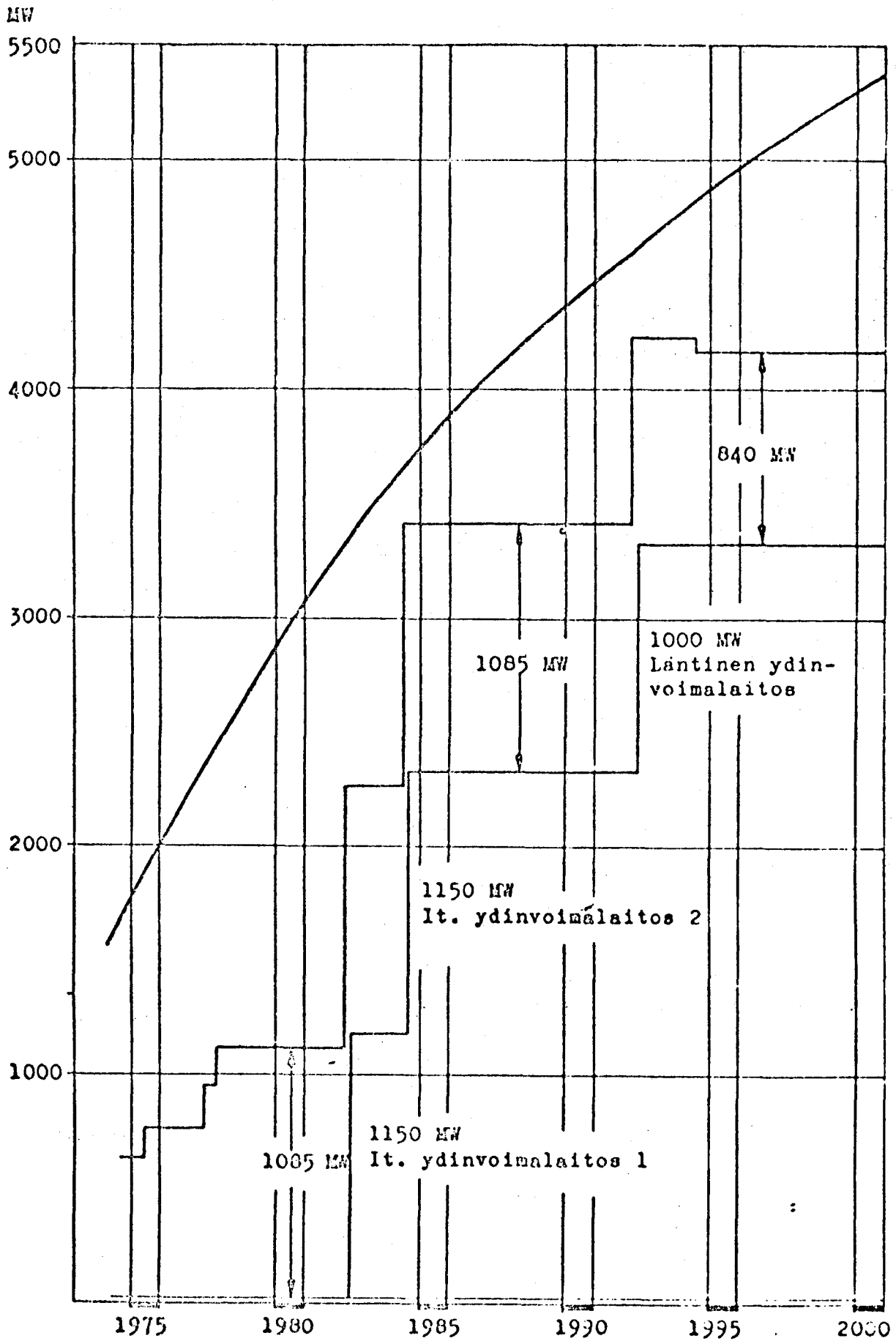
että läntisestä ydinvoimalaitoksesta otettaisiin Pks:lle kaukolämpöä vain sen ensimmäisestä koneistosta 1000 MW.

Kuva 3 havainnollistaa ydinvoimaan perustuvan yhteishankinnan edullisuuden fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaan erillishankintaan verrattuna. Vertailuvaihtoehdot ovat Ekono Oy:n selvittelyn mukaiset, mutta eri kustannuskomponentit on laskettu uudelleen käyttäen lähtökohtina huhtikuun 1974 hintoja. Erillishankintavaihtoehdossa on edellytetty, että Pks:n sähkölaitokset rakentavat kukin omia alueitaan varten lämmitysvoimalaitoksia. Vuoden 1980 jälkeen valmistuvat laitokset olisivat yhdistettyjä kaasuturbiini - höyryturbiinilaitoksia, joiden polttoaineena olisi maakaasu. Tällainen ratkaisu osoitautui erillishankintavaihtoehtoa erikseen optimoitaessa edullisimmaksi, kun edellytettiin maakaasua saatavan raskaan polttoöljyn hinnalla. Kuva esittää vertailuvaihtoehtojen energianhankinnan kustannuksia ja kustannusten koostumusta v. 1990. Yhteishankinnalla saavutettaisiin yhtenä ainoana vuonna jo lähes 1 mrd markan kustannussäästö. On syytä kiinnittää huomiota polttoainekustannusten ja pääomakustannusten erilaiseen osuuteen vertailuvaihtoehtojen kokonaiskustannuksissa.

Kuva 4 esittää ydinvoimalaitosten alustavia sijoituspaikkavaihtoehtoja ja kaukolämmön pääsiirtoverkkoa. Kaukolämmön siirron taloudellisuuden ja käyttövarmuuden kannalta on välttämätöntä, että pääsiirtoverkkoa voidaan syöttää kummastakin päästä; ydinvoimalaitosten on siis sijaittava eri puolilla Pks:a. Taloudellisesti edullisimmat paikat olisivat Granö ja Hirsala. Ydinvoimalaitosten sijoittaminen kauemmaksi aiheuttaa kaukolämmön siirrossa huomattavia lisäkustannuksia. Jos esimerkiksi ensimmäinen ydinvoimalaitos sijoitetaan Löparöhön Granön sijasta aiheutuu siitä kaukolämmön siirrolle 180 Mmk lisäkustannukset. Nämä lisäkustannukset tarkoittavat vuoteen 1982

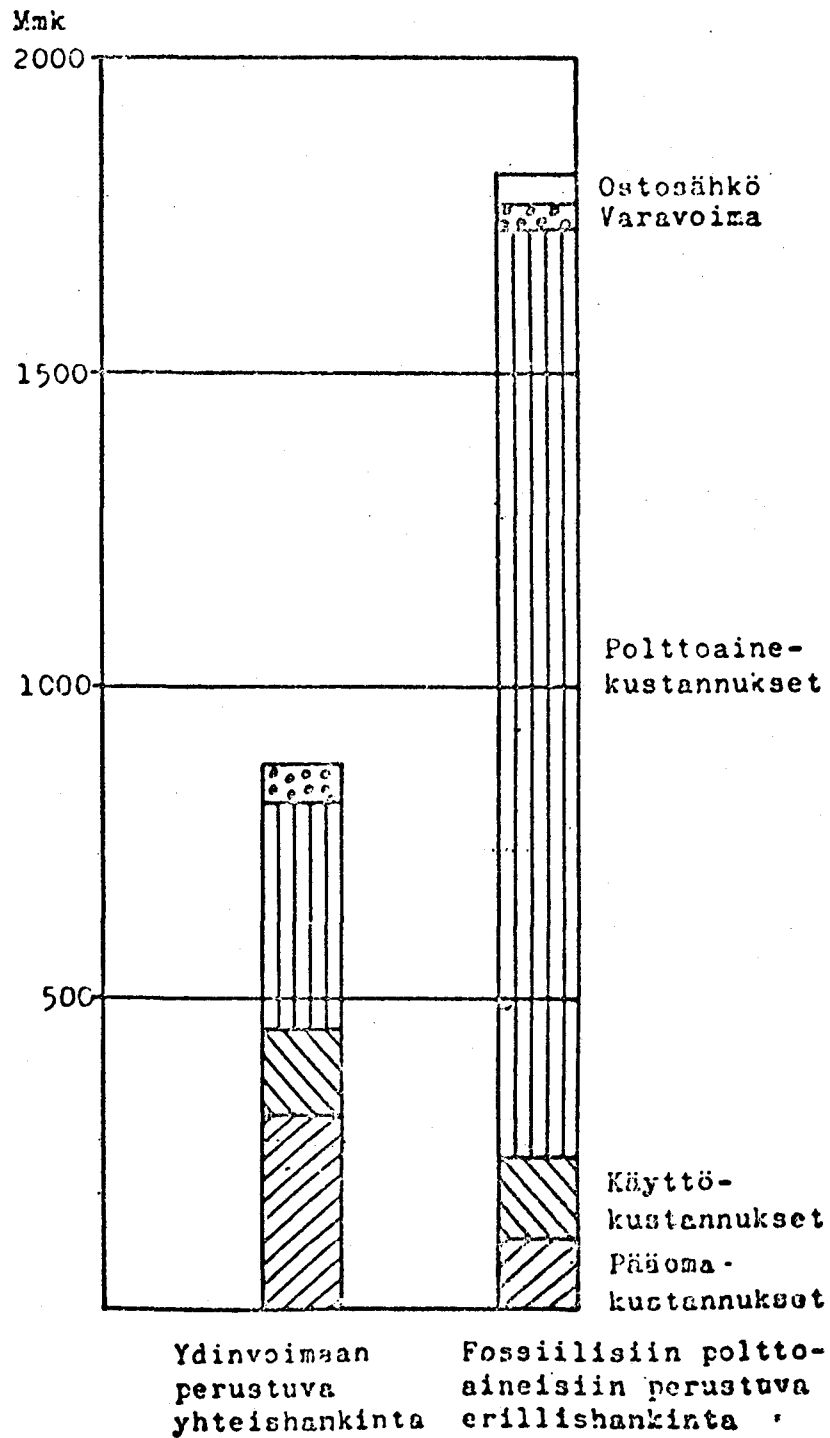
kapitaloituja kustannuksia ja sisältävät sekä lisäinvestoinnit että lisäkäyttökustannukset. Jos ensimmäinen laitos sijoitetaan Granön sijasta Kopparnäsiin, ovat vastaavat lisäkustannukset jo 400 Mmk. Ensimmäinen ydinvoimalaitos on siis joka tapauksessa edullisempaa sijoittaa Pks:n itäpuolelle.



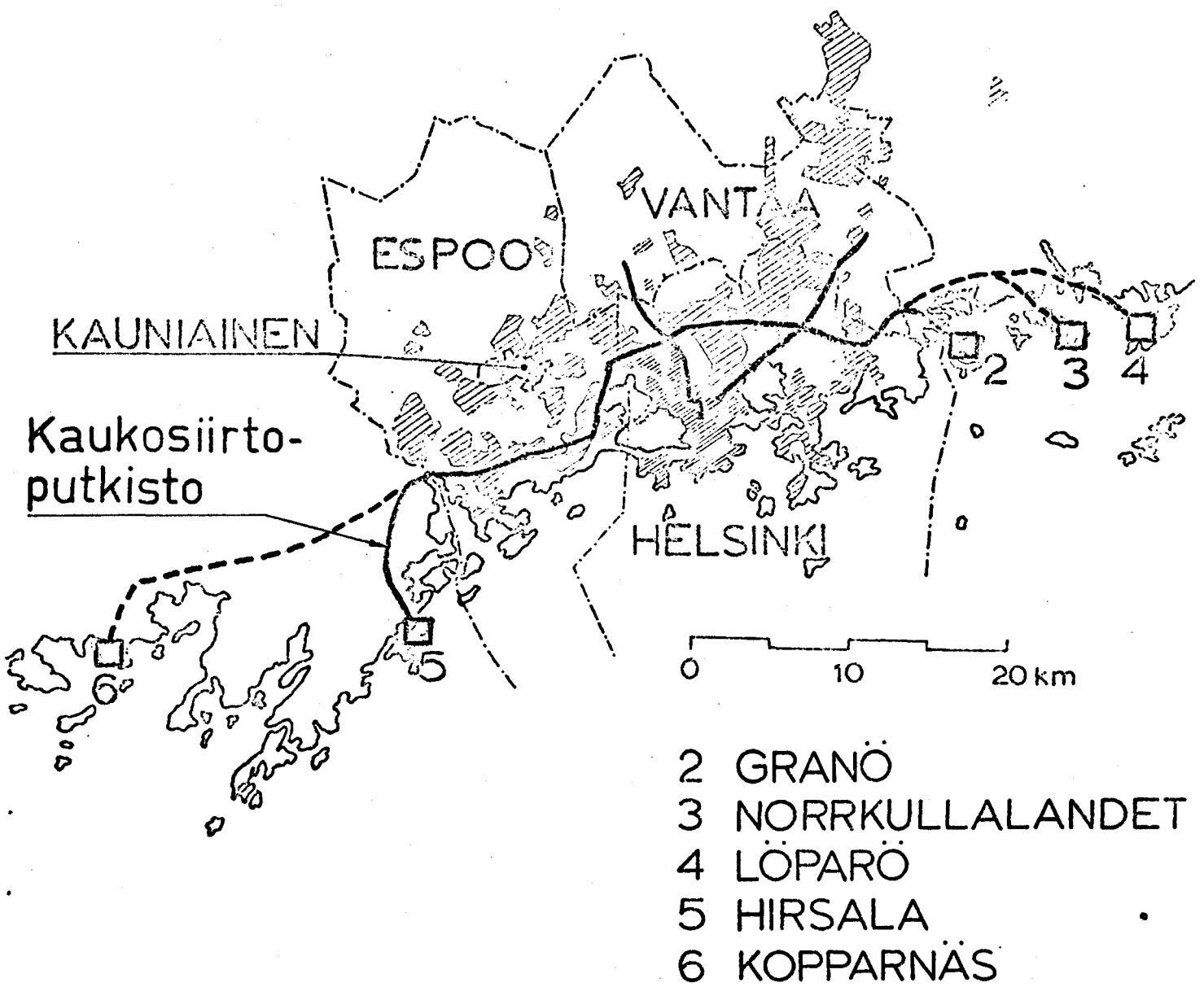


PÄÄKAUPUNKISEUDUN ENERGIAN HANKINNAN KUSTANNUSRAKENNE V. 1990 ERI VAIHTOEHDOLLISSA

(Polttoaine- ym. hinnat vastaavat huhtikuun -74 lähtötasoa)



YDINVOIMALAITOSTEN SJOITUSVAIHTOEHDOT JA KAUKOLÄMMÖN PÄÄSIIRTOVERKKO



OY FINNATOM AB:N ESITTÄYTYMINEN

Toim.joht. Uolevi Luoto

Katsahdan hieman historiaa taaksepäin. En halua puuttua detaljeihin ja totean vain, että jo 1950-luvulla oli ydinteknillisellä alueella ~~ja~~ paljon aktiviteettia, esimerkiksi suunnittelua. Ensimmäinen teollinen valmistus tapahtui vuoden 1957 paikkeilla, jolloin nykyinen osakkaamme A. Ahlström Osakeyhtiö rakensi eräitä mekanismeja Otaniemeen. Näitä pieniä työnäytteitä jatkui vuosien mitaan, varsinkin 1960-luvun alussa. Samanaikaisesti ryhdyttiin miettimään, että eikö alallamme pitäisi kehittää yhteistyötä. Vuonna 1963 eräs komitea, joka kulkee nimellä "Jauhon Komitea", lausui mietinnössään, että tulevan atomiprojektin puitteissa pitäisi olla olemassa tärkeänä tekijänä keskuselin, jonka tehtävänä olisi erilaisten suunnittelutehtävien ohella erikoisesti toiminnan organisointi. Tässä mietinnössä tavallaan luettiin paperille hyvin paljon asioita, jotka ovat toteutuneet nyt Finnatomien puitteissa.

Itse toiminta lähti aktiivisesti käyntiin vuoden 1964-65 paikkeilla, jolloin ensimmäinen atomivoimalaitosta koskeva tarjouspyyntö lähti Imatran Voiman toimesta ulospäin. Suomi joutui silloin tämän alan maailmankartalle, ja erilaisia tiedustelujoukkoja saapui tänne todetakseen, että teollisuutemme oli melko tavalla järjestäytymätön eikä erikoisesti tietoinen alan problemeista. Teollisuus kuitenkin melko nopeasti tajusi tämän puutteen, ja vuoden 1965 aikana käytiin monenlaisia neuvotteluja, joiden tuloksena vuonna 1966 kevättalvesta allekirjoitettiin ns. "Magna Charta" joka oli Suomen Atomiteollisuusryhmän

käynnistävä paperi. Atomiteollisuusryhmän perustamispäivä oli 1.5.1966, ja se aloitti välittömästi toimintansa vahvuudella 1,5 henkilöä, sain käyttööni silloin puoli sihteeria. Toiminta kuitenkin laajeni melko nopeasti ja henkilökunta kasvoi välittömästi, ei kuitenkaan kovin suureksi.

Ensimmäisiä tilauksia Finnatomien edeltänyt Atomiteollisuusryhmä sai vuoden 1967 paikkeilla, jolloin Ruotsiin myytiin määrättyjä ydinvoimalaitosten osia. Kun Loviisa 1:n toimitusneuvottelut sitten tiivistyivät 1969 tienoil-la, Atomiteollisuusryhmä, joka ei ollut juridinen henkilö, muotoutui yhtiöksi voidakseen suorittaa ne kaupalliset aktiot, jotka kuuluivat tähän Loviisa 1:n suomalaiseen toimitusosuuteen. Yhtiö rekisteröitiin tammikuussa 1970. Ensimmäinen kauppa, jonka laitteita en tässä ryhdy sen paremmin luettelemaan oli n. 20 Mmk ja sen jälkeen tulleet lisäkaupat tähän samaan Loviisa 1-laitokseen nostivat sen arvon lähemmäs 30 Mmk:aa.

Samanaikaisesti ryhdyttiin aktiivisesti toimimaan Ruotsii päin. Asea-Atomille saatiin lukuisia toimituksia, ja muu-tama pienempi jopa Westinghousea edustavalle Monitor-yhtiölle. Tällä hetkellä kumuloituneena kokonaissummana Finnatomien tilauskanta on noin puolentoista sadan miljoo-nan markan paikkeilla, koostuen kotimaan ja Ruotsin tilauksista.

Me olemme tehneet useita yrityksiä Keski-Eurooppaan päin. Mm. Saksa, KWU (Kraftwerkunion) on kysellyt meiltä tava-raa. Kyselyitä on tullut Englannista, Ranskasta jne, mutta kiinni ei ole päästy. Pari kertaa olemme olleet hopeamitalin saajia. Saksalainen voimayhtiö, jolla on veto-oikeus, voi sanoa, että he eivät halua ostaa Suo-mesta. Tämä on yksi niistä kysymyksistä, joissa varmasti kussakin asemamaassaan toimiva kaupallinen sihteerä voi olla hyvinkin suureksi hyödyksi meille.

Suomen Atomiteollisuusryhmän osalliset muodostavat nyt Finnatomin osakkaat, kaikki ovat tuttuja nimiä: ~~AxxAxx~~ A. Ahlström Osakeyhtiö, Nokia, Rauma-Repola, Rosenlew, Strömberg, Tampella, Valmet ja Wärtsilä. Kaikki nämä firmat ovat edustettuina hallituksessa, jonka apuvälineenä on hallituksen työvaliokunta normaaliin tapaan. Mutta sen lisäksi on myös kaupallis-teknillinen toimikunta, jonka tarkoituksena on toimia hallituksen työrukkasena. Se käsittelee jatkuvasti esiin pulpahtelevia kysymyksiä hallituksen käsittelyä varten. Yhtiön organisaatio on kahtiajakoinen: meillä on markkinointiosasto ja tutkimus- ja kehitysosasto.

Markkinoinnin tarkoituksena on tietenkin myydä, hoitaa yhteyksiä ulkomaisiin ja kotimaisiin ostajiin, hankkia tarjouspyyntöjä jne. Edelleen olemme todenneet, että saatuamme tarjouspyyntöjä, joudumme hyvin usein antamaan ohjausta asianomaiselle valmistavalle osakasyhtiöllemme, joka ryhtyy tarjousta laatimaan. Tarjouksen saavuttua meille se vielä tarkistetaan toimistossamme, ja se lähtee ulos Finnatomin tarjouksena. Finnatom on tässä siis puolittain eräänlaisena postikonttorina välissä. Jos saamme tilauksen, markkinoinnin alaiset osastot ryhtyvät määrätyn työnjaon mukaan koordinoimaan ja seuraamaan toimitusta, huolehtimaan aikatauluvalvonnasta ja kaikista tähän liittyvistä toiminnoista. Lisäksi seurataan toimitukseen liittyvää laadunvalvontaa ja vartioidaan, että toimitus pysyy ao. talossa tarpeeksi korkealla prioriteettinsa puolesta. On nimittäin havaittu, että meidän joku pieni toimitus tahtoo hyvin helposti hukkaa ison talon paperikoneiden hampaisiin.

Tutkimusosasto hoitaa osakasyhtiöiden atomitekniikkaan kohdistuvaa tutkimustyötä ja pitää yhteyttä KTM:ään, joka on melko auliisti tukenut tätä tutkimustyötämme.

Lisäksi Finnatom on toiminut monissa tapauksissa yhteydenpitäjänä virallisessakin mielessä, mm. hoitaen aikanaan

Genevessä "Atoms for Development"-näyttelyn Suomen osaston valtion puolesta.

Vielä on mainittava, että Finnatom on puhdas non-profit-organisaatio, jonka tarkoituksena ei ole tuottaa voittoa. Me emme lisää mitään hirveät prosenttia näihin osakastehtaidemme tarjouksiin. Hallintokustannukset peitetään osakkaiden taholta määrätyn yrityssysteemin mukaan, joka on suhteellisen pieni % varsinaisista hinnoista. Mehän teemme muutaman hengen voimalla työtä, joka muuten täytyisi joka talossa tehdä erikseen. Omien osakasyhtiöidemme lisäksi meillä on läheistä yhteistyötä ulkopuolellekin. Meillä on mm. yhteistyösopimukset firmojen Neles ja Wallac kanssa ja vastaava on tekeillä, suullisesti melkein sovittu, myöskin Stenbergin kanssa.

Se, että olemme aika hyvin onnistuneet, saattaa hyvin paljon johtua siitä, että meidän metalliteollisuutemme juuret ovat nimenomaan puunjalostusteollisuuden koneissa, jotka ovat ruostumatonta ja haponkestävää, ja näin meillä on huomattava kokemus näistä.

Joka tapauksessa tie on ollut hankalaa ja ohdakkeista, koska tämä ydintekniikan ala on uutta meille ja osakasyhtiöillemme. Varsinkin vientitouhuissamme toivomme herroilta tukea ja apua.

Prof. V. Palva, VTT

YDINVOIMA-ALAN LÄHIAJAN NÄKYMÄT

Tarkoitukseni on kokouksen yleisotsakkeen alla tarkastella ydinvoima-alan tutkimustoimintaa. Esitykseni rajoittuu lähinnä Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa suoritettavaan ydintekniikan tutkimukseen. Esitän eräitä esimerkkejä erityisesti ydinvoimatekniikan alueen tutkimusprojekteista ja niiden nykytilanteesta.

Tutkimusorganisaatio

Ydinvoima-alan tutkimustoiminta VTT:ssä tapahtuu pääasiassa kolmessa laboratoriossa kuten kuva 1 osoittaa. Nämä ovat reaktorilaboratorio, ydinvoimatekniikan laboratorio ja sähkötekniikan laboratorio. Reaktorilaboratoriossa on perinnäisesti suoritettu erilaisia reaktorifysiikkaan ja neutronifysiikkaan liittyviä tutkimuksia samoin kuin isotooppi-tekniikan alueella tapahtuvaa tutkimus-, mittaus- ja tuotantotoimintaa. Ydinvoimatekniikan laboratorio on perustettu tämän vuoden alkupuolella lähinnä reaktorianalyysiprojektin ympärille ja tämän alueen lisäksi se suorittaa nykyisin reaktoridynamiikkaan ja erityisesti reaktoriturvallisuuteen liittyviä tutkimuksia. Sähkötekniikan laboratorioon sijoituvat luotettavuustutkimukset sekä ns. dynamiikkaprojekti laboratorion säätö- ja systeemijaostossa. Lisäksi tapahtuu jonkin verran tutkimusta erillisten projektien puitteissa, joista tärkein on materiaali- ja prosessitekniikan osastoon kuuluva reaktorimateriaaliryhmä sekä pienhäiriö fuusiotutkimusprojekti.

Dynamiikkaprojekti

Dynamiikkaprojektin puitteissa on kehitetty painevesilaitoksen kokonaiskäyttäytymistä kuvaava hybriditietokonemalli. Tämä malli on äskettäin valmistunut ja se on tarkoitettu koko laitosta koskevien dynaamisten ilmiöiden tarkasteluihin, tukemaan säätöteknilistä systeemisuunnittelua ja myös erilaisten häiriötilanteiden analysointiin.

