

# ATS

## Tiedotuslehti n:o 5/1974

---

---

Sisältö:

YDINVOIMAAN PERUSTUVA SÄHKÖN JA KAUKOLÄMMÖN YHTEISTUOTANTO

Esitelmä ATS:n kokouksessa 1974-03-21

M.Seppä

LÄMMITYSREAKTORIPROJEKTIN LOPPURAPORTTI

Esitelmä ATS:n kokouksessa 1974-03-21

R.Tarjanne

KOTIMAISET PERUSENERGIANLÄHTEET

Esitelmä ATS:n kokouksessa 1974-04-18

L.Nevanlinna

KOTIMAISEN VALMISTUSKAPASITEETIN MERKITYS ENERGIANTUOTANNOSSA

Esitelmä ATS:n kokouksessa 1974-04-18

E.Tunkelo

YDINVOIMALOIDEN TURVALLISUUDESTA KÄYDYSTÄ LEHDISTÖKESKUSTELUSTA

Esitelmä HTKK:n ydintekniikan lisensiaattiseminaarissa  
1973-10-09

TEHOREAKTORIEN TEKNILLISIÄ KYSYMYKSIÄ JA ENERGIANTUOTANNON NÄKYMIÄ

Katsaus HTKK:n ydintekniikan seminaareihin lukuvuonna  
1973...1974

Seminaarin pohjalta syntyneiden monisteiden sisällysluettelot

J.Routti

HELSINGIN KAUPUNGIN SÄHKÖLAITOS    ATS:N KOKOUKSESSA  
1974-03-21 PIDETTY  
ESITELMÄ  
1974-05-30

UX/Seppä

Y D I N V O I M A A N   P E R U S T U V A   S Ä H K Ö N   J A  
K A U K O L Ä M M Ö N   Y H T E I S T U O T A N T O

## JOHDANTO

Sovellettaessa ydinvoimalaitos yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon liittyy tähän eräitä sellaisia ongelmia, joita ei ainakaan samassa mitassa ole muilla ydinvoimalaitoksilla eikä tavanomaisessa kaukolämmityksessä. Tällaisia kysymyksiä ovat mm.:

- höyryprosessin valinta
- kaukolämmön siirron ja jakelun tekninen toteuttaminen
- kaukolämmön siirtoetäisyyden suuri merkitys kustannusten kannalta
- sijoituspaikan valinnasta johtuvat vaikeudet.

Seuraavassa käsitellään aluksi kaukolämmitykseen sovelletun ydinvoimalaitoksen tekniikkaa ja kustannusrakennetta yleiseltä kannalta, sitten eräitä pääkaupunkiseudun lähistölle suunniteltuihin ydinvoimalaitoksiin liittyviä selvityksiä, sekä lopuksi ydinkaukolämmitykseen liittyviä tulevaisuuden näkymiä.

### 1 Voimalaitostekniikkaa

Ydinvoimalaitos voidaan soveltaa lämmitysvoimalaitokseksi samaan tapaan kuin tavanomainen voimalaitoskin. Voidaan käyttää joko vastapaineprosessia tai väliottolauhdutusturbiinia ja täydentää voimalaitosta tarvittavilla apujäähdyttimillä ja reduktioventtiileillä (kuvat 1 ja 2).

Tarkastellaan esimerkkinä ydinvoimalaitosta, jonka reaktoriteho on 1870 MW. Voimalaitoksesta saadaan lauhdutusvoimalaitoksena sähköä 600 MW, vastapainevoimalaitoksena 400 MW sähköä sekä samanaikaisesti 1400 MW kaukolämpöä (taulukko 1). Mikäli laitos rakennetaan väliottolauhdutusvoimalaitokseksi, voidaan sitä käyttää halutulla tavalla vastapainekäytön ja lauhduskäytön välillä (kuva 3). Vertailun vuoksi on taulukossa 2 esitetty vastaavat arvot tavanomaiselle höyryvoimalaitokselle lauhdutus- ja vastapainelaitoksena.

Ydinlämmitysvoimalaitoksen höyryprosessi voi olla suurelta osin samanlainen kuin lauhdutusvoimalaitoksella, tämä samankaltaisuus koskee mm. höyryn painetta ja lämpötilaa, sekä höyryn kuivauksen ja välitulistuksen järjestämistä. Erilaisuudet näkyvät lähinnä turbiiniratkaisuissa. Mikäli käytetään puhdasta vastapaineturbiinia, pienenee turbiini kooltaan oleellisesti lauhdutusturbiiniin verrattuna.

Puhtaan vastapaineturbiinin sijaan on kuitenkin yleensä tarkoituksenmukaista käyttää väliottolauhdutus-turbiinia. Turbiinin suuren koon ja suuren väliotto-höyryvirran takia jouduttaneen käyttämään kuvan 4 mukaista erikoisratkaisua. Tässä tapauksessa turbiinin loppupää on jaettu erillisiin osiin vastapaine- ja lauhdutuskäyttöä varten. Turbiinin osien mitoitus riippuu tarvittavien sähkö- ja kaukolämpötehojen suuruudesta ja niiden ajallisista vaihteluista sekä muusta tuotantokapasiteetista.

Taulukko 1

	Lauhdutus- voimalaitos	Vastapaine- voimalaitos
reaktoriteho	1870 MW	1870 MW
sähköteho		
- gener. navoissa	630 "	430 "
- omakäyttöteho	30 "	30 "
- nettoteho	600 "	400 "
kaukolämpöteho	-	1400 "
hyödyksi käytettävä teho	600 "	1800 "
laitoksen kokonaishyöty- suhde	32 %	96 %

Taulukko 2

	Lauhdutus- voimalaitos	Vastapaine- voimalaitos
höyrykattilan teho	465 MW	465 MW
sähköteho		
- gener. navoissa	210 "	170 "
- omakäyttö	10 "	10 "
- nettoteho	200 "	160 "
kaukolämpöteho	-	290 "
hyödyksi käytettävä teho	200 "	450 "
laitoksen kokonaishyöty- suhde *)	39 %	88 %

\*) kattilahyötysuhde 91 %

## 2 Ydinlämmitysvoimalaitoksen kustannusrakenne

Kaukolämmityskäyttöön sovelletun ydinvoimalaitoksen rakentamiskustannukset ovat likimain samat kuin samankokoista reaktoria käyttävän lauhdutusvoimalaitoksen. Puhdas vastapainevoimalaitos olisi todennäköisesti hiukan halvempi halvemmän turbiinin ja lauhduttimen takia. Väliottolauhdutuskoneistolla varustetun ydinvoimalaitoksen kustannukset riippuvat turbiinin eri osien mitoituksesta, mikäli käytetään edellä esitetyn (kuva 4) kaltaista vastapaine ja lauhdutus-turbiinin yhdistelmää. Jos täyden lauhdutus-käytön hyötysuhteesta ja myös täyttä kaukolämpötehoa vastaavan käyttötilanteen aikaisesta sähkötehosta

hiukan tingitään, päästäneen lähes samaan kokonaisu- hintaan, kuin puhtaalla lauhdutusvoimalaitoksella. Lisäkustannuksia tulee turbiinin lisäksi lähinnä vain kaukolämmitysjärjestelmään kuuluvien laitteiden sekä säätöjärjestelmän osalta.

Lämmitysvoimalaitoksen pääoma- ja polttoainekus- tannusten jakaminen sähkön ja lämmön osalle ei ole yksikäsitteisesti tehtävissä. On esitetty useita mahdollisia jakotapoja, mutta kaikki jakotavat ovat kaavamaisia ja saattavat johtaa suunnittelussa vääriin johtopäätöksiin. Tästä syystä on Helsingin kaupungin sähkölaitoksella tehty yhdistettyä sähkön ja kaukolämmön tuotantoa koskevat kustannuslaskelmat koko energian hankinnan osalta. Asian havainnollista- miseksi ja karkeaa alustavaa suunnittelua varten voidaan vastapainevoimalaitoksen kustannukset kuitenkin jakaa esimerkiksi ns. "vaihtoehtoisen lauhdutusvoimalaitoksen menetelmällä". Tällöin oletetaan, että lauhdutusvoimalaitos korvataan lämmitysvoimalaitoksella. Sähkön tuotannon osalle lasketaan samat yksikkökustannukset kuin lauhdutus- voimalaitoksella tulisi ja jäljelle jäävät kusan- nukset jaetaan lämmön osalle. Tarkastellaan esimerk- kinä samoja lauhdutus- ja vastapainelaitoksia kuin taulukossa 1. Voimalaitoksen rakentamiskustannuksiksi oletetaan 1 200 Mmk. Tästä aiheutuu vuotuisiksi pääomakustannuksiksi n. 120 Mmk. Voimalaitoksen vuotuisiksi käyttökustannuksiksi oletetaan 12 Mmk. Lauhdutusvoimalaitoksen yksikkökustannukset ovat silloin

- sähkön tehokustannukset  $k_p = 132 \text{ Mmk/a}/600 \text{ MW}$   
 $= 220 \text{ mk/kWa}$
- sähkön energiakustannukset  $k_w = 8 \text{ mk/MWh}$

Vastapainevoimalaitoksella lasketaan sähkön osalle samat yksikkökustannukset kuin lauhdutusvoima- laitoksessakin. Lämmön osalle jää siten seuraavat tehon ja energian yksikkökustannukset

- lämmön tehokustannukset  
 $k_\emptyset = \frac{(132-400 \cdot 0,22) \text{ Mmk/a}}{1400 \text{ MW}} = 31,4 \text{ mk/kWa}$
- lämmön energiakustannukset  
 $k_Q = \frac{8 \cdot (600-400) \text{ mk/h}}{1400 \text{ MW}} = 1,14 \text{ mk/MWh}$

Edellä esitetty laskemistapa on puhtaalla vastapaine- voimalaitoksellakin kovin kaavamainen, eikä peitä kaikkia käyttötilanteita, esim. apujäähdytintä käyttäen kehitettävän sähkön eikä reduktiolämmön kustannuksia.

Kuvassa 5 on verrattu edellä esitetyllä karkealla menetelmällä saatujen lämmön tuotantokustannusten rakennetta tavanomaiselta vastapainevoimalaitokselta sekä lämpökeskukselta otettavan lämmön kustannuksiin. Samaan tapaan kuin sähkön tuotannossa, muodostuu myös suuressa kaukolämmitysjärjestelmässä edullisin lämmön tuotantotapa pohjakuormana olevasta ydinlämmöstä, tavanomaisesta vastapainelämmöstä sekä huippulämmöstä, jona on lämpökeskuksissa öljyä polttaen tuotettu lämpö.

Väliottolauhdutusvoimalaitoksella ei em. laskenta-menetelmää ja kuvan mukaista kustannussuoraesitystä voi luotettavasti lainkaan käyttää. Väliottolauhdutusvoimalaitokselta voidaan nimittäin tarvittaessa aina saada täysi lauhdutusikäytön mukainen sähköteho rajoittamalla annettavaa kaukolämpötehoa ja kehittämällä lämpö muilla lämmitysvoimalaitoksilla ja huippulämpökeskuksia käyttäen. Kaukolämmön hankintaan tarvitaan tällöin luonnollisesti huippu- ja varatehoa myös samanaikaisen suuren sähkön ja lämmön tarpeen varalta. Väliottolauhdutuskoneiston joustavien käyttömahdollisuuksien takia ei voimalaitoksesta otettavan lämmön pääomakustannuksiin ole perusteltua laskea sähkötehon pienenemistä vastaavaa osuutta, vaan korkeintaan reserviksi tarvittavan lämpökeskuksen tehon kustannukset, jotka ovat suuruusluokkaa 8-10 mk/kWa, sekä lisäksi mahdolliset lämmitysvoimalaitosratkaisusta aiheutuvat lisäkustannukset. Väliottolauhdutusvoimalaitoksen sekä kiinteiden, että muuttuvien kustannusten jakaminen sähkölle ja lämmölle on niin monimutkainen ja mielivaltainen tehtävä, että on helpompaa jättää kustannusten jakaminen tekemättä ja suorittaa kaikki kustannusvertailut sähkön ja lämmön tuotannon kokonaiskustannusten kannalta.

### 3 Lämmitysvoimalaitoksen sijoitusongelmat

Kaukolämmön siirto ydinvoimalaitokselta vaatii kalliit siirtoputket kulutusalueille. Jotta lämmön hyväksikäyttö olisi kannattavaa, pitäisi laitos saada mahdollisimman lähelle suurta lämmön kulutuskeskittymää. Toisaalta turvallisuusnäkökohtien takia täytyy välttää sijoittamista liian lähelle asutuskeskusta. Nykyisten turvallisuuskäsitysten mukaan jouduttaisiin esimerkiksi pääkaupunkiseudun kokoisessa asutuskeskuksessa normaalista poikkeaviin laitoskonstruktioihin, jos ydinvoimalaitos rakennettaisiin esimerkiksi 15 km etäisyydelle Helsingin keskustasta. Myös muun maankäytön kannalta soveltuvan laitospaikan löytäminen on vaikeaa tiheästi asutulla seudulla. Myöhemmin tarkastellaan lähemmin pääkaupunkiseudulle suunniteltavana olevan ydinvoimalaitoksen kaukolämmön siirtoetäisyyden merkitystä.

#### 4 Pääkaupunkiseudun ydinvoimalaitossuunnitelmat

##### 4.1 Voimalaitoksien rakentamissuunnitelmat

Pääkaupunkiseudun ydinvoimalaitossuunnitelmista on viime aikoina esitetty tietoja mm. päivälehdissä. Pääkaupunkiseudun kunnat Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen asettivat n. 3 vuotta sitten nykyisen energiahuoltotoimikunnan tarkistamaan pääkaupunkiseudun energiahuoltoa koskevat suunnitelmat. Energiahuoltotoimikunta tilasi Ekono Oy:ltä tutkimuksen, jossa tarkistettiin Helsingin kaupungin sähkölaitoksella aikaisemmin tehdyn, alueen energiahuoltoa koskevan tutkimuksen tulokset sekä suoritettiin alueen tarpeisiin suunniteltujen ydinvoimalaitosten tehojen tarkistaminen. Myös ydinvoiman kilpailukykyyn maakaasua polttavien lämmitysvoimalaitosten kanssa kiinnitettiin selvityksessä paljon huomiota, samoin kaukolämmityksen kilpailukykyyn suoran maakaasulämmityksen kanssa. Ydinvoimaan perustuva sähkön ja kaukolämmön yhteistuotanto todettiin selvästi muita energiahuoltovaihtoehtoja edullisemmaksi ratkaisuksi pääkaupunkiseudun sähkön ja lämmön perusosan tuotannossa.

Pääkaupunkiseudun sähkön ja kaukolämmön tarveennusteet on esitetty kuvissa 6 ja 7. Ekonon tekemässä selvityksessä optimoitiin pääkaupunkiseudun ydinvoimalaitosten tehot ja saatiin kuvien 8 ja 9 mukaiset sähkö- ja kaukolämpötehojen rakentamissuunnitelmat. Laskelmien perusteella esitti Ekono, että Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen rakentaisivat 1980-luvun alkupuolella ydinvoimalaitoksen, jossa olisi kaksi n. 600 MW yksikköä, sekä 1990-luvun alkupuolella toisen suurin piirtein yhtä suuren laitoksen. Nämä tehot saataisiin kun laitos on lauhdutuskäytössä ja siis tuotetaan pelkästään sähköä. Ensimmäisestä ydinvoimalaitoksesta voitaisiin ottaa myös 2 x 1150 MW kaukolämpöä, jolloin samanaikaisesti saataisiin sähköä n. 2 x 440 MW. Jälkimmäisestä (1990-luvulla rakennettavasta) ydinvoimalaitoksesta otettaisiin kaukolämpöä vain 1000 MW. Toinen suunnitelluista laitoksista olisi Helsingin itä- toinen länsipuolella.

Ydinvoimalaitosvaihtoehtoa verrattiin selvityksessä silloin edullisimpana pidettyyn fossiilisia polttoaineita käyttäen toteutettuun energiahuoltovaihtoehtoon. Tässä vaihtoehdossa olisi rakennettu maakaasua polttavia lämmitysvoimalaitoksia, joissa käytetään yhdistettyä höyry- ja kaasuturbiiniprosessia. Kustannusvertailun tulokset on esitetty kuvassa 10. Tulosten mukaan ydinvoiman edullisuusero maakaasun käyttöön nähden on varsin selvä, ero vuosikustannuksissa on alkuvuosina n. 40...50 Mmk, sekä tarkasteluaikana keskimäärin n. 180 Mmk.

Mainitun Ekonon selvittelyn pohjalta ryhtyi energiahuoltotoimikunta neuvottelemaan Imatran Voima Osakeyhtiön kanssa pääkaupunkiseudun kuntien ja Imatran Voiman yhteisen ydinvoimalaitosyhtiön perustamiseksi. Voimalaitosyhtiötä koskevien neuvottelujen tulokset on esitetty julkisuudessa mm. päivälehtien palstoilla. Neuvotteluissa päädyttiin sopimusehdotukseen, jonka mukaisesti Imatran Voima saisi 50 % suunnitellun voimalaitosyhtiön osakkeista ja toiset 50 % jakautuisi pääkaupunkiseudun kunnille tai kuntien omistamille sähkölaitoksille. Sopimusehdotus on parhaillaan käsiteltävänä osapuolten päättävissä elimissä. Yhtiö rakennuttaisi kaksi ydinvoimalaitosta, joista toinen olisi Helsingin itä- ja toinen länsipuolella. Kummassakin laitoksessa olisi kaksi n. 1000 MW yksikköä, ensimmäinen laitos valmistuisi 1980-luvun alkupuolella ja toinen 1990-luvun alkupuolella. Pääkaupunkiseudun kuntien, samoin kuin Imatran Voiman osuus jokaisen yksikön tehosta olisi n. 500 MW. Tämä on lähellä Ekonon selvityksessä saatua optimitehoa riippuen tosin yksiköiden lopullisesta suuruudesta. Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten yhteinen kaukolämpöteho voisi niiden reaktoriteho-osuuden puitteissa olla selvityksessä saatu 2 x 1150 MW.

#### 4.2 Kaukolämmön siirtoetäisyyden merkitys

Pääkaupunkiseudun kaukolämmön tarvetta palvelevan ydinvoimalaitoksen sijoituspaikka vaikuttaa hyvin voimakkaasti kaukolämmön siirron kustannuksiin. Taulukossa 3 on esitetty sähkön ja kaukolämmön siirtojohtoista sekä tarvittavista tieyhteyksistä aiheutuvat investoinnit ja käyttökustannusten pääoma-arvo Helsingin kaupungin sähkölaitoksella tehtyjen laskelmien mukaan. Käyttökustannukset koostuvat lämmön siirtojohtojen huollosta sekä lämmön pumppauksesta ja lämpöhäviöistä aiheutuvista kustannuksista. Siirrettävänä kaukolämpötehona on laskelmissa ollut 2300 MW. Kustannuserot aiheutuvat pääasiassa kaukolämmön siirrosta. Kustannuslaskelmat on tehty vuoden 1973 alkupuolen lähtötietojen pohjalta. Nykyisen kustannustason mukaan olisivat varsinkin käyttö-kustannukset huomattavasti korkeammat.

#### 4.3 Teknisiä näkökohtia

Kaukolämmön siirtoa varten joudutaan pääkaupunkiseudulle rakentamaan erityinen lämmön kaukosiirtojärjestelmä. Kaukosiirtojärjestelmän muodostaisi Helsingin keskustan pohjoispuolelta kulkeva putkijohto, joka aikanaan kulkisi itäiseltä läntiselle ydinvoimalaitokselle ja yhdistäisi samalla alueen kaukolämpöverkot. Nykyiset ja myöhemmin rakennettavat kaukolämpöverkot liitettäisiin kaukosiirtojärjestelmään



todennäköisesti lämmönvaihtimia käyttäen. Pääsiirtojohto 2300 MW kaukolämpötehon siirtoa varten muodostuisi kahdesta putkijohdosta, joihin kumpaankin kuuluu 1,2 m läpimittainen meno- ja paluuputki.

Helsingin kaupungin sähkölaitoksella on eräässä diplomityössä alustavasti tarkasteltu kaukolämmön siirtolämpötilan merkitystä. Saatujen tulosten perusteella olisi edullista pyrkiä siihen, että ydinvoimalaitokselta lähtevän kaukolämmön kiertoveden lämpötila on korkeintaan 90...100°C. Nykyisissä Helsingin, Espoon ja Vantaan kaukolämpöverkoissa riippuu menoveden lämpötila kunkin hetkisestä ulkoilman lämpötilasta ja vaihtelee välillä 75...120°C. Mikäli voimalaitokselta lähtevän veden lämpötilaa alennetaan, joudutaan erikoisratkaisuihin esim. kuvan 11 mukaan. Lämmön syöttö kaukosiirtojohdosta jakeluverkkoihin tapahtuisi erityisten syöttöasemien kautta, jotka samalla olisivat lämmön huippu- ja varalaitoksina. Syöttöasemilla nostettaisiin kaukolämpöveden lämpötila tarvittaessa 120°C:een asti huippulämpökattiloiden avulla.

Turbiiniprosessi voisi olla kuvan 12 mukainen. Voimalaitoksen reaktorin toimiessa täydellä teholla saataisiin yhdestä yksiköstä sähköä 1000 MW, jos kaukolämpöä ei lainkaan oteta. Mikäli kaukolämpöä otetaan, pienenee saatava sähköteho, täydellä kaukolämpöteholla (1150 MW) saataisiin sähköä n. 840 MW.

Yhdistetyn prosessin ansiosta tulisi ensimmäisen laitoksen vuosihyötysuhde olemaan noin 50 %.

## 5 Muita julkisuudessa esiintyneitä ydinkaukolämmityssuunnitelmia

Yhdistetty sähkön ja kaukolämmön tuotanto ydinvoimalla on viime aikoina ollut esillä monessa maassa. Ruotsissa on tällä hetkellä jo toimiva ydinlämmitysvoimalaitos, nimittäin Ågesta Tukholmassa. Ågestan laitoksella saadaan kaukolämpöä 80 MW ja sähköä 10 MW. Lisäksi Ruotsissa on vireillä kolme laajaa ydinkaukolämmityssuunnitelmaa. Tukholman seudulle on suunniteltu ydinvoimalaitosta joka muistuttaa tehojensa ja alustavien teknisiä ratkaisuja koskevien suunnitelmiansa puolesta varsin läheisesti Helsingin ja naapurikuntien suunnitelmia.

Tukholman lähelle rakennettava ydinvoimalaitos tulee nykyisten suunnitelmien mukaan olemaan n. 900 MW suuruusluokkaa ja sijaitsemaan n. 25 km etäisyydellä Tukholman keskustasta. Muut Ruotsiin suunnitellut ydinkaukolämpösovellutukset olisivat Göteborgin seudulla, sekä Barsebäckin kolmas yksikkö, josta otettaisiin lämpöä Malmön, Landskronen ja Helsingborgin tarpeisiin.

Tsekkoslovakiassa on sekä Prahassa, että Brnossa suunniteltu ydinlämmitysvoimalaitoksen rakentamista. Prahaan suunniteltu laitos olisi samaa tyyppiä, kuin Loviisaan parhaillaan rakennetaan, mutta siitä otettaisiin myös kaukolämpöä n. 600 MW. Brnon voimalaitossuunnitelman mukaan olisi laitoksen sähköteho vain n. 100 MW ja kaukolämpöteho n. 400 MW.

Neuvostoliitossa on Leningradin lähellä rakenteilla ydinvoimalaitos, josta otetaan pieniä määriä (n. 50 MW) myös kaukolämpöä. Neuvostoliiton pohjoisosiin on suunniteltu pieniä muutaman megawatin tehoisia ydinlämmitysvoimalaitoksia lähinnä vaikeiden kuljetusyhteyksien takia.

Myös Sveitsissä on esitetty ajatuksia ydinvoiman käytöstä kaukolämmitykseen. Nämä ajatukset lienevät kuitenkin niin yleisluonteisia, että konkreettinen toteuttaminen on varsin kaukana.

## 6 Tulevaisuuden näkökohtia

Reaktorityyppi vaikuttaa huomattavasti siihen, paljonko lämmitysvoimalaitokselta saadaan sähköä tietyllä kaukolämpöteholla. Kaasujäähdytteisen korkealämpötilareaktorin soveltaminen kaukolämpökäyttöön antaisi samalla kaukolämpöteholla yli kaksinkertaisen vastapainesähkötehon kevytvesireaktoriin verrattuna. Pääkaupunkiseudun myöhemmissä voimalaitoshankkeissa voisi kaasujäähdytteinen reaktori olla tässä mielessä varsin hyvä ratkaisu.