Loviisa I pääsäätösysteemi on Imatran Voima Osakeyhtiön toimeksiannosta kehitetty yhteistyössä tilaajan, neuvostoliittolaisen laitostoimittajan

ja Siemensin kanssa. Olennaisen osan jo hyväksytyn pääsääntökaavion valmistelussa tarvittavasta tietoudesta muodostaa mainittu hybridi-tietokonemalli ja sen kehityksen yhteydessä saavutettu muu ydinvoimalaitoksia koskeva säätötekniillinen asiantuntemus.

Mainittuun simulointimalliin tullaan liittämään pienehkö operointipaneeli, josta voidaan ohjata ja tarkkailla prosessin tilaa. Tätä ns. pikkusimulaattoria tullaan käyttämään Loviisa I käyttöhenkilökunnan koulutuksessa ja se on sopiva myös muuhun koulutukseen käytettäväksi. Alustavia selvityksiä on suoritettu varsinaisen koulutussimulaattorin hankkimiseksi ydinvoimalaitoksien henkilökunnan laajamittaista koulutusta varten.

Eräitä muita ydinvoimalaitosten säätöön ja dynaamisiin kysymyksiin liittyviä töitä on myös käynnissä. Näistä mainittakoon kiehumusvesilaitoksen dynaamisen mallin kehitystyö sekä suurien reaktoreiden säädössä esiintyvien säätöprobleemien tarkastelu.

Luotettavuusprojekti

Luotettavuusryhmä on nyt saavuttanut sille kaavailun vahvuuden ja pystynyt hankkimaan erilaisten luotettavuusanalyysiin liittyvien tehtävien riittävän suoritusvalmiuden.

Tällä hetkellä käynnissä olevista tutkimuksista pääosa liittyy Loviisan ydinvoimalaitokseen. Käynnissä olevia turvallisuusaiheisia selvityksiä ovat mm. primääripiirin pääputken päittäiseen katkeamiseen liittyvien tapahtumaketjujen ja niiden seurausten analysointi, pienten ja keskikokoisten putkivuotojen analysointi sekä laitoksen jälkilämmönpoistojärjestelmän luotettavuusanalyysi. Edelleen reaktorin suojausjärjestelmän luotettavuusanalyysi liittyy olennaisesti turvallisuuteen, mutta myös laitoksen käytettävyyteen liittyvät näkökohdat ovat sen yhteydessä tärkeitä. Käynnissä on myös koko prosessin suojauksia koskeva selvitys sekä laitoksen säteilyvalvontajärjestelmän luotettavuusanalyysi.

Ryhmän toimintakenttään kuuluvat olennaisina luotettavuusanalyysin metodiikkaan ja laskentamenetelmiin kohdistuva selvitystyö sekä todennäköisyysmenetelmin suoritettavaan ydinvoimalaitosten luotettavuusanalyysiin kohdistuva tutkimus. Todettakoon myös, että ryhmä on toiminut aktiivisesti pohjoismaisen yhteistyön puitteissa selvittämässä luotettavuusanalyysille keskeistä primääritietoproblemaa. Tietojen keruun rationaaliseksi järjestämiseksi on tarkkaan tiedettävä, mitä tietoja tarvitaan kussakin eri analyysissä minimitietoina. Tämä primääritietojen keruu on aina vaikea ja laaja tehtävä, joka täytyy supistaa niin vähäiseksi kuin mahdollista, jotta riittävän luotettavaa tietoa laitoksilta olisi saatavissa.

Onnettomuusanalyysit

Turvallisuustarkastelujen kannalta olennainen jäähdytteenmenetysonnettomuuden analysointi pystytään jo nyt suorittamaan. Eräät työn alla olevat lisäparannukset ohjelmiin ovat kuitenkin vielä välttämättömiä amerikkalaisten USAEC-laskentakriteerien täyttämiseksi. Onnettomuusanalyysiselvitykset ovat osa laajaa yhteispohjoismaista tutkimusta (NORHAV), jonka kautta VTT:lle taataan valmius myös BWR-reaktorin analysoimiseksi. Projektin puitteissa valmistellaan parhaillaan myös Suomen mahdollista osallistumista Marviken-kokeiden jatkamiseen sekä suunnitellaan kokeellista tutkimusta polttoainesauvojen deformatumisen vaikutuksesta onnettomuustilanteessa. Paitsi ensiöpiiriä kattaa onnettomuusanalyysiprojektin työ myös suojarakennuksen termohydraulisen käyttäytymisen.

Reaktorisydämen polttoainehuolto

Reaktorisydämen polttoainehuoltoon liittyvät laskentamenetelmät ovat kehittyneillä, ja painevesi- ja erityisesti VVER-reaktoreille soveltuvan laskentajärjestelmän suhteen on alustava valmius jo olemassa. Koko sydämen palamakäyttäytymisen osalta kolmidimensioisen simulointiohjelman laadinta on viimeisenä vaiheena työn alla. Palamatutkimuksissa on tarkoituksena etsiä latauskaavio, joka pystyy tuottamaan toimintajakson (n. vuoden) aikana halutun energiamäärän, saa aikaan suunnitteluperusteiden rajoissa pysyvän tehojakautuman ja on osa taloudellisinta (useamman vuoden yli laskettua) polttoainehuoltostrategiaa.

Palamatutkimusten laajentaminen kiehutusvesireaktorin alueella on parhaillaan selvitettävänä. Ruotsista ehkä saatava koppipalamaohjelma sekä NEAn ohjelmakirjaston hyväksikäyttö mahdollistaisivat oman valmiuden luomisen verraten vähäisellä panoksella.

Fissiotuoteprojekti

Projektin puitteissa on valmistunut laskenta-algoritmi halkeamistuotteiden käyttäytymisen selvittämiseksi suojarakennuksessa. Työstä on jo esituloksia olemassa. Projektin painopiste on parhaillaan siirtymässä käyttäytymisketjussa polttoaineeseen ja siellä tahahtuviin ilmiöihin kuten halkeamistuotteiden kertymiseen ja vapautumiseen.

Rakenneanalyysiprojekti

Rakenneanalyysiprojektin puitteissa osallistutaan pohjoismaiseen betonipaineastiaprojektiin sekä otetaan käyttöön ja kehitetään edelleen ydinvoimalaitoksissa käytettävien järeiden komponenttien jännitysanalyysiin soveltuvia tietokoneohjelmia. Yhteistyössä Finnatomien kanssa tutustutaan parhaillaan PAFEC-70 finite element-ohjelmaan ja perehdytään rakenteiden mitoituskysymyksiin erityisesti onnettomuustilanteita ajatellen.

Polttoaineen vastaanottotarkastusprojekti

Reaktorilaboratoriossa käynnissä olevista projekteista mainittakoon tässä vain muutama. Ydinpolttoaineen tarkastusmenetelmien kehitysprojekti aloitettiin vuoden alussa. Projektin tarkoituksena on luoda eräiden ainettarikkomattomien ydinpolttoaineen tarkastusmenetelmien suorittamisvalmius liittyen ensimmäisten ydinvoimalaitosten käyttöönottoon Suomessa. Tällaisia ydinvoimatekniikassa käytettäviä ainettarikkomattomia tarkastusmenetelmiä ovat ydinpolttoaineen vuototestit sekä analyysi-, läpivalaisu- ja akustiset menetelmät.

Projektin ensimmäisen työvuoden aikana on suhteellisen suppeissa puitteissa tarkoitus hankkia kokonaiskuva tarkastusmenetelmistä (muistakin

kuin yllämainituista), ryhtyä laitteistohankintoihin sekä toimia yhteistyössä ydinpolttoaineeseen liittyvää tutkimustyötä muualla VTT:ssä suorittavan reaktorimateriaaliryhmän kanssa.

Ydinvoimalaitoksen paikan valinta

Ydinvoimalaitoksen paikan valinnassa ovat olennaisina mukana merkkiainetutkimukset, joita reaktorilaboratorio on toimeksiantotehtävinä suorittanut. Helsingin kaupungin tilauksesta on merkkiainekokeita radioaktiivista merkkiainetta käyttäen suoritettu Helsingin itäpuolisella merialueella ydinvoimalaitoksen jäähdytysveden vesialueella aiheuttamien lämpötilamuutosten arvioimiseksi. Merkkiainekokeissa on mitattu jäähdytysveden suunniteltuun purkukohtaan panostetun merkkiainepulssin kulkeutumista ja laimenemista kartoittamalla veteen laskettavan säteilyilmaisimen avulla merkkiaineen pitoisuusjakautuma sekä horisontaali- että vertikaalisuunnassa useina eri ajankohtina panostuksen jälkeisinä päivinä. Merkkiaineen kulkeutumista ja laimenemista on voitu seurata tapauksesta riippuen 6...12 km päähän panostuskohdasta.

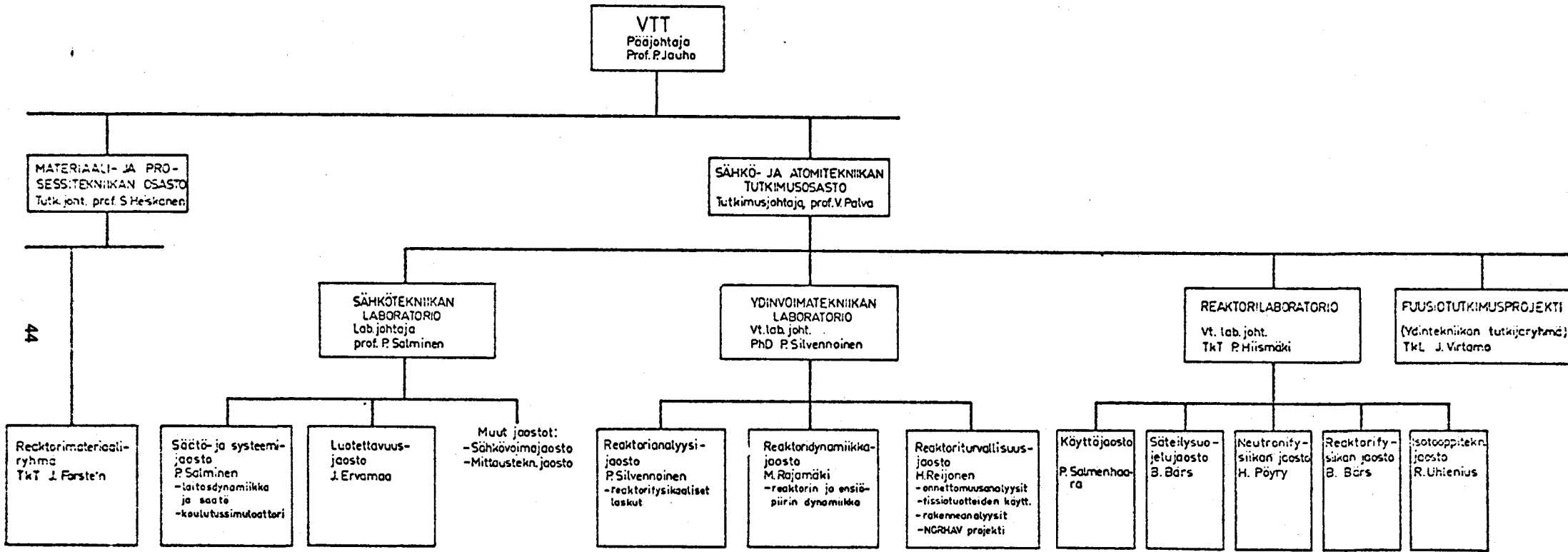
Ydinvoimalaitoksen jäteprojekti

Ydinvoimalaitosten jätteen käsittelymenetelmien selvittämisprojekti on aloitettu puolisen vuotta sitten. Projektin tavoitteena on ydinvoimalaitosten radioaktiivisten jätteen käsittelytekniikan selvittäminen ja menetelmien vertailu tällä hetkellä käytettävissä olevan tekniikan perusteella ja ottaen huomioon suomalaiset olosuhteet sekä maamme ydinvoimalaitosten rakennusohjelmat, kansainvälisten yhteyksien luominen ja mahdollisten yhteistyönä toteutettavien tutkimusprojektien valmistelu sekä kehityksen seuraaminen ja referointi. Projekti on tällä hetkellä käynnissä parin miehen vahvuisena, mutta suunnitelmia laaditaan projektin kokonaisvolyymien lisäämiseksi. On aivan ilmeistä, että tällä alueella on tarpeen useamman vuoden tutkimuspanos olennaisesti nykyistä suuremmalla volyyymilla.

Lopputoteamus

Ydintekniikan tutkimuksissa toimii VTT:llä nykyisin n. 150 henkilöä. Eräiden projektien yhteydessä viitattiin myös käynnissä olevaan pohjoismaiseen yhteistyöhön, joka merkitsee meidän kannaltamme katsoen olennaista tutkimuspanoksen lisäämistä. Tässä yhteydessä haluaisin erityisesti korostaa pohjoismaisen ja kansainvälisen yhteistyön merkitystä ja tärkeyttä. Yhteistyö pohjoismaihin on entisestään huomattavasti voimistumassa ja kiinteytymässä ja sitä kautta on meille saatavissa koordinoitua yhteistyön puitteissa huomattava määrä tietoa, jonka hankkimiseen omat suppeat voimavarat eivät riittäisi. Niinikään on myös alkamassa entistä huomattavasti laajempaa yhteistyötä neuvostoliittolaisten asiantuntijoiden kanssa. Tässä pyritään tutkimuslaitosten väliseen suoraan yhteistyöhön, olkoonkin, että yhteistyö nykyisellään tapahtuu pääosaltaan Loviisan laitoksen hankintaan kytkeytyneenä. Alueista, joilla yhteistyön erityisesti toivotaan kehittyvän Neuvostoliittoon päin, mainittakoon termohydrauliikkaan liittyvät kokeelliset tutkimukset sekä reaktorimateriaaliryhmän toiminta-alueella tapahtuva yhteistyö. Niinikään on todennäköistä, että yhteistyötä saadaan käyntiin sekä koulutussimulaattorikysymyksissä, erilaisissa säätö- ja systeemiteknisissä kysymyksissä sekä luotettavuusteknisissä kysymyksissä. Lopuksi on paikallaan todeta, että yhteistyötä pyritään harjoittamaan myöskin muitten maitten kanssa ja sitä kautta hankkimaan meille se tarpeellinen tietous, jota oman maan laitteistoilla ja kokeellisilla resursseilla ei ole saatavissa. Niinikään pyritään kansainvälisen yhteistyön avulla seuraamaan uuden tekniikan kehitystä nopeitten reaktoreitten, hyötöreaktoreiden, fuusiotutkimuksen ja muilla alueilla, joissa tietty perustietämys meillä on tarpeen, mutta se ei ole omin rajoitetuin voimavaroin itse hankittavissa.

YDINTEKNIIKAN TUTKIMUS VTT:ssä



Kuva 1.

YDINENERGIAN KÄYTÖN TURVALLISUUSNÄKÖKOHDISTA

Tiivistelmä

Ydinenergian käytön lisääminen johtaa riski-, hyöty- ja kustannusarviointeihin. Näitä käsitellään alustuksessa energiantuotantotavan, ydinvoimalaitoksen sijoittamisen ja ydinteknillisten järjestelmien suunnittelun kannalta. Lisäksi luodaan katsaus ydinenergian käytön yleisiin turvallisuusvaatimuksiin.

1 Yleistä

Ydinenergian käytön lisääminen tuo mukanaan tarpeen arvioida turvallisuusnäkökohtia voimakkaammin, kuin yleensä on laita tekniikan aloilla. Tämä johtuu siitä, että ydinvoimalaitosonnettomuudet tapahtuessaan voivat kohdistua moneen henkilöön ja että osa energiantuotannon jätteistä on vaarallista ja vaikeasti hävitettävissä. Tutkittaessa ydinenergian käytön edullisuutta ja käyttömuotoja on viime aikoina jouduttu arvioimaan riski-hyöty-näkökohtia /1, 2, 3/, joihin liittyvät kustannus-hyöty-laskelmat /4, 5, 6/. Tässä yhteydessä on myös suoritettu todennäköisyyspohjaisia turvallisuusanalyyskejä. Seuraavassa käsitellään esimerkkeinä joitakin riski-, hyöty- ja kustannusarviointeja. Lopuksi luodaan katsaus ehtoihin, jotka ydinenergiantuotannon on täytettävä.

2 Ydinenergia ja muut energiantuotantotavat

Fission perustuva ydinenergia on tällä hetkellä ainoa laajassa mitassa sekä taloudellisesti että teknillisesti mahdollinen vaihtoehto fossiilisiin polttoaineisiin perustuvalle energiantuotannolle. Energiantuotannon aiheuttamat yksilölliset somaattiset riskit riippuvat hyvin voimakkaasti voimalaitosten ilman päästämien epäpuhtauksien määristä. Taulukossa 1 on esitetty Suomen olosuhteisiin liittyviä arvioita erilaisten voimalaitosten aiheuttamille vuotuisille emissioille sekä arvio pahimmalle yksilöriskille käytettäessä 150 m korkeaa savu- tai ilmanvaihtopiippua /7/. Ydinenergian kohdalla on häiriöiden vaikutus otettu huomioon keskimääräisissä päästöissä.

Taulukko 1

Sähköteholtaan 2 x 1000 MW voimalaitoksen aiheuttamat vuotuiset epäpuhtauspäästöt sekä pahimmat somaattiset kuolemaan johtavat yksilöriskit voimalaitoksen oletettuna 40 vuoden käyttöaikana käytettäessä 150 m korkeaa savu- tai ilmanvaihtopiippua.

Päästö	Polttoaine			Ydin- poltto- aine
	Kivi- hiili	Öljy	Maa- kaasu	
SO ₂	8,5x10 ⁷ kg	1,3x10 ⁸ kg	2,7x10 ⁴ kg	-
Hiukkaset (esim. lentotuh- ka ja no- ki)	8x10 ⁶ kg	1,5x10 ⁶ kg	<10 ⁶ kg	-
Xe-133	-	-	-	1x10 ⁵ Ci
Ar-41	-	-	-	6,5x10 ³ Ci
J-131	-	-	-	3,5 Ci
Pahin voima- laitoksen ympäristös- sään aiheuttama kuoleman- riski 40 vuoden aikana	~2x10 ⁻⁴	~10 ⁻⁴	<2x10 ⁻⁷	~2x10 ⁻⁶

Ydinvoima aiheuttaa taulukon mukaan pienemmän somaattisen haittariskin kuin öljyn tai kivihiilen käyttö. Maakaasu voi olla vaikutuksiltaan ydinenergiaa edullisempi. Kuitenkin taulukkoon liittyvistä laskelmista puuttuvat konventionaalisten polttoaineiden tapauksessa hiilidioksidi, typpioksidit ja hivenainepäästöt, joilla on selvä vaikutus riskeihin. Näiden päästöjen kohdalla riskianalyysin tekeminen on nykyisellä tietämyksellä vaikeaa. Edellisen perusteella voidaan todeta, että arvioitaessa ydinenergian aiheuttamia riskejä, täytyy niitä verrata turvallisuusriskiin, mikä otetaan, jos ydinvoimalaitokset korvataan fossiilisia polttoaineita käytävillä laitoksilla. Analyysija vaikeuttaa kuitenkin se, miten geneettiset haitat otetaan huomioon.

3 Ydinvoimalaitoksen sijoittaminen

Pääkaupunkiseudun ydinvoimalaitoshankkeiden yhteydessä on tutkittu eri ydinvoimalaitoksen sijoituspaikka- vaihtoehtoja. Taulukossa 2 tarkastellaan näistä kolmea. Taulukossa on annettu kaukolämmön siirto- etäisyys, kaukolämpöverkon rakentamiseen ja käyttöön liittyvät kapitaloidut kustannukset /8/ ja voima- laitoksen käyttöaikanaan aiheuttama väestöannos lähinnä suuruusluokka-arvona /9/. Lisäksi taulukossa on väestöannoksen hinta, joka on laskettu olettamalla, että ollaan valmiita maksamaan 900 mk väestöannoksen vähentämisestä 1 manremillä /10/.

Taulukko 2

Kaukolämmön siirtoetäisyys, kaukolämmön kaukosiirto- verkon rakentamisesta ja käytöstä aiheutuvat kustannukset paikkaan 1 verrattuna, voimalaitoksen aiheuttama väestöannos ja väestöannoksen hinta pääkaupunkiseudun kolmessa ydinvoimalaitoksen sijoituspaikkavaihtoehdossa.

Paikka	Kaukolämmön siirtoetäisyys (km)	Kaukolämmön siirrosta aiheutuvat lisäkustannukset (Mmk)	Väestöannos (manrem)	Väestöannoksen hinta (Mmk)
1	19	0	~ 3000	~ 2,7
2	33	225	~ 2000	~ 1,8
3	49	495	~ 1500	~ 1,4

Taulukosta havaitaan, että laitoksen siirtämiselle lähimpänä olevasta paikasta kauempana olevaan ei saada perusteita normaalikäytön aiheuttaman väestöannoksen pienemmisestä. Ainoastaan, jos tarkastellaan suurten onnettomuuksien aiheuttamia väestön kilpirauhasannoksia, voidaan löytää taloudellisia perusteita laitoksen siirtämiselle kauemmaksi asutuskeskuksesta /9/. Tällöin on kuitenkin edellytettävä, että käytetään vähintään em. hintaa 900 mk/manrem myös väestön kilpirauhasannokselle.

Edellisten seikkojen perusteella kauppa- ja teollisuusministeriön ja pääkaupunkiseudun sähkölaitosten ydinvoimalaitoksen sijoittamista tutkivassa projektissa päädyttiin todennäköisyyspohjaisten analyysien lisäksi äärimmäisiin onnettomuuksiin perustuvaan turvallisuusarviointiin. Näin on tehty myös ruotsalaisessa lähisijoitustutkimuksessa /11/. Tehtyjen determinististen analyysien perusteella on saatu selvät erot lähimpien ja kaukaisimpien sijoituspaikkavaihtoehtojen välille.

4 Turvallisuusjärjestelmien valinnasta

Turvallisuusjärjestelmien valintaa voidaan suorittaa kustannus-hyöty-analyysien avulla. Tällöin verrataan järjestelmän aiheuttamaa turvallisuusriskin vähenemistä järjestelmän kustannuksiin käyttäen hyväksyttävää hintaa väestöannoksille ja muille haitoille. Esimerkkinä analyysista voidaan mainita Dresdenin teknillisessä korkeakoulussa tehdyt laskelmat /4, 5/. Näissä tarkastellaan turvallisuusjärjestelmän ominaiskustannuksia Δk^* (laatuna esim. mk/MWh), jotka määritellään seuraavasti

$$\Delta k^* = k_{SM} + \Delta k_A + \Delta s \quad (1)$$

missä k_{SM} on turvallisuussysteemiin liittyvät ominaiskustannukset, Δk_A turvallisuussysteemin taloudellinen vaikutus laitoksen käytettävyyteen ja Δs ottaa huomioon onnettomuuksien aiheuttamien vahinkojen rahallisen suuruuden. Turvallisuusjärjestelmän perusteltavuutta voidaan myös mitata turvallisuustekijällä σ , joka on

$$\sigma = - \frac{\Delta s}{k_{SM}} \quad (2)$$

Suoritetuilla analyyseilla on vertailtu esim. hätäjähdytysjärjestelmiä ja suojarakennusratkaisuja painevesireaktorin tapauksessa /4, 5/ sekä radioaktiivisten jätteen käsittelyjärjestelmiä /6/.

5 Ydinenergian turvallisuusvaatimukset

Riski-hyöty- ja kustannus-hyöty-laskelmat muodostuvat hyvin monimutkaisiksi. Tästä huolimatta ne ovat tarpeellisia ainakin jossain laajuudessa. Ydinenergian käyttöä laajennettaessa olisi seuraavat kolme eri asteista turvallisuusvaatimusta otettava huomioon:

- Ensinnäkin on valittava laajassa mitassa turvallisuudeltaan hyväksyttävä energiantuotantotapa. Tämä merkitsee, että yleiset riski-hyöty-näkökohdat tulevat otetuiksi huomioon, mihin liittyvät rajoitukset energiantuotannon aiheuttamille väestön säteilyannoksille /1/.

- Toiseksi ydinvoimalaitokset täytyy sijoittaa siten tai varustaa sellaisilla turvajärjestelyillä, että ympäristölle kahtalokkaiden onnettomuuksien mahdollisuus saadaan riittävän pieneksi.
- Kolmanneksi järjestelmien ja menettelytapojen valinta suoritetaan kustannus-hyötyanalyysillä /1/, jolloin on mahdollista päätyä sekä turvallisuuden että taloudellisuuden kannalta tyydyttävään ratkaisuun (säteilyannosten rajoittaminen: as low as reasonably achievable).

KIRJALLISUUSVIITTEET

- /1/ B Lindell, The establishment of standards and working limits for radioactive contaminants, IAEA-SM-180/77, 1973
- /2/ Starr C, Greenfield M A and Hausknecht D F, A comparison of public health risks: nuclear vs oil-fired power plants, Nuclear News 15 (1972) 10, pp. 37...45
- /3/ Reactor safety study, an assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants, WASH-1400 (DRAFT), August 1974
- /4/ Heitsch M, Müller R, Kubis K, Thäle R and Uhlmann G, Quantitative comparison of containment-buildings for PWR, Conference on nuclear heat engineering and on containments, Brno, CSSR, 3-5 October 1973
- /5/ Adam E, Altmann W, Munser H und Schilg G, Entscheidungsprobleme bei Kraftwerkssystemen grosser Leistung, Energietechnik 24 (1974) 7, pp. 282...289
- /6/ Burnham J B, Risk protection, power generation and fiscal responsibility, Power Engineering 77 (1973) 5, pp. 67...69
- /7/ Mikola J, Seppä M, Tiainen O J A, Toivianen E Haavisto H and Nevanlinna L, A study concerning different energy supply alternatives of the Helsinki Metropolitan Area in Finland, IX World Energy Conference Detroit, 22-27 September 1974, Paper 6.1-10, 1974

- /8/ Nikkanen A and Seppä M, Plans for the combined nuclear district heat and electricity production concerning the Helsinki Metropolitan Area, IAEA Study group meeting on heat utilization from nuclear reactors for industrial processes and district heating, Vienna, 2-6 September, 1974
- /9/ Tiainen O J A, Seppä M, Mikola J and Kortelainen P, Economic and safety aspects of a nuclear power plant used in combined electric and district heat supply, Conference on nuclear heat engineering and on containments, Brno, CSSR, 3-5 October 1973.
- /10/ Lindell B och Löfveberg S, Kärnkraften, människan och säkerheten, Allmänna Förlaget Stockholm 1972 (ISBN 91-38-01305-3)
- /11/ Närförläggning av kärnkraftverk, Statens offentliga utredningar 1974:56, Stockholm 1974 (ISBN 91-38-01579-X)

10/UY-OJT/Ho

REAKTORIONNETTOMUUKSIEN KOKEELLINEN JA ANALYYTTINEN
SELVITTELY

Kevytvesireaktoreiden lukumäärän nopea kasvu ja niiden dominoiva asema reaktorimarkkinoilla edellyttävät niihin liittyvien turvallisuuskysymysten syvällistä hallitsemista. Kevytvesireaktoreiden onnettomuusanalyysi on erittäin vaativaa näiden reaktoreiden seuraavien ominaisuuksien vuoksi:

- Jäähdyte ja moderaattori ovat vettä, paine n. 140 bar (PWR) tai n. 70 bar (BWR) ja lämpötila n. 300°C. PWR:ssä vesi on n. 35°C alijäähtynyttä ja BWR:ssä on vesi kylläisessä tilassa. Toimitaan siis lähellä veden faasinmuutos-tilaa, jolloin virtaus- ja lämmönsiirto-ominaisuudet voivat vaihdella paljon.
- Reaktiivisuuden tarve on suuri.
- Paineenalaisen primääripiirin energiasisältö on suuri.
- Tehotiheys on suuri.

Onnettomuusanalyysissä on otettava huomioon lukuisia erilaisia onnettomuustilanteita. Koska jäähdytteenmenetysonnettomuuden todennäköisyys on 10^{-3} ... 10^{-4} /reaktorivuosi ja fissiotuotteiden päästö ympäristöön voi olla huomattavan suuri on juuri tämän onnettomuuden tutkiminen keskeisenä.

Reaktorionnettomuuksien kokeellinen selvittely on aloitettu vaatimattomassa mittakaavassa jo 1950-luvun lopulla. Yksittäisistä kokeista on ehkä eniten saanut julkisuudessa huomiota osakseen eräs LOFT-semiscale projektissä suoritettu koe, joka kriitikoiden mukaan osoittaa sen, etteivät hätäjäähdytysjärjestelmät voi toimia. Koelaitteiston (ks. kuva 1) perusteella tämä tuskin oli odottamatonta, sijaitsevathan putkiyhteet sähköisesti lämmitettävän reaktorisydäem alapuolella ja virtauskanavat olivat niin ahtaat, ettei hätähäähdytysvesi pystynyt tunkeutumaan höyryvirtaa vastaa, vaan joutui hukkaan.

Sittemmin on tutkimustuloksia saatu lukuisista muista kokeista, joiden perusteella voidaan osoittaa, että reaktorin sydän on jäähdytettävissä nykyisillä hätäjäähdytysjärjestelmillä.

Jäähdytteenmenetysonnettomuuden tutkimiseen liittyvät kokeet voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: jonkin osaprosessin, esim. hätäjäähdytysvaiheen lämmönsiirtokertoimien, tutkiminen tai integraaliset kokeet, joilla selvitetään eri osaprosessien vuorovaikutusta toistensa kanssa. Kokeellisen tutkimuksen tavoitteet ovat tällä hetkellä hätäjäähdytyskriteereihin sisältyvän ainakin reaktoreiden valmistajien mielestä tarpeettoman konservatiivisuuden poistaminen ja suurimittakaavaisilla integraalisilla kokeilla pyritään testaamaan käytössä olevien tietokoneohjelmien konservatiivisuutta ja identifioimaan puutteellisesti tunnettuja osa-alueita. Oheisessa taulukossa on esitetty yhteenveto eräistä parhaillaan suoritettavista ja suunnitteilla olevista kokeellisista tutkimusohjelmista. Tutkimuksiin sijoitetaan eri tahoilla huomattavan paljon varoja ja voidaan sanoa, että 2-3 vuoden kuluttua on ainakin nykyisen suunnittelun perustana olevan onnettomuuden realistiseksi analysoimiseksi riittävästi kokeellista materiaalia. Vakavampien onnettomuuksien kuten sydämen sulamisen ja siihen mahdollisesti liittyvien höyryräjähdysten analysointi vaatisi huomattavasti kokeellisia lisäselvityksiä, mikäli katsotaan aiheelliseksi erittäin pienellä todennäköisyydellä tapahtuvien onnettomuuksien ja niiden ympäristövaikutusten tarkastelu.

Onnettomuuksien analysointi suoritetaan laajoilla tietokoneohjelmilla. Tarkasteltavina olevien ilmiöiden monimutkaisuuden vuoksi joudutaan usein suorittamaan parametritarkasteluja mallinkuvauksen tai sisään syöttöarvojen konservatiivisuuden varmistamiseksi. Pohjoismaissa tapahtuu tietokoneohjelmien kehitys ns. NORHAV-yhteisprojektina, jonka tavoitteena on luoda USAEC:n vaatimustason mukainen analysointi- valmius v. 1975 kevääseen mennessä ja pitemmällä tähtäimellä

pyritään tapahtumien realistisempaan kuvaukseen. Jäähdytteenmenetyssonnettomuuden analysointiin käytetään eri ohjelmia sellaisten ilmiöiden kuvaamiseen, joiden välinen vuoro-vaikutus on heikko. VTTn käyttämät ohjelmat ovat alunperin eri ulkomaisista lähteistä hankittuja ja edelleen pohjoismaisena yhteistyönä kehitettyjä. Ohjelmat ja laskentakaavio käyvät ilmi kuvasta 5. Kuivan tai PS-suojarakennuksen käyttäytymistä voidaan lisäksi analysoida CONTEMPT-PS ja ZOCO II tietokoneohjelmilla.

Koko primääripiirin termohydraulista käyttäytymistä analysoivaa RELAFS-ohjelmaa varten primääripiiri jaetaan tilavuuksiin ja niitä yhdistäviin virtauskanaviin esim. kuvan 6 mukaisesti. Laskut muodostuvat erittäin paljon tietokoneaikaa kuluttaviksi; yhden jäähdytteenmenetyssonnettomuustapauksen laskeminen vie n. 3 vuorokautta keskusyksikköaikaa.

Westinghousen PWRlle laskettuja tuloksia on esitetty kuvassa 7, missä myös näkyy selvä ero kun on käytetty USAECn vaatimustason mukaisia oletuksia tai reaktorin valmistajan "best estimate" (oikeastaan optimistisia) olettamuksia.

Eniten uhrataan varoja onnettomuusanalyysijä suorittavien tietokoneohjelmien jatkokehittelyyn USAssa, myös Saksan Liittotasavallassa ja Neuvostoliitossa on vastaavanlaisia kehitysprojekteja meneillään.

Mainittakoon lopuksi, että Aerojet Nuclear Corporationistä (ANC) erosi hiljattain lukuisia tietokoneohjelmien asiantuntijoita. Syynä oli ilmeisesti AECn kanssa vallinneet erimielisyydet ohjelmien kehityksen menetelmistä ja tavoitteista. Joukon kärjessä oli THETA-1Bn laatija Carl J. Hocevar, joka nyttemmin Union of Concerned Scientistien palkkalistoilla ollessaan pääsee esittämään näkemyksiään entistä pontevammin.

Taulukko

Eräitä käynnissä ja suunnitteilla olevia jäähdytteenmentysonnettomuuden tutkimiseen liittyviä kokeita

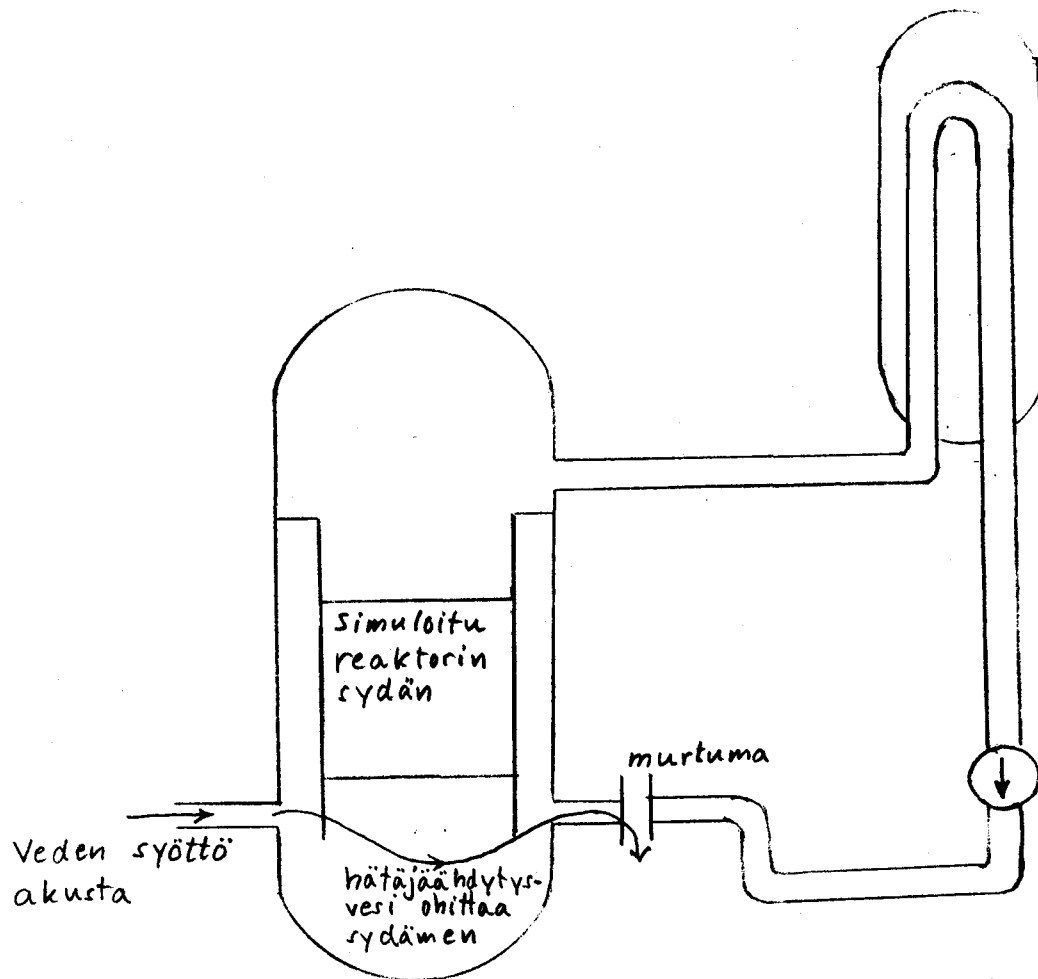
Maa,projektin numero	Rahoittaja - suorittaja	Tutkimuskohde	Aikataulu	Kommentit
Suomi	1 KTM-UKAEA+VTT	Zr-1 % Nb suojakuorimate- aalin deformatuminen jäähdytteenmentysonnetto- muuden aikana	lokakuu 1974 - helmikuu 1975	Kokeet suoritetaan Englannissa GLEEBLE-laitteella, tulokset analysoidaan VTT:ssä
	2 KTM+VTT- VTT+LTKK	Hätäjäähdytyskokeet yhdel- lä polttoainesauvalla	joulukuu 1974 - 1975	VVER-440 geometria, kokeet suoritetaan Lappeenrannassa
Ruotsi	1 Dsf-AB Atom- energi (AE)	BWR:n polttoaine-elementin häätäjäähdytys	1973-1975	ASEA-ATOM 8x8 elementti, liittyy NORHAV yhteistyöhön. Tavoitteena korvata kelvotto- mat BWR-FLECHT tulokset.
Saksan Liit- totasavalta	1 IRS-AEG	Blowdown-vaiheen lämmön- siirto- ja paine-erot	1969-1974	4 ja 49 sauvan BWR, 36 sauvan PWR, max teho 5 MW.
	2 IRS-TU-Hannover	Lämmönsiirto epästatio- näärisissä olosuhteissa	1970-1974	Kokeet Freon 12:lla
	3 IRS-Batelle Frankfurt	Ulospuhallus painevesi- säiliöistä	1971-1975	Säiliön mitat 0,8x11,2 m. Tavoitteena selvittää veden ulospurkausnopeus ja voimat reaktorin sisäosille.

Maa, projektin numero	Rahoittaja - suorittaja	Tutkimuskohde	Aikataulu	Kommentit
4	IRS-Siemens	Pumppujen käyttäytymisen blowdownin aikaan	1972-1975	Sekä PWR että BWR
5	GKSS	Laivareaktorin suojarakennus	1973-1975	PS-suojarakennus PWRille
6	IRS	PWR-blowdown, 1 ulkoinen kiertopiiri	1973p	mittakaava 1:500, 64 sähköllä lämmitettävää sauvaa, teho 5 MW.
7	IRS	Termiset epätasapainotilat	1972-	Ruiskutetaan kylmää vettä erilaisiin höyrytilavuuksiin
8	IRS	PWRn sydämen jälleentäyttö- vaiheen lämmönsiirtokertoimet	1973-	Kiertopiiri simuloitu, samoin virtauskanavien tukkeutuminen
9	IRS-Gfk Karlsruhe	Polttoainesauvan deformaation LOCAn aikana	1972-1976	Out-of-pile -kokeita 50 cm:n sähköisesti lämmitettävillä sauvoilla. Tutkitaan myös deformaation vaikutusta hätäjäähdytykseen. Myöhemmin in-pile-kokeita.
Saksan Demokraattinen tasavalta	Dresdenin teknillinen korkeakoulu	Deformoitumiskokeita Zr-1 % Nb polttoainesauvoilla	1973-1974	Kokeita suoritettu yksittäisillä 50 cm:n mittaisilla sauvoilla,

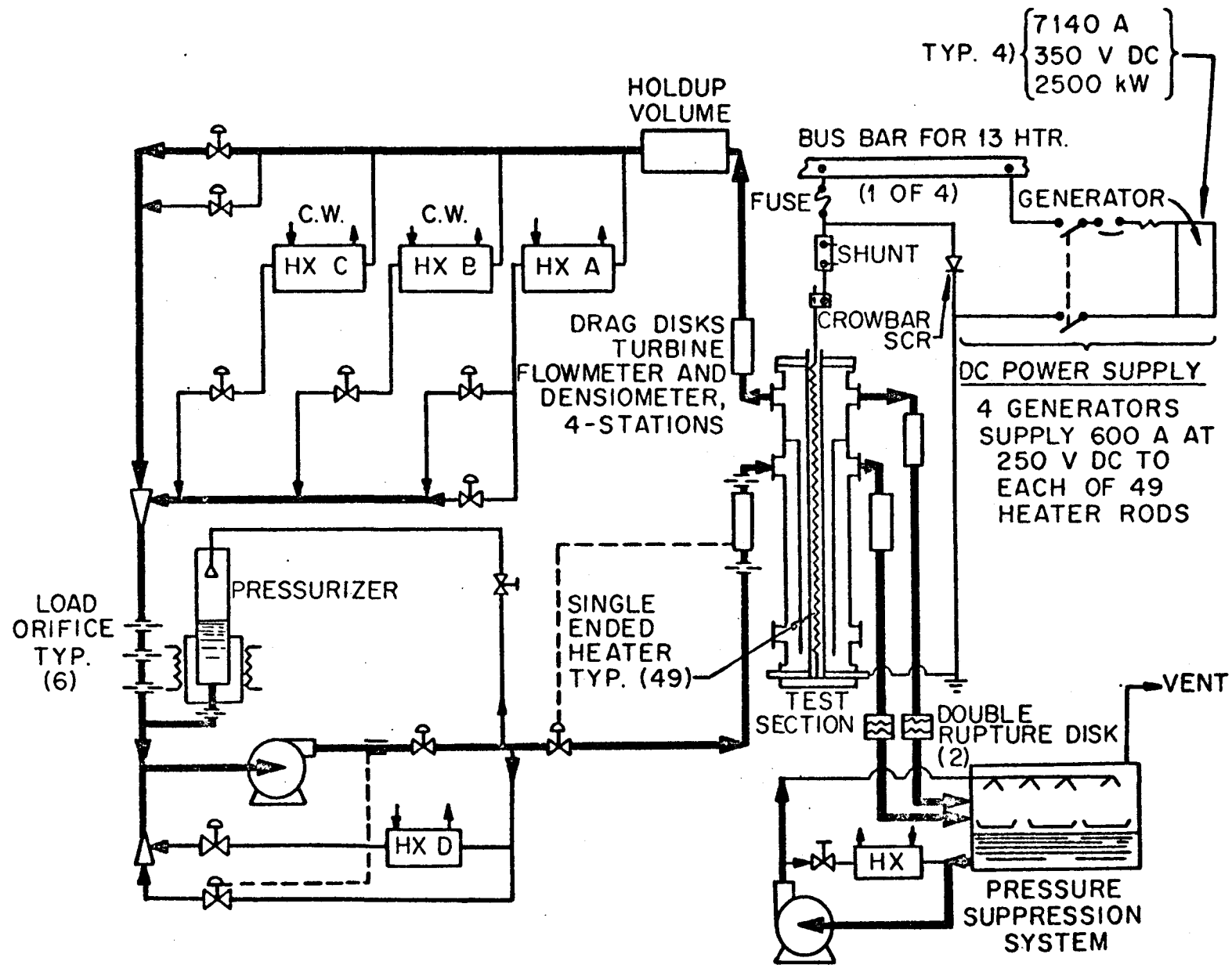
Maa, projektin numero	Rahoittaja - suorittaja	Tutkimuskohde	Aikataulu	Kommentit
USA	1 AEC+GE-GE	BWR:n blowdown-vaiheen lämmönsiirto	1971-1975	7x7 GE elementti, tavoitteena määrätä aika kiehumiskriisiin, alkutilavuuden paisumisen hydrodynamiikka, sydämen lämpeneminen sekä alatilan paisumisen ja kriittisen lämpövuon jälkeisen tilanteen lämmönsiirto.
	2 GE-GE	BWRn hätäjähdytyskokeita		Spray- ja flooding kokeita 8x8 elementillä
	3 AEC-ORNL	PWRn blowdown-vaiheen lämmönsiirtokokeita	1972-1975	10 MW looppi, 49 sauvaa pääpaino virtauksen kääntymisen vaikutuksilla. Koelaitteen kaavio on esitetty kuvassa 2.
	4 WNES-WNES	Viivästynyt DNB	1973-1975	25 sauvaa, pituus 12 jalkaa, kontrolloituja paine- ja virtaus-transientteja. Simuloidaan LOCA:n 8 ensimmäistä sekuntia.
	5 AEC-Univ. Cincinnati	Transientti 2-faasi-painehäviöt	1971-1975	Perustutkimus
	6 AEC-WNES	PWR häräjähdytysvaiheen lämmönsiirtokertoimet	1972-1975	PWR-FLECHT -ohjelman jatko 12 jalkaa pitkä 10x10 sauvanippu
	7 WNES	Erilaisten lämmönsiirtovaiheiden vuorovaikutus PWRn LOCAssa	1973-	12 jalkaa pitkä 15x15 sauvanippu, jonka ympärillä 4 1/4 nippua. Simuloidaan LOCA:n 8 ensimmäistä sekuntia

Maa,projektin numero	Rahoittaja - suorittaja	Tutkimuksen kohde	Aikataulu	Kommentit
USA	8 AEC-ANC	PWRn LOCA:n simuloiminen nukleaarisella lämmityksellä	Kokeet alkavat myöhästyneinä 1975	55 MW(th) PWR, tyypillinen PWR polttoaine (pituus 5 1/2' 12':n asemesta) ja hätäjähdytysjärjestelmä
Neuvostoliitto	? - Yleisliittolainen lämpöteknikka instituutti (VTI)	Ulospuhallus- ja pienois- mallikokeita	?	Pyritään soveltamaan VVER-440: VVER-440:een
	- VTI	Blowdown- ja hätäjähdytyskokeita	1975-	Täysimittakaavaiset VVER-440 ja 1000 elementit, myös suojarakennus simuloidaan
		Polttoaineen deformaatio- kokeita	1974-	Aluksi kokeita yhdellä sauvalla, myöhemmin sauvanipuilla
OECD:n Halden-projekti	osanottajamaat - Halden-proj.	Polttoaineen in-pile deformaatio- kokeita	1975-	Koeloopin virtausta kuristamalla simuloidaan PWRn LOCAa, myös hätäjähdytyksen vaikutusta pyritään tutkimaan
Kans.välinen Marviken-projekti	osanottajamaat - Marviken-projekti	PS-suojarakennusjärjestelmä	1975-1977	Kokeet suoritetaan Marvikenin voimalaitoksella, tutkimuksen kohteena erityisesti painevärsähtelyt ja suojarakennukseen aiheuttavat kuormitukset. Laitoksen kaavio on esitetty kuvassa 3

Maa,projektin numero	Rahoittaja - suorittaja	Tutkimuksen kohde	Aikataulu	Kommentit
Kans.välinen Marviken-projekti	osanottajamaat - Marviken-projekti	BWRn blowdown ja hätä-jäähdytyskokeet	1975-1978	5 täysimittakaavaista polttoaine-elementtiä teho 32 MW, pyritään simuloimaan myös systeemiefektit. Koelaitteen kaavio on esitetty kuvassa 4.

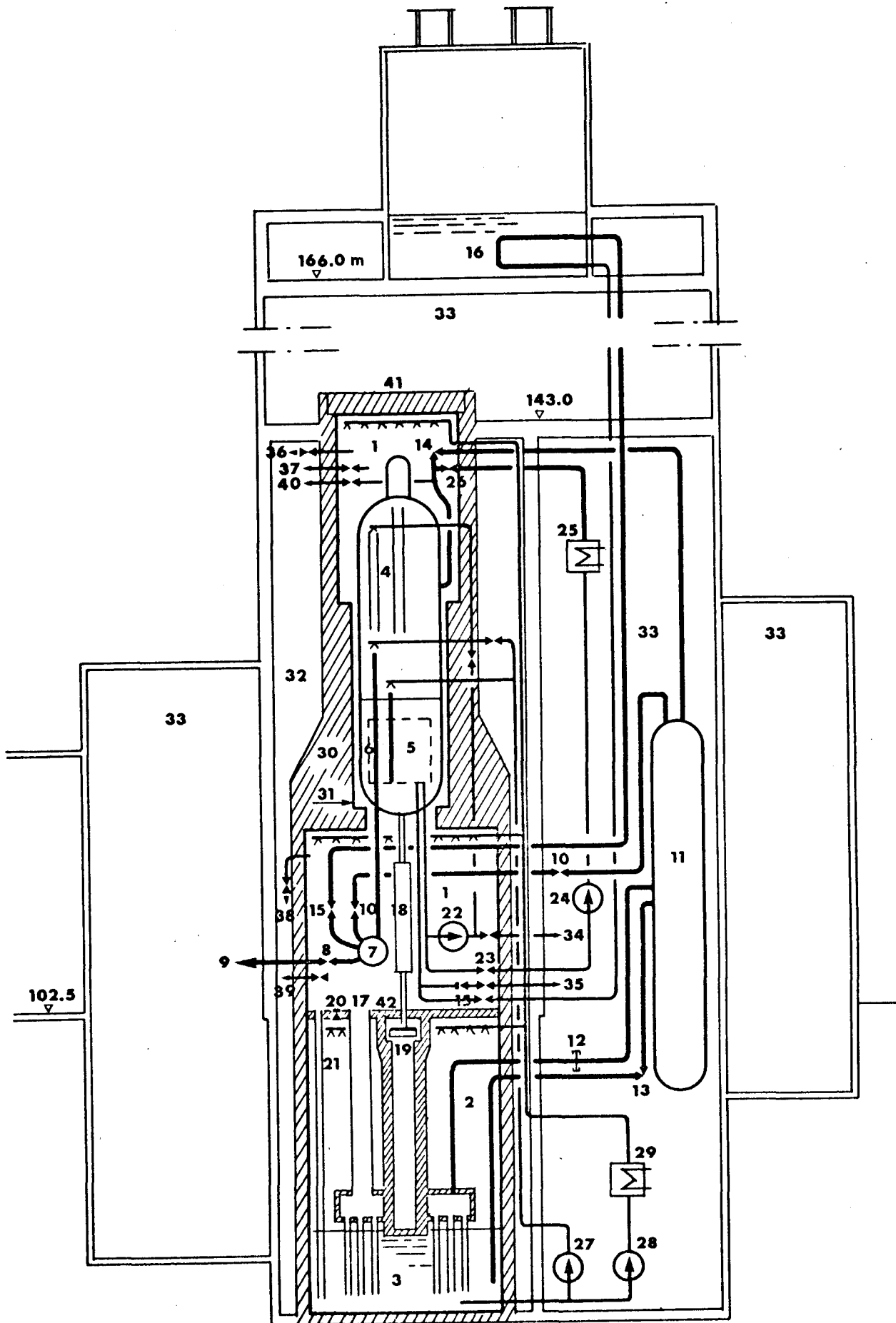


Kuva 1 Kaavakuva eräästä LOFT Semiscale tutkimusohjelmaan kuuluvasta koejärjestelystä.