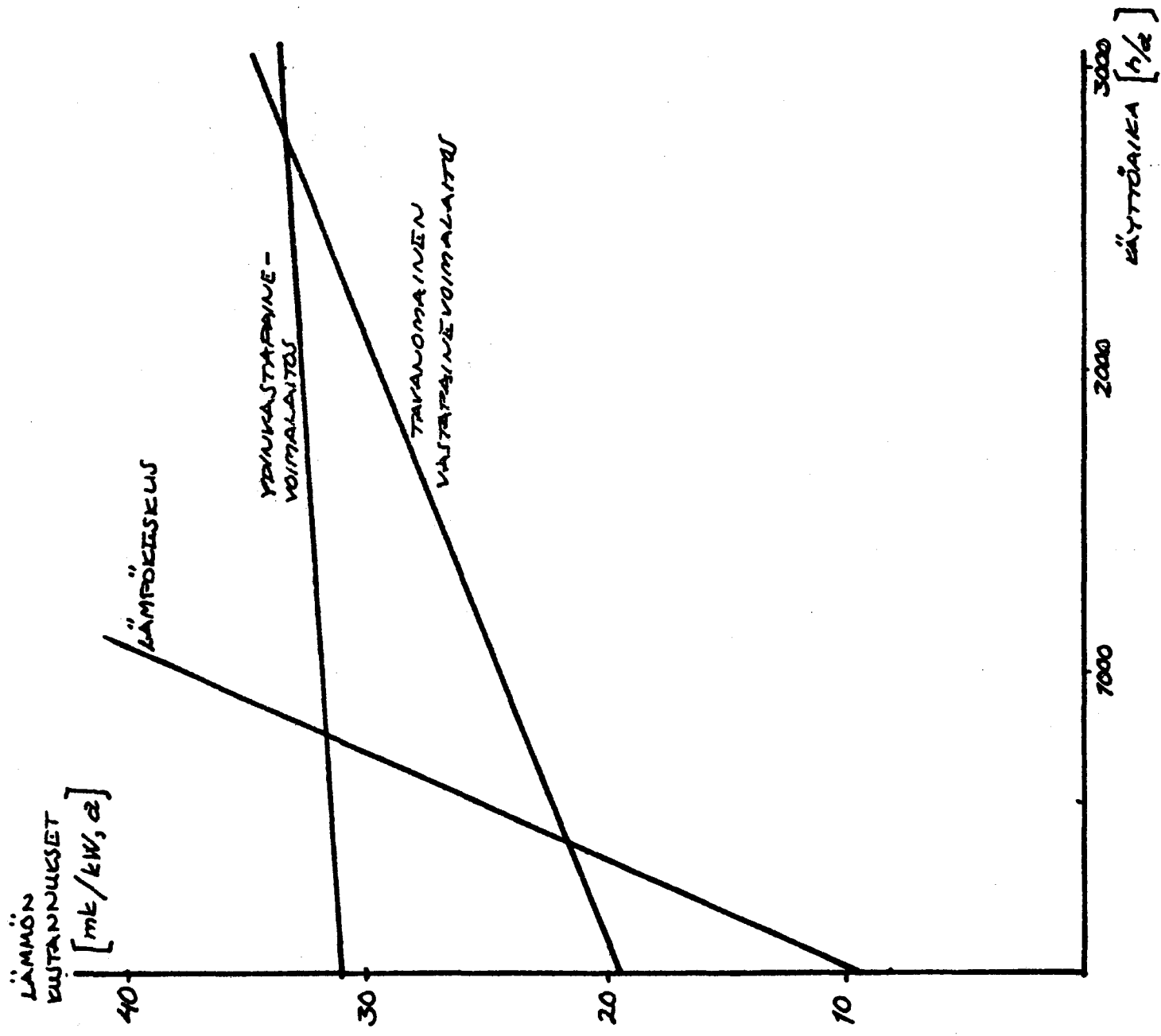
Ydinvoimalaitosten jätelämmön hyväksi käyttämistä kaukolämmön muodossa rajoittaa lämmön suuret siirtokustannukset. Siirtokustannusten alentamiseksi on esitetty mm. muoviputkien ja kalliotunneleiden käyttöä lämmön siirtojohtoina. Ruotsalainen P. H. Margen on esittänyt useita kaukolämmön käyttökelpoisuutta ja siirron kannattavuutta parantamaan tarkoitettuja ajatuksia. Näihin kuuluu mm. lämmitysjärjestelmissä käytettävän veden lämpötilan tuntuva alentaminen, muovin käyttö lämmityslaitteissa esimerkiksi vesi-ilma lämmönvaihtimissa, lämmityspattereissa jne. Muita hänen ajatuksiaan on ollut mm. kaukolämmitysalueiden kytkeminen sarjaan ja kallioluolien käyttö lämminvesiakkuna. On vaikea sanoa mitkä Margenin ajatuksista tulevat käytäntöön, vaikeutena esim. kaukolämpöverkkojen lämpötilan alentamisessa on usein talojen vanhat lämmitysjärjestelmät, jotka edellyttävät korkeaa kaukolämpöveden lämpötilaa.

Taulukko 3

Kaukolämmön siirtoetäisyyden merkitys

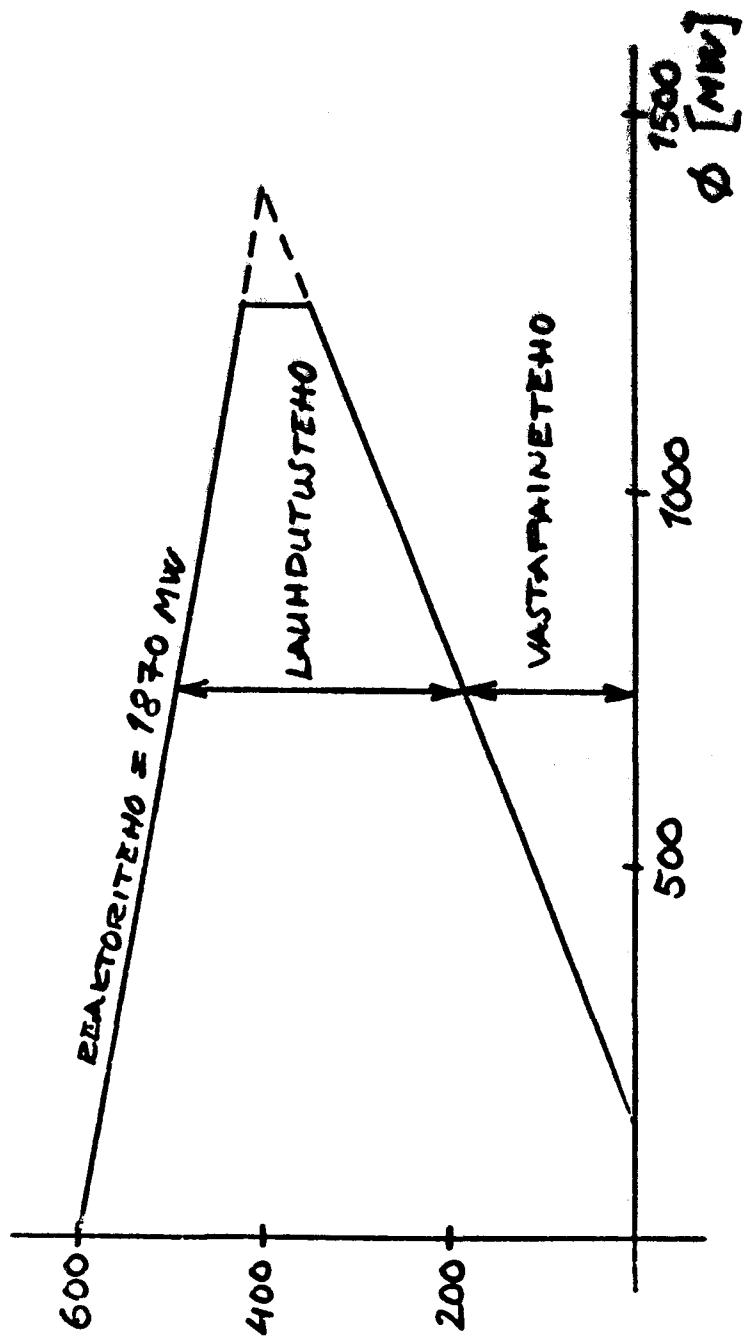
Siirrettävä kaukolämpöteho 2300 MW

Laitospaikka	1	2	3	4	6
Lämmön siirto- etäisyys km	18	19	29	33	49
Investoinnit Mmk	0	25	120	160	305
Käyttökust. (kapital.) Mmk	0	5	45	65	135
Kustannukset yht. Mmk	0	30	165	225	440

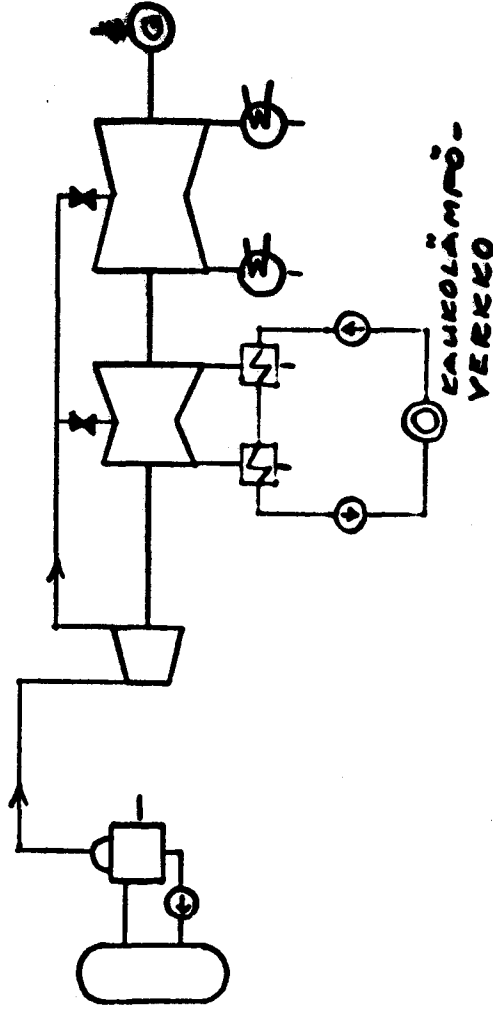


KUVA 5. LÄMMÖN KULUTANNUKSET kW: A JA VUOTTA KOHDEN NUOTUISEN KÄYTTÖAJAN FUNKTIONA

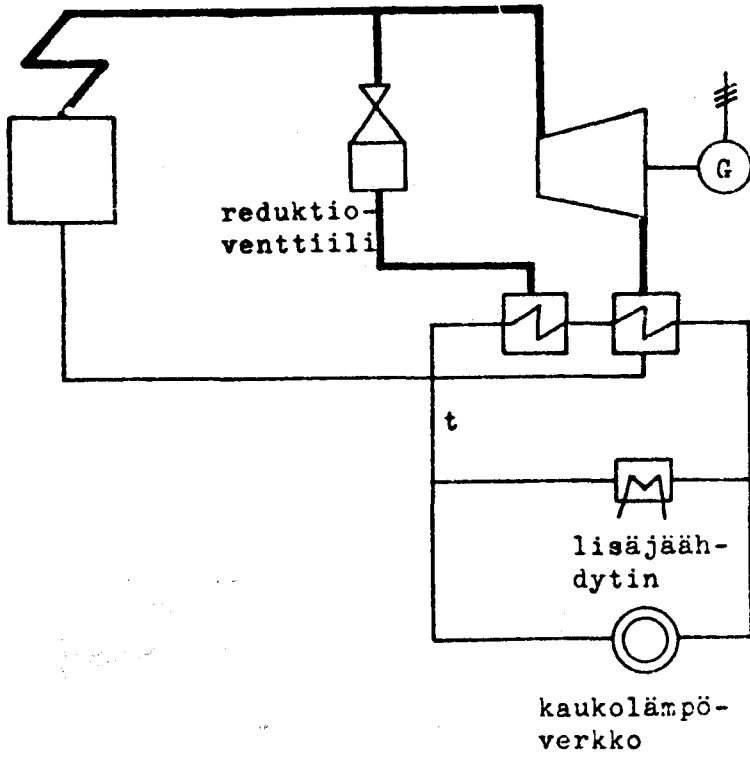
SÄHKÖTEHO  
P [MW]



KUVA 3. VOIMALAITOKSELTA SAATAVA SÄHKÖTEHO  
KAUKOLÄMPÖTEHON FUNKTIONINA

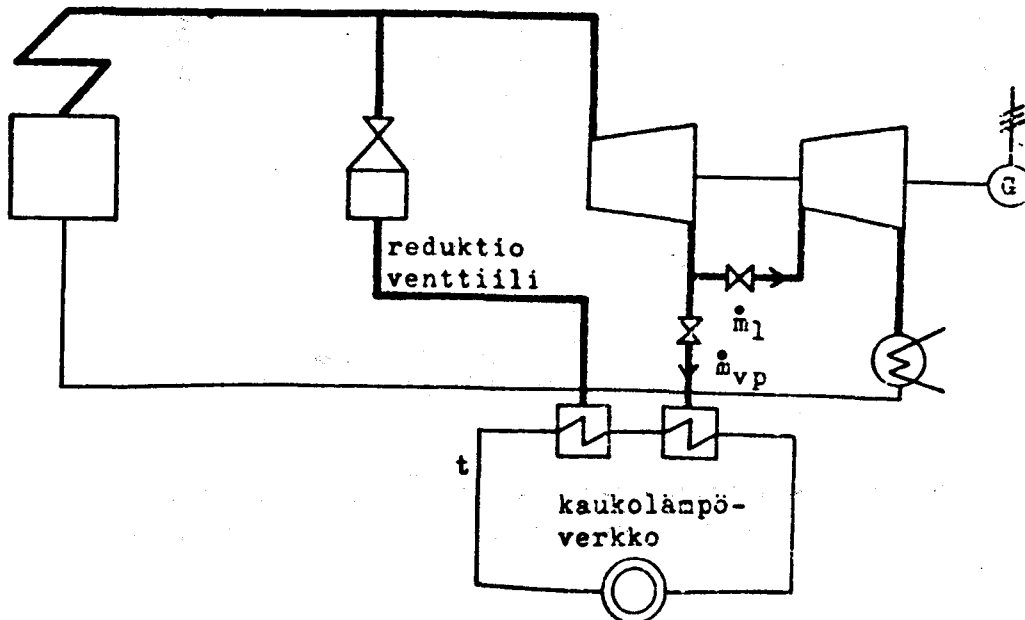


KUVA 4. KAUKOLÄMPÖKÄYTTÖN JOUVITETUN  
YDINVOIMALAITOKSEN NÖYRYPROSESSI



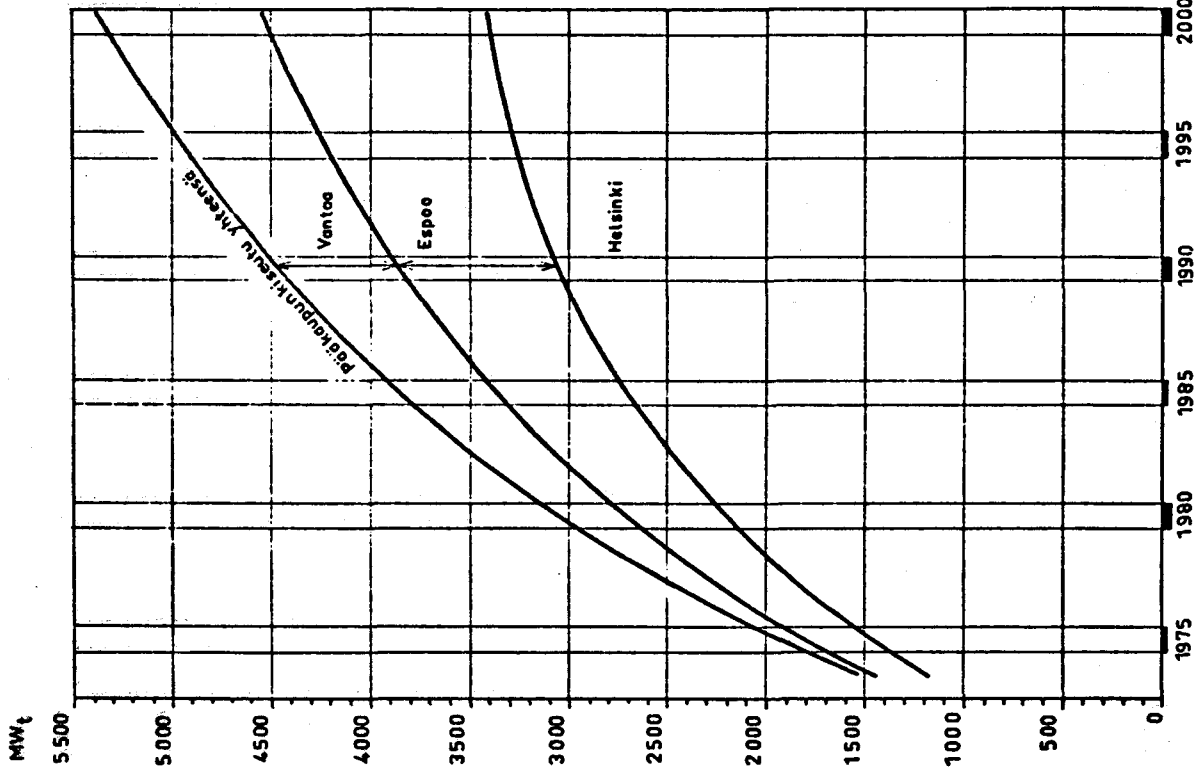
Kuva 1

VÄLIOTTOLAUHDETUSVOIMALAITOKSEN PERIAATEKAAVIO



Kuva 2

LIITE n:o 1-2 (8)



KUVA 7

ENERGIAHUOLTOTOIMIKUNTA  
PÄÄKAUPUNKISEUDUN KAUKO-  
LÄMMÖNTARPEEN KÄSIV. ENNUSTEET

**ESPOO**

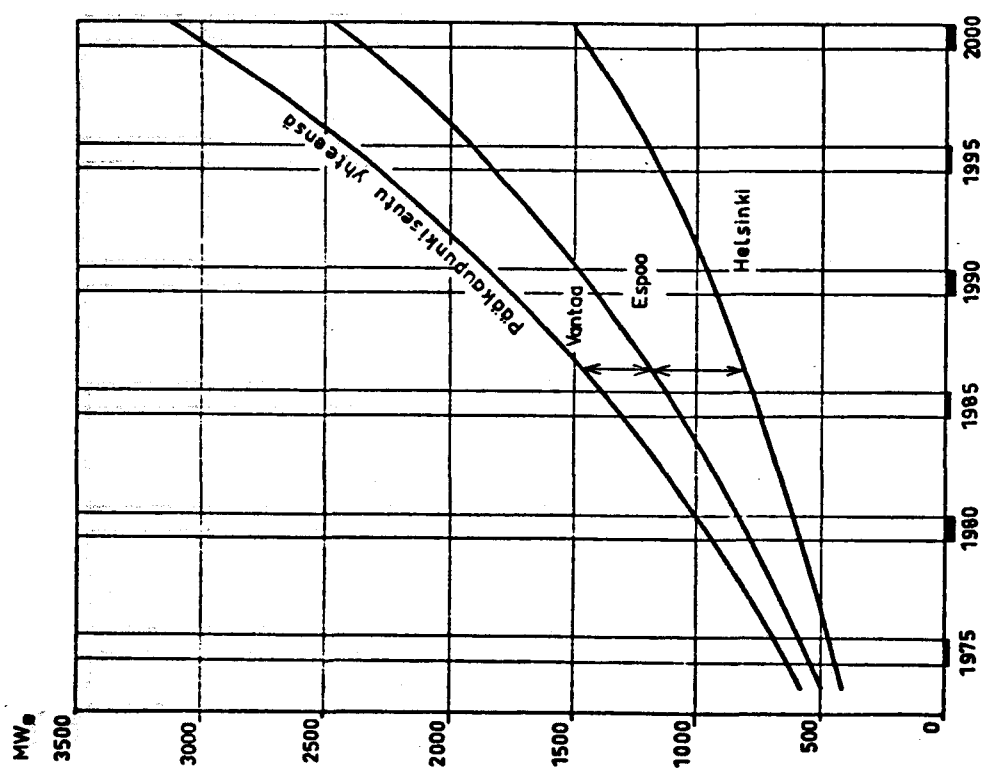
AY-21660  
27.12.1972  
ETR / AML

ENERGIAHUOLTOTOIMIKUNTA  
PÄÄKAUPUNKISEUDUN SÄHKÖN-  
TARPEEN KÄSIV. ENNUSTEET

**ESPOO**

7301E300

LIITE n:o 1-1 (8)



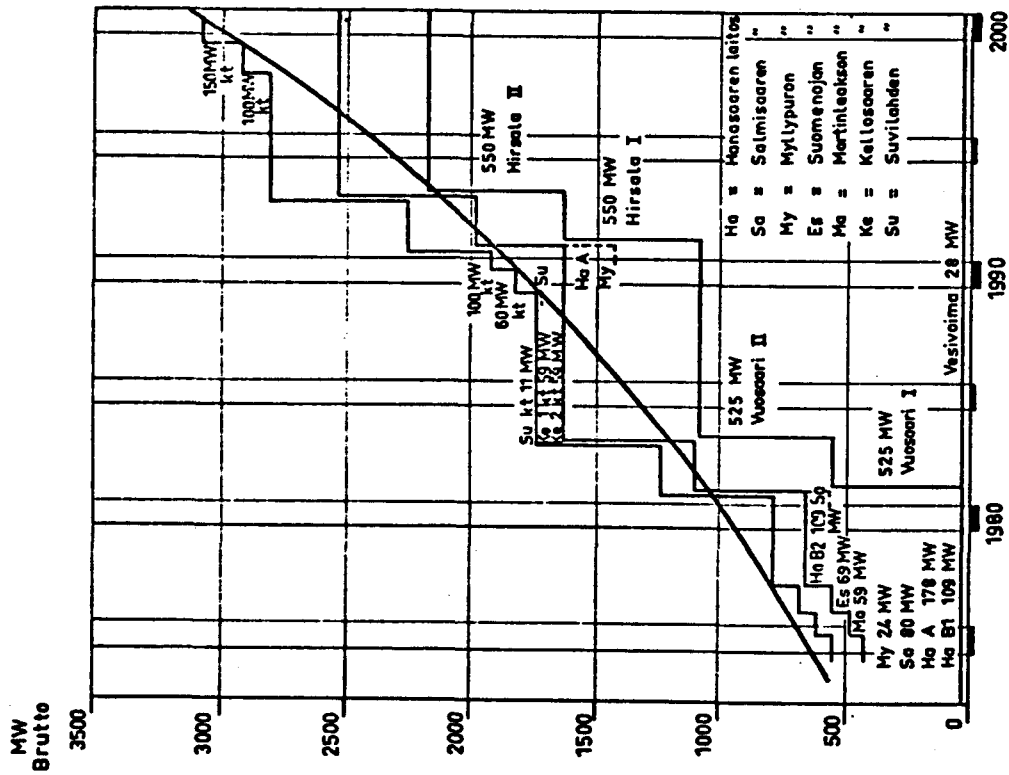
KUVA 6

ENERGIAHUOLTOTOIMIKUNTA  
PÄÄKAUPUNKISEUDUN SÄHKÖN-  
TARPEEN KÄSIV. ENNUSTEET

**ESPOO**

7301E300

LIITE n:o 2 - 1 (8)



KUVA 8



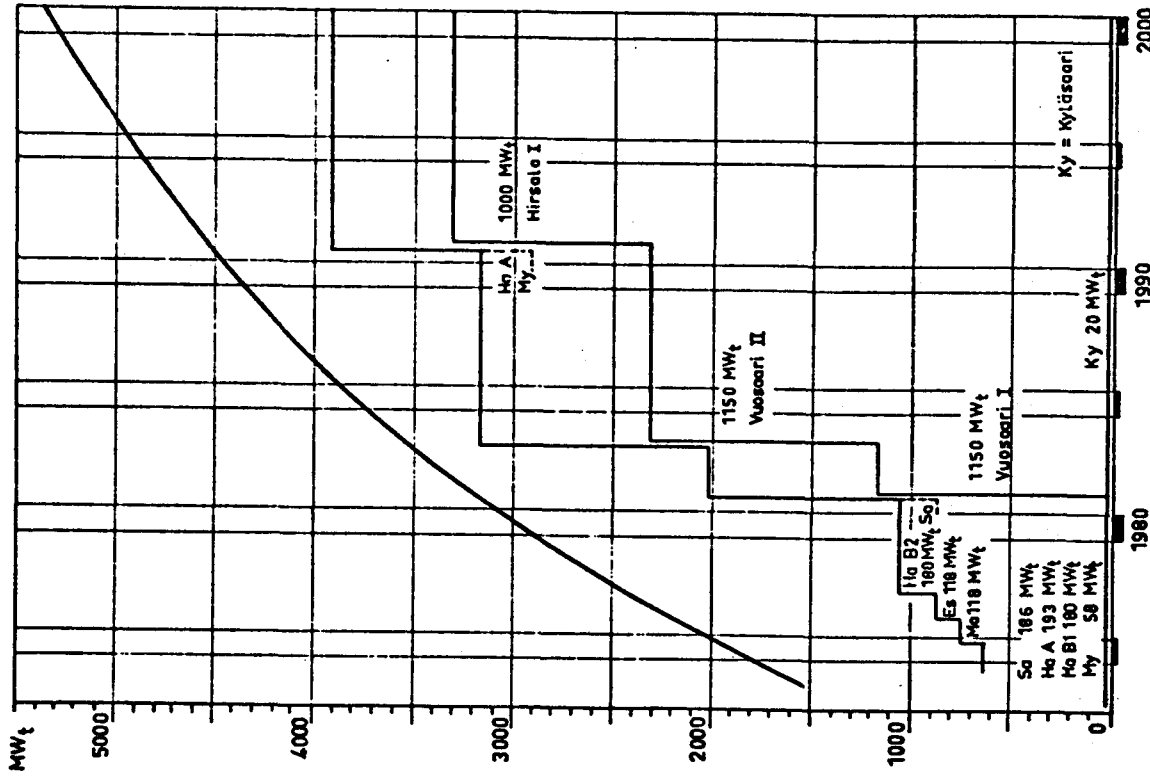
ENERGIAHUOLTOTOIMIKUNTA  
YHTEISHANKINNAN RAKENNUSSUOHJELMA  
SAHKO

AY-21660  
3.1.1973.