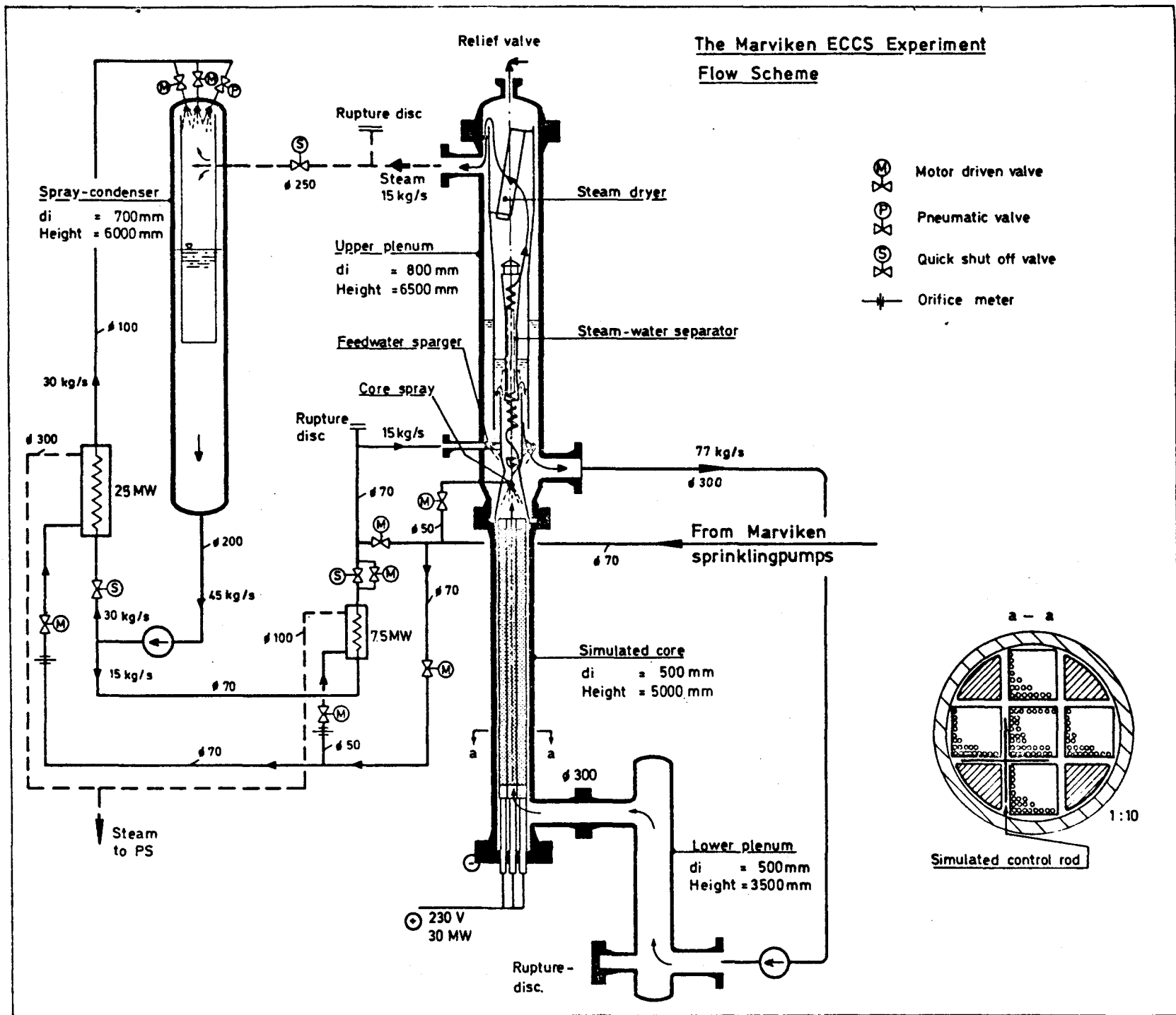


THERMAL HYDRAULIC TEST FACILITY

Kuva 2 ORNL:n laitteisto PWR:n blowdown-vaiheen lämmönsiirto-kertoimien tutkimiselle

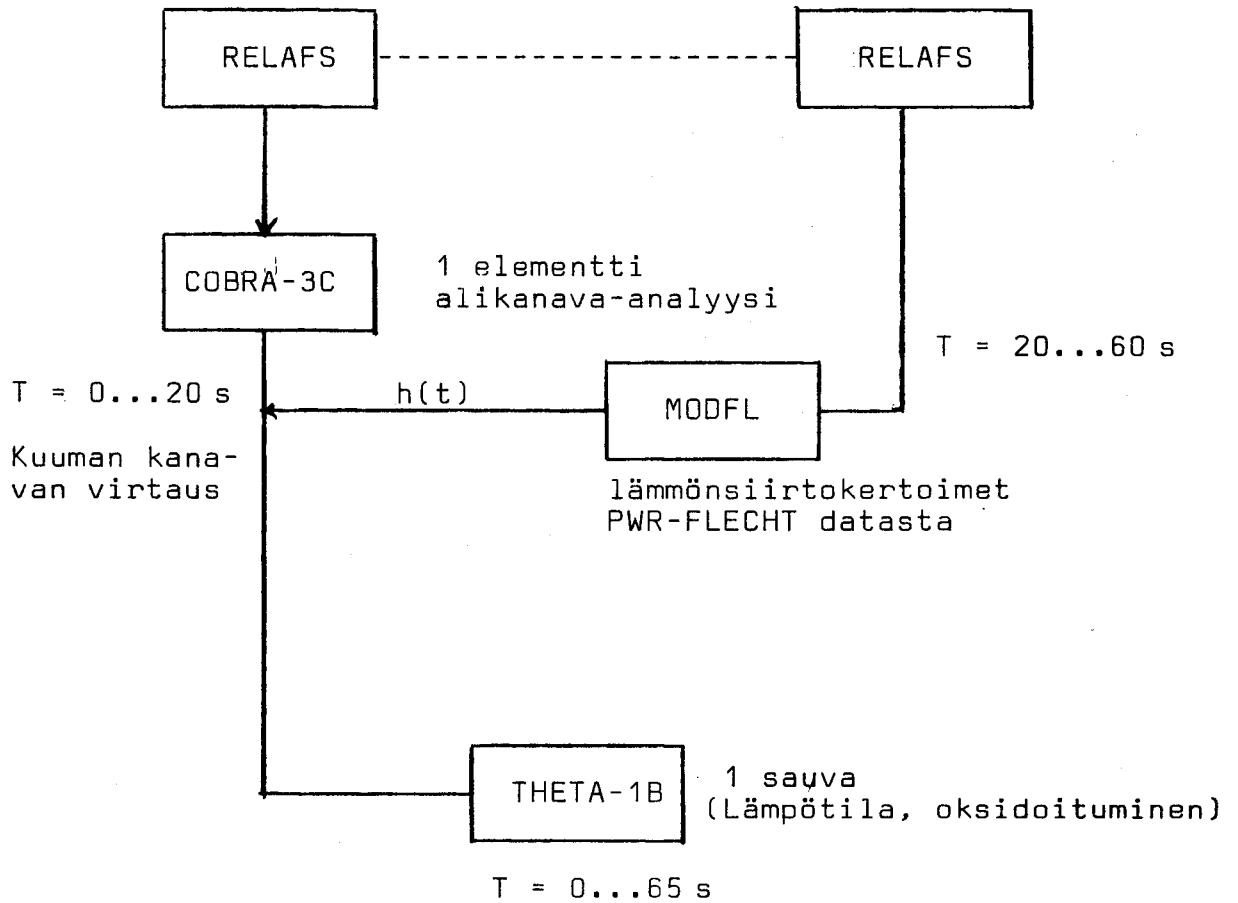


Kuva 3 Marvikenin käyttölupaa ilman jääneen ydinvoimalaitoksen paineenalennussuojarakennus



Kuva 4 Luonnos Marvikenin blowdown- ja hätäjähdytys-
kokeiden virtauskaavioksi

Koko primääripiiri

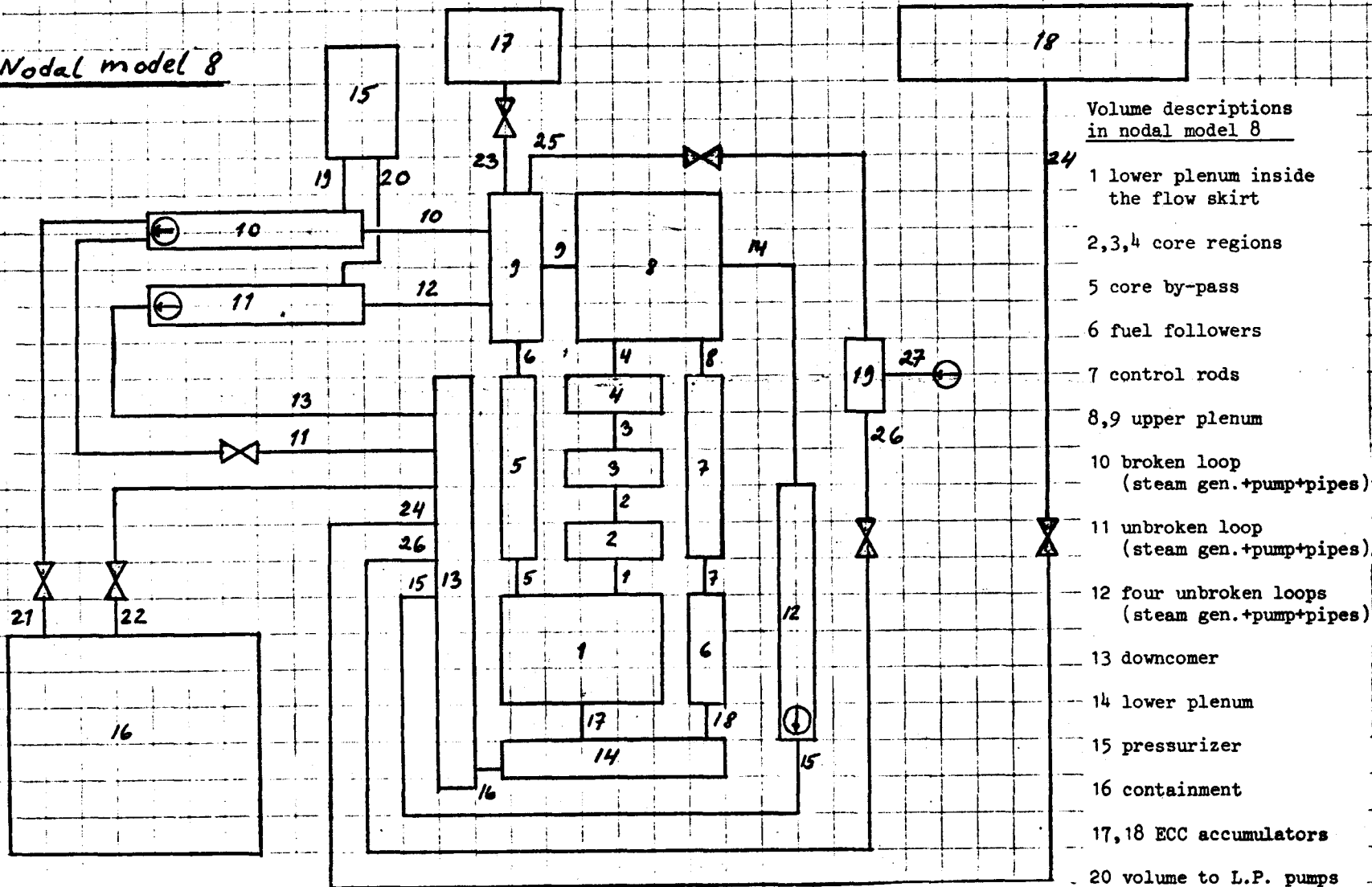


apuna: CAPCON-THERMAL
WHAM

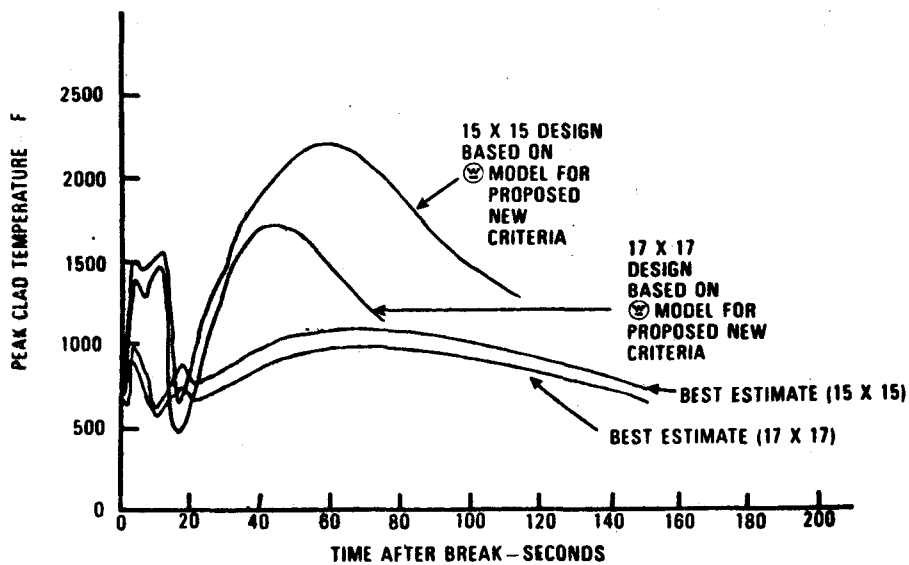
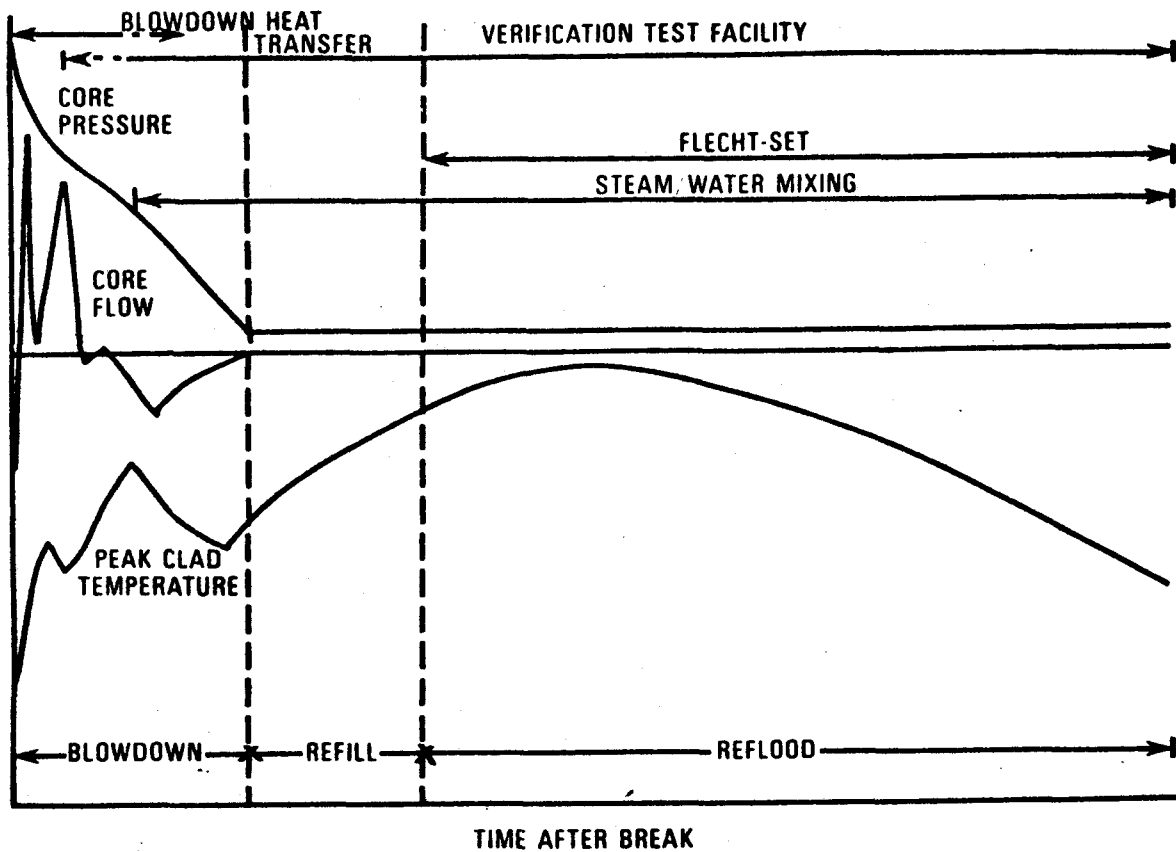
suojarakennuskoodit CONTEMPT-PS
ZOCO II

Kuva 5 VTTn käyttämä laskentakaavio jäähdytteenmenetysonnettomuuden analysoimiseksi

Nodal model 8



Kuva 6 Loviisan ydinvoimalaitoksen noodijako RELAFS-tietokoneohjelmaa varten



Kuva 7 Westinghousen laskentatuloksia PWRn kylmän haaran katkeamiselle

Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Luotettavuusryhmä

1974-09-10

J.Ervamaa/pv

Esitelmä Suomen Atomiteknillisen Seuran kokouksessa 1974-09-19.

LOVIISAN YDINVOIMALAITOKSEN TURVALLISUUTEEN LIITTYVIEN LUOTETTAVUUSANALYYSIEN SUORITTAMINEN

1. Yleistä

Kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuudessa toiminut Atomienenergianeuvottelukunnan luotettavuusryhmä perustettiin vuoden 1970 alussa ja se siirrettiin vuoden 1972 alusta Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen luotettavuusryhmäksi.

Loviisan ydinvoimalaitosta koskevia luotettavuusselvityksiä on tehty VTT:n luotettavuusryhmässä noin kolmen vuoden ajan. Ensimmäisen analyysin tekeminen aloitettiin syksyllä 1971. Vuoden 1972 aikana saavutettiin metodinen ja taidollinen valmius analyysien suorittamiseen.

2. Tehdyt luotettavuusselvitykset

Vuoden 1972 aikana valmistuivat seuraavat luotettavuusselvitykset:

- primääripiirin uloslaskujärjestelmän luotettavuustutkimus,
- hätäjähdytysjärjestelmän luotettavuustutkimus
 - matalapainejärjestelmä ja hätävedensyöttöjärjestelmä,
 - korkeapainejärjestelmä,
 - suojarakennuksen suihkutusjärjestelmä,
- syöttövesipumppujärjestelmän vaihtoehtojen käytettävyyssvertailu.

Näistä hätäjähdytysjärjestelmän luotettavuustutkimus liittyy suoranaisesti ja muut selvitykset välillisesti laitoksen turvallisuuteen.

Vuoden 1973 alussa käynnistettiin primääripiirin pääputken katkeamistapahtuman analyysi. Kesällä kaksinkertaistettiin tähän työhön käytettävät henkilöresurssit ja aloitettiin luotettavuusmenetelmiä turvallisuustarkasteluissa koskevat perusselvitykset.

Vuoden 1973 aikana valmistuivat seuraavat luotettavuus selvitykset:

- primääripiirin lisävesi- ja uloslaskujärjestelmän luotettavuustutkimus,
- sivumerivesipumppujen luotettavuusvertailu,
- selvitys fissiotuotteiden leviämisestä primääripiirin pääputken päittäisen katkeamisen seurauksena.

Viimeisenä mainitusta LOCA-analyysistä valmistui väli-raportti vuoden lopussa. Se oli laadittu kohdittain varsin konservatiivisista olettamuksista lähtien ja selvitystä on jatkettu pyrkien yksityiskohtaisempaan järjestelmän kuvaukseen. Tähän analyysiin palataan kappaleessa 4.

Vuoden 1974 aikana on saatu valmiiksi seuraavat luotettavuus selvitykset:

- puhtaan välijäähdytysjärjestelmän luotettavuusanalyysi,
- säteilynvalvontajärjestelmän luotettavuusanalyysi,
- reaktorin jälkilämmönpoistojärjestelmän luotettavuusanalyysi.

3. Käynnissä olevat tutkimukset ja jatkosuunnitelmat

Tällä hetkellä ovat käynnissä seuraavat Loviisan laitoksen turvallisuuteen liittyvät selvitykset:

- primääripiirin pääputken katkeamistapahtuman analysointi (tarkentava jatkotutkimus),
- reaktorin suojausjärjestelmän luotettavuusanalyysi,
- reaktorin jäähdytteen menetys pienten tai keskikokoisten putkien murtumista tai instrumenttilinjoista,
- kemikaalien ja määrän säätöjärjestelmän luotettavuusanalyysi,

- prosessin suojauskaavion laatiminen.

Reaktorin suojausjärjestelmän luotettavuusanalyysia selostetaan kappaleessa 5.

Turvallisuuteen liittyvien luotettavuusanalyysien tulevat työkohteet ja niiden tärkeysjärjestys määräytyvät pääasiassa Säteilyfysiikan laitoksen julkaisemien SFL-ohjeiden 14 ja 15 perusteella. Ensisijaisesti luotettavuusanalyysit tehdään turvallisuusluokkien 1 ja 2 järjestelmistä sekä tarpeen mukaan turvallisuusluokan 3 järjestelmistä. Turvallisuuden kannalta vähemmän tärkeiden kohteiden analysointia jatketaan ryhmän resurssien sallimissa puitteissa myöhemmin päätettävän ohjelman puitteissa.

Välillisesti Loviisan laitoksen turvallisuutta koskevat myös ryhmässä tehtävät turvallisuusaiheiset perustutkimukset. Tältä kannalta tärkeitä ovat mm. yhteisvikoja ja ATWS-tapahtumia koskevat selvitykset.

4. Primääripiirin pääputken katkeamistapahtuman analyysi

Ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kokonaisanalyysin päämääränä on kvantitatiivinen arvio laitoksen turvallisuudesta ja eri osatekijöiden vaikutuksen selvittäminen. Analyysi suoritetaan periaatteessa kartoittamalla erilaiset onnettomuustapahtumat, selvittämällä niiden seuraukset ja todennäköisyydet sekä vertaamalla saatuja tuloksia turvallisuuskriteereihin. Onnettomuustapahtumat kartoitetaan ja niiden todennäköisyydet määritetään luotettavuusanalyysin avulla.

Vuoden 1973 alussa käynnistettiin luotettavuusryhmässä Loviisan laitoksen primääripiirin pääputken katkeamistapahtuman analyysi. Analyysin suoritustapa on sellainen, että tuloksia

voidaan käyttää hyväksi laitoksen turvallisuuden kokonais-analyysissä. Kuva 1, joka on peräisin edellä mainitusta raportista vuodelta 1973, havainnollistaa analyysin suoritustapaa.

Riippuen siitä, miten

- pikasulkujärjestelmä,
- sähköjärjestelmä,
- hätäjähdytysjärjestelmä,
- jäälahduttimet,
- suojarakennuksen suihkutusjärjestelmä,
- suojarakennus (sisällytetty taulukkoon),

toimivat onnettomuustilanteessa, päädytään tietyillä todennäköisyyksillä tiettyihin vakavuudeltaan eriasteisiin onnettomuuden seurauksiin. Onnettomuusketjun seurausten mittana on siitä aiheutuneen radioaktiivisen päästön suuruus isotooppia I-131.

Tapahtumien todennäköisyyksiin ja seurauksiin liittyvistä epävarmuustekijöistä johtuen analyysin tuloksena saatavat lukuarvot soveltuvat ensisijaisesti tapahtumaketjujen kvantitatiiviseen vertailuun ja konservatiivisesti laskien pahimpien mahdollisten tapahtumien selvittämiseen.

Analyysin tulosten perusteella on ollut mahdollista identifioida tärkeimmät tapahtumaketjut, joihin on kiinnitetty erityistä huomiota. Tärkeänä tuloksena on pidettävä myös sitä, että analyysin suorittaminen on johtanut suunnitelmien systemaattiseen ja perusteelliseen harkintaan aikaisemmasta poikkeavalla tavalla. Tämä on toisaalta tuonut esille eräitä tutkimattomia tilanteita ja toisaalta auttanut vakuutautumaan suunnitelmien asianmukaisuudesta.

Tapahtumaketjujen selvittämiseen ja niiden todennäköisyyksien arviointiin on käytetty luotettavuusryhmässä noin kahden henkilötyövuoden työpanos. Analyysin suorittamisessa on myös oltu yhteydessä UKAEA:n SRS:ään, jolta on pyydetty työtä koskeva lausunto. Lausunnossa kosketellaan seurauskaavion logiikkaa, todennäköisyysarvojen valintaa ja tapahtumaketjujen seurauksia.

5. Reaktorin suojausjärjestelmän luotettavuusanalyysi

Reaktorin suojausjärjestelmän luotettavuusanalyysi aloitettiin heinäkuussa 1973. Työhön on tähän mennessä käytetty noin yhden henkilötyövuoden työpanos.

Tärkeimmät työkohteet ovat olleet

- varsinaisen pikasulun tapahtuminen tarvittaessa,
- nopean alasajon tapahtuminen tarvittaessa.

Lisäksi on parhaillaan valmistumassa aihetta

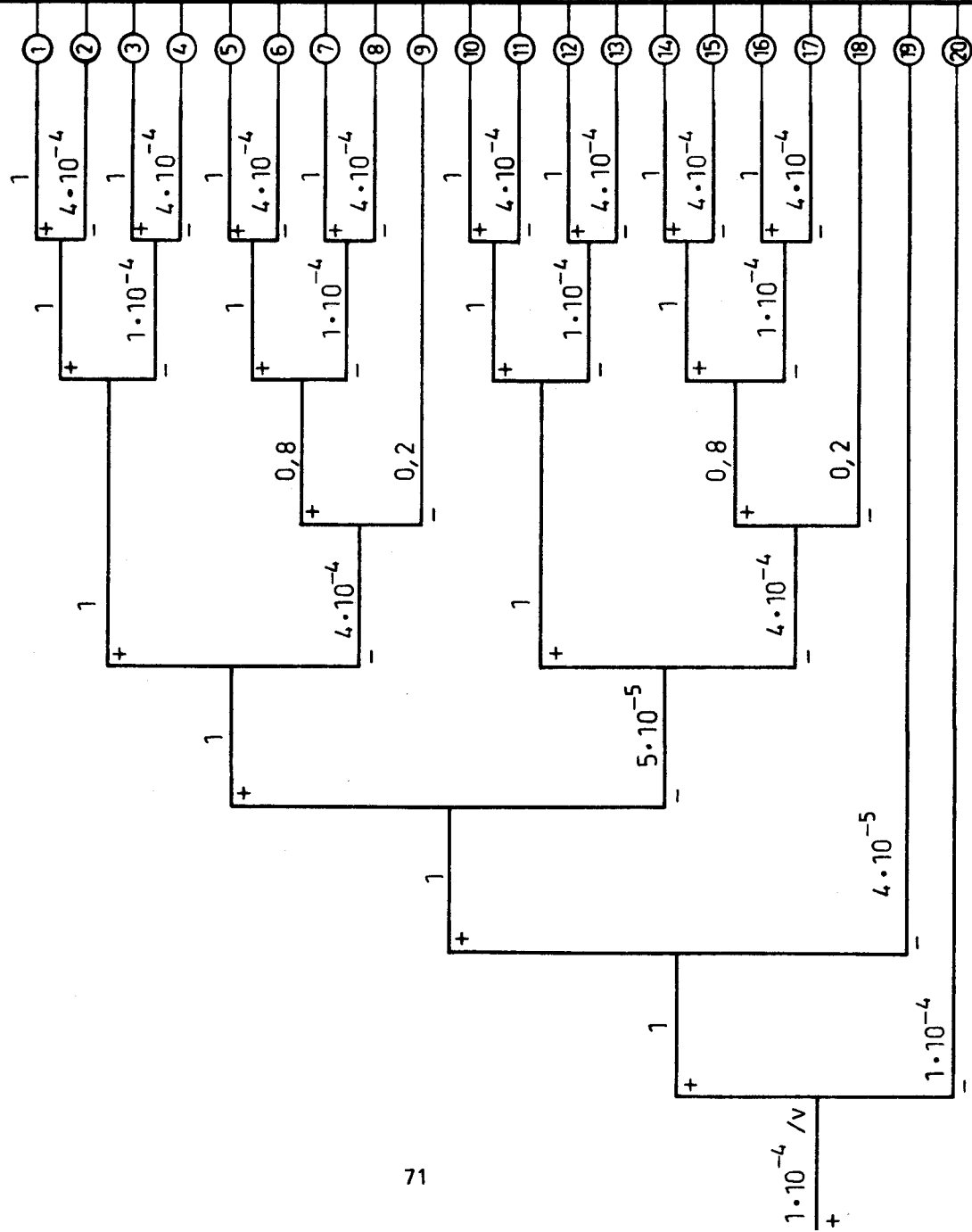
- pikasulun tapahtuminen aiheettomasti koskeva osaselvitys.

Tarkastelu on aloitettu mittauskanavien antureilta ja se käsittää mittauskanavat, logiikkareleet, ohjausreleet ja pikasulun osalta toimilaitteina olevat katkaisijat. Myös säätösauvakoneiston toimintatodennäköisyys on tarkasteluissa otettu huomioon.

Kvalitatiivisen vioittumis- ja vaikutusanalyysin avulla on todettu varsinaisen pikasulkujärjestelmän täyttävän yksittäisvikakriteerin. Kvantitatiivisissa tarkasteluissa on tärkeä osa ollut herkkyysanalyysien suorittamisella, joilla on pyritty saamaan selville järjestelmän luotettavuuteen voimakkaimmin vaikuttavat tekijät. On osoittautunut, että pikasulkujärjestelmän luotettavuuden määrää pääasiassa suojauskanavilta tulevan laukaisusignaalin luotettavuus.

Analyysin suorittamisessa on oltu yhteydessä SRS:n asiantuntijoihin.

Prim. piir. pääputken päittä. katk. DBA	Reaktorin pikasulku saanti	Virran saanti	Paineve - sisäiliöt	Matalapainearjestelmä	Korkeapainearjestelmä	Jäälauhduttimet	Spray - järjestelmä
---	----------------------------	---------------	---------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------	---------------------



Päästö ja sen todennäköisyys Ci/vuosi (I-131)							
10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7
$1 \cdot 10^{-4}$							
	$4 \cdot 10^{-8}$			$3 \cdot 10^{-8}$			
$1 \cdot 10^{-8}$			$3 \cdot 10^{-12}$		$1 \cdot 10^{-11}$		
		$4 \cdot 10^{-12}$			$1 \cdot 10^{-15}$		
	$3 \cdot 10^{-8}$				$1 \cdot 10^{-11}$		
		$1 \cdot 10^{-11}$				$4 \cdot 10^{-15}$	
	$3 \cdot 10^{-12}$				$1 \cdot 10^{-15}$		
		$1 \cdot 10^{-15}$				$4 \cdot 10^{-19}$	
							$8 \cdot 10^{-9}$
$5 \cdot 10^{-9}$					$2 \cdot 10^{-12}$		
		$2 \cdot 10^{-12}$				$6 \cdot 10^{-16}$	
	$5 \cdot 10^{-13}$				$2 \cdot 10^{-16}$		
		$2 \cdot 10^{-16}$				$6 \cdot 10^{-20}$	
	$2 \cdot 10^{-12}$				$5 \cdot 10^{-16}$		
		$6 \cdot 10^{-16}$				$2 \cdot 10^{-19}$	
	$2 \cdot 10^{-16}$				$5 \cdot 10^{-20}$		
			$6 \cdot 10^{-20}$			$2 \cdot 10^{-23}$	
							$4 \cdot 10^{-13}$
							$4 \cdot 10^{-9}$
							$1 \cdot 10^{-8}$
$1 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$6 \cdot 10^{-20}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-8}$

Kuva 1. Loviisan laitoksen primääripiiriin pääputken katkeamiseen liittyvä syy - seurausdiagrammi

Tuomas Mankamo

Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Luotettavuusryhmä

TODENNÄKÖISYYSMENETELMIEN KÄYTTÖNOTTO

TURVALLISUUSANALYYSISSÄ

1 TIETEEN JA TEKNIIKAN LAAJENEVA MERKITYS
TUOTANNON KEHITTÄMISESSÄ

Elinympäristömme suojaamisessa ei ole kysymys vain tuotannon absoluuttisesta suuruudesta, vaan tuotannon laadullisista ominaisuuksista ja sen määrästä suhteessa luonnonvarojen riittävyteen ja ekosysteemin kuormitettavuuteen – lyhyesti ilmaistuna ympäristön ja tuotannon muodostaman kokonaisjärjestelmän toiminnasta ja sen kehittämisestä pitkällä tähtäyksellä.

Tuotannon kehittäminen siten, että luonnon tasapaino ei häiriinny vaarallisella tavalla ja että elolliselle luonnolle, erityisesti ihmiselämälle suotuisat olosuhteet säilyvät, edellyttävät tieteen ja tekniikan kehittämistä ja sen yhä laajempaa soveltamistatuotannon ympäristövaikutusten ja luonnon kiertokulkujen kuormitettavuuden tuntemiseksi. Ydinvoimalaonnettomuuksien tarkastelussa se edellyttää onnettomuustapahtumien stokastisen perusluonteen vuoksi tilastollisten todennäköisyysperusteisten analyysimenetelmien kehittämistä ja käyttöönottoa.

Tässä esitelmässä käsitellään läpileikkauksenomaisesti, miten tilastolliset menetelmät ovat saamassa yhä selvemman jalansijan USA:ssa, missä ollaan pisimmällä kevytvesireaktoritekniikan käytäntöön soveltamisessa ja missä noudatettavilla turvallisuuskriteereillä on tärkeä vaikutus koko kevytvesireaktoritekнологiaan yleisesti.

2 ANTICIPATED TRANSIENTS WITHOUT SCRAM /1, 2/

Monissa, suhteellisen taajaankin ydinvoimalaitoksilla esiintyvissä häiriötilanteissa (anticipated transients) reaktorin pikasulkujärjestelmän toimivuus on ensiarvoisen tärkeätä häiriön pysäyttämiseksi ja laitoksen saattamiseksi turvalliseen tilaan. Tässä mielessä tärkeitä transientteja on painevesireaktorilaitoksella höyrygeneraattorien kiehuminen kuiviin esim. syöttöveden menetyksen vuoksi. Kiehumusvesireaktorilaitoksella höyrylinjojen virheellinen sulkeutuminen johtaa tehon nousuun. Pikasulun menetys mainituissa transienttitilanteissa voi johtaa 200–500 ilmakehän painetransienttiin ja siten jäädytteenmenetysonnettomuuteen /2/.

Vakavat laitoshäiriöt yhdessä pikasulun menetyksen kanssa (Anticipated Transients Without Scram, ATWS) nousivat keskustelun kohteiksi USA:ssa muutama vuosi sitten, koska hankalien transienttien esiintymisfrekvenssin ollessa luokkaa $1 \dots 10^{-1}$ /käyttövuosi vakavien onnettomuuksien esiintymisfrekvenssin pitäminen alle 10^{-7} /käyttövuosi edellyttää pikasammutusjärjestelmältä arvon 10^{-6} alittavaa epäkäytettävyyttä (= pikasulun menetyksen todennäköisyyttä/tarvekerta). Näin alhaisen epäkäytettävyyden saavuttamiseen ei asiantuntijoiden keskuudessa luoteta, koska yhteisvikojen (Common Mode Failure, GMF) vaikutuksesta suojausjärjestelmien epäkäytettävyydet ovat käytännössä jääneet $10^{-3} \dots 10^{-4}$ tasolle. Itse asiassa saadut kokemukset 1627 tehoreaktorien käyttövuodelta /2/, jolloin pikasulku ei testattaessa ole 2 kertaa toiminut, merkitsevät, että 25 % varmuudella epäkäytettävyyden olisi vain alle 16×10^{-4} , kun testausväliaika on 1 kuukausi. Toinen tapausista on erityisen havainnollinen esimerkki yhteisvialta: alasajon yhteydessä vaihdettiin järjestelmän kaikki 4 pikasulkurelettä uusiin yksilöihin, joiden valmistuksessa oli käytetty uutta korroosionsuojausmenetelmää. Seuraavassa käytönaikaisessa rutiinitestauksessa pikasulku ei toiminutkaan, koska kaikkien 4 releen liikkuvat osat olivat takertuneet kiinni korroosionsuojamaalin odottamatta pehmettyä ja tultua liimamaiseksi.

ATWS-tapahtumiin liittyvän turvallisuusriskin takia USAEC edellyttää lokak. 1 1976 jälkeen rakennusluvan saavien laitojen pikasulkujärjestelmiin muutoksia, jotka parantavat olennaisesti niiden luotettavuutta ja vähentävät yhteisvikojen esiintymispotentiaalia, sekä viittaa kahden erillisen, toisistaan riippumattoman pikasammutusjärjestelmän tarpeeseen. Vanhemmilta laitoksilta edellytetään tyydyttävää näyttöä ATWS-tapausten seurausten rajoittuneisuudesta /2/.

USAEC:n aikaisempien ohjeiden mukaan laitoshäiriön analysoitu olettamalla suojausjärjestelmässä tapahtuneeksi pahin mahdollinen yksittäisvika (single failure). Koska suojausjärjestelmien suunnitteluperustana on yksittäisvikakriteeri, niin aikaisempien turvallisuusanalyysien lähtöolettamuksena on ollut pikasulkujärjestelmän riittävä toiminta. ATWS-tapahtumien esillenousu on siksi ensimmäinen konkreettinen osoitus USA:ssa tapahtuvasta suuntautumisesta aikaisemmin johdonmukaisesti noudatetusta deterministisestä ajattelusta tilastolliseen ajatteluun. Tämä suuntautuminen ilmenee myöskin valmisteessa ANS standardiluonnoksesta N18.8 (Criteria for Preparation of Design Bases for Systems That Perform Protective Functions in Nuclear Power Generating Stations) /3/. Siinä on turvallisuusanalyysissa käytettävät tapahtumat määriteltä aikaisempaa yleisemmän ("each event determined to require a protective function to prevent violation of a process safety limit or design safety limit shall be designated as a design-basis event"). Design-bases -tapahtumat on jaoteltu johdonmukaisesti esiintymistiheyden perusteella 4 luokkaan. Design-bases -tapahtumien esiintymistiheyden ja seurausten vakavuuden välille on asetettu taulukon 1 mukainen korrelaatio. Standardiluonnoksessa kiinnittyy huomio vielä yhteisvikojen vaikutuksen vähentämiseen suuntautuvien järjestelmäominaisuuksien ja toimintojen voimakas korostaminen.

Category of events	1. Normal events	2. Expected events	3. Postulated events	4. Limiting postulated events
EXPECTED FREQUENCY OF OCCURRENCE / LIMITING SAFETY CONSEQUENCES	Planned or deliberate events during normal operations occurring at regular intervals or frequent times during the life of the plant	Unplanned events during routine operation or special planned or deliberate events during abnormal operating conditions expected to occur at least once during the life of the plant	Unplanned events postulated to occur once during the life of several plants	Arbitrary combinations of unplanned events and degraded systems postulated to occur but never expected to occur during the life of any plant
Protective function required	No	Yes	Yes	Yes
Radioactive release limits	Regulations pertaining to normal release		Release not sufficient to interrupt or restrict public use of those areas beyond the exclusion area	10 CFR Part 100
Process variable limits	Operational limits	Process safety limits or design safety limits	Design safety limits	
Fuel geometry	Normal		Adequate for cooling	
Expected fuel cladding perforations	Random defects	No failure as a direct result of the event	Some localized	
Reactor coolant and containment barrier codes	Appropriate industry code for each transient category			
Equipment operational	All	All	Limiting condition for operation of core cooling	As adequate for core cooling

Taulukko 1. Eri harvinaisuusasteen design bases-tapahtumien seurausten turvallisuusrajat
ANS Draft Std N18.8:ssa/3/.

3 RAKENTEIDEN LUOTETTAVUUS

USAEC:n kevytvesireaktorien turvallisuustutkimusohjelmaan kuuluvaan projektiin "Reactor Primary-Coolant-System Pipe-Rupture Studies" kuuluu alaprojektina "Probability Study", missä kokeelliseen havaintoaineistoon nojaten kehitetään analyttisiä malleja putkenmurtumien todennäköisyyksien arvioimiseksi /4/. Projektia toteuttaa General Electric.

Kysymys reaktoripaineastian katastrofaalisen murtuman mahdollisuudesta ja todennäköisyydestä on tapahtumaan liittyvän suuren ympäristöonnettomuuden riskin takia ollut jatkuvasti turvallisuuskeskustelujen keskipisteessä. Juuri ilmestyneen USAEC:n, fossiilisia polttoaineita käyttävien voimalaitosten paineastioiden käyttökokemustilastojen perusteella tehdyn arvio /5/ mukaan kevytvesireaktorin paineastian äkillisen murtuman (disruptive failure) todennäköisyys olisi $10^{-6} \dots 10^{-7}$ /käyttövuosi ja pienempien, ei-kriittisten murtumien (non-critical failure) $10^{-4} \dots 10^{-5}$ /käyttövuosi. Koska reaktoripaineastioista itsestään ei ole murtumakokemuksia, saattavat oikeat arvot olla merkittävästi pienempiä. Käynnissä oleva yksityiskohtaisempi arvio, jossa aiotaan ottaa lukuun myös reaktoripaineastian säännöllisen tarkastuksen vaikutus, saattaa WASA-1318n mukaan alentaa mainittuja todennäköisyyksiä kertoimella 10 tai 100.

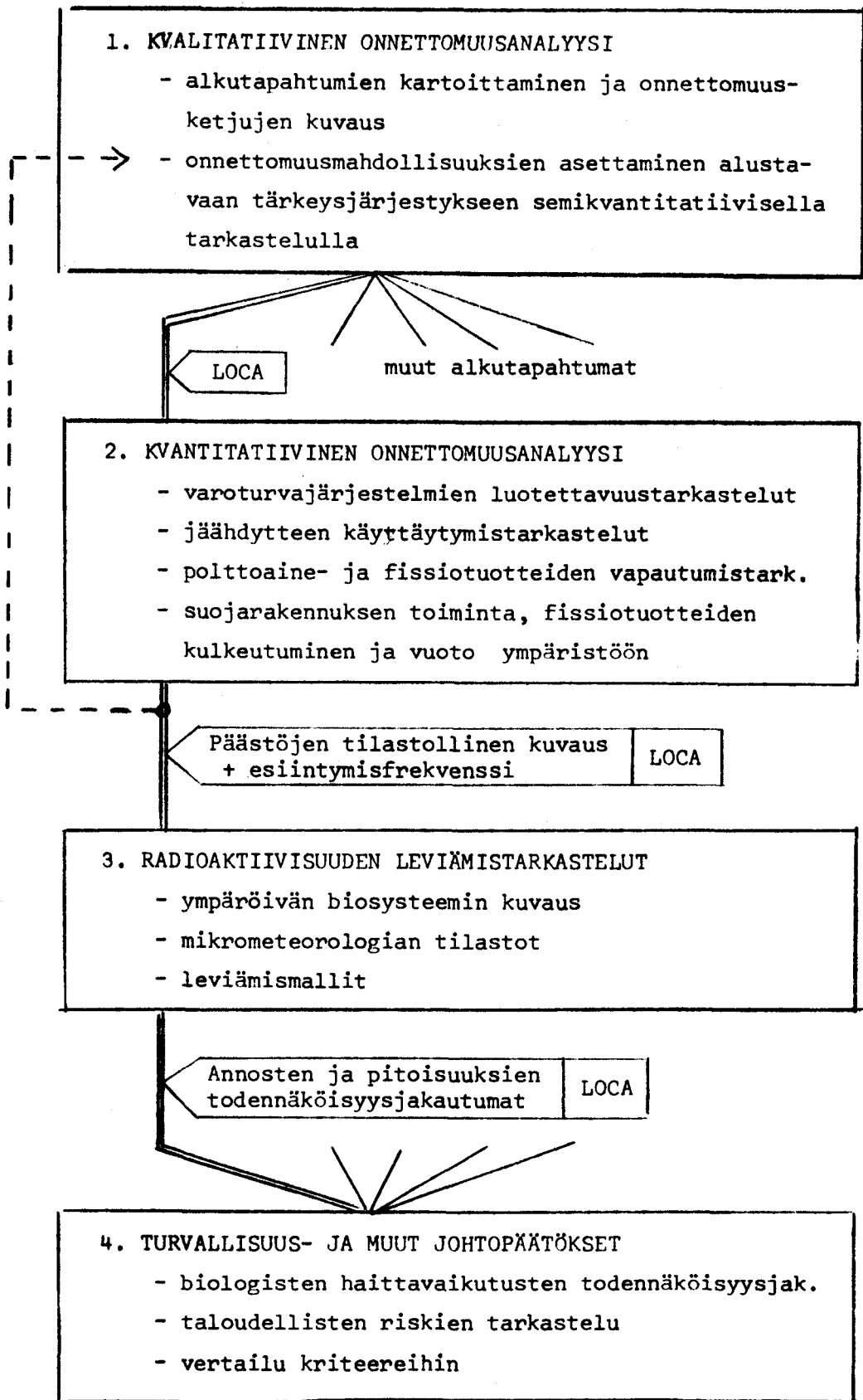
General Electricin toimesta on arvioitu tilastollisia menetelmiä käyttäen lentokoneiden ydinvoimalaitokseen törmäämiseen liittyvää riskiä /6/. Arvioimalla sekä koneen raskaiden osien (moottorien) läpitukenkeutumistodennäköisyys suojaavista rakenteista että rakenteiden luhistumisen mahdollisuus – ja erittelemällä mahdolliset laitosvauriot komponentti komponentilta – on päädytty tulokseen, jonka mukaan keskimääräisessä yhdysvaltalaisessa sijoituspaikassa pienten, ei-merkittävien ympäristöpäästöihin johtavien lentokonetörmäyssonnettomuuksien esiintymistiheys on alle 10^{-5} /vuosi ja pahemman, hätäjäähdytysjärjestelmän vaurioittavan törmäyksen esiintymistiheys alle 10^{-8} /vuosi. Näiden tulosten valossa lentokonevaara on merkittävä vasta mikäli laitos sijaitsee alle 5 mailin säteellä suuremmasta lentokentästä tai jonkin vilkkaasti liikennöidyn ilmakäytävän alla.

4 TODENNÄKÖISYYSPERUSTAINEN TURVALLISUUDEN KOKONAISANALYYSI

Deterministisen, Postulated Accident Conditions-ajatteluun perustuvan ja todennäköisyysperustaisen turvallisuusanalyysin välillä on ratkaiseva laadullinen ero. PAC-lähestymistavassa analysoitavien tapahtumien lukumäärä ei ole vain rajoitettu ja tapahtumiin liittyvät olettamukset tietyssä määrin subjektiivisia, vaan useat konservatiiviset olettamukset merkitsevät, että tarkastellaan joukkoa erittäin harvinaisia onnettomuusmahdollisuuksia. Joskus tiettyyn DBA:han liittyvät olettamukset voivat olla jopa toisensa poissulkevia, siis koko onnettomuus sellaisena kuin sitä turvallisuusanalyysissä tarkastellaan, on käytännössä mahdoton. Valitut DBAt edustavat siten varsin huonosti mahdollisten onnettomuuksien joukkoa. Tilastollisessa lähestymistavassakin tarkasteltavien onnettomuuksien lukumäärä on käytännössä rajallinen – mutta analysoitavien tapahtumien valinta tapahtuu poimimalla erittäin suuresta määrästä onnettomuusmahdollisuuksia ne, joilla esiintymistiheys ja seurausten vakavuus korreloivat antaen merkitsevän kontribuution kokonaisriskiin.