ETR/AHL

7301E313

LIITE n:o 2 - 2 (8)



KUVA 9



ENERGIAHUOLTOTOIMIKUNTA  
YHTEISHANKINNAN RAKENNUSSUOHJELMA  
KAUKOLÄMPÖ

AY-21660  
3.1.1973.

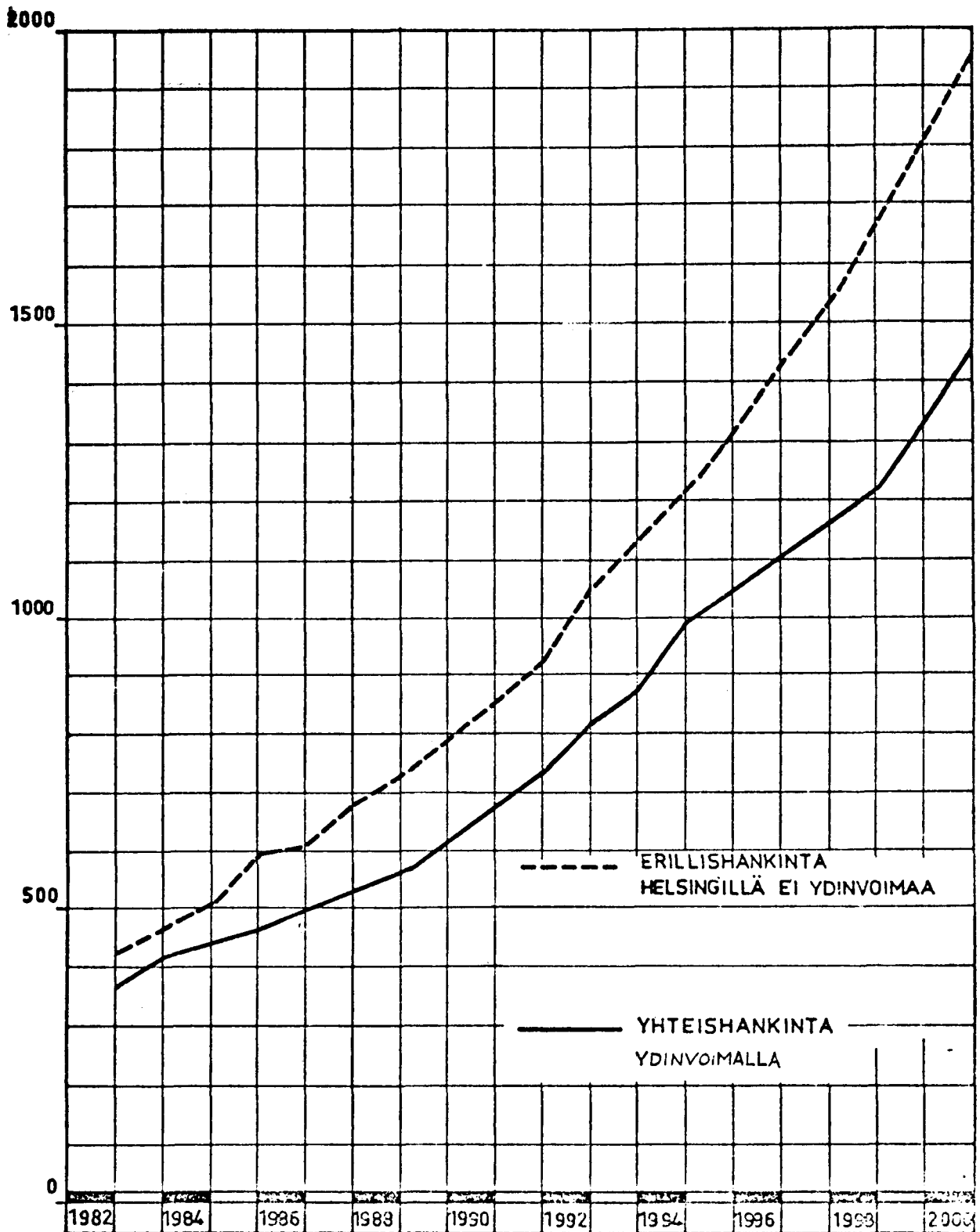
ETR/AHL

7301E314

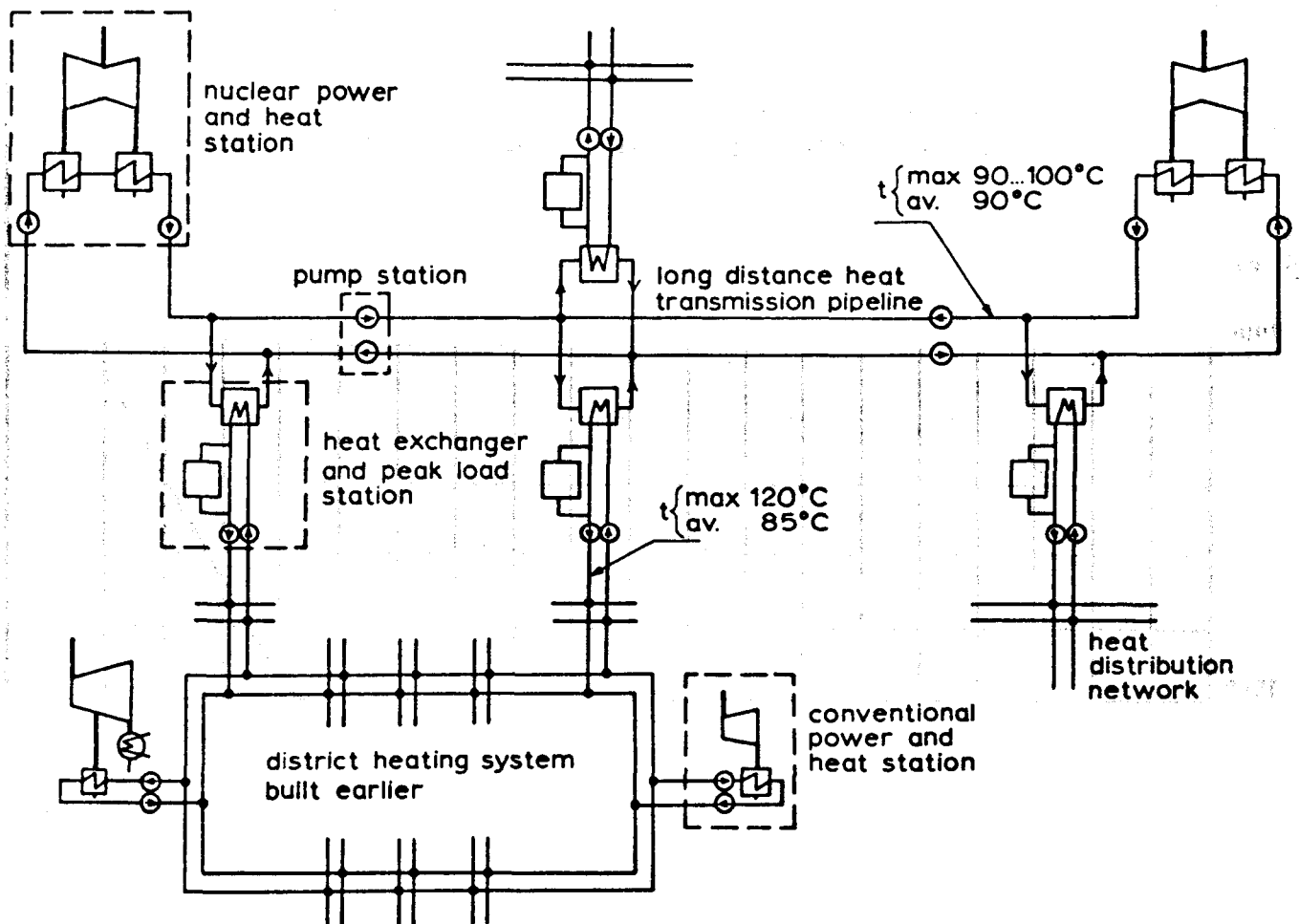


VUOSIKUSTANNUKSET  
HELSINKI, ESPOO JA VANTAA YHDESSÄ

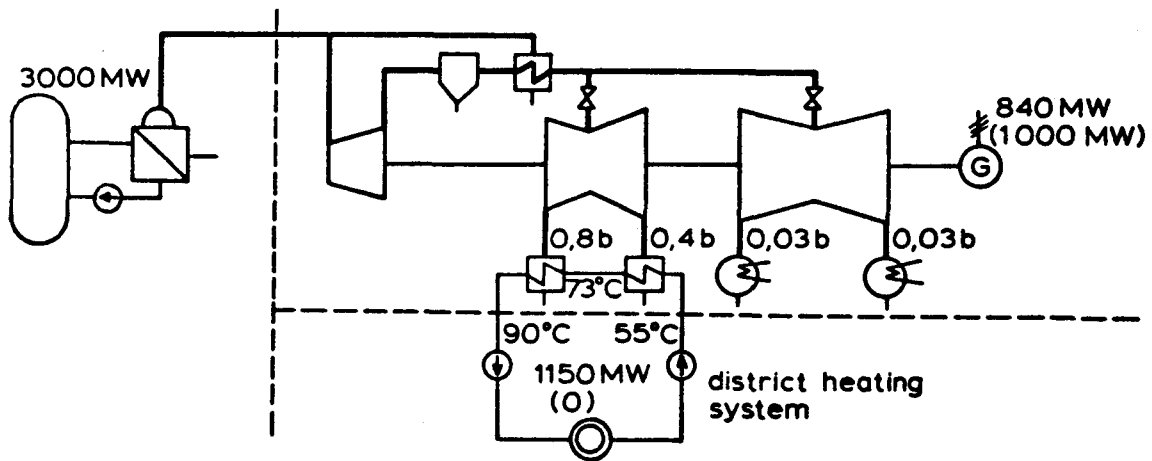
Mmk/v



KUVA 10



Kuva 11. Lämmönsiirtoratkaisu, kun voimalaitokselta lähtevän veden lämpötilaa on alennettu



Kuva 12. Pääkaupunkiseudun ensimmäisen ydinvoimalaitoksen höyryprosessin todennäköinen periaatekaavio

Esitelmä Suomen Atomiteknillisen Seuran kokouksessa  
1974-03-21

Risto Tarjanne

LÄMMITYSREAKTORIPROJEKTIN LOPPURAPORTTI:

Sisältö	sivu
1. Johdanto	1
2. Kaukolämmitys	3
3. Laitoksen teknillinen kuvaus	4
4. Lämmitysreaktorilaitoksen hinnan arviointi	6
5. Lämmitysreaktorilaitoksen lämmöntuottokustannukset	9
6. Lämmitysreaktorilaitoksen taloudellinen kilpailukyky muihin laitoksiin nähden	11
7. Yhteenveto	13
Kuvat	16
Taulukot	23
Liite 1: 100 MW:n lämmitysreaktorilaitoksen tärkeimmät teknilliset tiedot	
Liite 2: Lämmitysreaktorin virtauskaavio	
Liite 3: Lämmitysreaktorilaitoksen hinnan arviointi	

## ALKULAUSE

Pienitehoisen, pelkkää kaukolämpöenergiaa tuottavan lämmitysreaktorin soveltuvuustutkimus käynnistettiin projektimuodossa Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa 1972-06-01 Kauppa- ja teollisuusministeriön rahoituksella. Projektin loppuraportti valmistui 1974-02-27. Lämmitysreaktoriprojektiin käytetty työmäärä on noin kolme henkilötyövuotta tutkijoiden osalta sekä noin kaksi tutkimusharjoittelijoiden osalta. Varsinaisen lämmitysreaktoritutkimuksen lisäksi projektin tavoitteena on ollut antaa ydinvoimateknillistä koulutusta projektiryhmälle.

Projektiryhmän työtä on valvonut toimikunta, jonka puheenjohtajana on toiminut pääjohtaja Pekka Jauho (VTT), sekä jäseninä edustajat seuraavista laitoksista: Ekono Oy, Säteilyfysiikan laitos, Oy Finnatom Ab, Lämpölaitosyhdistys ry., KTM, Imatran Voima Oy, VTT, Nokia Oy ja Turun kaupungin sähkölaitos.

Lämmitysreaktori-idean kehittäely sai alkunsa siten, että professori Pekka Jauho, dipl.ins. Lasse Nevanlinna ja Ph.D. Tapio Eurola kokosivat asiaa selvittämään 1969 työryhmän, johon kuuluivat heidän lisäksi dipl.ins. Magnus von Bonsdorff, dipl.ins. Kalevi Numminen sekä tekn.lis. Jaakko Saastamoinen. Kauppa- ja teollisuusministeriö palkkasi tammikuussa 1971 allekirjoittaneen kokoamaan jo olemassa oleva lämmitysreaktoriin liittyvä materiaali sekä tekemään täydentävää selvitystyötä. Työhön kuului myös selvittää mahdollisuuksia käynnistää projekti lämmitysreaktorin toteuttamiskelpoisuuden tutkimiseksi.

Lämmitysreaktoriprojektin toteuttamistapaa harkittaessa oli esillä eri vaihtoehtoja projektin laajuuden, suorituspaikan, rahoituksen ym. suhteen. Sekä valmistavaa teollisuutta edustava Oy Finnatom Ab että Valtion teknillinen tutkimuskeskus olivat kiinnostuneita lämmitysreaktoritutkimuksesta ja tekivät projektiesityksensä Kauppa- ja teollisuusministeriölle. Erinäisten vaiheiden jälkeen päädyttiin lopulta siihen, että projekti sopisi alkuvaiheessa paremmin VTT:ssa toteutettavaksi.

Lämmitysreaktoriprojektin läpivienti on perustunut, paitsi ryhmän omaan työpanokseen, myös ulkopuolisilta saatuun asiantuntija-apuun, joka on tapahtunut joko keskustelujen, erillisten selvitysten tai sopivan tietomateriaalin hankinnan muodossa. Näistä tärkeimpinä mainittakoon projektia valvo-  
van toimikunnan lisäksi:

- Oy Finnatom Ab jäsenyrityksineen
- Ekono Oy
- Imatran Voima Oy
- Teollisuuden Voima Oy
- Institutt for Atomenergi (Norja, mech.eng. Einar Jamne).

Lämmitysreaktori on ensisijaisesti suunniteltu kaukolämpö-energian tuottoon. Tehtyjen suppeiden selvitysten perusteella on kuitenkin voitu osoittaa, että lämmitysreaktori soveltuisi myös matala-arvoisen prosessihöyryn tuottoon.

## 1. JOHDANTO

Yksinomaan lämpöenergiaa kehittävä lämmitysreaktori eroaa periaatteellisesti tavallisesta sähköä tuottavasta ydinvoimalaitoksesta siten, että siitä puuttuvat turbiinit ja generaattorit. Lämmitysreaktorin koko tulee valita optimaalisesti ottamalla huomioon koon vaikutus toisaalta laitoksen hintaan ja toisaalta markkinointimahdollisuuksiin. Lämmitysreaktorin soveltamisajankohta olisi 1980-luvulla, jolloin laitoksen optimi koko Suomen olosuhteita ajatellen olisi 100...200 MW(th).

Koska tehoyksikköä kohden laskettu reaktorilaitoksen hinta nousee voimakkaasti laitoksen pienentyessä, vaikuttaa lämmitysreaktorin pieni yksikkökoko sen kilpailumahdollisuuksiin huonontavasti. Toisaalta lämmitysreaktori voitaisiin rakentaa huomattavasti yksinkertaisemmaksi kuin vastaavan kokoiset sähköä tuottavat reaktorilaitokset. Jäähdytteen paine ja lämpötila olisivat alhaisia ja laitoksen säädölle asetettavat vaatimukset olisivat lieviä tavanomaiseen sähköä tuottavaan reaktorilaitokseen verrattuna.

Koska lämmitysreaktori edustaa uutta ydinenergian käyttömuotoa, sen suunnittelu laitoksen yksinkertaisuudesta huolimatta vaatii runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä. Valittaessa lämmitysreaktorin reaktorityyppiä pääargumenttina oli se, että reaktorilaitoksen tulee perustua mahdollisimman paljon jo hyväksi todettuihin reaktoriteknillisiin ratkaisuihin. Tällöin laitoksen vaatima tutkimus- ja kehitystyö pysyy kohtuullisena ja saavutetaan helpommin luotettava ja turvallinen lopputulos. Näin ollen päätettiin ensin, että valinta suoritetaan kevytvesireaktoreiden keskuudesta. Painevesireaktori katsottiin sopivammaksi kuin kiehutusvesireaktori osittain edullisten takaisinkytkentäominaisuuksiensa johdosta ja osittain siksi, että siinä voidaan pääosa reaktiivisuussäädöstä toteuttaa liuotetun myrkyllisen avulla. Suojarakennukseksi valittiin maan päällä sijaitseva kaksoiskontainmentti. Perustapauksena tutkittavan laitoksen tehoksi otettiin 100 MW(th).

Reaktorityypin ja suojarakennuksen suhteen tehtyjä valintoja, jotka ovat lähtökohtana tälle työlle, ei ole kuitenkaan suoritettu niin syvällisen tutkimuksen perusteella, että muut ratkaisut haluttaisiin ehdottomasti sulkea pois. Suunniteltu reaktorilaitos edustaa yleensäkin vain erästä mahdollista lämmitysreaktorilaitoskonstruktiota, joten tehdyt valinnat eivät välttämättä edusta optimaalisia ratkaisuja.

Koska pienenä laitoksena lämmitysreaktorin käyttökustannukset saattavat nousta suhteellisen korkeiksi, on pyrittävä suunnittelemaan laitos, jonka käyttö on mahdollisimman yksinkertaista. Lisäksi lämmitysreaktorin käyttövarmuuden takaamiseksi laitoksen on oltava toiminnaltaan erittäin luotettava.

Lämmitysreaktorin taloudellisen kilpailukyvyn selvittämiseksi on arvioitu suunnitellun laitoksen hinta, ja sitä on edelleen käytetty lämmöntuottokustannusten määrittämiseen.

## 2. KAUKOLÄMMITYS

### 2.1 Toiminta-arvot

Rakennusten kaukolämmitys hoidetaan Suomessa valtaosiltaan vesikaukolämmityksenä, joka on yleensä suunniteltu siten, että laitokselta lähtevän veden lämpötila on korkeintaan  $120^{\circ}\text{C}$  ja laitokselle palaavan alle  $70^{\circ}\text{C}$ . Mainitut raja-arvot saavutetaan vain täydellä kuormituksella ulkoilman lämpötilan ollessa  $-27^{\circ}\text{C}$ . Siten riittää suurimmaksi osaksi lämmityskautta menoveden lämpötila  $\leq 100^{\circ}\text{C}$ . Paluuveden korkeimman lämpötilan  $70^{\circ}\text{C}$  rajoittaa paluujohtoon lämpölaajeneminen.

Kuvassa 1 on esitetty kaukolämpötehtötarpeen pysyvyyskäyrä etelä-Suomen olosuhteissa. Pysyvyyskäyrän osoittama tehtötarve jaetaan yleisen käytännön mukaisesti pohja- ja huippukuormaan. Jos pohjatehoksi otetaan 50 % huippuarvosta saadaan pohjatehontarpeeksi vuosikäyttäjäksi n. 6100 tuntia. Laitos, jonka teho on n. 50 % huipputehosta, tuottaa n. 85...90 % energian koko tarpeesta.

## 2.2 Laitokset

Kaukolämpöenergiaa saadaan nykyisin joko pelkää lämpöä tuottavista vesikattilalaitoksista tai sekä lämpöä että sähköä tuottavista lämmitysvoimalaitoksista (vastapainevoimalaitokset ja väliottolauhdutusvoimalaitokset). Vesikattilalaitoksia käytetään silloin, kun lämmöntarve on pieni tai vuotuinen käyttöaika lyhyt. Niitä rakennetaan myös vara- ja huippulämmitystarkoituksiin sekä uuden verkon ensimmäisiksi lämmöntuottajiksi. Polttoaineena on yleensä öljy, mutta laitokset voidaan suunnitella myös muille polttoaineille, esimerkiksi kivihillelle tai turpeelle. Lämmitysvoimalaitoksissa käytetään joko öljyä tai kivihiiltä.

Lämmitysreaktori olisi pääomavaltainen kaukolämmöntuotto-tapa, jossa polttoainekustannukset ovat pienet. Siten laitos soveltuisi vain pohjakuorman tuottoon, ja sen kilpailukyky riippuisi ensisijaisesti reaktorilaitoksen hinnasta. Konventionaalisten laitoksen osalta taas polttoainekustannukset muodostavat pääosan tuotetun lämpöenergian hinnasta, joten konventionaalisen polttoaineen hinnalla on oma merkittävä vaikutuksensa lämmitysreaktorin kilpailumahdollisuuksiin.

## 2.3 Siirtoputkisto

Laitoksen etäisyydellä kaukolämmitettävästä alueesta on myös vaikutusta lämmitysreaktorin kannattavuuteen. Turvallisuusnäkökohdat saattavat nimittäin vaatia laitoksen sijoittamista jonkin verran kauemmaksi kaukolämmitettävästä alueesta kuin vastaava konventionaalinen laitos. Toisaalta kuitenkin on mahdollista sopivia lisäturvallaitteita käyttämällä saada laitos niin turvalliseksi, että se voidaan sijoittaa kulutuskeskuksen läheisyyteen.

Taloudellisuusvertailuissa on putkistokustannuksilla merkitystä ydinkäyttöisen laitoksen osalta, mikäli se jouduttaisiin sijoittamaan erilleen varsinaisesta jakelujohdosta. Jos käytetään 100 MW:n laitoksen siirtoputkiston investointikustannuksina 1.3 Mmk/km, olisivat esim. 6...7 km:n sijoitusetäisyydestä aiheutuvat lisäkustannukset n. 10 % lämmitysreaktorilaitoksen hinnasta.



## 2.4 Kaukolämmityksen laajuus ja kasvuennusteet

Siirtyminen kaukolämmitykseen alkoi Suomessa 1950-luvulla ja tämä lämmitystapa tulee laajenemaan edelleen voimakkaasti lähimpien vuosikymmenien aikana. Ennusteiden mukaan v. 1990 noin neljännes koko rakennuskannan lämmöntarpeesta tyydytetään kaukolämmityksellä. Kaukolämpötehon kasvuennuste on kuvassa 2.

Lämmitysreaktorilaitoksen sijoittaminen kaukolämpöjärjestelmään edellyttää luonnollisesti riittävän suurta lämpötehon tarvetta. Minimikokona voitaneen pitää tapausta, jossa lämmitysreaktorilaitoksen teho on noin puolet verkon huipputarpeesta. Taulukko 1 esittää kaukolämmitysjärjestelmien tehoja ja energian määrää vuosina 1970...2000 eri paikkakunnilla. Jos pidämme lämmitysreaktorin pienimpänä taloudellisena kokona 100 MW:n suuruista yksikköä, havaitaan seitsemän paikkakunnan ylittävän laitostehon kaksinkertaisesti v. 1980 sekä yhdentoista paikkakunnan v. 1990. Kun pääkaupunkiseutu jätetään pois, jää potentiaalisiksi markkina-alueeksi v. 1990 seitsemän kaupunkia. Lisäksi tulee kysymykseen Turku, jota ei ole merkitty taulukkoon.

## 3. LAITOKSEN TEKNILLINEN KUVAUS

Suunniteltu lämmitysreaktori on painevesireaktorityyppiä. Reaktorin terminen teho on 100 MW, joka menee kokonaisuudessaan kaukolämpöverkkoon. Mitoitusolosuhteissa (ulkolämpötila  $-27^{\circ}\text{C}$ ) reaktorilla nostetaan kaukolämpöveden lämpötila  $70^{\circ}\text{C}$ :sta  $100^{\circ}\text{C}$ :een. Loppuosa vaaditusta lämpötilasta ( $120^{\circ}\text{C}$ ) nostetaan 75 MW:n kuumavesikattilalla. Tällöin reaktorin teho on n. 60 % kaukolämpöverkon huipputehosta. Lisäksi laitoksella on toinen samantehoinen kuumavesikattila varatehon saannin takaamiseksi.

Kuvassa 3 on laitoksen yksinkertaistettu virtauskaavio. Siihen on merkitty paksuilla viivoilla lämmönsiirtopiirit, jotka toteuttavat laitoksen varsinaisen tehtävän. Niiden

kautta siirretään reaktorissa kehitetty lämpöenergia kuluttajille. Reaktorin radioaktiivisen jäähtytteen ja kuluttajan käyttö- sekä radiaattoriveden välissä on kaksi suljettua kiertovesipiiriä: välipiiri ja kaukolämpöpiiri.

Laitoksen tärkeimmät tekniset tiedot ja yksityiskohtaisempi virtauskaavio on esitetty liitteissä 1 ja 2.

Reaktorin sammutuksen jälkeen syntyvän jälkilämmön poistamiseksi laitoksella on jälkijäähtytysjärjestelmät. Ne muodostavat lisäksi osan reaktorin hätäjäähtytysjärjestelmästä, joiden tulee varmistaa sen turvallinen jäähtytys kaikissa olosuhteissa. Reaktorin suojarakennuksella on omat ilmanjäähtytys- ja -puhdistusjärjestelmät, jotka myös rajoittavat onnettomuuden vaikutuksia ympäristöön. Kaikkien turvallisuuteen vaikuttavien laitteiden käyttövoima saadaan tarvittaessa varatehojärjestelmästä. Lisäksi reaktorin ja ympäristön kannalta välttämättömiä toimintoja on suorittamassa joukko apujärjestelmiä, joista tärkeimpiä ovat reaktorin jäähtytteen tilavuuden- ja kemiansäätöjärjestelmä, radioaktiivisten jätteen käsittelyjärjestelmät, ilmastointilaitteet sekä laitteistojen jäähtytysjärjestelmä.

Reaktorin järjestelmien suunnittelussa on yleensä sovellettu sähköä tuottavilla painevesireaktorilaitoksilla käytettyjä ratkaisuja. Suunnittelussa on noudatettu Yhdysvaltain atomienergiakomission (USAEC) hyväksymiä ydinvoimaloiden yleisiä suunnittelukriteereitä siltä osin kuin ne ovat tämän tyyppisessä suunnittelussa sovellettavissa. Komponenttien hintaan vaikuttava vaatimustaso on määritelty ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III:n koodiluokituksella.

Kuvassa 4 on esitetty lämmitysreaktorin reaktoriastia ja sydämen poikkileikkaus.

Reaktorirakennustyypiksi on valittu kaksoissuojarakennus (kuva 5). Lämmitysreaktorilaitoksen lay-out ilmenee kuvasta 6.

#### 4. LÄMMITYSREAKTORILAITOKSEN HINNAN ARVIOINTI

Lämmitysreaktorilaitoksen kustannusarvio on laadittu vuoden 1973 hintatason pohjalta. Liitteessä 3 on esitetty yhteenveto hinnan arvioinnista.

Kustannuksia arvioitaessa on käytetty kolmenlaisia perusteita:

- 1) Lähes kaikkien reaktorilaitoksen laitteiden sekä teräs-suojarakennuksen hinnat on saatu Oy Finnatom Ab:n vastauksesta lämmitysreaktoriryhmän suorittamaan tarjouskyselyyn, jossa on pyydetty tekemään tarjous kiinteään hintaan vuoden 1973 hintatasoon perustuen siten, että tarjotaan täydellisiä toimivia järjestelmiä yleisesti hyväksytyjen vaatimusten mukaisesti (yleensä vaadittu vähintään ASME Section III). Näihin tarjouksiin perustuvien erien osuus laitoksen primäärisistä rakentamiskustannuksista (välisumma 1) on 55 %.
- 2) Rakennuksien hinnat on määritetty teollisuudelta saatujen ominaishintojen pohjalta. Kaukolämpö- ja henkilökuntarakennuksien rakennustilavuushintana on käytetty 350 mk/m<sup>3</sup>. Apurakennuksen sekä reaktorivalvomon hintana on käytetty 500 mk/m<sup>3</sup>. Reaktorin suojarakennuksen betonirakenteiden (pohjarakenteet, sisäpuoliset rakenteet ja betoninen suo- jakuori) hinnat on sensijaan arvioitu betonin tilavuuden mukaan käyttäen hintaa 1800 mk/m<sup>3</sup>. Rakennuksien osuus (välisumma 1:stä) ilman terässuojakupua on n. 35 %.
- 3) Loput rakentamiskustannuksista (n. 10 % välisumma 1:stä) on arvioitu joko suoraan tai julkaisun "Small Nuclear Power Plants" (COO-284, Vol. 3) avulla 25 MW(e):n paine- vesireaktorilaitoksen mukaan, ottaen suhteellisesti huomioon kustannusten eron julkaisun tulosten ja nykytietojen välillä.

## 5. LÄMMITYSREAKTORILAITOKSEN LÄMMÖNTUOTTOKUSTANNUKSET

Verrattaessa lämmitysreaktorilaitoksen kilpailukykyä muihin lämmöntuottovaihtoehtoihin nähden ajatellaan lämmitysreaktorilaitoksen vesikattilaosa poisjätetyksi sekä tuotetun lämpöenergian että kustannusten suhteen. Vaikka vesikattilaosa itse toimivassa, lämpöä tuottavassa laitoksessa on järkevä ja kokonaiskustannuksia säästävä ratkaisu, olisi se lämmöntuottokustannusvertailussa ylimääräisenä monimutkaistavana tekijänä. Näin ollen käytetään seuraavassa 100 MW:n laitoksen hintana 85.6 Mmk ja 200 MW:n 123 Mmk (vrt. kohta 4).

Lämmitysreaktorilaitoksen lämmöntuottokustannukset määrätään siten, että ns. kiinteä (eli käyttöajasta riippumaton) ja muuttuva (eli käyttöaikaan verrannollinen) kustannus ovat erillään. Edellisen laatuna on mk/kW,v (= mk/kW, vuosi) ja jälkimmäisen p/kWh. Lämmöntuottokustannukset aiheutuvat 1) pääomakustannuksista, 2) käyttö-, kunnossapito- ja vakuutuskustannuksista, 3) polttoainekustannuksista, 4) omakäyttö-sähkönkulutuksesta sekä 5) siirtojohtokustannuksista.

### 5.1 Pääomakustannukset

Pääomakustannukset lasketaan käyttämällä 8 %:n vuotuista korkoa sekä 25 v:n kuoletusaikaa, jolloin annuiteetiksi saadaan 9.36 %/v. Pääomakustannuksiksi saadaan:

100 MW:n laitos: 80.1 mk/kW,v ,  
200 MW:n laitos: 57.5 mk/kW,v .

### 5.2 Käyttö, kunnossapito ja vakuutukset

Käytöstä, kunnossapidosta ja vakuutuksista aiheutuvat kustannukset oletetaan kiinteiksi vuosikustannuksiksi ja niiden suuruus yhteensä 3 %:ksi laitoksen hinnasta 100 MW:n laitokselle sekä 2.5 % 200 MW:n laitokselle eli markkamääräisesti

100 MW:n laitos: 25.7 mk/kW,v  
200 MW:n laitos: 15.4 mk/kW,v

### 5.3 Polttoainekustannukset

Polttoainekustannuksia laskettaessa käytettiin aluksi seuraavia hintoja:

- raakauraani ( $U_3O_8$ ) \$ 8/lb,
- konversio ( $U_3O_8 \rightarrow UF_6$ ) \$ 3/kgU,
- erotustyö \$ 36/erotustyön yksikkö,
- polttoaineen valmistus \$ 125/kgU,
- käytetyn polttoaineen jälleenkäsittely \$ 45/kgU,
- plutoniumhyvitys \$ 6/g fissiili plutonium.

Tällöin polttoainekustannuksia kuvaavaksi kustannuskarakteristikaksi saatiin 6 mk/kW<sub>v</sub> + 0.20 p/kWh. Myös ensimmäisestä latauksesta aiheutuva pääomakustannus on huomioitu tässä lausekkeessa. Olettamalla energian hinnan nousutendenssin heijastuvan uraanipolttoaineen hintaan siten, että kaikki kustannuskomponentit nousevat 25 %, saadaan kustannuskarakteristikaksi 7.5 mk/kW<sub>v</sub> + 0.25 p/kWh.

### 5.4 Omakäyttösähkö

Omakäyttösähköntarve 100 MW:n laitokselle on 1.6 MW jatkuvassa käytössä eli 1.6 % tuotetusta lämpötehosta. Käyttämällä sähkön hinnalle atomisähkön mukaista, polttoainekustannuksiltaan jonkin verran korotettua kustannuskarakteristikkaa 250 mk/kW(e)<sub>v</sub> + 1.2 p/kWh(e) saadaan omakäyttösähkötalon aiheuttamaksi kustannuskomponentiksi lämmön hinnassa 4 mk/kW<sub>v</sub> + 0.02 p/kWh.

200 MW:n laitokselle käytetään samaa kustannusta.

### 5.5 Siirtojohtokustannukset

Vertailtaessa eri laitostyyppien välisiä lämmöntuottokustannuksia riittää siirtojohtokustannusten osalta tieto eri vaihtoehtojen välisistä kustannuseroista. Lämmitysreaktorille melko epäedulliseksi esimerkkitapaukseksi on valittu se, että lämmitysreaktori sijaitisi 6 km etäällä kulutuskeskuksesta kuin vastaava konventionaalinen laitos. Tästä aiheutuisi 100 MW:n laitoksen kiinteisiin vuosikustannuksiin lisäys 8.2 mk/kW<sub>v</sub>. 200 MW:n laitokselle on vastaava lisäys arvioitu pienemmäksi eli 6.6 mk/kW<sub>v</sub>.

## 5.6 Kustannuskarakteristikat

Laskemalla yhteen kohtien 5.1...5.5 kustannukset saadaan

100 MW:n laitos: 125.5 mk/kW,v + 0.27 p/kWh,

200 MW:n laitos: 91 mk/kW,v + 0.27 p/kWh.

## 6. LÄMMITYSREAKTORILAITOKSEN TALOUDELLINEN KILPAILUKYKY MUIHIN LAITOKSIIN NÄHDEN

### 6.1 Yleistä

Lämmitysreaktorilaitoksen taloudellisen kilpailukyvyn arviointi on suoritettu Ekono Oy:n toimesta. Lämmitysreaktoria on verrattu öljykäyttöiseen vesikattilalaitokseen ja konventionaaliseen vastapainevoimalaitokseen. Jälkimmäisen polttoaineena on joko raskas öljy, hiili tai turve. Vertailu on suoritettu kahdella eri menetelmällä; ensiksi kustannuskarakteristikamenetelmällä ja toiseksi simulointimenetelmällä. Jälkimmäinen käsittely perustuu Tampereen kaupungin energiahuoltotietoihin, mutta tulokset ovat yleistettävissä myös pienempiin kaupunkeihin. Kullekin konventionaalille polttoaineelle on käytetty kahta eri hintaa.

Koska lämmön ja sähkön tuotanto liittyvät läheisesti yhteen, käytetyllä sähkön hinnalla on merkittävä vaikutus lopputuloksiin. Tässä tutkimuksessa oletamme, että konventionaalisen vastapainevoiman vaihtoehtona on ydinvoima.

Vertailussa käytetty vastapainevoimalaitos tuottaa 180.3 MW lämpöä ja 103.6 MW sähköä. Sen hinta riippuu käytetystä polttoaineesta seuraavasti:

- öljykäyttöinen 130 Mmk,
- hiilikäyttöinen 156 Mmk,
- turvekäyttöinen 182 Mmk.

Vesikattilalaitoksen hintana on käytetyt 120 mk/kW. 4000 tunnin käyttöaikaan vastaavan polttoainevaraston hinta on lisätty konventionaalisten laitosten hintaan. Tämän on arvioitu vastaavan lämmitysreaktorin sydämen polttoainelatauksen keskimääräistä varastoarvoa.

## 6.2 Kustannuskarakteristikamenetelmä

Vastapainevoimalaitoksen tuottaman lämpöenergian hinta lasketaan siten, että kokonaistuotantokustannuksista vähennetään tuotetun sähköenergian arvo. Sähkön hyvityshinta perustuu ydinvoimaan vuotuisen käyttöajan ollessa yli 1000 tuntia ja kaasuturbiinivoimaan lyhyemmillä vuosikäyttöajoilla. Kuvassa 7 on esitetty eri vaihtoehtojen kustannuskarakteristikat. Siitä nähdään, että lämmitysreaktorit ovat pitkillä vuosikäyttöajoilla useimmissa tapauksissa selvästi edullisempia kuin vastapainevoimalaitokset. Vesikattilalaitokseen nähden lämmitysreaktorit ovat edullisempia jo melko lyhyillä vuosikäyttöajoilla.

## 6.3 Simulointimenetelmä

Koska lämmön ja sähkön kulutuksen vaihtelut eivät ole samanlaisia, kustannuskarakteristikamenetelmä ei anna täysin oikeata tulosta eri vaihtoehtojen vertailussa. Tarkempaan lopputulokseen päästään, kun simuloidaan tietokoneella tunti tunnilta sekä energian kulutusta että tuottoa lämmön ja sähkön osalta. Silloin eri koneistoilla kehitetyt ja ostettavaksi jäävät energiamäärät vastaavat paremmin todellista tilannetta, ja voidaan laskea tarkemmat energiahankinnan kustannukset.

Lämmön ja sähkön kulutusarvoina on käytetty Tampereen tuntikulutuslukemia ja pysyvyyskäyriä vuoden 1990 tasolle korotettuina. Tuolloin lämpö- ja sähkötehon huipputehon tarpeet ovat vastaavasti 800 MW ja 390 MW.

Sähkön ja lämmön hankintakustannukset on laskettu jälle eri koneistokombinaatiolle. Tämä proseduuri on suoritettu kuusi kertaa: vastapainevoimalaitoksen kolmella eri polttoaineella (öljy, hiili ja turve) ja kahdella eri hinnalla. Taulukko 2 edustaa tapausta, jossa vastapainevoimalaitoksen polttoaineena on 30 mk/Gcal -hintainen öljy. Se osa sähkön kulutusta, jota ei tyydytetä omalla tuotannolla, ostetaan valtakunnan verkosta.

Muissa tapauksissa vastapainevoimalaitosten polttoaine ja polttoaineen hinta ovat: öljy 40 mk/Gcal, hiili 20 mk/Gcal, hiili 25 mk/Gcal, turve 12 mk/Gcal ja turve 18 mk/Gcal. Turvekäyttöiset vastapainevoimalaitokset edustavat teoreet-

tista vaihtoehtoa, koska suuritehoisia laitoksia ei ole olemassa, ja joka tapauksessa tällainen laitos tulee kysymykseen vain turvesoiden läheisyydessä.

Vesikattilalaitoksen polttoaineena käytetyn öljyn hinta on joko 30 tai 40 mk/Gcal vastapainelaitosten polttoaineen hintatason mukaan.

Simulointilaskelmien yhteenveto on esitetty taulukossa 3, jonka ensimmäinen rivi vastaa taulukon 2 kokonaiskustannuksia. Lisäksi mukaan on otettu kaksi uutta koneistovaihtoehtoa, missä kaksi 100 MW:n lämmitysreaktoria on korvattu 200 MW:n lämmitysreaktorilla. Tulokset osoittavat, että useimmissa tapauksissa 200 MW:n lämmitysreaktoriteho (joko 2·100 tai 1·200 MW) eli 25 % huipputehosta johtaa optimaaliseen tulokseen. Ainoa tapaus, jossa lämmitysreaktori ei ole kilpailukykyinen, perustuu halvempaan turpeen hintaan 12 mk/Gcal

Koska vertailulaskelmat on tehty vain yhden vuoden energiahuolto-ohjelman perusteella, inflaation vaikutus ei tule huomioonotetuksi. Jos laskelma suoritettaisiin pitemmälle aikavälille tiettyä inflaatioprosenttia käyttäen, lämmitysreaktorin kilpailukyky tulisi vielä paremmaksi.

## 7. YHTEENVETO

Yhteenvetona voidaan todeta, että lämmitysreaktorivaihtoehdon mukaanotto esimerkkikaupungin lämpöhuoltoon alentaa selvästi energiantuotantokustannuksia sekä öljy- että hiilikäyttöisiin vaihtoehtoihin nähden. Kaukolämmityksen pohjatehoa tuottavana laitoksena 100 MW:n lämmitysreaktori vaatisi sijoituspaikakseen asutustaajaman, jossa on vähintään 50 000 asukasta kaukolämmityskeskuksen piirissä.

Lämmitysreaktorin tuottaman lämpöenergian hinnassa polttoainekustannusten osuus on 10...15 %. Koska lämmitysreaktorilaitos voitaisiin rakentaa lähes täysin kotimaisen teollisuuden voimin, jäävät ulkomaanvaluutta vaativat kustannukset pieniksi. Hiili- ja öljypohjaisissa lämmöntuottovaihtoehtoissa ulkomaisella valuutalla maksettava polttoaine muodostaa pääosan lämpöenergian hinnasta. Esimerkkinä voidaan



mainita, että yhdellä 100 MW:n lämmitysreaktorilaitoksella, jonka vuosikäyttöaika on 6000 tuntia, saavutetaan vesikattilalaitokseen nähden noin 60.000 raskasöljytonnin säästö vuodessa. Tämä öljymäärä maksaisi nykyisen hintatason mukaan noin 15 Mmk, kun taas lämmitysreaktorin vastaava polttoainekustannus olisi noin 1.8 Mmk. Lämmitysreaktorilla olisi näin ollen varsin suotuisa vaikutus maksutaseeseen.

Lämmitysreaktorille asetettavat turvallisuusvaatimukset olisivat suuret, koska laitos sijaitsisi melko lähellä lämmönkuluttajia. Pienen paineen sekä muun yksinkertaisuuden ansiosta lämmitysreaktorilaitos voitaisiin ilmeisesti ilman suuria lisäkustannuksia varustaa sellaisilla lisäturvallisuuteilla, jotka mahdollistaisivat lähisijoituksen. Kysymykseen tulevat mm:

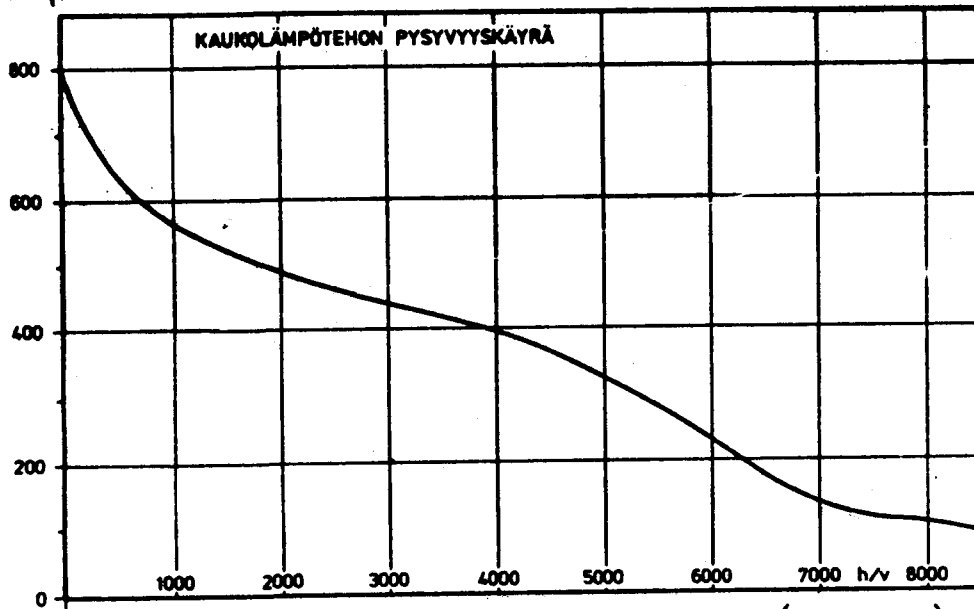
- kaksoispaineastiakonstruktio (melko helppo toteuttaa) tai
- betonipaineastia ja
- maanalainen sijoitus.

Asutustaajamien ilman saastumiseen vaikuttaisi lämmitysreaktorin käyttö edullisesti, koska savukaasuja ja lentotuuhkaa tuottavien konventionaalisten laitosten määrä vähenisi.

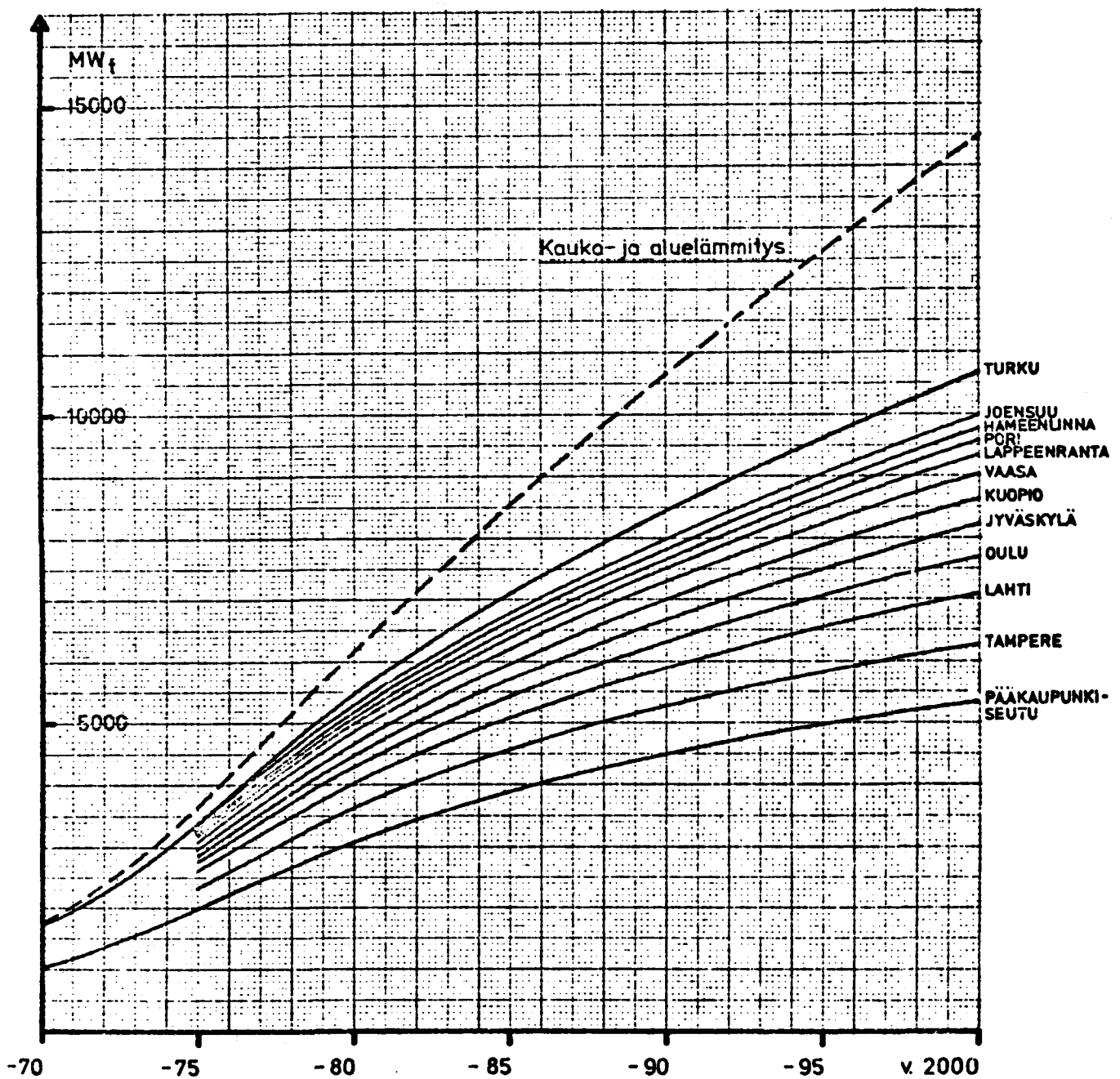
Mitä tulee lämmitysreaktorin toteuttamiskelpoisuuteen, niin ratkaisevana tekijänä olisi markkina-alueen laajuus. Lämmitysreaktoria varten vaadittavan kehitys- ja tutkimustyön kustannukset olisivat ilmeisesti niin suuret, että yksinomaan Suomeen mahdollisesti rakennettavat kaukolämpöä tuottavat lämmitysreaktorit eivät olisi taloudellisesti kannattavia. Markkina-alueen laajentamismahdollisuuksia ovat kansainvälinen yhteistyö sekä lämmitysreaktorin käyttö prosessihöyryn tuottoon. Kysymykseen tulisi myös suolanpoistolaitoksen tarvitseman lämpöenergian tuotanto. Lisäksi olisi mahdollista tuottaa sähköä sivutuotteena ilman kovinkaan suuria muutoksia paineissa ja lämpötiloissa.