Kuvassa 1 on esitetty kaavio turvallisuuden kokonaisanalyysin päävaiheista /7/. Todennäköisyysperustaisesta LOCA-analyysistä mainittakoon esimerkkinä GEN tekemä analyysi /8/. Tämä tutkimus on sikäli huomionarvoinen, että GE liitti sen hätäjähdytysjärjestelmien turvallisuuskriteeriä koskevaan lausuntoonsa suosittaen voimakkaasti, että USAEC ryhtyisi soveltamaan tutkimuksessa käytettyä tilastollisen turvallisuusanalyysin metodiikkaa sen ympäristöriskin kvantitatiiviseksi arvioimiseksi, mitä voimaansaatettava ECCS kriteeri merkitsisi. (Vastauksena viranomaiset (Regulatory Staff) tyytyivät viittaamaan käynnissä olevaan Rasmussen-työryhmän tutkimukseen).

GE:n LOCA-analyysissä on turvallisuuden kannalta tärkeimpien prosessisuureiden ja kokeellisten parametrien tilastolliset vaihtelut otettu huomioon sekä heat-up-analyysissä, suojarakennustoimintojen tarkastelussa että leviämislaskuissa (sää-

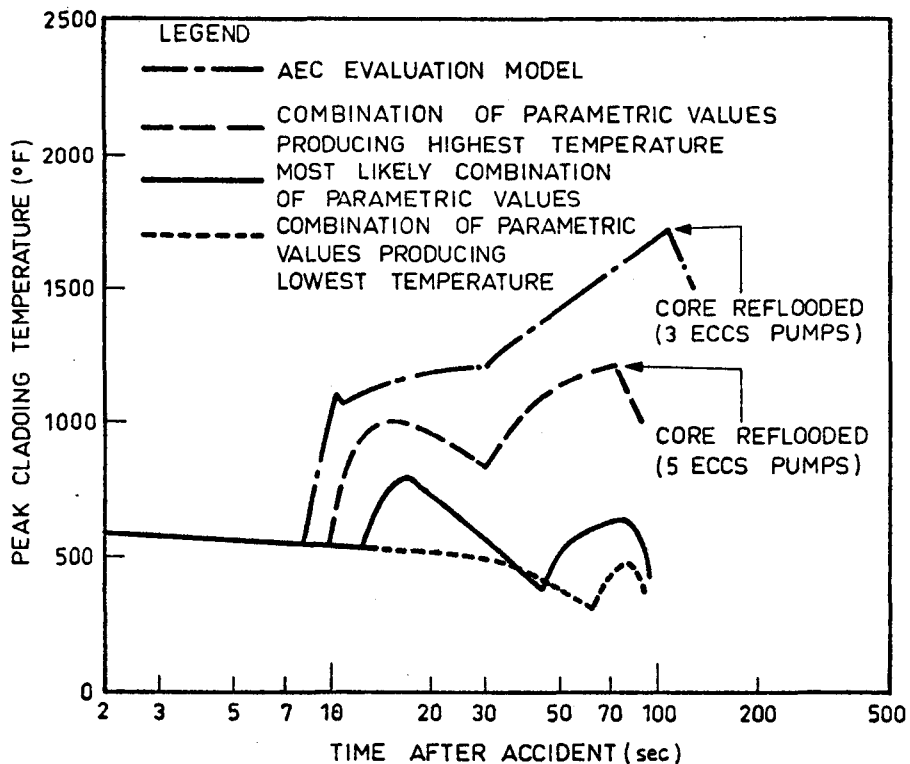


Kuva 1. Turvallisuuden kokonaisanalyysin päävaiheet.

olosuhteet). Pääperiaatteina on käytetty seuraavia:

1. Epävarmimpien, suurta tilastollista hajontaa omaavien tai lopputuloksiin voimakkaasti vaikuttavien parametrien esittäminen satunnaissuureina.
2. Varoturvajärjestelmien, tässä tapauksessa nimenomaan hätäjähdytysjärjestelmän vikaantumismahdollisuuksien ottaminen huomioon.
3. Lopputulokseen vähemmän vaikuttaville, pientä tilastollista hajontaa omaaville parametreille on valittu todennäköisin arvo ("best estimate").

Eräänä välituloksena on polttoaineen suojakuoren lämpötilan ajallinen käyttäytyminen, ks. kuva 2. GEN LOCA-analyysi oli ensimmäisiä yrityksiä tilastollisen metodin kehittämiseksi ja siksi tulokset ovat vain suuntaa-antavia: peräkkäisten onnettomuustilanteiden korrelaatio on pyritty kyllä huomioimaan, mutta muussa suhteessa yhteisvikamahdollisuudet on sivuutettu.



Kuva 2. Polttoaineen suojakuoren huippulämpötilan ajallinen käyttäytyminen laskettuna eri olettamuksilla. Eri mahdollisuudet muodostavat käyräparven, jonka kuhunkin käyrään voidaan liittää sen esiintymistodennäköisyys /7/.

5 RASMUSSEN-TYÖRYHMÄN TUTKIMUS

Tämä 3 milj. \$ maksava, noin 50 miestyövuoden tutkimus käynnistettiin USAECin toimesta kesällä 1972 ja sitä on johtanut MITn prof. Norman C. Rasmussen. Tutkimuksen tavoitteena on arvioida nykyisen tietämyksen perustalta nykyisten ydinvoimalaitosten onnettomuusmahdollisuuksiin liittyvät väestöriskit. Tutkimus on jakaantunut seitsemään perusvaiheeseen /4/

1. Tärkeiden onnettomuusketjujen yksilöiminen.
2. Onnettomuusketjujen esiintymisfrekvenssien laskeminen.
3. Fission tuotteiden vapautuminen suojarakennukseen.
4. Fission tuotteiden päästö ympäristöön ja leviäminen siellä.
5. Terveydelliset ja taloudelliset seuraukset.
6. Luonnononnettomuuksien ja tekniikan myötä syntyneisiin onnettomuusmahdollisuuksiin liittyvien riskien arviointi.
7. Ydinvoimalaitosten riskien vertailu muihin riskeihin.

Tutkimuksessa on sovellettu yhdessä seurauspuumenetelmää event tree method (onnettomuusketjujen konstruoiminen), ja syypuumenetelmää, fault free method, (mm. turvallisuusjärjestelmien vikatilojen todennäköisyyksien arvioimisessa). Alustavilla tarkasteluilla on perusteellisen analyysin kohteiksi valittu kokonaisriskin kannalta merkitsevimmät onnettomuusketjut. Erityisesti on pyritty yhteisvikojen ottamiseen huomioon analyysin kaikilla tasoilla, myöskin inhimillisten virhetoimintojen muodossa.

Tämä vastikään luonnosvaiheeseen ehtinyt WASH-1400 tutkimus /9/ tulee eittämättä vaikuttamaan perustavaa laatua olevalla tavalla niin turvallisuustutkimuksen menetelmien kuin turvallisuuskriteerienkin kehitykseen.

VIITTEET

1. ANTICIPATED TRANSIENTS WITHOUT SCRAM FOR WATER-COOLED POWER REACTORS,
Nuclear Safety, vol. 15, no. 2, March-April 1974, pp. 151-154
2. WASH-1270, Technical Report on ANTICIPATED TRANSIENTS WITHOUT SCRAM FOR WATER-COOLED POWER REACTORS,
Regulatory Staff / USAEC, September 1973.
3. ANS Draft Standard N18.8,
CRITERIA FOR PREPARATION OF DESIGN BASES FOR SYSTEMS THAT PROTECTIVE FUNCTIONS IN NUCLEAR POWER GENERATING STATIONS,
October 1973.
4. Wm. B. Cottrell,
WATER REACTOR SAFETY-RESEARCH INFORMATION MEETING,
Nuclear Safety, vol. 15, no. 3, May-June 1971, pp. 241-262.
5. WASH-1318, Technical Report on
ANALYSIS OF PRESSURE VESSEL STATISTICS FROM FOSSIL-FUELED POWER PLANT SERVICE AND ASSESSMENT OF REACTOR VESSEL RELIABILITY IN NUCLEAR POWER PLANT SERVICE
Regulatory Staff/USAEC, May 1974.
6. Ian B. Wall,
PROBABILISTIC ASSESSMENT OF AIRCRAFT RISK FOR NUCLEAR POWER PLANTS,
Nuclear Safety, Vol. 15, No. 3, May-June 1974, pp. 276-284.
7. T. Mankamo,
LUOTETTAVUUSTEKNISTEN MENETELMIEN SOVELTAMINEN REAKTORILAITOSTEN TURVALLISUUSANALYYSISSÄ,
Ydintekniikan lisensiaattiseminaari: "Ydinvoimalaitosten turvallisuusanalyysi Suomessa", Raportti TKK-F-B 17 (1974).
8. P. W. Marriot et. al.,
THE LOSS OF COOLANT ACCIDENT AND THE ENVIRONMENT
- A PROBABILISTIC VIEW,
ASME 72 - WA/NE - 9, November 1972.
9. WASH-1400, Draft,
REACTOR SAFETY STUDY, An Assessment of Accident Risk in V. S. Commercial Nuclear Power Plants,
USAEC, August 1974.

Esitelmä Suomen Atomiteknillisen Seuran kokouksessa 1974-09-19

KOKEMUKSIA DETERMINISTISEN JA PROBABILISTISEN TURVALLISUUS- ANALYYSIN KÄYTÖSTÄ

1. JOHDANTO

Tässä alustuksessa esitettävät tulokset perustuvat VTT:n HKS:lle suorittamaan tilaustutkimukseen /1/, jonka tarkoituksena oli vertailla kolmen pääkaupunkiseudun sijoituspaikkavaihtoehdon keskinäisiä eroja. Laskentamallien kehittäminen sekä varsinaiset laskut on suoritettu DI Ilkka Savolaisen diplomityönä /2/.

Työssä lasketaan niitä säteilyannoksia ja radiologisia haittoja, joita aiheutuu reaktorionnettomuuksien yhteydessä 1000 MW(e):n kevytvesireaktorista vapautuvien radioaktiivisten päästöjen seurauksena ympäristössä asuvalle väestölle.

Laskut suoritetaan sekä ns. determinististä että probabilistista menettelyä käyttäen. Edellisessä on lähtökohtana ns. suurimmasta hypoteettisesta onnettomuudesta aiheutuva radioaktiivinen päästö yhdessä tietynlaisen sään kanssa, kun taas jälkimmäinen käsitteilytapa pohjautuu koko onnettomuuspektrin aiheuttamaan päästöjen todennäköisyysjakautumaan sekä sään todennäköisyysjakautumaan.

Laskuissa ei ole otettu huomioon passiivisia eikä aktiivisia suojatoimenpiteitä.

Radioaktiivisten päästöjen leviämisen laskemiseksi käytetään statistista Pasquillin dispersiomallia, jossa sää on jaettu stabiilisuuden perusteella sääluokkiin. Lähtöarvioina tarvitaan seuraavat tiedot:

- Radioaktiivinen päästö (jakautuma)
- Sää (jakautuma)

- Annoskertoimet
- Säteilyhaitat
- Väestöjakautumat

2. DETERMINISTINEN TURVALLISUUSANALYYSI

Deterministisessä turvallisuusanalyysissä lasketaan ns. suurimman hypoteettisen onnettomuuden (Maximum Hypotetical Accident =MHA) ympäristölle aiheuttamat seuraukset. MHA:n yhteydessä reaktorisydämen ajatellaan sulavan, jolloin ympäristöön vapautuu tietty osuus sydämen sisältämästä aktiivisuusestä. MHA:n tapahtuminen edellyttää joko lähes kaikkien suojajärjestelmien toimimattomuutta primääripiirin katkeamisen yhteydessä tai paineastian murtumista. Suurimman hypoteettisen onnettomuuden esiintymistodennäköisyys yhtä reaktoria kohti on suuruusluokkaa $10^{-6} \dots 10^{-9}$ /vuosi. Ylimääräisillä suoja- ja turvajärjestelmillä, joita lähisijoitetun reaktorin yhteydessä joudutaan käyttämään, pienenee ko. todennäköisyys.

Suurimman hypoteettisen onnettomuuden yhteydessä ympäristöön vapautuva radioaktiivisuuspäästö määräytyy sydämen sisältämästä eri radioaktiivisten nuklidien määrästä sekä kunkin nuklidin vapautumisosuudesta ympäristöön. Vapautumisosuuksina, joiden arviointiin liittyy melko suuria epävarmuustekijöitä, käytetään seuraavia konservatiivisia arvoja:

- jalokaasut 100%
- halogeenit 25%
- kesium ja telluuri 50%
- ruteeni 5%
- barium, strontium ja cerium 1%.

Realistisemmat vapautumisosuudet olisivat merkittävästi pienemmät, monella nuklidilla mahdollisesti useita kertaluokkia. Metyylijodin osuus jodin päästömäärästä oletetaan 10%:ksi.

Kuvassa 1 on esitetty kokokehonhaitan kokevan väestön osuus 30° :een leviämissektorissa MHA:n yhteydessä sekä väestöjakautumien pahimpien sektoreiden asukasmäärät etäisyyden funktiona.

Taulukossa 1 on eri väestöjakautumia ja F- ja D-sääluokkia vastaavat akuuttien kokokehonhaittatapausten lukumäärät, jos leviäminen tapahtuisi pahimpaan suuntaan, ja vertauksena kaikkien suuntien keskiarvona laskettu keskimääräinen haittatapausten määrä.

3. PROBABILISTINEN TURVALLISUUSANALYYSI

Käytettäessä todennäköisyysmenetelmiin pohjautuvaa eli ns. probabilistista analyysia reaktorin turvallisuuden analysoinnissa on lähtökohtana reaktorilaitoksen päästöjakautuma, josta ilmenee todennäköisyys eri suuruisille päästöille. Huolimatta siitä, että probabilistinen turvallisuusanalyysi teoriassa on kiistattomasti determinististä parempi, sen soveltaminen käytäntöön on vaikeata luotettavien päästöjakautumaan liittyvien tietojen puutteen johdosta. Koska kirjallisuudessa esiintyy konkreettisia tietoja pääasiassa primääripiirin putken murtumisesta aiheutuvan jäähdytteenmenetysonnettomuuden osalta, jotka nekin ovat teoreettisluonteisia, valittiin tässä työssä lähtökohdaksi lähes yksinomaan jäähdytteenmenetysonnettomuuteen (=primääripiirin putken murtumisesta aiheutuva jäähdytteenmenetysonnettomuus) pohjautuva diskreetti esimerkkipäästöjakautuma.

Koska onnettomuuden yhteydessä vapautuvista fissiotuotteista jodi aiheuttaa suurimman haitan, valitaan päästöjakautuman perustaksi onnettomuudessa vapautuva jodimäärä I-131 ekv:na. Metyylijodin osuus oletetaan 10%:ksi. Kirjallisuudessa esitettyjen esimerkkiluonteisten jäähdytteenmenetysonnettomuuden tapahtumaketjutarkastelujen perusteella päädyttiin siihen, että käytetään esimerkkipäästöjakautumana neljän diskreetin pisteen muodostamaa spektriä. Päästöjakautuman pisteet, jotka

on esitetty taulukossa 2, valittiin kuvaamaan lähinnä 1000 MW(e):n painevesireaktorilaitoksen onnettomuuspektriä kirjallisuudessa esitettyjä tietoja hyväksi käyttäen. Taulukkoon on merkitty myös tieto siitä, tapahtuuko päästö nopeasti vai pitemmän ajan kuluessa. Kuvaan 2 on taulukon 2 päästöjakautumapisteiden lisäksi merkitty paineastian katastrofaalista murtumista vastaava piste.

Suurimpana puutteena näin valitussa jakautumassa on se, että katastrofaalista paineastian murtumista, jonka todennäköisyys on noin 10^{-6} /a ei oteta huomioon. Mikäli se olisi mukana käsittelyssä, niin sen kontribuutio lopputuloksiin olisi niin dominoiva (vrt. kuva 2), että turvallisuusanalyysi voitaisiin tehdä yhtä hyvin deterministisillä menetelmillä. On kuitenkin syytä todeta, että reaktorin lähisijoittaminen vaatisi mahdollisesti sellaisia lisävarojärjestelmiä, jotka pienentävät paineastian yhtäkkisen murtumisen todennäköisyyttä (esim. kaksinkertainen paineastia tai betonipaineastia), jolloin ko. pisteen dominoivuus poistuisi.

Kahteen suurimpaan päästöön liittyvät todennäköisyydet ovat epärealistisen pieniä, mikä johtuu ko. kirjallisuusviitteissä suoritetusta teoreettisluonteisesta käsittelytavasta. Varsinkin sydämen sulamiseen liittyvä todennäköisyys (= piste 1) $2 \cdot 10^{-9}$ /vuosi on hyvin pieni ja realistisempi arvo saattaisi olla suuruusluokkaa 10^{-7} /vuosi. Luotettavampien todennäköisyysarvojen aikaansaaminen edellyttäisi perusteellisia lisätutkimuksia. Lisäksi päästöjakautuma on vahvasti laitospohjainen ja riippuu ensisijaisesti ko. laitoksen turva- ja suojajärjestelmien luotettavuudesta ja monipuolisuudesta.

Probabilistisen turvallisuusanalyysin yhtenä tuloksena saatu todennäköisyys ylittää tietty akuuttien kilpirauhashaittatapausten määrä on esitetty kuvassa 3. II- ja III-väestöjakautuman käyrät aiheutuvat lähes yksinomaan päästöjakautuman suurimmasta päästöstä. I-väestöjakautuman käyrän määräävänä päästönä on noin 10^3 tapauksesta alaspäin toiseksi suurin päästö ja siitä ylöspäin suurin päästö.

4. YHTEENVETO

Saatujen tulosten pohjalta, jotka on erikseen laskettu sekä determinististä että probabilistista käsittelytapaa käyttäen, voidaan arvioida reaktorionnettomuuksista aiheutuvien eri sijoituspaikkavaihtoehtoihin liittyvien väestöriskien suuruutta sekä verrata näitä sijoituspaikkoja keskenään. Molempiin käsittelytapoihin sisältyy lukuisia sellaisia oletuksia, jotka aiheuttavat yhdessä lopputuloksiin melko suuret virhemarginaalit. Voidaan kuitenkin katsoa, että deterministisessä turvallisuusanalyysissä tehdyt oletukset pyrkivät yliarvioimaan haittatapausten lukumäärää, joten näitä tuloksia voidaan pitää jonkinlaisena yläikiarvona reaktorionnettomuuden seurauksille.

Probabilistinen turvallisuusanalyysi on otettu mukaan esimerkiksi luonteisena käsittelytapana, joten sen antamia tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon laskuissa käytettyjen lähtöarvojen epäluotettavuus. Käytetyn laskentamallin kannalta positiivisena piirteenä voidaan tuoda esille se, että jo neljästä diskreetistä pisteestä koostuvalla yksinkertaisella päästöjakautumalla saatiin lopputulokset melko mielekkäiden jakautumien muotoon.

Reaktoripaineastian katastrofaalisen murtumisen suuri merkitys tuli selvästi esille probabilistiseen turvallisuusanalyysiin tarvittavaa päästöjakautumaa konstruoitaessa. Tästä voidaan selvästi nähdä se, että paineastian katastrofaalisen murtumisen estäminen onkin yksi keskeisimpiä ongelmia reaktorilaitoksen lähisijoitukseen liittyviä turvallisuusriskejä arvioitaessa.

Todettakoon lopuksi, että vastailmestyneet ruotsalaisten Närförläggningsutredningen sekä Rasmussenin työryhmän raportti (WASH-1400) kritisoivat ylikonservatiivisiin olettamuksiin perustuvaa käsittelytapaa (fissiotuotteiden vapautumisosuudet,

pilven kohoaminen jne.). Näiden raporttien tarkasteluissa äärimmäisissäkin tapauksissa vaikutukset jäävät lievemmiksi kuin esim. vanhassa WASH-740 raportissa.

Kirjallisuusviitteet

- /1/ I. Savolainen ja R. Tarjanne, Asutustaajaman läheisyyteen sijoitetusta ydinvoimalasta väestölle aiheutuvan riskin arviointi onnettomuustapauksissa, Lär/VTT Memo 2, 1974.
- /2/ I. Savolainen, Asutustaajaman läheisyyteen sijoitetusta ydinvoimalasta väestölle aiheutuvan riskin arviointia todennäköisyysmenetelmällä, diplomityö Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan osastolta, 1974.

Taulukko 1.

Arvio akuuteista kokokehonhaittatapauksista MHA:n yhteydessä;
F- ja D-sääluokat, väestöjakautumat I, II ja III.

väestö- jakautuma	F, $u(z_0 = 20 \text{ m}) = 1 \text{ m/s}$			D, $u(z_0 = 20 \text{ m}) = 3 \text{ m/s}$		
	pahin leviämisen suunta		haitta- tapausten lukumäärä keskimäärin eri leviämisen- suunnissa	pahin leviämisen suunta		haitta- tapausten lukumäärä keskimäärin eri leviämisen- suunnissa
	sekt. n:o	haitta- tapausten lukumäärä		sekt. n:o	haitta- tapausten lukumäärä	
I	9	20 000	3 100	9	1 400	190
II	11	480	90	11	8	1
III	2	640	130	4	8	1

Taulukko 2.

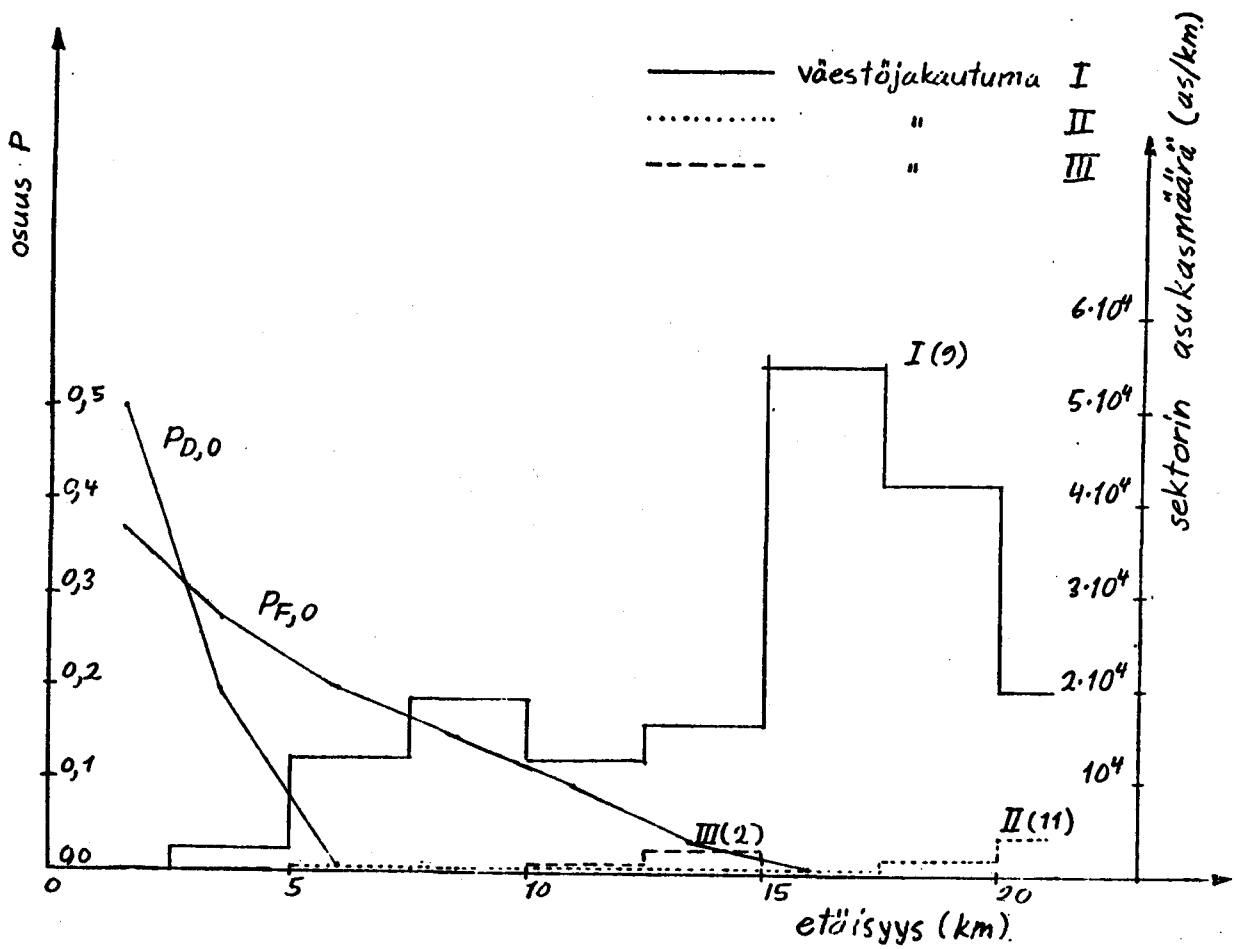
Diskreetin esimerkkipäästöjakautuman pisteet

Pisteen:o	Onnettomuuden kuvaus	Todennäköisyys (vuosi ⁻¹)	Päästö ¹ (Ci I-131 ekv)	Päästön tyyppi
1	Primääripiirin putken katkeamisesta aiheutuva jäähdytteenmenetysonnettomuus, jossa reaktorin pikasulkujärjestelmän tai hätäjäähdytysjärjestelmien vaillinaisen toiminnan seurauksena sydän sulaa ja kontainmentti vaurioituu. 25 % jodista vapautuu ympäristöön	$2 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^7$	nopea ²
2	Jäähdytteenmenetysonnettomuus, jossa sydän ei sula, mutta kontainmentin eristysventtiilit eivät sulkeudu ja kontainmentti vuotaa.	$1 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^5$	nopea ²
3	Jäähdytteenmenetysonnettomuus, jossa kontainmentti ja suojajärjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla.	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$	hidas ³
4	Oletettu, kerran laitoksen käyttöaikana tapahtuva onnettomuus, jossa vapautuu ympäristöön yhtä suuri päästö kuin normaalikäytössä laitoksen koko käyttöaikana.	$3 \cdot 10^{-2}$	1 · 10	hidas ³

¹ Metyylijodin osuus on kaikissa päästöissä 10 %.