Ilmeistä kuitenkin on, että tutkimusta kannattaa jatkaa, jolloin mukaan olisi myös saatava enemmän valmistavan teollisuuden ja käyttäjän panosta. Tällöin voitaisiin parantaa

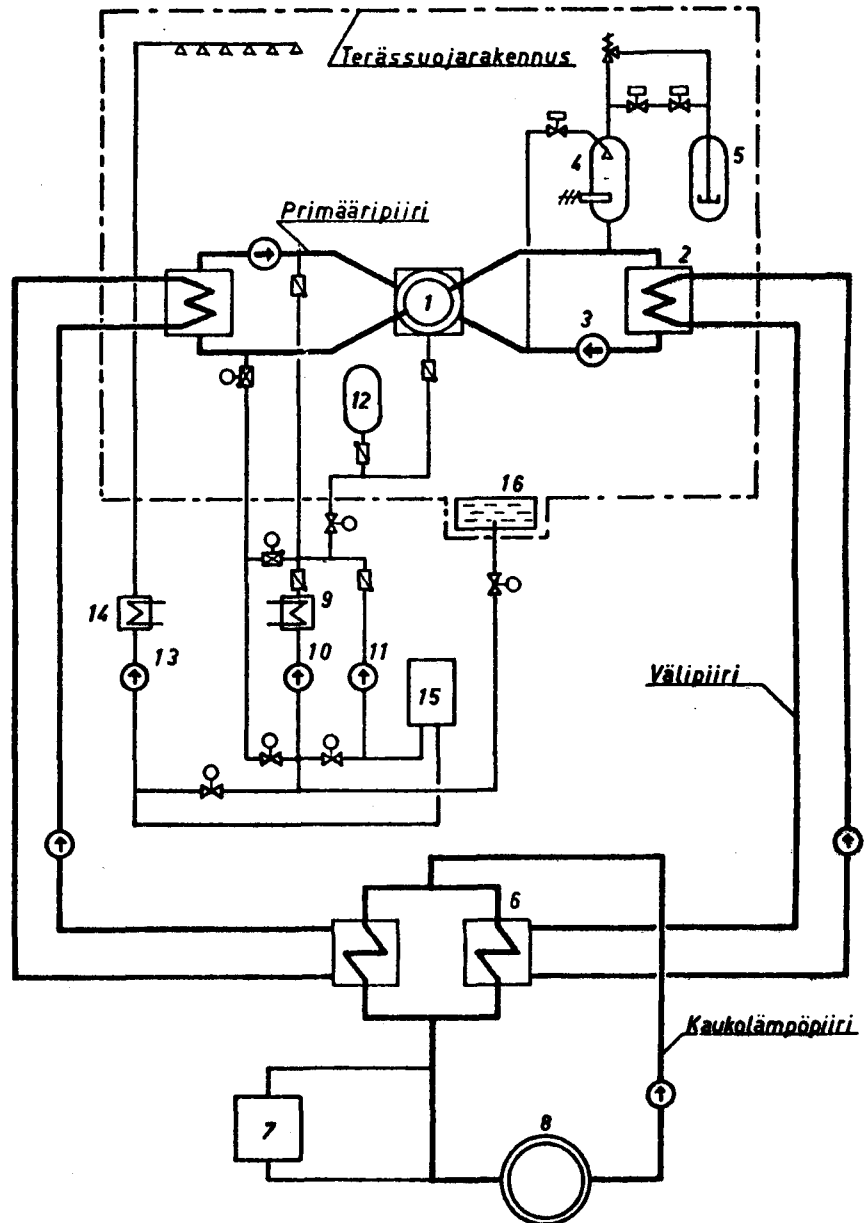
tässä työssä saatujen tulosten luotettavuutta ja tehdä täydentäviä selvityksiä, jolloin myös markkina-alueen laajenuskin olisi todennäköisempää.

Lämpöteho  
[MW<sub>t</sub>]

Kuva 1. Kaukolämpötehon pysyvyyskäyrä (Tampere)

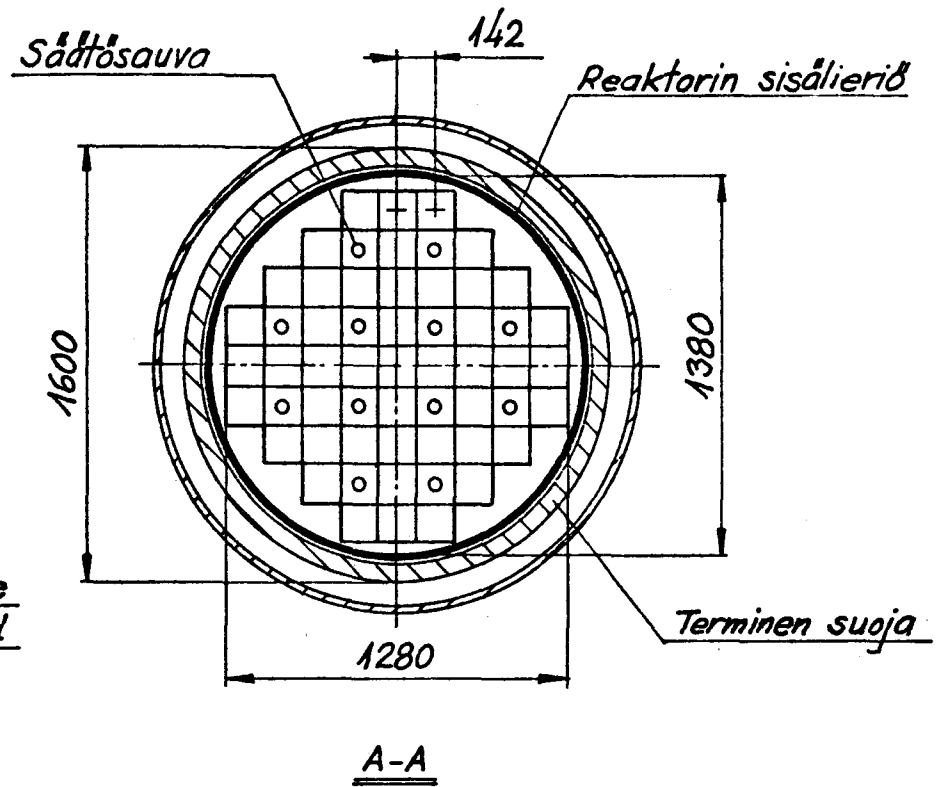
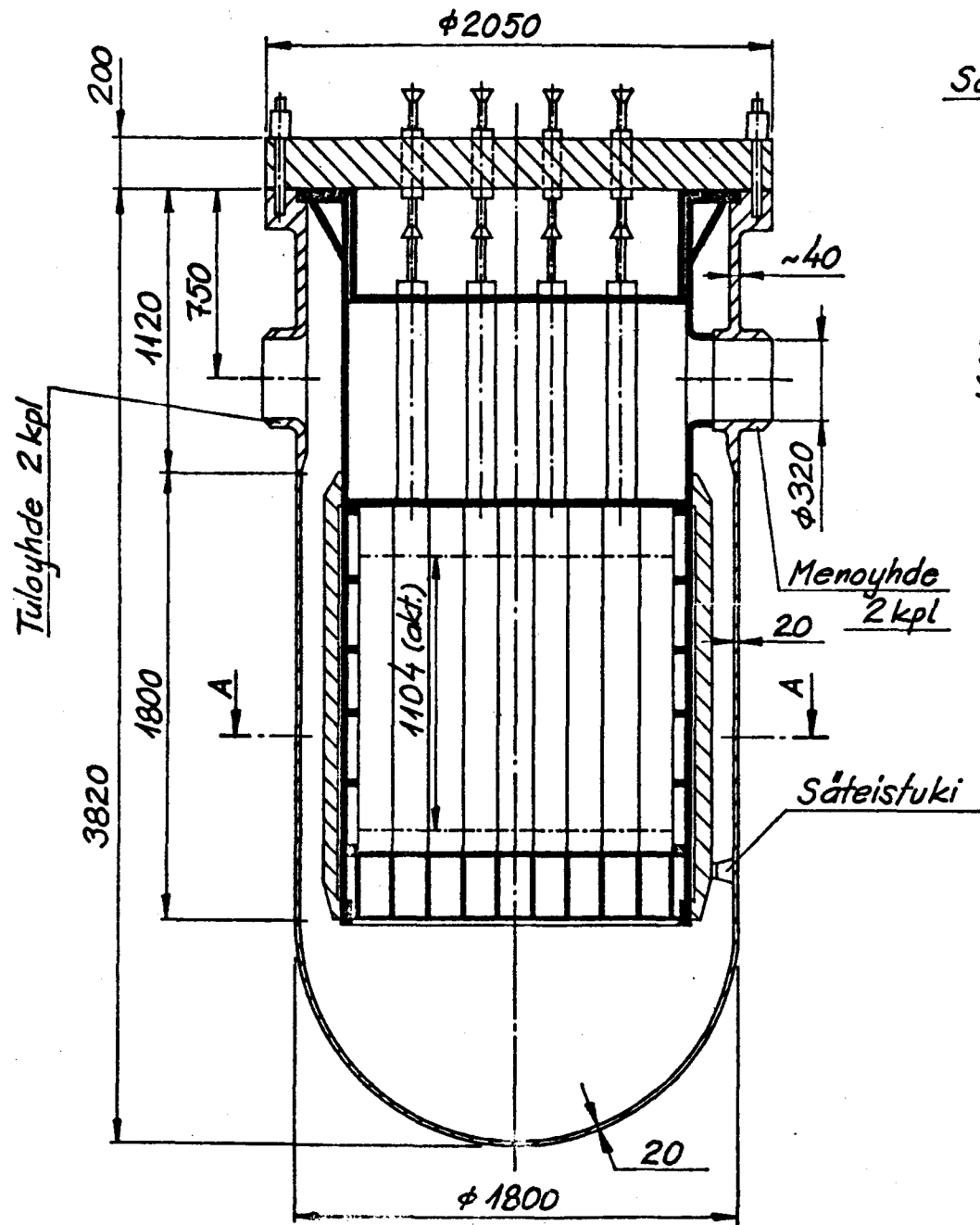


Kuva 2. Kaukolämpötehon alustava kasvuennuste



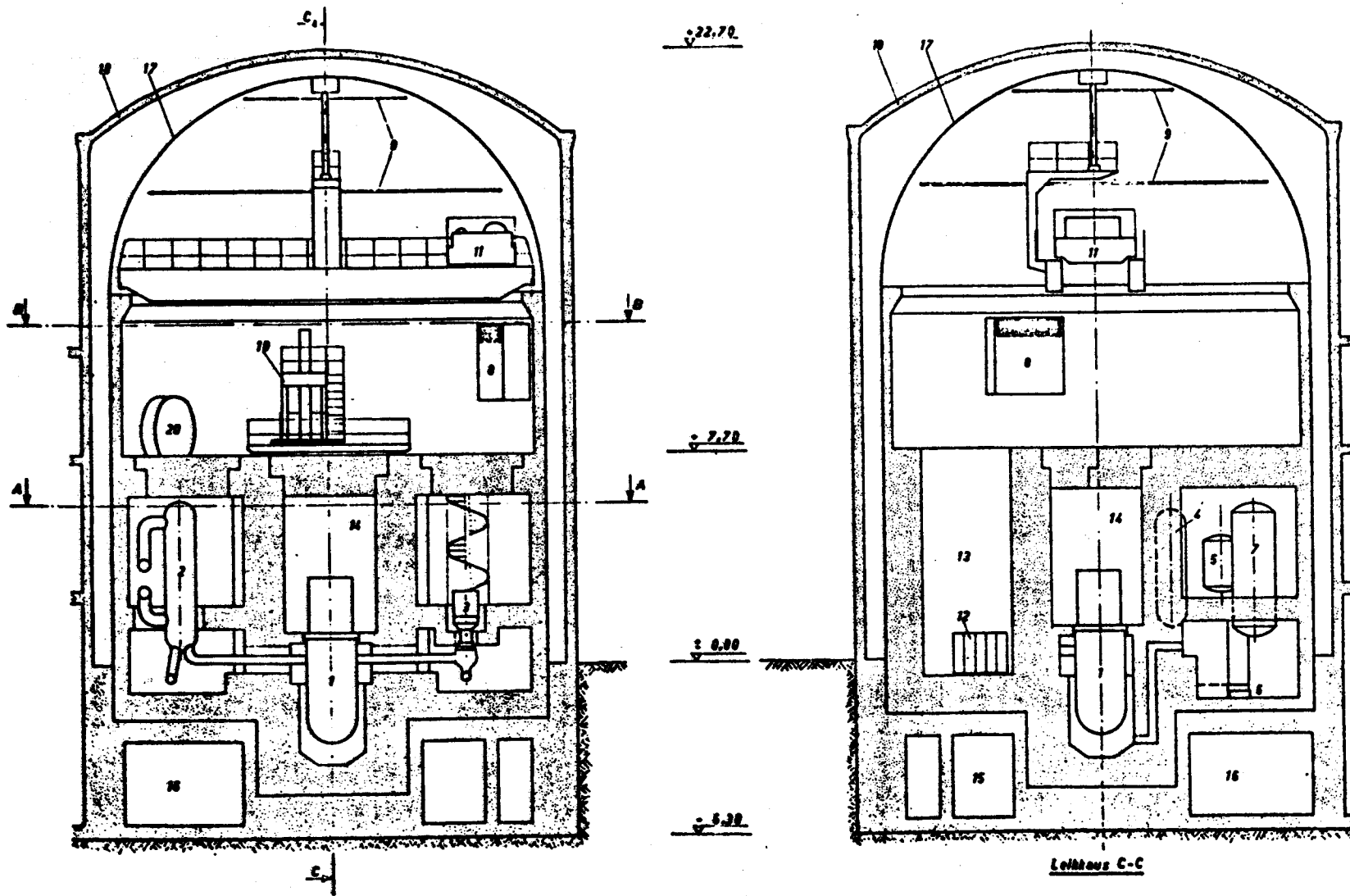
- |                            |                                            |
|----------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Reaktori                | 9. Jälkijäähdytyslämmönsiirrin             |
| 2. Primäärilämmönsiirrin   | 10. Jälkijäähdytyspumppu                   |
| 3. Pääkiertopumppu         | 11. Hätäsyöttöpumppu                       |
| 4. Paineistin              | 12. Paineakkumulaattori                    |
| 5. Lauhdutussäiliö         | 13. Suojarakennuksen ruiskutuspumppu       |
| 6. Sekundäärilämmönsiirrin | 14. Ruiskutusveden jäähdytin               |
| 7. Kuumavesikattila        | 15. Boorivesisäiliö                        |
| 8. Kaukolämmön kuluttaja   | 16. Suojarakennuksen pohja-allas ( sumpu ) |

Kuva 3. Yksinkertaistettu virtauskaavio

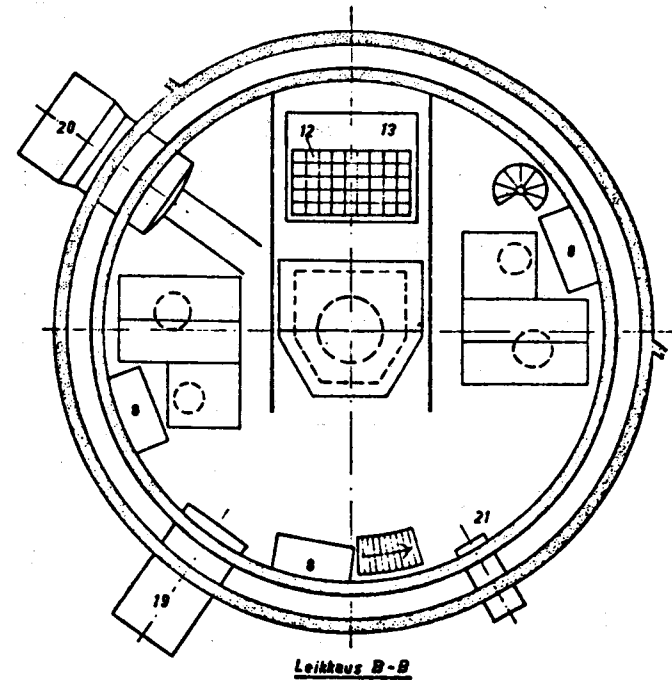
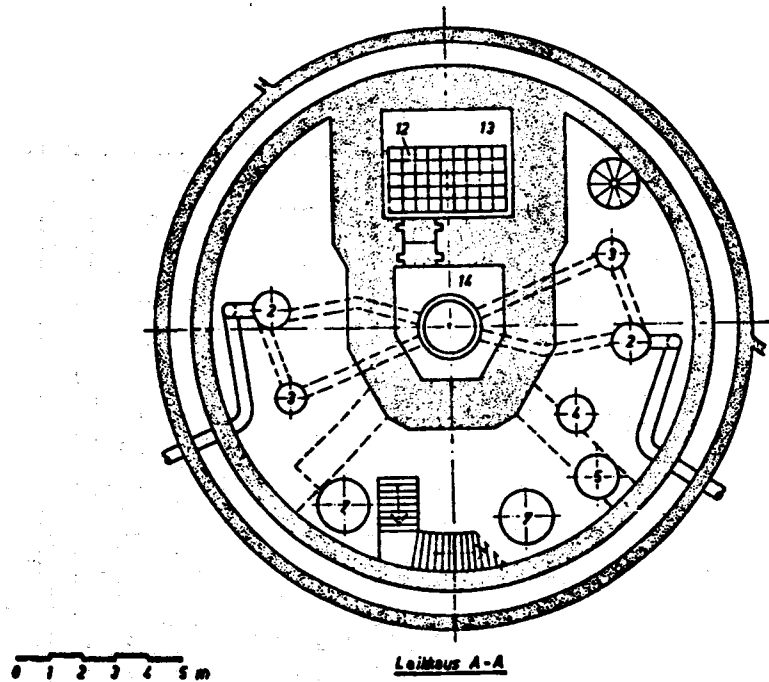


Reaktoriastian paino	5500 kp
Kannen paino	5000 kp
Sisäosien paino (ilman sydäntä)	9200 kp
Reaktoriastian tilavuus	8,5 m <sup>3</sup>
Reaktorin vesitilavuus	6,5 m <sup>3</sup>
Mitoituspaine	16 bar

Kuva 4. Lämmitysreaktorin (100 MW) reaktori-  
astia ja sydämen poikkileikkaus



Kuva 5a. Lämmitysreaktorin reaktorirakennus



Kuva 5b. Lämmitysreaktorin reaktori-  
rakennus

- |                                              |                                               |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1. Reaktori                                  | 12. Elementtien teline                        |
| 2. Primäärilämmönsiirrin                     | 13. Polttoaineallas                           |
| 3. Pääkiertopumppu                           | 14. Reaktorikuilu                             |
| 4. Paineistin                                | 15. Allasveden jäähdytys-<br>laitteiston tila |
| 5. Lauhdutussäiliö                           | 16. Jälkijäähdytyslaitteiston tila            |
| 6. Suojarakennuksen pohja-allas<br>( sumpu ) | 17. Terässuojarakennus                        |
| 7. Paineakkumulaattori                       | 18. Betonisuojarakennus                       |
| 8. Puhallinjäähdytin                         | 19. Henkilösulku                              |
| 9. Ruiskuttimet                              | 20. Tavarasulku                               |
| 10. Latauskone                               | 21. Hätäsulku                                 |
| 11. Polaarinosuri                            |                                               |

+27,20

+11,20

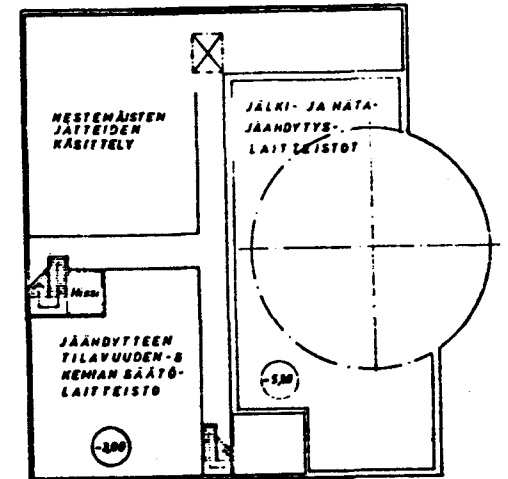
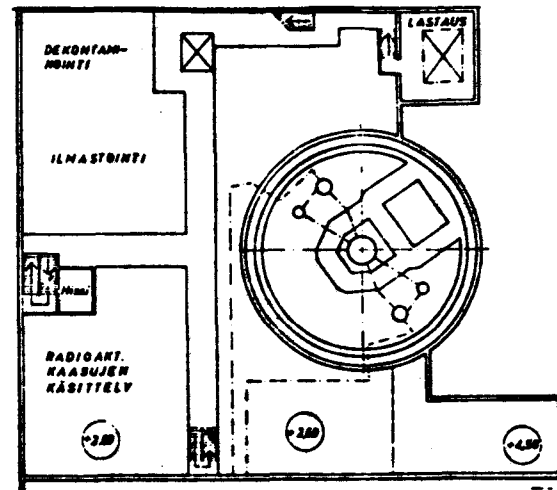
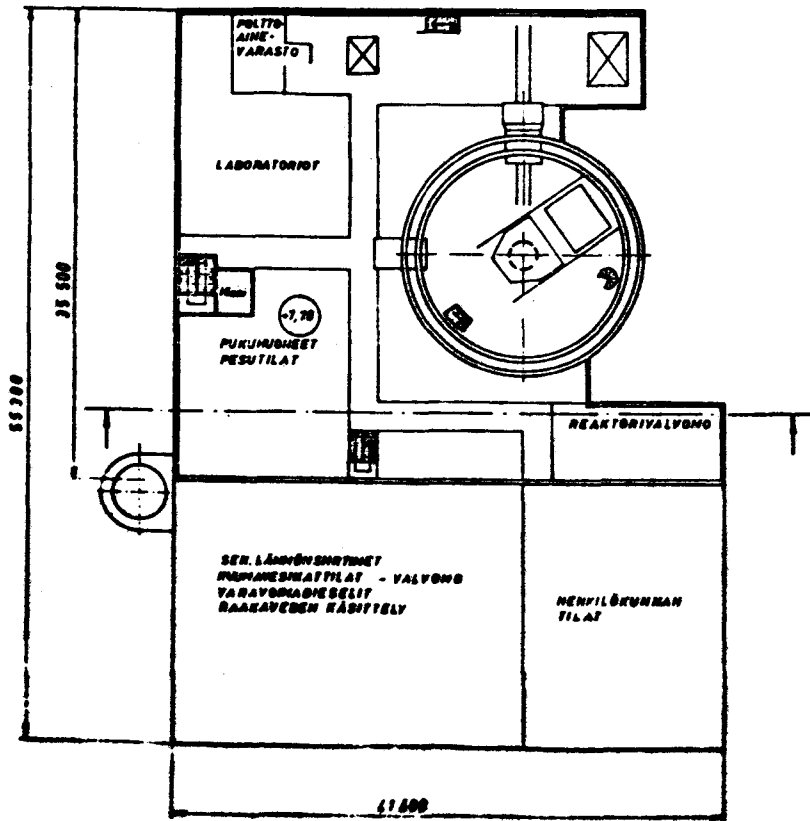
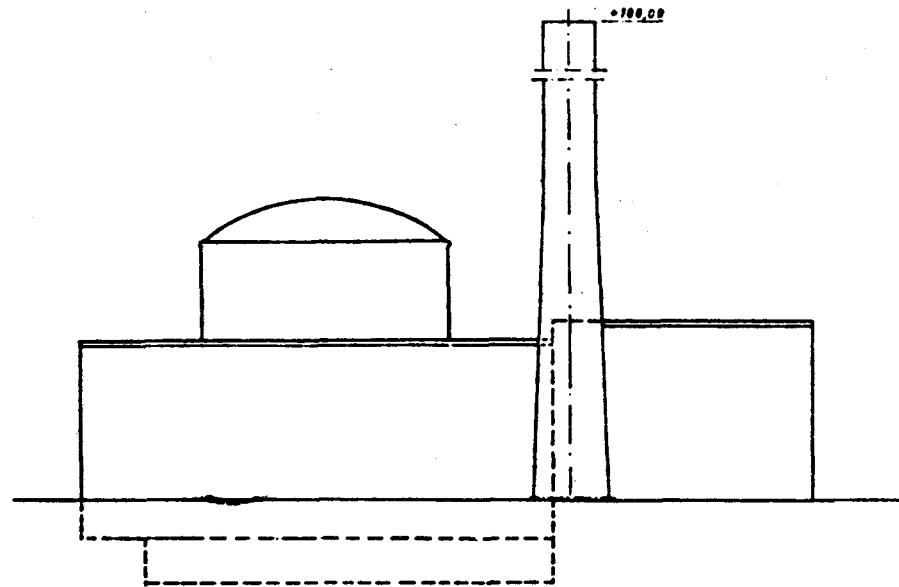
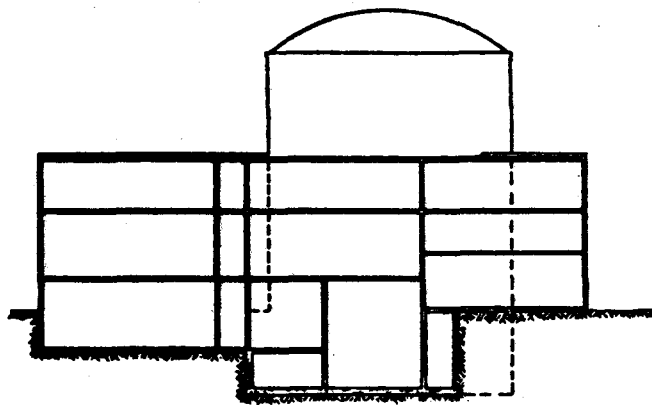
+7,20