² Päästö tapahtuu nopeasti (n. 1 tunti) maan tasalta.

³ Päästö tapahtuu hitaasti piipun kautta.



Kuva 1. Akuutin kokokehohaitan kokevan väestön osuus 30^o:een leviämissektorissa MHA:n yhteydessä. Tuuli on koko onnettomuuden ajan keskelle sektoria; F- ja D-luokat, H = 0 m.

Kuvassa on myös väestöjakautumien I, II ja III pahimpien sektoreiden asukasmäärä etäisyyden funktiona.

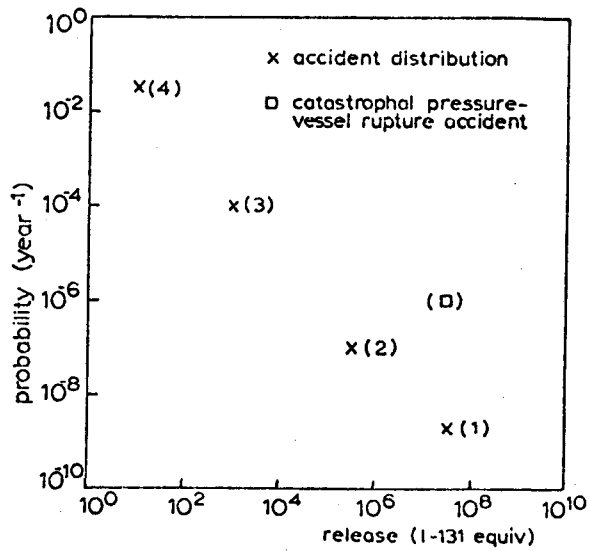


Fig. 2 Assumed discrete accident distribution. (The point describing the catastrophic pressure vessel rupture accident is also shown in the figure.)

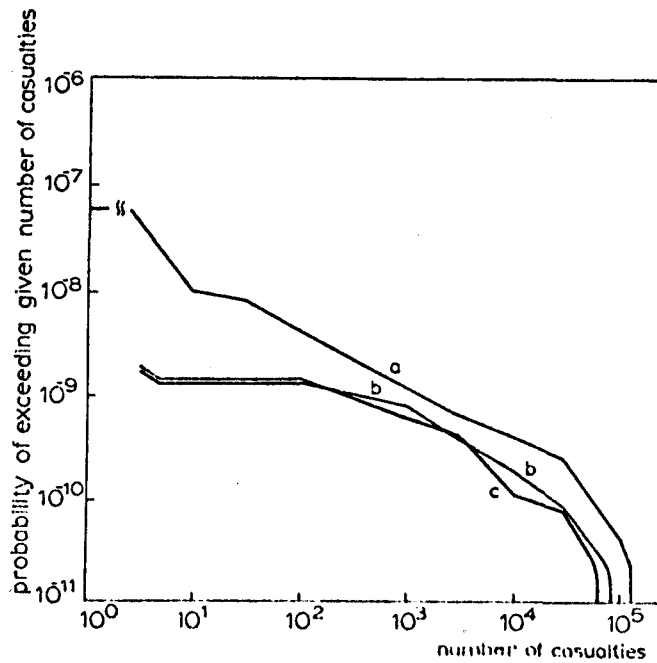


Fig. 3 Annual probability of exceeding given number of acute thyroid casualties due to the accident distribution of Fig. 1 in three plant site alternatives.

Vt.prof. Matts Roos:

Alustus Suomen Atomiteknillisen Seuran keskustelussa
"YDINVOIMA SUOMESSA", 1974-10-17

Kun minulla on kunnia esiintyä täällä Atomiteknillisessä Seurassa keskustelunne alustajana, minun täytyy heti ilmoittaa, että en ole mikään atomiteknikan asiantuntija. Olen tutustunut alan kirjallisuuteen jossakin määrin viimeisen puolen vuoden aikana, ja sen pohjalta muodostanut mielipiteeni. Esiinnyn täällä yksityishenkilönä; en edusta mitään järjestöä, puoluetta, yhdistystä enkä myöskään Helsingin yliopiston ydinfysikan laitosta. Minulla ei ole myöskään mitään myytävänä; tunnetusti ei pitäisi luottaa asiantuntijaankaan jolla on jotakin myytävänä. Olen sitä mieltä että Suomen olisi suhtauduttava ydinvoimaan pidättyväisesti, että ydinvoimalasuunnitelmat olisit toteutettava hitaasti, käyttökokeuksia odottaen, ja että tutkimukset vuosisadanvaihteen energiakriisin torjumiseksi olisi kiireesti käynnistettävä. Perustan kantani neljään seikkaan: fissioreaktorien turvallisuusongelmiin, radioaktiivisten jätteiden ja plutonium-talouden vaaroihin, ydinvoimaloiden kannattavuuden epävarmuuteen sekä energiakriisin yleiseen luonteeseen.

Turvallisuus

Usein väitetään että ydinvoimalat ovat turvallisia, koska yhtään kuolemaan johtanutta ^{onnettomuutta} ei ole toistaiseksi tapahtunut maailman kaupallisissa ydinvoimaloissa. Tämä kaunis tilasto ei mielestäni mittaa ydinvoimaloiden turvallisuutta, sillä käyttökokeustahan on vasta noin 200 käyttövuotta, eivätkä pahimmatkaan pessimistit ennusta kuolemaan johtavia onnettomuuksia lyhyemmällä aikavälillä kuin 1000 käyttövuotta.

Sitäpaitsi tämä kaunis tilasto on sekä puutteellinen että harhaanjohtava: se nimittäin ei sisällä polttoainekiertokulun onnetto-

muuksia ja kuolettavia syöpätapauksia, eikä muitakaan vahingollisia seurauksia kuten perinnöllisiä muutoksia. Tällaista tilastoa ei ole olemassakaan, ja se saattaakin olla merkityksetön tällä hetkellä. Mutta on syytä pitää mielessä, että tällaisten tapausten lukumäärä kasvaa lineaarisesti rakennetun tehon mukaan, ainakin kunnes polttoainejätteen jatkokäsittely suuressa mitakaavassa käynnistyy. Tällöin lineaarinen kasvu todennäköisesti muuttuu jyrkemmäksi käyräksi.

Tunnustan mielelläni että ydinteollisuuden turvallisuuskysymyksiin on kiinnitetty poikkeuksellisen suurta huomiota, esimerkiksi kemialliseen teollisuuteen verrattuna. Mutta riittääkö tämä? Ainakin USA:ssa asiallisen ja asiantuntevan Union of Concerned Scientists'in vastaus on jyrkästi kielteinen. AEC:n politiikka turvallisuusasioissa on tunnetusti hämäämistä ja pimitystä, jotta yleisö ei joutuisi pakokauhun valtaan. Sen takia luetaankin Suomen päivälehdissä siitä, että turvallisuusekspertit taikka plutoniumekspertit suurella melulla jättävät AEC:n. Minua huolestuttaa se, että Suomessa ilmeisesti luotetaan AEC:hen. Ydinenergian puolustaja prof. Bo Lindell on äskettäin lausunut seuraavasti: "Kärnkraften är potentiellt farlig och medför en mängd risker. Det är inte självklart att kärnkraften är det bästa alternativet för vår energiförsörjning". Mutta VTT:n tutkijat levittävät huolettomasti yleisölle Helsingin Sanomissa, että vaaraa ei ole.

Emme pääse siitä, että ydinvoimalat ovat vaarallisia. Todistuksina siitä mainittakoon hätäjähdytysjärjestelmien tarpeellisuus, yli sadan metrin savupiipun tarpeellisuus, suoja-alueen tarpeellisuus sekä väestön että karjan evakuoimissuunnitelmien olemassaolo. Entä kun 19 l radioaktiivista vettä vuotaa minuutissa pienestä halkeamasta 5 mm:n vahvuisesta ruostumattomasta teräsputkesta, ja tämä aiheuttaa 20:n voimalan pysäyttämisen tarkastusta varten, eikö tämä todista että ydinvoimalat ovat vaarallisia?

Sanoisin että ydinvoimaloissa turvallisuus on suuri per komponentti, esim. per jäähdytysputkimetri. Ydinvoimalassa kuitenkin on enemmän komponentteja kuin muissa teollisuuslaitoksissa ja sen rakenne on monimutkaisempi. Inhimillinen tekijä voi siinä tehdä tuhoisat kepposet jo komponenttien asennusvaiheessa. Näin joudutaan täysautomaattisiin säätösystemeihin ja turvallisuussysteemeihin, joiden omia systeemivikoja on kertaluokkaa vaikeampi paljastaa. Systemien puutteellisuudet ja testikoodien virheet voivat selvästi vaarantaa koko reaktorin toiminnan, eikä sittenkään ole inhimillisestä tekijästä kokonaan päästy. Näin on jo tapahtunut monta kertaa, esim. reaktorissa Dresden II USA:ssa.

Kun väitetään että jonkun suuronnettomuuden riski on 1/1000000 käyttövuotta, niin tämä luku käsittääkseni perustuu komponenttivikoihin, mutta ei systeemivirheisiin eikä inhimilliseen tekijään. Todennäköisyys sille että operaattori tulee hulluksi tai haluaa tehdä dramaattisen itsemurhan, ajaen reaktorin tahallisesti suuronnettomuuteen, on varmasti suurempi kuin 1/1.000.000 käyttövuotta.

Ruotsissa on kuulemani mukaan esiintynyt 89 epäsäännöllisyyttä reaktoreiden toiminnassa, joista 16 vakavaa tapahtumaa. USA:ssa lienee vuonna 1973 esiintynyt 861 vikaa tai epäsäännöllisyyttä, joista 46% vakavaa, ja joista 18 tapahtumaa katsottiin erittäin vaaralliseksi. Jotkut AEC:n jäsenet ovatkin julkisuudessa joutuneet myöntämään, että syy siihen ettei suoranaista vahinkoa ole kohdistunut väestöön, johtuu pääasiassa hyvästä onnesta.

Jätteet

Vielä pahemman ongelman kuin reaktoriturvallisuus, muodostavat pitkäikäiset radioaktiiviset jätteet, varsinkin plutonium ja muut aktiniidit. Koska Suomessa suunnitellaan vasta joitakin reaktoreita, tämä ongelma sivuutetaan toistaiseksi kevytmielisesti, viitaten tilapäisiin varastotiloihin ja jätteiden verrattain pieneen määrään. Ydinteollisuuden kehitysoptimistit katsovat tässä kysymyksessä niinkuin turvallisuuskysymyksessäkin, että rakennusvaihe voi alkaa ennenkuin pääongelmat on ratkaistu, ja että ratkaisu tulee ajoissa.

Kun Sr- ja Cs-jätteet kuitenkin kerran on tuotettu, niitä ei voida enää tuhota. Siten siirtyminen ydinenergiatalouteen on lopullinen askel, josta ei ole paluuta 800 vuoteen.

Transuraanit taas poltetaan tehokkaimmin hyötöreaktorissa, joka ei ole vielä kaupallisessa käytössä. Voidaan siis todeta, että plutoniumtuotto, halvan uraanin loppuminen sekä suuret investoinnit ydinvoimaloihin vievät meidät väistämättömästi hyötöreaktoriin. Tämän reaktorin erittäin suuren vaarallisuuden takia, sekä siksi, että jouduttaisiin käsittelemään valtavia Pu-määriä, tällainen tulevaisuus tulisi kuitenkin ehdottomasti välttää.

Jätteet ja loppuunkäytetyt reaktorit asettavat meille myöskin moraalisen ongelman, koska säilytämme seuraavien sukupolvien niskoille sekä niiden valvontaa että valvonnan kustannuksia. Tämä voi näyttää jälkeläisistämme erittäin epäviisaalta ja turhalta, koska fissiokausi ihmiskunnan historiassa saattaa muodostua hyvin lyhyeksi, ja sen jälkeen reaktoriasemistamme ei ole enää mitään hyötyä eikä käyttöä. Tällä hetkellä suljetaan Ruotsissa kymmenen vuoden tappioiden jälkeen Ågestan pieni reaktori, jonka säteilysuojat olen muuten konstruoinut. Sitä ei voida käyttää mihinkään tarkoitukseen, eikä sitä kannata romuttaa, koska se tulisi maksamaan 30 milj. RKR tänään. Se jää siis seisomaan ainakin 30 vuodeksi, ehkä 300 vuodeksi, kunnes romuttaminen osoittautuu halvemmaksi. Tämä on muuten eräs argumentti miksi pitäisi harkita reaktoreiden sijaintia kallioon tai maan alle.

Cs- ja Sr-jätteet ovat paljon pitkäikäisempiä kuin reaktorin romukasa, joten moraalinen kysymyksemme koskee useampia sukupolvia. Heidän aikanaan on varmasti kehitetty parempia ratkaisuja energiakriisiin.

Kaikkein huolestuttavin näkökohta jätteissä on kuitenkin se, että mitä enemmän niitä on maailmassa, sitä suurempi on vaara, että jokin paikallinen sota, sabotaasi tai reaktorionnettomuus myrkyttäisi koko maapallomme, tai merkittävän osan siitä. Riittää kun vain tarkistaa Pu-taloudesta syntyvät vaarat. Oak Ridge laboratorion entinen ja kuuluisa johtaja Alvin Weinberg on arvioinut mitä toisi mukanaan sellainen tulevaisuus, jolloin 15 miljardia ihmistä

kuluttaisi 20 kW/henki, eli kaksi kertaa enemmän kuin USA:n väestö kulutti vuonna 1971 henkeä kohti.

Silloin olisi koko maailman varastoissa Pu 150.000 t, Pu-valmistus olisi 15.000 t/vuosi, ja polttoainekuljetuksia olisi liikkeellä 36.000 yht'aikaa. Radioaktiivisia jätteitä tasapainossa olisi 36 Tci ($36 \cdot 10^{12}$ Ci) ja jätekuljetuksia olisi 2.100.000/vuosi. Nämä luvut ovat suorastaan huimaavia verrattuna syöpää aiheuttavaan Pu-annokseen, joka on pienempi kuin $\frac{1}{10}$ ug.

Kannattavuus

Sähkötuottajat väittävät yleisesti, että ydinsähkö tulisi selvästi tavanomaisiin polttoaineisiin perustuvaa sähköä halvemaksi. Minulla tietysti ei ole asiantuntemusta puuttua yksityiskohtaisesti sähkötuottajien laskuihin ja lukuihin. Epäilen kuitenkin yleensä asiantuntijaa, jolla on jotakin myytävänä, varsinkin kun on kyseessä niin pitkäjännitteinen projekti kuin ydinvoimalan rakentaminen. Ydinvoiman hintahan riippuu suurimmalta osalta pääomakustannuksista, tai rakennuskustannuksista, kun taas fosiilillä polttoaineilla tuotettu voima riippuu pääasiallisesti polttoainekustannuksista. Näin ollen on arvioitava sekä uraanin että fosiilisten polttoaineiden hinta että rakennuskustannukset että inflaatio ainakin 10 vuotta eteenpäin. Tämän lisäksi tulee voimaloiden efektiivinen käyttöaika, joka on toistaiseksi ollut suuruusluokkaa 60%, sekä näkymättömiä hintoja, kuten jätteiden jatkokäsittely ja säilytys, vanhojen reaktorimonumenttien romuttaminen tai valvomien, sekä tuhlatun luonnon hinta. Jos Suomi joutuisi huolehtimaan orista jätteistään, niin kukaan ei enää väittäisi, että ydinvoimalat ovat kannattavia. Näin ollen en voi uskoa mihinkään talousarvioihin, ellei ilmoiteta virherajoja niinkuin fysiikassa aina tehdään.

Energiakriisi

Meidän päivämme energiahuollon suunnittelijat ovat luultavasti ihmiskunnan viimeisiä eksponentialisteja. Energiapoliittinen neuvottelukunta katsoo, että energiakulutus saisi kasvaa 4.3%:lla

vuodessa seuraavien kymmenen vuoden aikana. Ruotsin vastaavaa lukua en tunne, mutta teollisuusministeri Rune Johansson on äskettäin sanonut, että Ruotsin täytyy suuntautua pienempään energiakulutukseen kuin Energiaproggnosutredningen'in alhaisin vaihtoehto. Norja, jolla sentään on öljyä, suunnittelee 3.4% vuoteen 1980 asti ja 3.3% vuosina 1980-85, kun tähänastainen kehitys on ollut 4.9%, Industridepartementet'in mukaan. Amerikassa tähänastinen kasvu jatkettuna vuoteen 1985 vastaa 3.5% vuotuista kasvua, mutta Ford Foundation Energy Policy Project tutkii realistisena vaihtoehtona 1.7 % kasvua. Olemme siis jäljessä muista maista tilanteen ymmärtämisessä. Sähköntarpeemme kasvaa eksponentiaalisesti Neuvo-komitean mietinnöissä aina vuoteen 2000 asti, jolloin se on kasvanut tekijällä 5, kokonaisenergiatarpeen kasvaessa tekijällä 3, eikä meidän vuosisatamme loppupuolelle ole suunniteltu mitään tasoittumista. Ennustan että tilanteen ymmärtäminen ja muuttaminen on ainakin 5 kertaa tuskallisempaa vuonna 2000.

Weinbergin kuvaamassa tulevaisuudessa, johon edellä viittasin. tuottaisimme niin paljon energiaa, että se vastaisi 1/400 aurin-gosta saamaamme energiaa. Tällä vaarantaisimme jo maapallomme lämpätasapainoa, puhumattakaan siitä, että vesiä olisisimme jo kauan lämmitetty yli kaikkien sallitujen rajojen. Tämä pitää yhtä hyvin paikkansa vaikka tuottaisimme nuo 300 TW plutoniumilla tai hiilellä tai uusilla öljylöydöillä taikka fuusioreaktoreillakin. Tästä seuraa että ainoat sallittavat energialähteet pitkällä tähtäyksellä ja eksponentiaalikasvun hyväksyen ovat aurinkoenergia, tuulivoima, vesivoima, ympäristön lämpöerot ja ehkä geoterminen energia. Kaikki nämä vaihtoehdot vaativat tutkimus- ja kehitystyötä. Kun tiedetään että tie tutkimuslaboratoriosta sovellutukseen teollisuusmittakaavassa on noin 25 vuotta olisi nyt korkea aika käynnistää tulevaisuuden energiamuotoja koskeva tutkimus.

Sillä aikaa voisimme keskittyä energia tarpeiden kasvun hillitsemiseen ja eksponentiaalikäyrän tasoittamiseen. Minäkin olen kehitysoptimisti, sillä uskon että teollisuus tähän pystyy. Voidaan väittää että useimmat energiakriisin teknilliset ratkaisut,

jotka lisäävät energiavarojamme ovat hitaita, kalliita, vaarallisia ja eksponentiaalisuuden takia tuovat vain väliaikaista hyötyä. Sen sijaan useimmat säästötoimenpiteet ovat suhteellisen nopeita, halpoja, varmoja ja pysyvästi hyödyllisiä.

DI Lasse Nevanlinna:

YDINVOIMA SUOMESSA

Alustus ATS:n kokouksessa 17.10.1974

Puheenvuoro oli vastaus kahden edellisen alustajan ydinvoimaa arvostelevaan puheenvuoroon. He olivat otsikon aiheesta poiketen käsitelleet asiaa globaalista näkökulmasta.

Kiinnitin aluksi huomiota siihen, että ydinvoiman arvostelijat eivät esitä ydinvoimalle vaihtoehtoisia ratkaisuja, vaan tyytyvät ainoastaan sen yksipuoliseen arvosteluun. Totesin, että ydinvoimaa on asiaan objektiivisesti perehdyttäessä sittenkin pidettävä edullisimpana tarjolla olevista vaihtoehdoista huolimatta siihenkin liittyvistä varjopuolista ja vaaroista.

Alustukseni lähtökohtana oli säästöpisara (kuva 1), joka symbolisoi uusiutuvien luonnonvarojen ja erikoisesti öljyn säästämisen välttämättömyyttä. Säästämismenetelmiä on periaatteessa kolmenlaisia:

- välittömät kulutussäästöt (esim. kuva 2)
- hyötysuhteiden parantaminen, esim. yhdistämällä sähkön ja lämmön tuotanto, yleensä hukkalämmön eliminoiminen
- ydinvoiman laaja käyttöönotto öljyä korvaamaan.

Oheiset kuvat 1...12 puhunevat puolestaan.

Kuva 1 "Säästä ajoissa"

Kuva 2 "Järkeä juoksee vikkelämmin vähän viileämmässä"

Kuva 3 Koko maailman raakaenergian tarve, 2 vaihtoehtoa

Kuva 4 400 kV verkko 1980-luvun alussa. Energia-
politiikan neuvottelukunnan väliraportin
"Suomen energiahuolto vuosina 1975-85"
mukaan tulisi 1985 mennessä valmistua
5000 MW ydinvoimalaitoskapasiteettia. Toden-
näköisesti seuraavat laitokset sisältyvät
em. lukuun:

Loviisa 4 yksikköä	yht. 1700 MW
Olkiluoto 2 -"-	" 1300 "
Kopparnäs 1 -"-	" 1000 "

Kuva 5 Alustava suunnitelma lämmön siirtämiseksi
Kopparnäsista pääkaupunkiseudulle

Kuva 6 400 kV johdot Varsinais-Suomen alueella
ja Turun alueen kaukolämpöputki 1990-luvulla.
Tarkoituksena on aloittaa kaukolämmitys
Naantalista käsin 1970-luvun lopussa ja
yhdistää siihen ydinkaukolämpöä Lemlahdesta
1980-luvun lopussa.

Ydinenergiaongelman globaalista kartoitusta:

Kuva 7 Nykytilanteen kartoitus

Kuva 8 jatkoa edelliseen

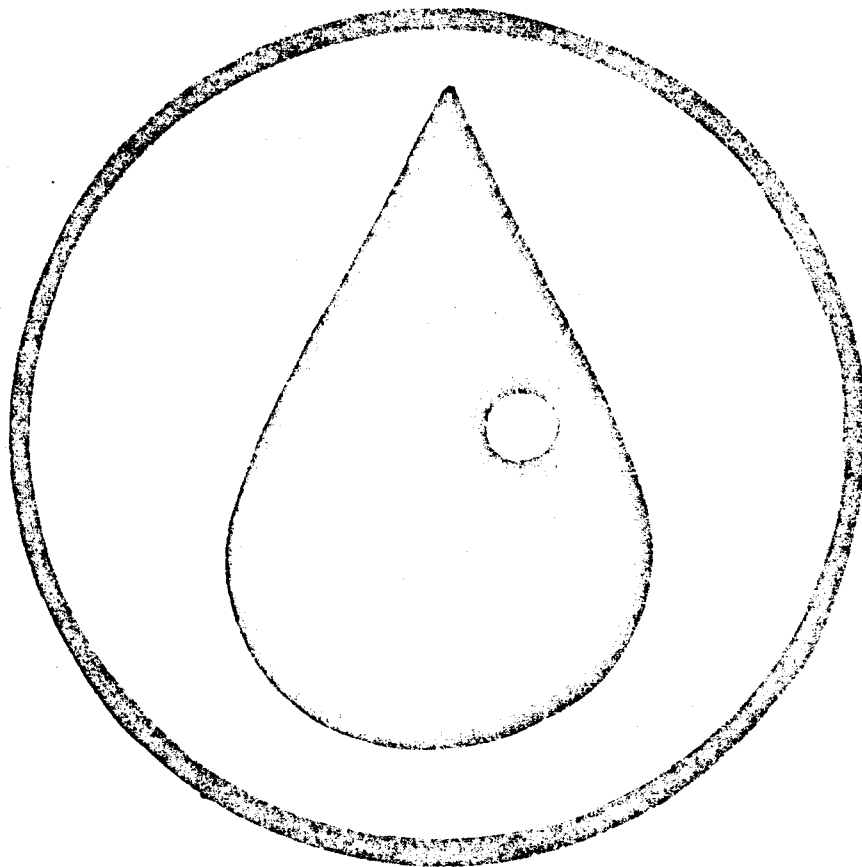
Kuva 9 Fossiilisen- ja ydinenergian vertailu

Kuva 10 jatkoa edelliseen

Kuva 11 Liikenteen ja energiatuotannon aiheuttama
yksilön kuolemistodennäköisyys

Kuva 12 Tarvittavat tuotantovolyymit yhden ihmis-
yksilön elinikäisen sähköntarpeen peittämiseksi

SÄÄSTÄ AJOISSA

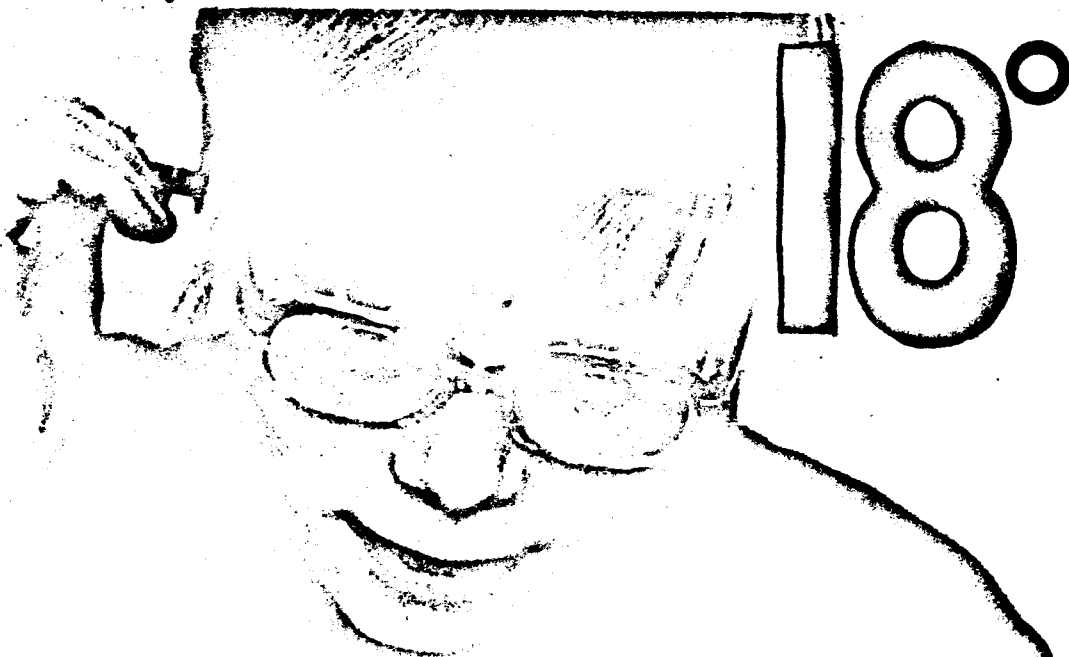


Järki juoksee vikkelämmin vähän viileämmässä.

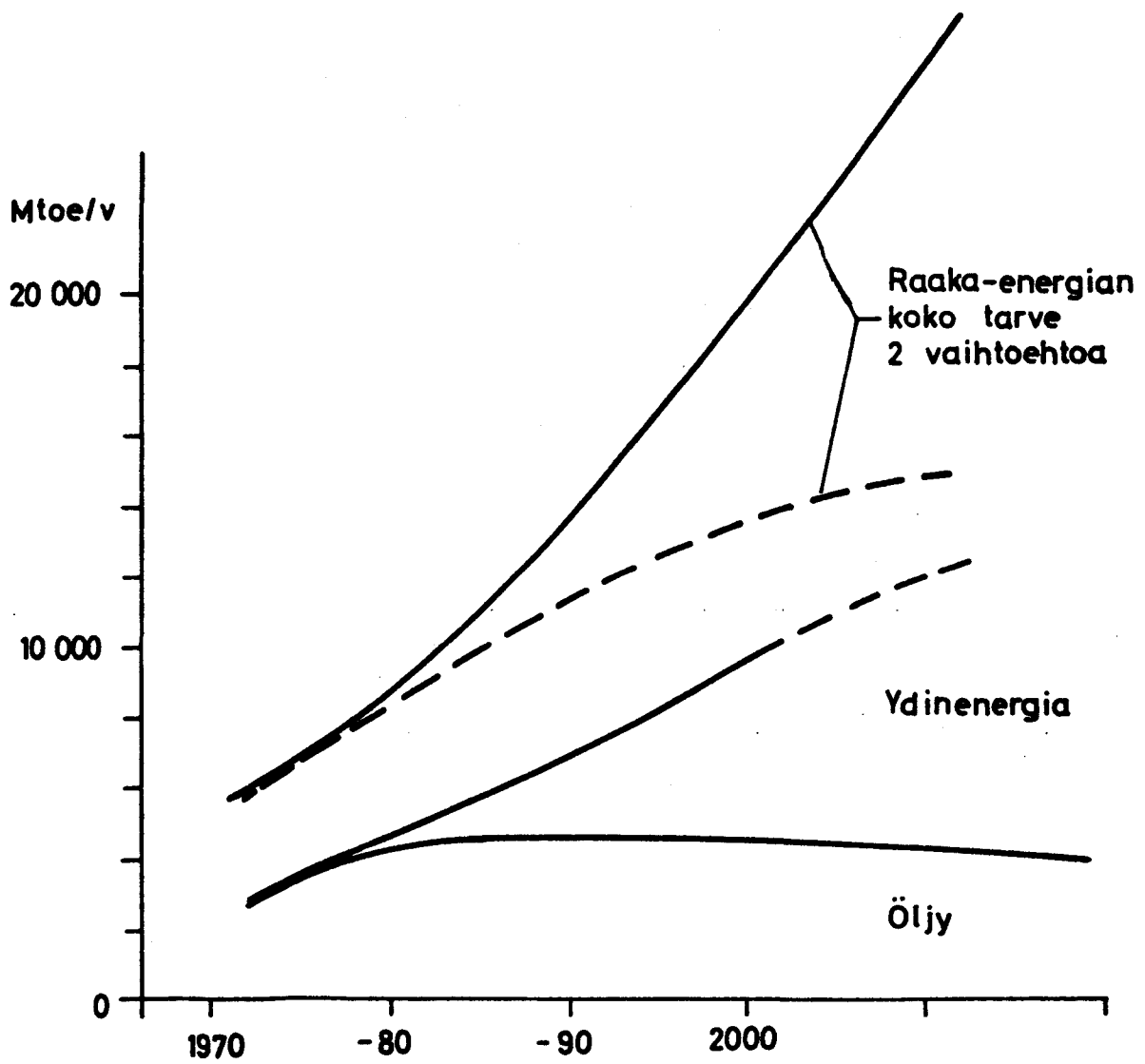
Tutkimuksissa on todettu, että edullisin lämpötila henkiselle työlle on +18°. Yllättävää ehkä. Mutta totta. Kuitenkin +23° lämpötilat ovat hyvin yleisiä, varsinkin keskuhlämmitystaloissa. Ero ihanteelliseen ajattelu lämpöön on valtava. Liika lämpö tekee uneliaaksi. Mutta tämä ei ole ainoa haitta. Liika lämmitys tekee ilman liian

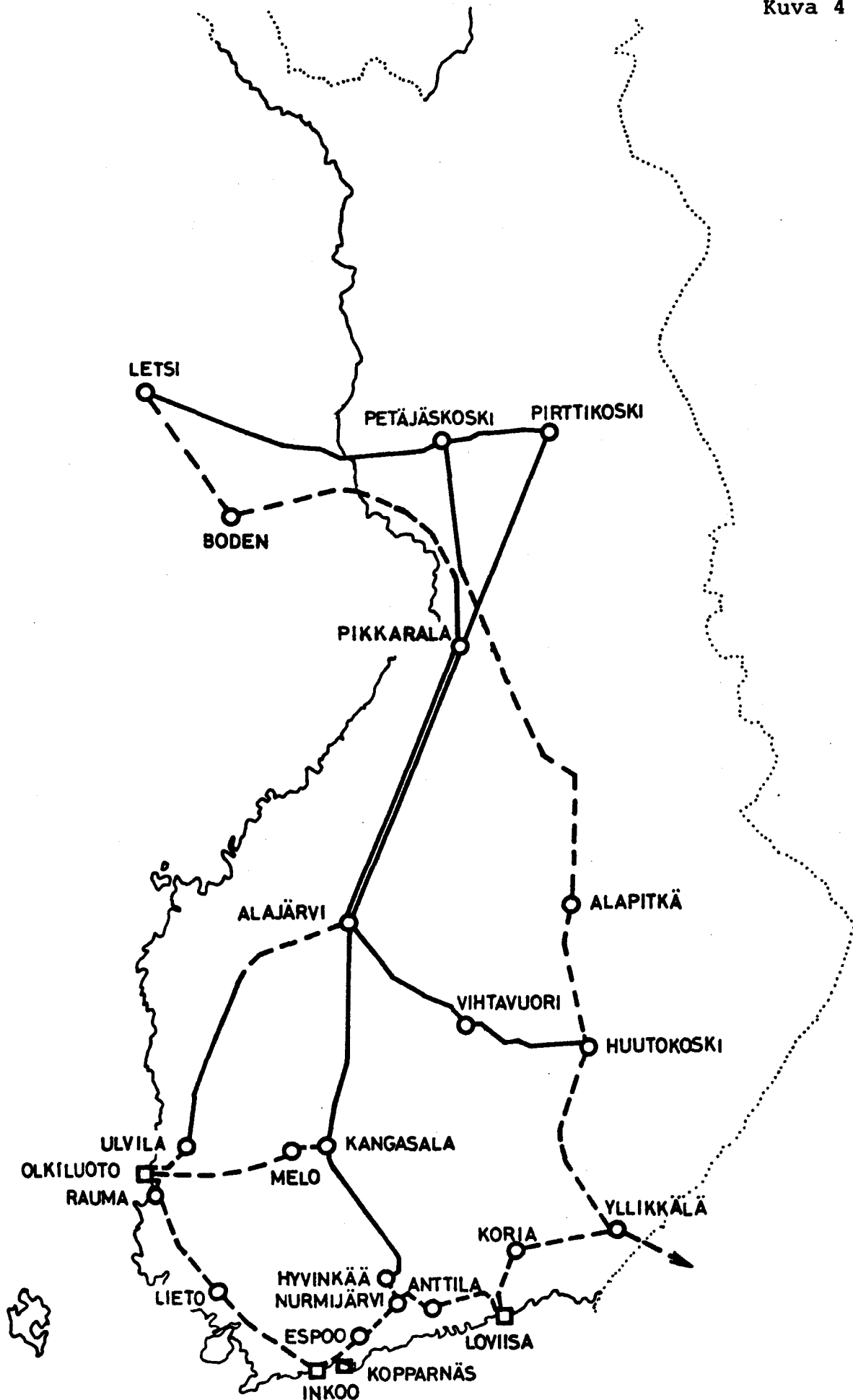
kuivaksi. Lääkäreiden havaintojen mukaan ovat lasten hengitystiehyiden infektiot ja katarrit lisääntyneet tämän myötä. Ne, joita arkisesti sanomme flunssaksi. Jos huomaatte perheessänne väsymisen merkkejä, tarkista kaa onko osasyynä liika lämpö. Jos — niin laskekaa siitä ihmeessä pari astetta. Terveysteksi.

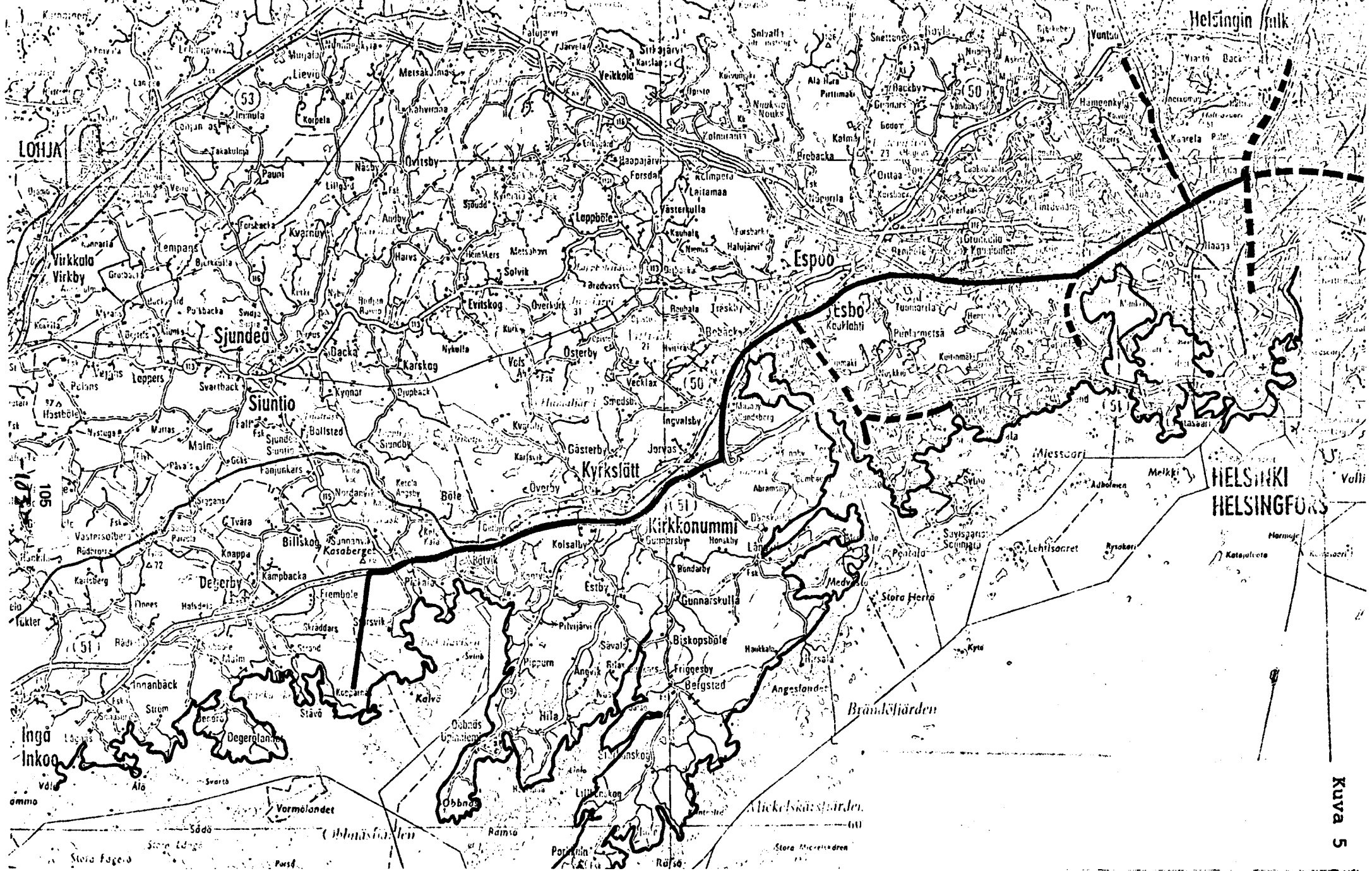
Tavoitteena



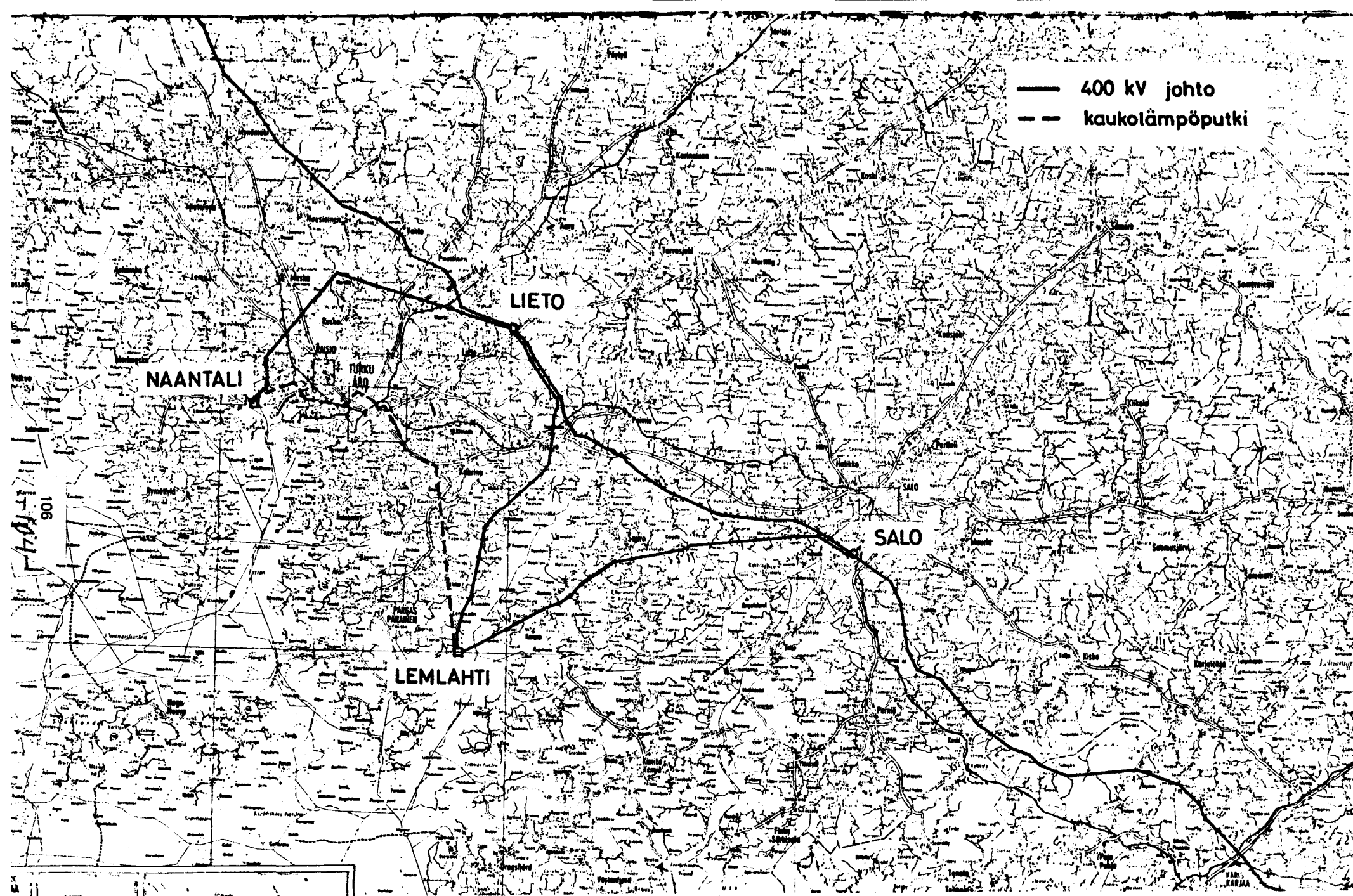
Markkinat Vihermaat, koulut ja säilytys, työn ympäristö, lämpötila ja ajattelu
turvatekniikka







Kuva 5



Kuva 6

NYKYTILANTEEN KARTOITUS

KEHITYS KULKEE PITKIN FOSSIILISTA ATOMIPOMMILINJAA

- FOSSIILINEN ENERGIANKÄYTTÖ (1972)	5500 MILJOONAA EKV.ÖLJYTONNIA
- YDINENERGIAN RAUHANOMAINEN KÄYTTÖ (1972)	40 " " "
- RAHAN KÄYTTÖ YDINENERGIAN SOTILAALLISIIN SOVELLUTUKSIIN	200 MILJARDIA DOLLARIA
- RAHAN KÄYTTÖ YDINENERGIAN RAUHANOMAISIIN SOVELLUTUKSIIN	20 " "
- ENERGIAN KOKONAISKULUTUS 1972	5750 MILJOONAA ÖLJYTONNIA
2000 (NYKYISEN KASVUTRENDIN MUKAAN) YLI	20000 " "

NYKYTILANTEEN KARTOITUS (JATK.)

- VÄESTÖENNUSTE (MRD)	1972	1982	2002
SUOMI	0,0047	0,0047	0,0047
"TEOLLISTUNEET MAAT"	1,1	1,2	1,4
MUU MAAILMA	2,7	3,4	5,2
KOKO MAAILMA	3,8	4,6	6,6

HUOM: "TEOLLISTUNEET MAAT" KÄYTTÄVÄT 1972
LÄHES 90 % KOKO ENERGIASTA

FOSSIILISEN- JA YDINENERGIAN VERTAILU

FOSSIILI

- 1) YMPÄRISTÖN KIIHTYVÄ SAASTUMINEN, ALUKSI PAIKALLINEN, MYÖHEMMIN LAAJEMMALLE LEVIÄVÄ TUKEHTUMINEN SAASTEISIIN
 - ILMAN SAASTUMINEN (RIKKI)
 - VESIEN SAASTUMINEN
 - KULJETUSRISKIT
- 2) TURVALLISUUS SAASTUMINEN AIHEUTTAA KASVAVIA TERVEYDELLISIÄ HAITTOJA JA KUOLEMAN VAARAA
- 3) URBANISOITUMINEN JA SLUMMIUTUMINEN
- 4) ENERGIAN YLIKYSYNTÄ
- 5) JATKUVA ENERGIAN HINNAN NOUSU

YDIN(sähkö)

- 1) YMPÄRISTÖN SAASTUMISEN HIDASTUMINEN JA ASTEETTAINEN SANEERAUTUMINEN
 - JÄTEONGELMAN RATKAISU EDELLYTTÄÄ KANSAINVÄLISTÄ YHTEISTOIMINTAA JA VALVONTAA
- 2) TURVALLISUUS TIUKAN SUUNNITTELUN SEKÄ KANSALLISEN JA KANSAINVÄLISEN VALVONNAN ANSIOSTA HYVÄ
- 3) EDISTÄÄ HAJASIJJOITUSTA JA SUUNNITELMALLISTA ALUEPOLITIIKKAA
- 4) KYSYNNÄN JA TARJONNAN TASAPAINO
- 5) STABIILI TAI ALENEVA ENERGIAN HINTA

FOSSIILISEN- JA YDINENERGIAN VERTAILU (JATK.)

FOSSIILI

- 6) RAAKA-AINEVAROJEN EHTYMINEN, JÄLLEEN-
KIERRON MAHDOTTOMUUS ENERGIAPULAN
VUOKSI
- 7) POLIITTISET KRIISIT
- 8) SOTA - YDINSOTA

YDIN

- 6) RAAKA-AINEVAROJEN PAREMPI SÄILYMINEN
JÄLLEENKIERRON ANSIOSTA
- 7) PAREMMAT EDELLYTYKSET KRIISIEN
ELIMINOIMISELLE (IAEA, YK)
- 8) PAREMMAT EDELLYTYKSET RAUHANOMAISILLE
KEHITYKSELLE

LIIKENTEE JA ENERGIA TUOTANNON AIHEUTTAMA YKSILÖN
KUOLEMISTODENNÄKÖISYYS

	TODENNÄKÖI- SYYS	KUOLEMANTAPAUKSIA PER MILJ. VUOSI	
		LASKENNALL.	TILASTO
LIIKENNE (TEOLLISTUNEET MAAT)	$2 \cdot 10^{-4}$	200	150...300
FOSSIILIVOIMALAITOS (2x1000 MW; 5 KM ETÄISYYDELLÄ)	$\frac{1}{40} \cdot 10^{-4} \times)$	2,5	?
YDINVOIMALAITOS (KUTEN FOSSIILI)	$\frac{1}{40} \cdot 10^{-6} \times)$	0,025	0

*) 150 M KORKEA PIIPPU,
PAHIN LEVIÄMISSUUNTA

HUOM! LUVUT EIVÄT OLE SELLAISENAAN VERTAILUKELPOISIA, KOSKA LIIKENTEE LUKU
JAKAANTUU MELKO TASAISESTI KOKO VÄESTÖLLE, KUN TAAS VOIMALAITOSTEN
LUVUT KOSKEVAT VAIN VOIMALAITOKSEN LÄHEISYYDESSÄ ASUVAA VÄESTÖÄ.

TARVITTAVAT TUOTANTOVOLYYMIT YHDEN IHMIS-
YKSILÖN ELINIKÄISEN SÄHKÖNTARPEEN
PEITTAMISEKSI

SÄHKÖN TARVE = 700 000 kWh =
10 000 kWh/vuosi

YDINENERGIA (KEVYTVESIREAKTORI)

URAANIMALMIA	9 000 LITRAA
URAANIKONSENTRAATTIA	15 "
REAKTORIPOLTTOAINETTA (ELEMENTIT)	1 "
JÄTTEET	0,2 "

ÖLJYENERGIA

ÖLJYÄ	200 000 LITRAA
-------	----------------

JÄTTEET mm.

HIILIDIOKSIDIA	450 000 KG
RIKKIÄ	4 000 KG