+3,20

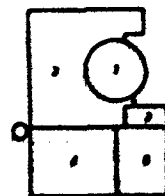
± 0,00

-3,20

-5,20



**RAKENNUS**



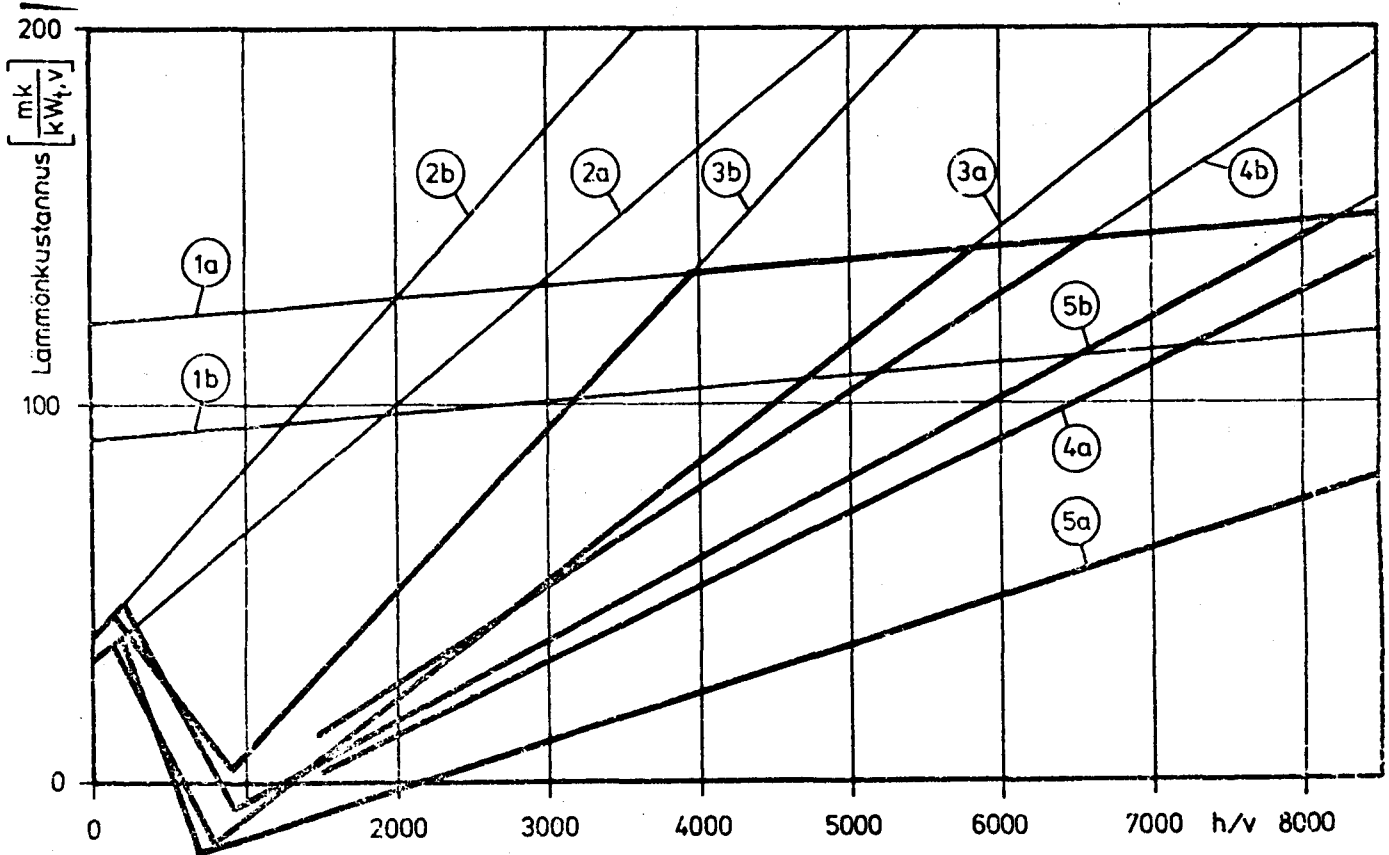
- 1 REAKTORIRAKENNUS 7000 m<sup>2</sup>
- 2 APUKÄSITTELY 10000 -
- 3 REAKTORIVALVONTO 600 -
- 4 KÄSITTELYKÄSITTELY 7000 -
- 5 HENKILÖKUNNAN TILAT 1200 -

**12.1000 m<sup>2</sup>**

0 5 10 m

Kuva 6. Lämmitysreaktorilaitoksen lay-out.





## LÄMMÖN KUSTANNUSSUORIEN SELITYKSET

- |    |                                         |                      |
|----|-----------------------------------------|----------------------|
| 1a | Lämmitysreaktori                        | 100 MW <sub>t</sub>  |
| 1b | "                                       | 200 MW <sub>t</sub>  |
| 2a | Vesikattilalaitos, POR                  | 30 mk/Gcal           |
| 2b | "                                       | , POR 40 mk/Gcal     |
| 3a | Öllykäyttöinen vastapainelaitos, POR    | 30 mk/Gcal           |
| 3b | "                                       | " , POR 40 mk/Gcal   |
| 4a | Hiilikäyttöinen vastapainelaitos, hiili | 20 mk/Gcal           |
| 4b | "                                       | " , hiili 25 mk/Gcal |
| 5a | Turvekäyttöinen vastapainelaitos, turve | 12 mk/Gcal           |
| 5b | "                                       | " , turve 18 mk/Gcal |

Kuva 7.

Taulukko 1.

DY-24050-1

Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Os. Y/Kotilainen, LVK/sj

Helsingissä, 1972-09-11

Suurimmat kaukolämmityssystemit 1970, 1980, 1990 ja 2000.

	1970		1980		1990		2000	
	E GWh	P MW	E GWh	P MW	E GWh	P MW	E GWh	P MW
Helsinki	2940	755	7400	2240	10000	3050	11200	3400
Tampere	1220	407	1670	560	1930	620	2100	670
Lappee	367	111	1070	320	1650	500	2010	610
Espoo	69	21	1670	505	2720	825	3700	1125
Vantaa	77	23	1120	340	2000	610	2780	840
Oulu	23	7	930	280	1450	440	1800	550
Jyväskylä	168	28	695	210	1250	380	1730	525
Kuopio	221	67	500	150	1120	340	1600	485
Vaasa	155	47	470	140	860	260	1150	350
Lappeenranta	82	25	445	135	830	250	1110	340
Tapiola + Otaniemi	301	91	595	180	845	255	1060	320
Hämeenlinna	78	24	295	89	375	115	480	145
Pori	3	1	174	53	250	75	330	100

Taulukko 2. SÄHKÖ- JA LÄMPÖENERGIAN HANKINNAN KUSTAN-  
NUSVERTAILU ERI VAIHTOEHDOLLA

KUSTANNUSTEN JAOTTELU	KONEISTOVAIHTOEHDOT							
	1		2		3		4	
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET	(GWh)	(kmk)	(GWh)	(kmk)	(GWh)	(kmk)	(GWh)	(kmk)
LÄMPÖ								
- lämmitysreaktori	-	-	658	2207	1215	4074	1672	5606
- vp-laitos	2573	73598	2013	57558	1375	39330	1028	29397
- kuumavesikattila	160	4660	62	1815	143	4162	33	955
YHTEENSÄ	2733	78258	2733	61580	2733	47566	2733	35958
SÄHKÖ								
- vp-sähkö	452	14710	216	7032	126	4104	73	2380
- oma lauhdevoima	44	3177	38	2738	28	2045	26	1919
- osto T1	0	0	0	0	0	0	0,3	30
- osto T2	1425	12708	1667	15002	1767	15898	1822	16388
YHTEENSÄ	1921	30708	1921	24772	1921	22047	1921	20717
KIINTEÄT KUSTANNUKSET								
- lämmitysreaktori	-	-	-	12549	-	25074	-	37353
- vp-laitos	-	48330	-	48330	-	32220	-	32220
- kuumavesikattila	-	8809	-	5409	-	8140	-	4740
- osto T1	-	226	-	226	-	226	-	4298
- osto T2	-	40264	-	52026	-	58360	-	62431
YHTEENSÄ	-	97629	-	118540	-	124020	-	141042
KOKONAISKUSTANNUS		206595		204892		193633		197717

KONEISTOVAIHTOEHDOT:	1	2	3	4
Lämmitysreaktori	-	1x100 MW <sub>t</sub>	2x100 MW <sub>t</sub>	3x100 MW <sub>t</sub>
Vastapainelaitos				
- lämpöteho	3x180,3 MW <sub>t</sub>	3x180,3 MW <sub>t</sub>	2x180,3 MW <sub>t</sub>	2x180,3 MW <sub>t</sub>
- vp-sähköteho	3x103,6 MWe	3x103,6 MWe	2x103,6 MWe	2x103,6 MWe
- lauhdeteho	3x117,7 MWe	3x117,7 MWe	2x117,7 MWe	2x117,7 MWe
Vesikattila	259,1 MW <sub>t</sub>	159,1 MW <sub>t</sub>	239,4 MW <sub>t</sub>	139,4 MW <sub>t</sub>

Ostosähkötariffi: T1 = 116 mk/kW,v + 102 mk/MWh  
T2 = 232 mk/kW,v + 9 mk/MWh

Polttoaineiden hinnat: Lämmitysreaktori 2,5 mk/MWh tuotettua lämpöä  
Vastapainelaitos, öljy 25,8 mk/MWh = 30 mk/Gcal  
" , hiili - mk/MWh = - mk/Gcal  
" , turve - mk/MWh = - mk/Gcal  
Kuumavesikattila, öljy 25,8 mk/MWh = 30 mk/Gcal

Otaniemi 1974-02-21

**Taulukko 3. ENERGIAN HANKINTAKUSTANNUKSET ERI VAIHTOEHDILLA,  
JOIHIN SISÄLTYY MYÖS 200 MW<sub>t</sub>:n LÄMMITYSREAKTORI-  
YKSIKÖITÄ [kmk]**

POLTTOAINEIDEN HINNAT <sup>3)</sup>		KONEISTOVAIHTOEHDOT						
POLTTOAINE- YHDISTELMÄ	mk Gcal	1	2	3				4
		LÄMMITYSREAKTORIT						
		1)	2)	2x100MW <sub>t</sub>	1x200 MW <sub>t</sub>	3x100MW <sub>t</sub>	1x100 MW <sub>t</sub> 1x200 MW <sub>t</sub>	
1	POR	30	206 595	204 892	193 633	187 633	197 717	191 717
2	POR	40	242 519	231 436	213 161	207 161	211 512	205 512
3	POR	30	187 587	192 173	184 457	178 457	192 095	186 095
	HIILI	20						
4	POR	40	207 871	207 379	196 782	190 782	200 825	194 825
	HIILI	25						
5	POR TURVE	30 12	164 136	173 159	171 255	165 255	180 832	174 832
6	POR TURVE	40 18	214 943	213 001	200 342	194 342	203 323	197 323

1) Ei lämmitysreaktoria

2) Lämmitysreaktorin teho 100 MW<sub>t</sub>

3) Ydinpolttoaineen hintana aina 2,5 mk/MWh

## LIITE 1

### LÄMMITYSREAKTORILAITOS 100 MW TÄRKEIMMÄT TEKNISEET TIEDOT

#### 1. KOKO LAITOS

Kokonaisteho (vesi 70°C...120°C)	MW	n. 165
Teho palkällä reaktorilla ajettaessa (vesi 70°C...100°C)	MW	100
Huippu- ja varakattiloiden teho	MW	2x70
Laitoksen sähkötarve		
jatkuva	MW	n. 1,6
huippuarvo	MW	n. 2,9
Varavoima, dieselgeneraattoriyksiköitä	kpl	4
Teho, kukin 50 %	MW	0,8

#### 2. REAKTORILAITOS

##### 2.1 Reaktori

Reaktorin lämpöteho	MW	100
Uraanin kokonaismäärä sydämessä	kg	3630
Moderaattori/UC <sub>2</sub> -suhde	-	1,72
Sydämen ekvivalenttinen halkaisija	cm	119,3
Sydämen tehollinen korkeus	cm	110,4

##### 2.1.1 Neutronifysikaalisia tietoja

Tuoreen polttoaineen väkevöintiaste tasapainolatauksessa	%U-235	3.5...4.0
Tasapainolatauksen keskim. palama	MWd/tUO <sub>2</sub>	33000...36000
Polttoaineen kokonaismäärä	kg(UO <sub>2</sub> )	4120
Boorikonsentraation maksimiarvo normaalikäytössä	ppm	1400

##### 2.1.2 Reaktorin lämpötekniset ominaisuudet

Jäähdyte	-	H <sub>2</sub> O
Jäähdytteen kokonaisvirtaus	t/h	3630
Käyttöpaine	MN/m <sup>2</sup>	1,35
Laskentapaine	MN/m <sup>2</sup>	1,50
Jäähdytteen saapumislämpötila	°C	147,5
Jäähdytteen poistumislämpötila	°C	172,5
Jäähdytteen ulostulolämpötila kuumimmasta kanavasta	°C	195
Lineaarinen kuormitus:		
keskimääräinen	W/cm	163
suurin arvo	W/cm	571
Lämpövuoto polttoaineen pinnalla		
keskimääräinen	W/cm <sup>2</sup>	48,5
suurin arvo	W/cm <sup>2</sup>	170
Tehotiheys	kW/dm <sup>3</sup>	81,5
Teho/polttoaineen massa	kW/kgUO <sub>2</sub>	24,3
Kuumakanavatekijät:		
lämpövuolle		3,5
eutralpian nousulle (mitoitusarvo)	-	1,5
Varmuuskerroin kiehumiskriisin suhteen	-	>3
Painehäviö reaktoriastiassa	kN/m <sup>2</sup>	n. 20
Painehäviö koko primääripiirissä	kN/m <sup>2</sup>	n. 250
Keskimääräinen jäähdytteen massavirran tiheys	kg/m <sup>2</sup> s	1480

##### 2.1.3 Reaktorisydän

Polttoaine-elementtien lukum.	kpl	57
Kokonaispituus	mm	n. 1400
Polttoaine-elementin pohjamitat	mm <sup>2</sup>	142-142

Sauvajärjestys, neliömäinen	kpl	10·10
Ohjausputkien lukumäärä/elem.	kpl	12
Polttoainesauvojen lukumäärä/elem.	kpl	88
Sauvajako	mm	14,2
Välitukilevyjen lukumäärä/elem.	kpl	2
Elementin kokonaispaino	kg	97
Polttoainesauvan tehollinen pituus	mm	1104
Suojakuoren ulkohalkaisija	mm	10,7
Suojakuoren paksuus	mm	0,65
UO <sub>2</sub> :n tiheys	g/cm <sup>3</sup>	10,35
Polttoainepelletin halkaisija	mm	9,1
Polttoaineen maksimilämpötila	°C	2300
Suojakuoren ulkopinnan maksimilämpötila	°C	270
Säätösauvojen lukumäärä	kpl	8
Turvallisuussauvojen lukumäärä	kpl	4
Sormien lukumäärä/säätö- tai turvallisuusauva	kpl	12
Lataustapa (erien lukumäärä)		5 tai 6
Latausväli	v	1
<b>2.1.4 Reaktorin sisärakenne</b>		
Kokonaispaino, arvioitu	kg	9200
<b>2.1.5 Säätösauvakoneisto</b>		
Säätösauvakoneisto		magneettinen kiinnittyminen sauvaan
Koneistotyyppi, moottorisäätö		
Asettelunopeus	cm/s	0,2
Lasrentapaine	MN/m <sup>2</sup>	1,60
Lascentalämpötila	°C	200

## 2.2 Reaktorin jäähdytys- ja paineistusjärjestelmät

Rinnakkaisten pääjäähdytyspiirien lukumäärä	-	2
Jäähdytteen kokonaisvirtaus	t/h	3330
Primääripiirin tilavuus	m <sup>3</sup>	15
Primääripiirin laskentapaine	MN/m <sup>2</sup>	1,60
Primääripiirin laskentalämpötila	°C	200

### 2.2.1 Reaktorin paineastia

Astian sisähalkaisija	mm	1750
Astian korkeus ilman kantta	mm	3620
Laattakansi, paksuus	mm	n. 200
Raaka-aine, astia	-	ruostumaton teräs
Raaka-aine, kansi		hiiliteräs
päällystys		ruostum. teräs
Vaipan paksuus,	mm	20
yläosassa	mm	n. 40
Poisto/tuloyhteen halkaisija	mm	320/310
Paino	kg	5480

### 2.2.2 Primäärilämmönsiirrin

Tyyppi (yhdistetty myötä- ja vastavirta)		U-putki, pystysuora
Lukumäärä		2
Virtaus primääripuolelle/siirrin	t/h	1655
Virtaus vaippapuolelle/siirrin	t/h	1415
Primääripiirin lämpötilat		
saapuva vesi	°C	172,5
poistuva vesi	°C	147,5

Välikierron lämpötilat		
saapuva vesi	°C	103
poistuva vesi	°C	133
Nimellispaine vaipassa	MN/m <sup>2</sup>	
Laskentapaine vaipassa	MN/m <sup>2</sup>	1,60
Lämmönsiirtimen lämpöpinta	m <sup>2</sup>	430
Konduktanssi	kW/K	1290
U-putken halk.xseinämänpaksuus	mm	20x1,5
Siirtimen vaipan ulkohalkaisija	mm	1100
Vaipan paksuus	mm	12
Kokonaiskorkeus	mm	5600
U-putkien materiaali		ruost. teräs
Vaipan materiaali		hiiliteräs
Paino (tyhjänä)	kg	n. 7000
2.2.3 Pääkiertopumput		
Tyyppi		yksiportainen keskipakopumppu
Lukumäärä, 50 % kukin	-	2
Tilavuusvirta (50 %)	m <sup>3</sup> /h	1810
Nostokorkeus	mvp	25
Laskentapaine	MN/m <sup>2</sup>	1,60
Laskentalämpötila	°C	200
Normaalikäyttölämpötila	°C	147,5
Pumpunpesän materiaali		ruost. teräs
Pumpun pyörintänopeus	v/min	980
Pumpun teho	kW	n. 165
2.2.4 Primääripiirin putkisto		
Keskimääräinen virtausnopeus, kuuma kaava	m/s	6,96
Putken ulkohalkaisija	mm	323,9

Seinämän paksuus	mm	(8)
Materiaali		ruost.teräs
2.2.5 Paineistusjärjestelmä		
Paineistin:		
Kokonaistilavuus	m <sup>3</sup>	3,7
Vesitilavuus täydellä kuormalla	m <sup>3</sup>	2,2
Höyrytilavuus täydellä kuormalla	m <sup>3</sup>	1,5
Käyttöpaine	MN/m <sup>2</sup>	1,35
Käyttölämpötila	°C	184
Laskentalämpötila	°C	210
Asennettu lämmitysteho	kW	200
Säiliön ulkohalkaisija	mm	1100
Kokonaiskorkeus	mm	4400
Seinämän paksuus	mm	(10)
Materiaali	-	ruostumaton teräs
Ruiskutusryhmien lukumäärä	-	2
Kokonaispaino (tyhjänä)	kg	2000

### 2.3 Reaktorin apusysteemit

#### 2.3.1 Tilavuuden ja kemiansäätö- järjestelmä

Puhdistusmäärä, maksimi	t/h	5
Lisäysveden esilämmitin	kpl	1
Jäähdyttimet	kpl	2
Korkeapaine(syöttö)pumput	kpl	3

### 2.3.2 Jäähdytteen puhdistus

Ioninvaihtimet	kpl	2
Kaasunpoistin	kpl	1

### 2.3.3 Jäähdytteen jälleenkäsittely

Höyristimet	kpl	2
Jäähdytteen varastosäiliöt	kpl	5
Kaasunpoistin	kpl	1

### 2.3.4 Laitteistojen jäähdytysjärjestelmä (2x100 %)

Väliiläm-önsiirtimet, 100 % kukin	kpl	2
Jäähdytysteho (100 %)	MW	6,5
Välikierroksen tilavuusvirta (100 %)	m <sup>3</sup> /h	280
Lämpötila, maksimi	°C	30
Välikiertopumput, 100 % kukin	kpl	3
Tilavuusvirta (100 %)	m <sup>3</sup> /h	280
Nostokorkeus	mvp	25

### 2.3.5 Polttoainealtaan jäähdytys

Jäähdyttimiä, 100 % kukin	kpl	2
Kiertopumput, 100 % kukin	kpl	2

### 2.3.6 Jälkijäähdytys- ja hätäsyöttösystemit

Jälkijäähdyttimiä, 100 % kukin	kpl	2
Siirrettävä lämpöenergia (100 %)	MW	1,0
Primäärijäähdytteen virtaus (100 %)	t/h	28,6

Jäähdytteen virtaus	t/h	43
seapumislämpötila	°C	30
Jälki/hätäjäähdytyspumput, 50 % kukin	kpl	4
Tilavuusvirta (50 %)	m <sup>3</sup> /h	14,5
Nostokorkeus	mvp	50

Hätäsyöttöpumput, 50 % kukin	kpl	4
Tilavuusvirta (50 %)	m <sup>3</sup> /h	80
Nostokorkeus, maksimi	mvp	160

Boorivesisäiliöt, 100 % kukin	kpl	2
Tilavuus	m <sup>3</sup>	95

Paineakkumulaattorit, 100 % kukin	kpl	2
Paine	MPa/m <sup>2</sup>	0,60
Vesitilavuus	m <sup>3</sup>	8
N <sub>2</sub> -määrä	nm <sup>3</sup>	n. 12

Suojarakennuksen ruiskutusjärjest.		
Jäähdytysteho heti purkauksen jälk.	MW	6
Ruiskutuspumput, 25 % kukin	kpl	4
Tilavuusvirta (25 %)	m <sup>3</sup> /h	29,8
Nostokorkeus	mvp	90

Suojarakennuksen puhallinjäähdytys		
Teho heti purkauksen jälkeen	MW	6
Ilmahöyryseoksen virtausmäärä		
Kylläinen seos p=2,4 bar, T=105°C	m <sup>3</sup> /h	163000
Painehäviö jäähdyttimissä	N/m <sup>2</sup>	207

### 2.3.7 Ilmastointitekniset laitteet

Ulkoiset mitoitusperusteet:  
Ilmasto-olosuhteet Keski-Suomessa



Huoneilma:		
Reaktorirakennus		
a suojarakennuksessa $t_{max}/t_{min}$	$^{\circ}C$	50/15
suojarakennuksen kulkutilat		
$t_{max}/t_{min}$	$^{\circ}C$	35/15
Reaktorin aputilat		
laitteistotilat	$^{\circ}C$	35/15
laboratoriotilat	$^{\circ}C$	26/22

### 3. LÄMMÖNSIIRTOJARJESTELMÄ

#### 3.1. Välikierto

Rinnakkaisten välikierrojen lukum.	kpl	2
Jäähdytteen kokonaisvirtaus	t/h	2830
Nimellispaine	$MN/m^2$	0,60
Nimellislämpötila	$^{\circ}C$	133
Laskentapaine	$MN/m^2$	1,60
Laskentalämpötila	$^{\circ}C$	200

#### 3.1.1 Sekundäärilämmönsiirrin

Tyyppi (yhdistetty myötä- ja vastavirta)	U-putki, vaakasuora	
Lukumäärä	2	
Virtaus putkipuolella	t/h	1415
Virtaus vaippapuolella	t/h	1430
Putkipuolen lämpötilat		
saapuva vesi	$^{\circ}C$	133
poistuva vesi	$^{\circ}C$	103
Vaippapuolen lämpötilat		
saapuva vesi	$^{\circ}C$	70
poistuva vesi	$^{\circ}C$	100

Nimellispaine vaipassa	$MN/m^2$	
Laskentapaine vaipassa	$MN/m^2$	1,20
Siirtimen lämpöpinta	$m^2$	500
Konduktanssi	$kW/K$	1800
U-putken halk. x seinämän paksuus	mm	20x1,5
Siirtimen vaipan ulkohalkaisija	mm	1200
Kokonaispituus	mm	9500
Paino (tyhjänä)	kg	11600

#### 3.1.2 Välikierrojen pumput

Tyyppi	Yksiportainen keskiakso- pumppu
Lukumäärä 25 % kukin	kpl 2x2
Tilavuusvirta (25 %)	$m^3/h$ 742
Nostokorkeus	mvp 30
Laskentapaine	$MN/m^2$ 1,60
Laskentalämpötila	$^{\circ}C$ 200
Pyörintänopeus	v/min 1478
Pumpun teho	$kW$ n. 80

#### 3.1.3 Välikierrojen putkisto

Keskimääräinen virtausnopeus	m/s	3,3
Putken ulkohalkaisija	mm	408,4
Seinämän paksuus	mm	(8mm)
Materiaali	-	hiilititeräs

#### 3.1.4 Välikierrojen paineistus

Paineistusjärjestelmä	jatkuvasti toimiva moottori- paineistus
-----------------------	-----------------------------------------------

Järjestelmien lukumäärä	kpl	2
Paineistuspumppuja	kpl	2+2
Normaalipaine	MN/m <sup>2</sup>	0,6
Suunnittelu- ja laskentapaine	MN/m <sup>2</sup>	16,0
Käyttölämpötila	°C	n. 103
Paisuntasäiliöt	kpl	2
tilavuus	m <sup>3</sup>	

### 3.2 Kaukolämpöjärjestelmä

#### 3.2.1 Kaukolämpöverkko

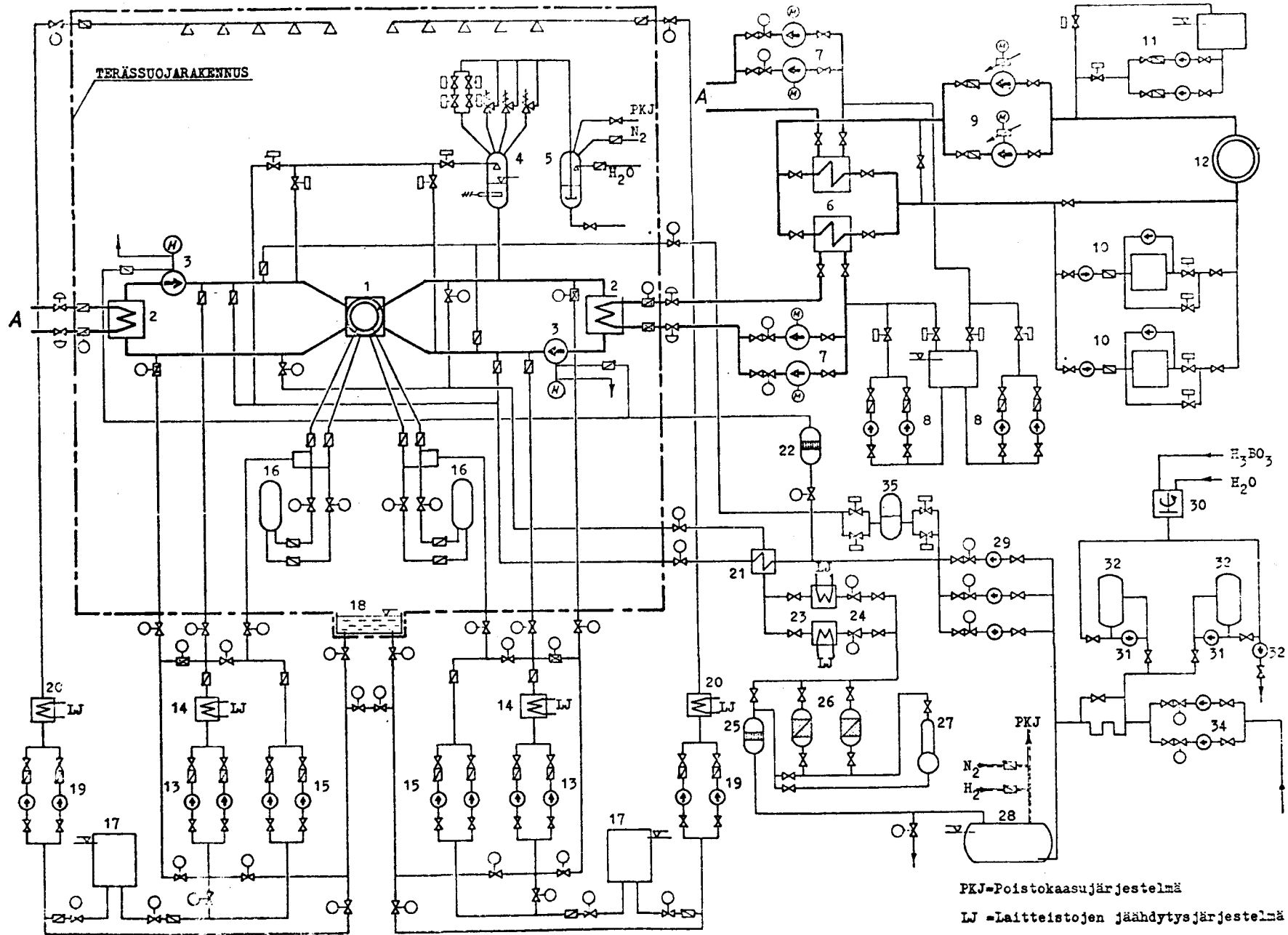
Kaukolämpöputket	kpl	
Tilavuusvirta, yhteensä	m <sup>3</sup> /h	2060
Nostokorkeus	mvp	40
Teho, yhteensä	kW	n. 440

#### 3.2.2 Vara- ja huippulämpö

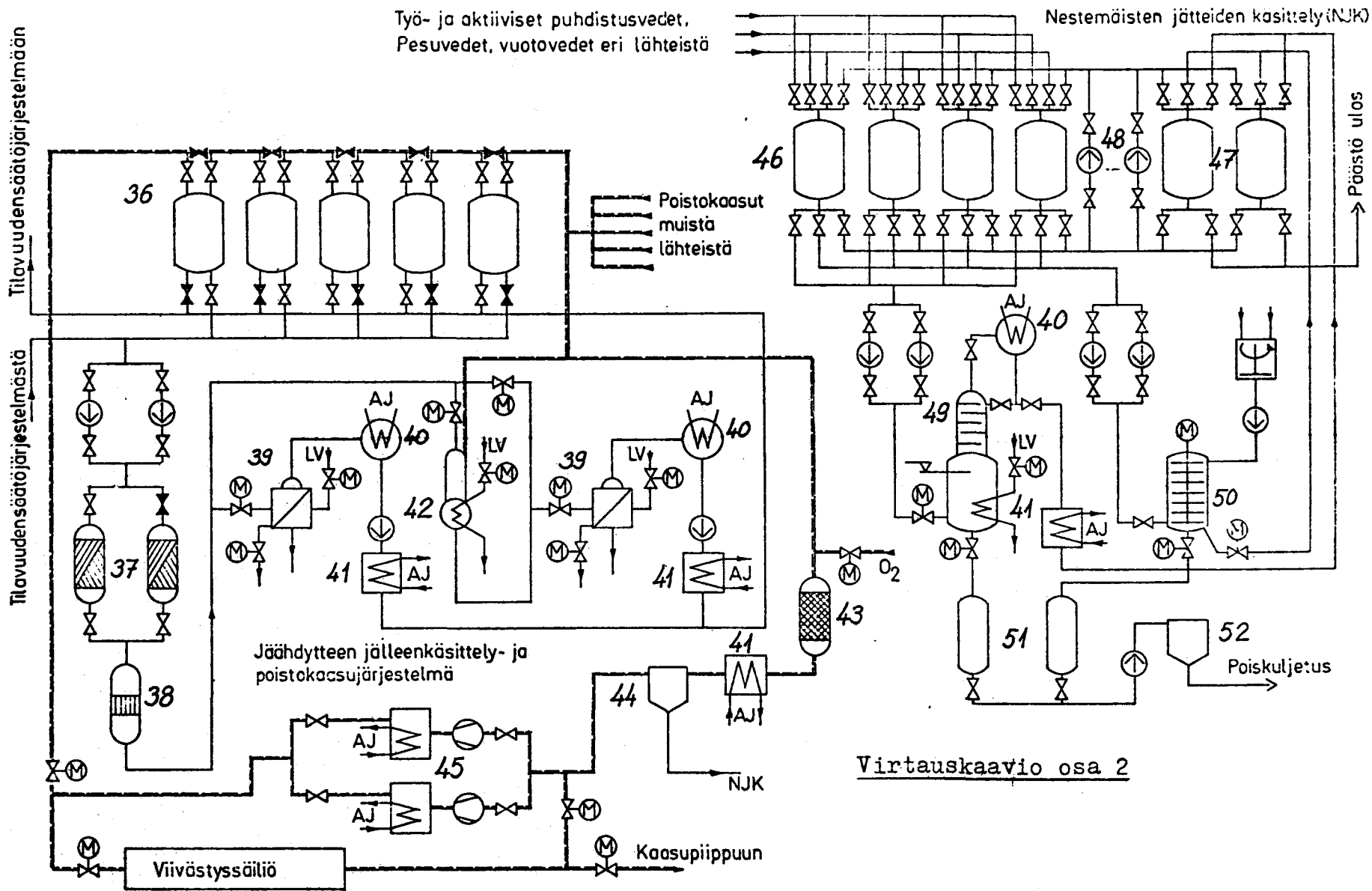
Vara- ja huippukattiloita	kpl	2
Lämmitysteho/kattila	MW	75
Polttoaine		öljy

## Liite 2. Lämmitysreaktorin virtauskaavio

1. Reaktori
2. Primäärilämmönsiirrin
3. Pääkiertopumppu
4. Paineistin
5. Lauhdutussäiliö
6. Sekundäärilämmönsiirrin
7. Välipiirin kiertopumppu
8. Välipiirin paineistussysteemi
9. Kaukolämpöpumppu
10. Kuumavesikatila
11. Kaukolämpöpiirin paineistussysteemi
12. Kaukolämmön kuluttaja
13. Jälkijäähdytyspumppu
14. Jälkijäähdytyslämmönsiirrin
15. Häätäsyöttöpumppu
16. Paineakkumulaattori
17. Boorivesisäiliö
18. Suojarakennuksen pohja-allas (sumppu)
19. Suojarakennuksen ruiskutuspumppu
20. Ruiskutusveden jäähdytin
21. Lisäveden lämmönsiirrin
22. Tiivisteveden suodatin
23. Poistoveden suodatin
24. Paineenalennusventtiili
25. Poistoveden mekaaninen suodatin
26. Sekavaihtimet
27. Kaasun poistin
28. Tasaussäiliö
29. Lisäveden syöttöpumppu
30. Boorin sekoitus
31. Siirtopumppu
32. Booriveden varastosäiliö
33. Boorihapon lisäyspumppu
34. Puhtaan veden syöttöpumppu
35. Boorihapon häätäsyöttösäiliö
36. Jäähdytteen syöttösäiliöt
37. Sekavaihtimet
38. Mekaaninen suodatin
39. Höyrystin
40. Lauhdutin
41. Jäähdytin
42. Kaasunpoistin
43.  $H_2-O_2$  rekombinaattori
44. Vedenerotin
45. Poistokaasukompressorit
46. Poistovesisäiliöt
47. Tarkastussäiliöt
48. Siirtopumput
49. Tislain
50. Mekaaninen suodatin
51. Väkevöidyn nesteen säiliöt
52. Täyttöasema



Virtauskaavio, osa 1



### LIITE 3. LÄMMITYSREAKTORILAITOKSEN HINNAN ARVIOINTI

Kustannusten arviointi suoritetaan sekä täydelliselle laitokselle, jossa on 100 MW(t) tehoinen reaktori ja kaksi 75 MW:n vesikattilaa vara- ja huipputehoa varten, että laitokselle, josta puuttuvat vesikattilat. Edellinen on esitetty vasemmanpuoleisessa ja jälkimmäinen oikeanpuoleisessa sarakkeessa.

Laskelmassa on ensin suoritettu pääryhmien 21...25 yhteenvedot, jonka jälkeen ko. ryhmät on summattu ja lisätty näin saatuun tulokseen liikevaihtovero, jaottelelemattomat rakentamiskustannukset, suunnittelu- ja kehittelykustannukset, omistajan kustannukset sekä satunnaiset kustannukset.

#### LASKELMA

Pääomakustannukset/1000 mk vuoden 1973 alkupuolen hintatasoon:

		100 MW +2.75 MW	100 MW
20	<u>Maa-alue ja oikeudet maahan</u>		ei mukana
21	<u>Rakennukset ja kunnallistekniikka</u>		
211	Alueen kunnallistekniikka	2.000	1.800
212A	Kaukolämpörakennus <sup>1</sup>	3.400	1.700
212B	Henkilökunta- ja hallinto rakennus	1.500	1.200
212C	Apurakennus	7.000	7.000
212D	Reaktorin valvomo	420	420
219	Reaktorin suojarakennus <sup>2</sup>	12.450	12.450
	Yhteensä	<u>26.770</u>	<u>24.570</u>

<sup>1</sup> Yhdistetty poistopiippu mukana

<sup>2</sup> Sisältää mm. terässuojakuoren

	100 MW +2.75 MW	100 MW	
22	<u>Reaktorilaitoksen laitteet</u>		
221	Reaktorin laitteet	5.802	5.802
222	Lämmönsiirtojärjestelmä	13.032	7.092
223	Ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi	1.774	1.774
224	Radioaktiivisten jätteiden käsittely	5.000	5.000
226	Instrumentointi ja säätö	5.000	4.500
227	Raakavesijärjestelmä sisältyy 211:een	-	-
228	Höyry-, lauhde- ja syöttö- vesiputkistot		ei ole
229	Muut reaktorilaitoksen laitteet	500	500
	Yhteensä	<u>31.108</u>	<u>24.668</u>
23	<u>Turbiini-generaattoriyksikkö</u>		ei ole
24	<u>Sähköiset lisälaitteet<sup>1</sup></u>		
241	Kytkinlaitteet	755	655
242	Kytkintaulut	38	32
243	Suojalaitteet	19	15
244	Kaapelikanavat, sisältyy 212:een	-	-
245	Kaapelointi (muu kuin valaistus ja huolto)	} 2.300	2.200
246	Teho- ja kontrollikaapelointi		
247	Sähköiset huoltolaitteistot <sup>2</sup>	750	750
	Yhteensä	<u>3.862</u>	<u>3.662</u>
25	<u>Sekalaiset voimalaitos- laitteistot<sup>1</sup></u>	<u>900</u>	<u>700</u>

<sup>1</sup> Arvioitu kokonaisuudessaan COO-284 (Vol. 3) pohjalta

<sup>2</sup> Sisältää mm. varasähkölaitteet

Laskelman yhteenveto

	100 MW +2.75 MW	100 MW
20 Maa-alue ja oikeudet maahan	ei mukana	
21 Rakennukset ja kunnallisteknikka	26.770	24.570
22 Reaktorilaitoksen laitteet	31.108	24.668
23 Turbiini-generaattoriyksikkö	ei ole	
24 Sähköiset lisälaitteet	3.862	3.662
25 Sekalaiset voimalaitoslaitteistot	900	700
Välisumma 1	62.640	53.600
Liikevaihtovero 12,4 %	7.770	6.650
98 Jaottelelemattomat rakentamiskustannukset 7 % välisumma 1:stä	4.380	3.750
Suorat rakentamiskustannukset	74.790	64.000
228 Ydintekninen insinöörityö <sup>1</sup>	4.000	4.000
93 Muu insinööri- ja arkkitehtityö <sup>1</sup>	3.000	2.800
Summa ennen omistajan kustannuksia	<u>81.790</u>	<u>70.800</u>
99 Omistajan kustannukset		
991 Korke rakentamisajalta 10 %	8.180	7.080
992 Sopimukset, tilitoimi, hallinto	300	270
993 Yhteysinsinöörityö	900	800
994 Turvallisuusraportit ja kuvat	900	850
995 Käyttöhenkilökunnan koulutus	700	600
996 Käynnistyskustannukset	1.100	1.000
997 Tehon ja käytettävyyden testaus		
998 Muut kustannukset	100	80
	<u>12.180</u>	<u>10.680</u>

<sup>1</sup> Nämä kustannukset on jaettu viiden laitoksen kesken<sup>2</sup> ~40 % vuotuisista käyttö- ja kunnossapitokustannuksista



Summa ennen omistajan kustannuksia	81.790	70.800
Omistajan kustannukset	<u>12.180</u>	<u>10.680</u>
Välisumma 2	93.970	81.480
Satunnaiskustannukset 5 % välisumma 2:sta	<u>4.700</u>	<u>4.070</u>
Kokonaispääomakustannus	<u>98.670</u>	<u>85.550</u>

200 MW:n laitoksen hintaa arvioitaessa oletetaan hinnan muuttuvan laitokseen mukaan seuraavasti:

$$H = H_0 (P/P_0)^\alpha, \text{ missä } H = \text{ hinta, } P = \text{ teho}$$

Eksponentin  $\alpha$  arvoksi on aiemmin saatu 0,512 (lämmitysreaktoriryhmän vuoden 1973 budjettiesityksen liite 3). Uudemman ryhmittäin suoritettujen arviolaskelmaa mukaan saatiin kokonaiseksponentiksi 0,525. Käyttäen viimeksi mainittua arvoa ovat 100 ja 200 MW:n laitosten kokonaispääomakustannukset.

teho	100 MW	hintaa	85,6 Mmk
teho	100 MW + 2·75 MW	hintaa	98,7 Mmk
teho	200 MW	hintaa	123 Mmk
teho	200 MW + 2·150 MW	hintaa	142 Mmk

Hinnoista luotettavimpana on pidettävä 100 MW:n laitosta ilman vara- ja huippukattiloita, kun taas molempiin 200 MW:n laitosten hintoihin on syytä suhtautua varauksellisesti.

## KOTIMAISET PERUSENERGIALÄHTEET

### 1. Vesivoima

Yleiskuvan koko maan rakennetusta, rakenteilla olevasta ja rakentamattomasta vesivoimasta vesistöittäin antaa kuva 1.

Rakennuskelpoista vesivoimaa on kohteittain esitelty kuvassa 2.

Näistä ovat ajankohtaisia hankkeita, joiden toteutuminen 1985 mennessä voi tulla kysymykseen:

Kemihaara	40 MW	0,32 TWh
Kitinen	100 "	0,3 "
Siurua	115 "	0,34 "
Lieksanjoki	30 "	0,14 "
Muut vesistöt	100 "	0,4 "
	<u>385 MW</u>	<u>1,5 TWh</u>

Rakenteilla:

Taivalkoski	<u>115 MW</u>	<u>0,5 "</u>
Lisäys yhteensä	<u>500 MW</u>	<u>2,0 TWh</u>

Halvimmin rakennettava osa käyttämättömästä vesivoimastamme on Tornion- ja Muonionjoessa. Kymmenkunta vuotta sitten tehdyssä yhteispohjoismaisessa selvityksessä suositeltiin kuitenkin näiden vesistöjen jättämistä toistaiseksi luonnontilaan.

Kun vesivoiman ajatellaan korvaavan öljylauhdutusvoimaa, vastaa vesivoiman vuosituotantokyvyn lisäys 2 TWh 0,5 miljoonan öljytonnin (Mtoe) säästöä. Maamme vesivoiman nimellinen vuosituotantokiky nousisi nykyisestä 11,1 TWh:sta 13,1 TWh:iin.

### 2. Turve

Turpeen merkitys maamme energiahuollossa on tähän asti ollut merkityksetön. Valtioneuvosto teki vuoden alussa periaatepäätöksen, jonka mukaan turpeen tuotantotavoitteeksi vuodelle 1980 asetetaan 20 milj. m<sup>3</sup>. Ohjelma merkitsee tänä vuonna valtiolle lisäkustannuksia lähes 30 milj. mk ja vuosina 1975-79 yhteensä noin 270 milj. mk. Kuvassa 3 on eräitä "taskutietoja" turvevaroista, -tuotannosta ja -käytöstä.

Turpeen tuotannon valmistelua edeltää soiden haltuun saanti, josta saattaa muodostua pitkäaikainen prosessi, jos tuotannon kannalta sopivalla suoalueella on monta omistajaa. Tuotannon valmistelu, johon kuuluu ojitus, kantojen poisto, kuivaus, muokkaus ja muotoilu, vie 3-4 vuotta luonnontilaisilla soilla.

Valtion polttoainekeskuksella eli VAPolla, jonka tehtäväksi turvetuotannon kehittäminen maassamme pääasiassa on uskottu, on nyt hallussaan 33 000 ha soita. Niistä on tuotantokunnossa noin 4 000 ha, mikä antaa vuoden 1974 tuotantovalmiudeksi noin 1.7 milj. m<sup>3</sup>, jos vuotuinen sato on 420 m<sup>3</sup>/ha. VAPOn tavoitteena on 1980 mennessä hankkia haltuunsa 80 000 ha ja saada tuotantokuntoon 35 000 - 40 000 ha soita, jolloin valtioneuvoston asettama 20 milj. m<sup>3</sup> tuotantotavoite on saavutettavissa tuotamalla hehtaarilta keskimäärin 500 m<sup>3</sup> turvetta.

Laskelmien mukaan voidaan hehtaarilta kesäkautena tuottaa 700 m<sup>3</sup> ja suotuisissa olosuhteissa enemmänkin. Kuljetus ja varastointi samoin kuin vaihtelevat sääolosuhteet (silloin tällöin sattuu katovuosia sateisen kesän vuoksi) rajoittavat keskihehtaarisadon noin 500 m<sup>3</sup>:iin. Jos tuotantopinta-ala 1980-luvulla nostetaan noin 100 000 ha:iin, mikä edellä sanotun perusteella tuntuu mahdolliselta, vuotuinen turvetuotantokapasiteetti olisi siten 50 milj. m<sup>3</sup> vastaten 5 Mtoe. Soiden keskimääräinen hyväksikäyttöikä olisi noin 30 vuotta.

Turpeen kulutuksen nostaminen vuonna 1980 20 milj. m<sup>3</sup>:iin kohtaa ylivoimaisia vaikeuksia, koska turpeen käyttö olemassaolevissa laitoksissa ei yleensä onnistu, vaan sitä varten on rakennettava uudet laitokset. Kuvassa 4 on turpeen kulutukseksi vuonna 1980 arvioitu 12 Mm<sup>3</sup> ja vuonna 1985 25 Mm<sup>3</sup>.

### 3. Puu ja prosessi

Jos maamme vuotuinen hakkuu, noin 50 milj. kiinto-m<sup>3</sup>, käytettäisiin kokonaan polttopuuksi, säästettäisiin noin 10 milj. tonnia öljyä, mikä määrä on pienempi kuin tämänhetkinen öljynkulutuksemme noin 12 milj. tonnia.

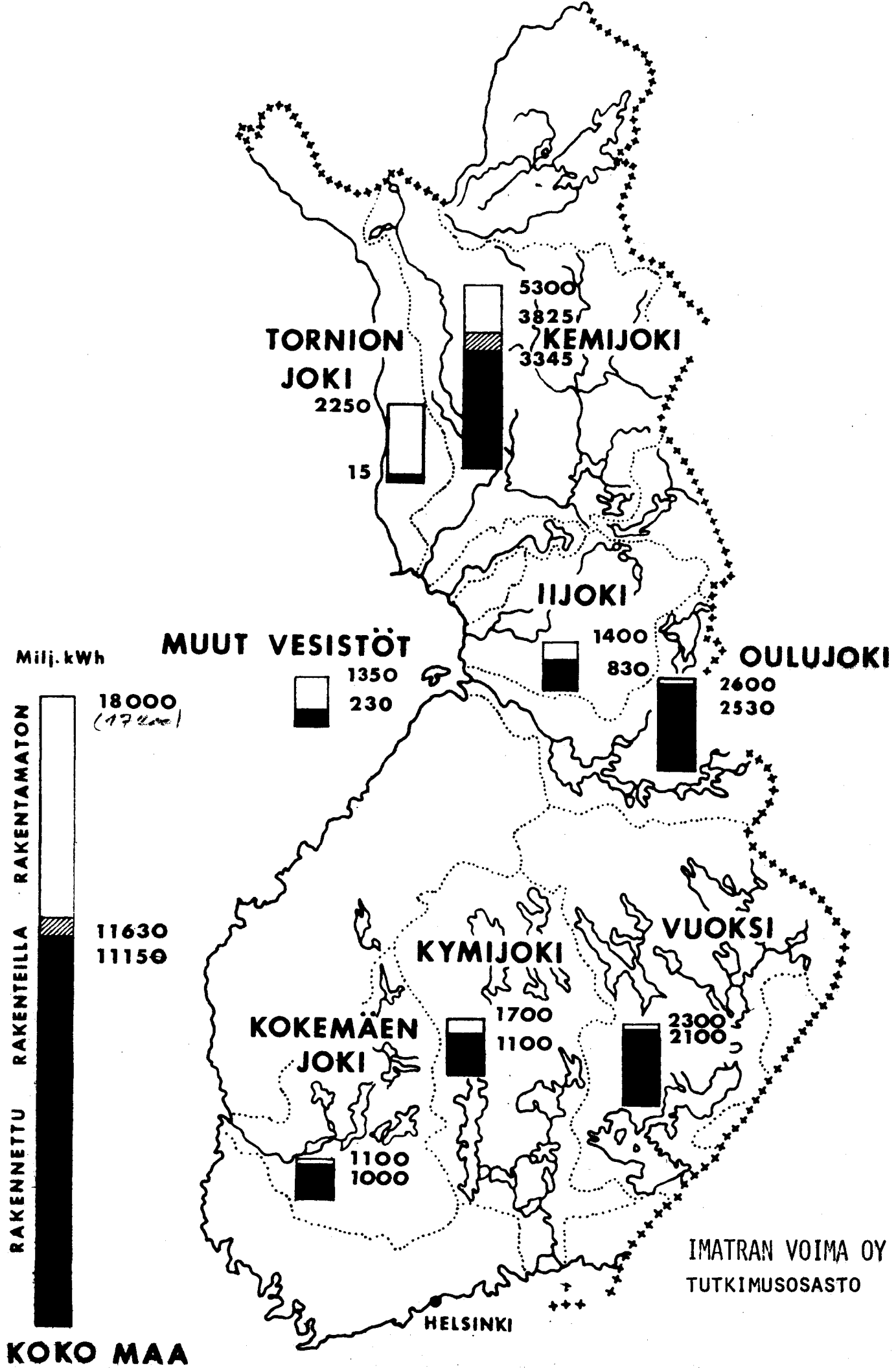
Todellisuudessa ei puun kasvava käyttö polttoaineena tule kysymykseen, koska juuri puunjalostuksen tuotoilla on maksettava kasvavien öljylaskujen lisäksi paljon muutakin tuontia. Halkojen osuus maamme polttoainetaseessa on vielä hämmästyttävän suuri, minkä vuoksi sen odotetaan jyrkästi laskevan. Metsäteollisuus tulee käyttämään puujätteet entistä tarkemmin hyväksi.

Metsäteollisuuden prosessijätteen ohella on muunkin prosessiteollisuuden, lähinnä metallurgisen teollisuuden tuottamalla jätelämmöllä ja -polttoaineella merkitystä maamme energiahuollossa. Kuten kuvasta 4 nähdään, arvioidaan puu- ja prosessienergiälähteiden pysyvän ennallaan, ts. jätelämmön ja -polttoaineiden lisääntyvä hyväksikäyttö kompensoi halkojen vähentämisen.

#### 4. Kotimaisten perusenergiälähteiden osuus

Kuvissa 4 ja 5 on tarkasteltu kotimaisten perusenergiälähteiden osuutta koko energiatarpeen ja sen kasvun peittämisessä. Ydinenergian osalta arvio perustuu Energiapoliittisen neuvottelukunnan energiahankintajaoston äskettäin laatimaan tavoitearvioon, jonka mukaan ydinvoimalaitoskapasiteetti 1979 nousisi 1500 MW:iin ja 1984 5200 MW:iin. Jälkimmäiseen sisältyisi Helsingin seudulle suunniteltu kaukolämpöä toimittava ydinvoimalaitos. Kuvassa 5 esitettyä kasvun peittämisarviota on pidettävä sekä kotimaisten energialähteiden että ydinenergian osalta optimistisena. Arvion toteuttaminen edellyttää kiireellisiä ratkaisuja tavoitteiden saavuttamiseksi, muuten tulee energian tarpeen peittäminen kumuloitumaan kuten tähänkin asti fossiilisten polttoaineiden ja sähkön tuontiin.

# SUOMEN VESIVOIMAVARAT



ARVIO SUOMEN VESIVOIMAVAROISTA

RAKENNETTU 1973	2250 MW	11.1 TWh
RAKENTEILLA TAIVALKOSKI	115 "	0.5 "

ARVIOITU RAKENNUSKELPOINEN KÄYTTÖÖNOTTAMATON VESIVOIMA

RAKENNUSKOHDDE	TEHO MW	VUOSIENERGIA TWh
<b>KEMIJOKI</b>		
KITINEN	100	0.4
OUNASJOKI , LAITOKSET	175	0.8
OUNASJOKI , SÄÄNNÖSTELY	-	0.1
KEMIHAARA , LAITOS JA SÄÄNNÖSTELY	35	0.3
MUUT VOIMALAITOKSET	75	0.2
<b>KEMIJOKI YHTEENSÄ</b>	<b>385</b>	<b>1.8</b>
<b>IIJOKI</b>		
SIURUAN HANKE	110	0.3
IIJOEN KESKIJUOKSU , VOIMAL.	70	0.3
<b>IIJOKI YHTEENSÄ</b>	<b>180</b>	<b>0.6</b>
<b>KUUSAMO</b>		
KUUSINKIJOEN VOIMALAITOKSET	25	0.1
<b>VUOKSEN VESISTÖ</b>		
LIEKSANJOEN VOIMALAITOKSET	25	0.2
KOITEREENJOEN SÄÄNNÖSTELY	-	
TAINIONKOSKEN VOIMAL.UUSIMINEN	15	
<b>VUOKSEN VESISTÖ YHTEENSÄ</b>	<b>40</b>	<b>0.2</b>
<b>KYMIJOKI</b>		
VOIMALAITOKSET	50	0.3
<b>POHJANMAA</b>		
POHJANMAAN JOET YM. VOIMAL.	105	0.4
<b>RAJAVESISTÖT</b>		
TORNIONJOKI - MUONIONJOKI YHTEENSÄ	420	2.2
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>1205</b>	<b>5.6</b>
<b>RAKENNUSKELPOINEN YHTEENSÄ</b>	<b>3570</b>	<b>17.2</b>

### TURVEVARAT - TUOTANTO JA KÄYTTÖ

Koko suoala	10 milj. ha
Kokonaisvarat	120 mrd. m <sup>3</sup>
Tuotantoresurssi	19 mrd. m <sup>3</sup> (kosteus 45%) eli 1900 Mtoe
Sato	500 m <sup>3</sup> /ha, v
Investoinnit	15 mk/vuosituotanto - m <sup>3</sup>
Työvoima	200 miestä /milj. m <sup>3</sup> , v

Tuotantotavoite (v.1980) 20 milj. m<sup>3</sup>/v eli 2 Mtoe  
 Tuotantoala 40000 ha

#### Käyttöarvio 1980-luvun alussa

- metsäteollisuus	7 milj. m <sup>3</sup> /v
- lämpökeskukset	3 — " —
- kaukol.voimalaitokset	7 — " —
- turvekoksi	1 — " —
- turvebrikitit	1 — " —

PERUSENERGIALÄHTEET 1973 SEKÄ  
ARVIO VUOSILLE 1980 JA 1985  
MILJ.EKV.ÖLJYTONNIA (MTOE)

	1973	1980	1985
HALOT	1.6	0.9	0.5
MEK.PUUJÄTTEET	0.5	0.4	0.4
KEM.PUUJÄTTEET	1.7	2.4	2.7
MUU PROSESSIJÄTELÄMPÖ JA-POLTTOAINE	0.2	0.3	0.4
PUU JA PROSESSI YHTEENSÄ	4.0	4.0	4.0
TURVE	0.1	1.2	2.5
VESIVOIMA (NIMELLISTUOTANTO)	2.8	2.9	3.3
KOTIMAISET ENERGIALÄHTEET YHTEENSÄ	6.9	8.1	9.8
YDINENERGIA	-	2.3	8.4
FOSSIILISET POLTTOAINEET JA SÄHKÖN TUONTI	15.1	19.6	18.8
KOKO ENERGIAN TARVE	22.0	30.0	37.0
KOTIM. ENERGIALÄHTEIDEN OSUUS	31 %	27 %	26 %

MUUNNOSKERTOIMET:

1 TOE	NOIN 5	KM <sup>3</sup>
1 "	5.5	"
1 " x)	3.2/2.4	T
1 "	10	M <sup>3</sup>
1 "	4	GWH

HALKOJA

MEK. PUUJÄTTEITÄ

KEM. PUUJÄTTEITÄ

TUOTANTOTURVE (KOST. 45 %)

{VESIVOIMA, YDINSÄHKÖ,  
SÄHKÖN TUONTI

x) SULFAATTI/SULFIITTIPEÄ

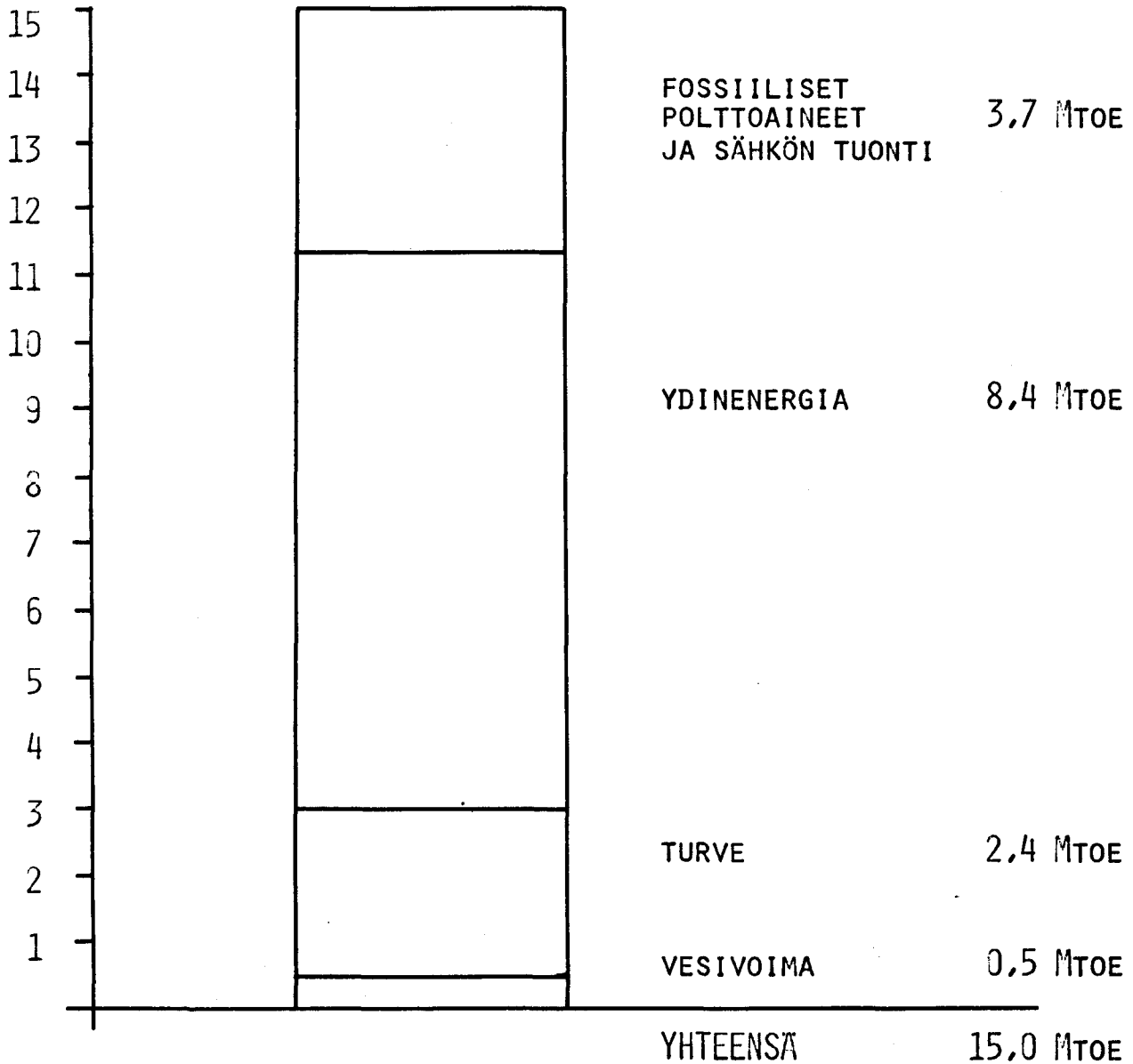
IMATRAN VOIMA OSAKEYHTIÖ  
TUTKIMUSOSASTO



ARVIO ENERGIANTARPEEN KASVUN PEITTÄMISESTÄ 1973 - 1985

ARVIOITU ENERGIANTARVE 1985	37,0 MTOE
" " 1973	22,0 "
<b>KASVU 1973 - 1985</b>	<b>15,0 MTOE</b>

KASVU  
MTOE



Kotimaisen valmistuskapasiteetin merkitys energiantuotannossa

Energian kulutus Suomessa oli v. 1972 arviolta kaikkiaan 21 Mtoe. Energian tarpeen kasvu 10-vuotiskautena 1972-82 voidaan arvioida seuraavasti (1):

Energian tarpeen lisäys 1972-82

Kivihiili	1,5 Mtoe
ydinvoima	5,0
maakaasu	2,4
vesivoima	0,5
öljy	0,6
turve	2,0
	<hr/>
	12,0 Mtoe

Tämän arvion suhteen voidaan olla erimieltä ennen kaikkea turpeen osuudesta, joka tuntuu kovin suurelta. Esitetty luku vastaa kuitenkin valtioneuvoston tämän vuoden alussa asettamaa tavoitetta vuodelle 1980. Edellä esitetty taulukko sisältää kaiken Suomessa käytetyn energian. Vain osa siitä käytetään voimalaitoksissa sähkön tuottamiseen. Arvion mukainen voimalaitostarve Suomessa seuraavan 10-vuotiskauden aikana voidaan arvioida seuraavaksi:

Voimalaitostarve 1972-82

Kivihiili, öljy, maakaasu	500 MW
turve	500 MW
ydinvoima	2500 MW
vesivoima	300 MW
	<hr/>
	3800 MW

Tässä taulukossa näkyy selvästi se, että energian tarpeen tyydyttämisessä tulee seuraavan kymmenvuotiskauden kuluessa tapahtumaan ratkaiseva rakennemuutos: ydinvoimalla tuotettu energia tulee kasvamaan merkittäväksi osaksi Suomen energiataloutta. Tavoitteeksi asetettu 2500 MW:n kapasiteetti on saavutettavissa esimerkiksi seuraavalla tavalla: Loviisa I ja II 880 MW, Olkiluoto 660 MW, voimalaitos, joka otetaan käyttöön vuonna 1979 900 MW ja

seuraava voimalaitos, joka otetaan käyttöön 1981 1000 MW. Näiden lisäksi tultaneen rakentamaan tavanomaisia voimalaitoksia ennen kaikkea kivihieillä ja öljyllä lämmitettäviä, mutta muutama suurehko turvevoimalaitoskin mahtuu mukaan. Tavanomaisten voimalaitosten suhteen ei liene mitään oleellisia teknillisiä vaikeuksia saavuttaa asetetut tavoitteet.

Rakentamatonta vesivoimaa on Suomessa vielä suhteellisen paljon. Tämän energiamuodon edullisuus tulee näkyviin ennen kaikkea käyttökustannuksissa, koska se ei aiheuta jatkuvaa valuuttatarvetta, myös rakentamiskustannusten suhteen on tilanne huomattavasti edullisempi kuin muiden voimalaitosten kyseessä ollessa, sillä kotimaisuusaste rakentamistyössä on noin 90 %.

Edellä esitetyn arvion mukaisen voimalaitos-ohjelman aiheuttamat investoinnit ovat seuraavat (2):

#### Voimalaitosinvestoinnit 1972-82

lämpövoimalaitokset	1200 Mmk
ydinvoimalaitokset	6000 Mmk
vesivoimalaitokset	500 Mmk
	<hr/>
	7700 Mmk

Tämä 7,7 miljardin markan investointi sisältää kuitenkin huomattavan osan ulkomaalaista hankintaa. On arvioitavissa, että lämpövoimalaitosten hankintahinnasta noin 50 % on kotimaista samoin turvevoimalaitosten osalta. Vesivoimalaitoksissa kotimaisuusaste on 90 %, mutta ydinvoimalaitosten kohdalla tilanne on huonoin. Tällä hetkellä olevien näkymien mukaan, kun alihankinnat sovitaan pääkaupan tekemisen jälkeen, joutuu kotimainen toimittaja useimmiten sellaiseen puristukseen hinnan suhteen, että tilaukset voidaan ottaa vain "nälkäpalkalla" ja niistä jää toimittajalle useimmiten vain työn ilo. Aina ei edes sitä, sillä varsinkin ensimmäisissä toimituksissa on tullut monia takaiskuja, jotka ovat johtaneet huomattaviin taloudellisiin tappioihin. Tämä on johtanut haluttomuuteen ottaa tilauksia vastaan ja kehittää tuotteita. Kun lisäksi reaktorin päätoimittaja on ollut siinä suhteessa "niskan päällä", että se on voinut löytää tarjouskilpailuun aina jonkin toisen mahdollisen toimittajan, joka laskuvirheen, kokemattomuuden tai työllisyystilanteensa vuoksi on tarjonnut laitteet erittäin alhaiseen hintaan. Tällaisella vertailukohdalla on suomalais-

ta teollisuutta sitten ollut mahdollista painostaa laskemaan hintojaan - ja jälleen saada täysin epätaloudellinen kauppa. Näin ollen ei ole realistista olettaa, että ydinvoimalaitosten kotimaisuusaste nousisi yli 20 %:n. Tällöin kotimaisen valmistuksen arvo yllä olevassa voimalaitosohjelmassa olisi:

lämpövoimalaitokset	600 Mmk
ydinvoimalaitokset	1200 Mmk
vesivoimalaitokset	450 Mmk
	<u>2250 Mmk</u>

Tämä merkitsee siis keskimäärin 225 Mmk:n vuosittaista volyymia.

Jos sen sijaan lähtökohdaksi voitaisiin ottaa, että kotimaisen valmistuksen osuus ydinvoimalaitoksissa olisi 50 %, saataisiin seuraavanlainen taulukko:

lämpövoimalaitokset	600 Mmk
ydinvoimalaitokset	3000 Mmk
vesivoimalaitokset	450 Mmk
	<u>4050 Mmk</u>

mikä siis merkitsi yli 400 Mmk:n liikevaihtoa vuodessa.

Viimeksi esitettyyn tulokseen pääseminen on mahdollista, mutta ilman määrätietoista teollisuuden ponnistelua ja julkisen valtion tukea ei siihen päästä. Ensimmäisenä edellytyksenä on,

- että suomalainen teollisuus on mukana osatoimittajana ja hankintavaiheessa; tämä edellyttää riittävän voimakasta osapuolta neuvotteluissa päähankkijan kanssa niin, että sopimuksen työnjaosta päätetään jo ennen tilaushetkeä,

ja toiseksi

- että suomalaisen teollisuuden tuotekehitystä ydinvoimalaitoskomponenttien alalla voimakkaasti lisätään; tämä taas edellyttää määrätietoista valtion tuotekehitystukea näille hankkeille.

Molemmat edellä esitetyt ovat huomattavia haasteita Suomen konepajateollisuudelle. Valitettavasti ne eivät kuitenkaan tarjoa mitään suoranaista motiivia niihin tarttumiselle. Varsinainen

asiaa ajava voima on Suomen maksutaseen vajaus ja sen nykyisestäänkin vielä huomattava heikkeneminen ellei asioihin tartuta. Tämän vuoksi katseet kääntyvät ensi sijassa valtionhallinnon puoleen: voidaanko edellä oleviin hankkeisiin kytkeä sellaisia houkuttimia, että ne lähtisivät liikkeelle?

Edellinen esitetyistä edellytyksistä merkitsisi riittävän voimakaan (ja suuren osakepääoman omaavan) yrityksen tai yhteistyöelimen muodostamista niin, että se kykenisi ottamaan itselleen melko huomattavan osan voimalaitoksen rakentamisvastuusta, lähinnä Suomessa tehtävän systeemis suunnittelun ja työn valvonnan. Tämä samoin kuin jälkimmäinen edellyttää huomattavaa valtion rahallista tukea. Onko tämä saatavissa? Jos on, on edessä vielä toinen mutta: onko tähänastisista ydinvoimalaitostöistä pahasti näpeilleen saanut Suomen teollisuus halukas ottamaan tämän asian harteilleen. Jos on, uskon että siitä on kehitettävissä taloudellisesti kannattava toiminta; mutta liikkeelle lähdön ehtona on huomattava valtion tuki tuotekehitysvaroina tai muussa sopivassa muodossa.

#### Kirjallisuusviitteet:

- (1) L. Nevanlinna; KOP:n kuukausikatsaus 1/1974
- (2) KTM: Energiapoliittisen neuvottelukunnan mietintö (1972)

## YDINVOIMALOIDEN TURVALLISUUDESTA KÄYDYSTÄ LEHDISTÖ- KESKUSTELUSTA

Koska ydinvoimaloiden turvallisuudesta käyty keskustelu on tällä hetkellä jo Suomessakin varsin vilkasta lienee hyödyllistä julkaista oheinen tekn.lis. Heikki Kallin syksyllä 1973 Helsingin teknillisen korkeakoulun ydintekniikan lisensiaattiseminaarissa pitämä alustus ydintekniikan alueella toimivat henkilöt hyvin saavuttavassa ATS Tiedotuslehdessä. Alustuksessa ei ole pyritty käsittelemään yksityiskohtaisesti viime aikojen tapahtumia Suomessa, koska tilanne muuttuu nopeasti. Yleisluontoiset havainnot Suomessa käydyistä keskustelusta näyttävät kuitenkin pitävän paikkansa viimeisimpienkin esim. Helsingin seudun ydinvoimaloihin liittyvien puheenvuorojen kohdalla.

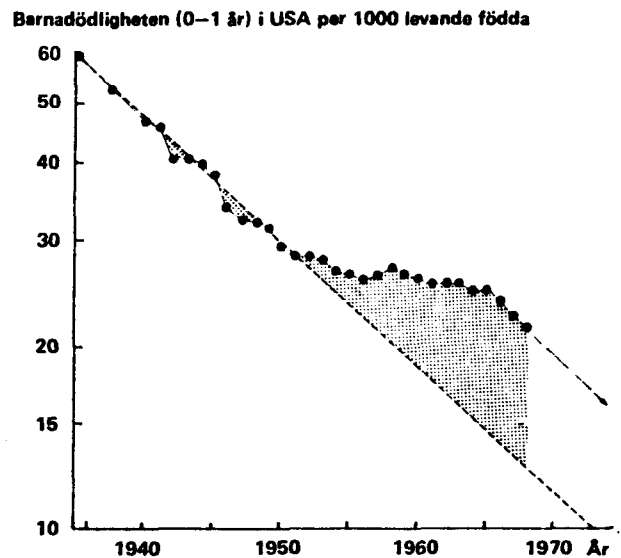
Heikki Kalli:

YDINVOIMALOIDEN TURVALLISUUDESTA KÄYDYSTÄ LEHDISTÖ-  
KESKUSTELUSTA

1. KATSAUS ERI MAISSA KÄYTYIHIN KESKUSTELUIHIN

Ydinvoimaloiden turvallisuudesta käytävä lehdistökeskustelu käsitteli 60-luvulla pääasiallisesti säteilyannosmääräyksiä. Keskustelun juuret olivat siinä varsin kiihkeässä polemiikissa, joka 60-luvun alussa kohdistui ydinasekoikeita vastaan. Tässä ydinasekeskustelussa syntyivät nimittäin eräät niistä argumenteista, joita sitten myöhemmin sovellettiin ydinvoimaloihin. Säteilyannosmääräyksiä ja niistä käytyä keskustelua käsitellään tämän seminaarin toisissa alustuksissa, joten tässä yhteydessä haluaisin vain ottaa esimerkiksi kolme laajaa huomiota saanutta osakeskustelua, joista vielä myöhemminkin tulee lisää mainintoja. Lähteenä olen käyttänyt Lindellin ja Löfvebergin kirjaa /1/.

Kuva 1  
"Sternglassin efekti"



1) "Sternglassin efekti". Kesällä 1969 professori Ernest Sternglass, säteily- ja sairaalafyysikko, julkaisi artikkelin otsikolla The Death of All Children. Eräs hänen voimakkaimpia väitteitään on tiivistetty kuvaan 1, joka esittää lapsikuolleisuutta Yhdysvalloissa 1000 eloon jäänyttä lasta kohti eri vuosina. Puolilogaritmipaperille piirretty käyrä näyttää vuosien 1940 ja 1955 välillä seurailevan erästä laskevaa suoraa, mutta sitten käyrä asettuu noin kymmeneksi vuodeksi kutakuinkin vakio arvoon. Sternglassin mukaan tämä poikkeama laskevalta suoralta johtuu ydinasekokeista; varjostetun alueen lapset ovat kuolleet turhaan. Viitteessä /1/ käsitellään varsin perusteellisesti niitä kirjoituksia, joissa Sternglassin väite osoitetaan vääräksi. Sternglassin efektin pitäisi olla suurin niissä osavaltioissa ja maissa, missä laskeuma oli suurin. Tätä korrelaatiota ei kuitenkaan voida osoittaa. Lapsikuolleisuuden laskun hidastumiselle voidaan toisaalta osoittaa useita paljon todennäköisempiä syitä. Näyttää siis vahvasti siltä, että Sternglass lähti sinänsä kannatettavaan hyökkäykseensä ydinaseita vastaan väärin keinoin. Sternglass on jatkanut toimintaansa; vuonna 1971 hän piti esitelmän imeväiskuolleisuudesta Indian Pointin voimalan läheisyydessä, viimeisten tietojen mukaan hän väittää syöpäkuolleisuuden nousseen 39 % Shippingportin ydinvoimalaitoksen ympäristössä /2/.

2) Vuonna 1965 julkaisi Mrs. Mary Hays Weik ("En kvinna i New York" /1/ ) pamfletin "The Story Nobody Prints", joka käsittelee Nutleyn pienestä kaupungista New Jerseystä löydettyjä epämuodostuneita sammakoita. Syyksi hän varsin vähin perustein esitti lähistöllä toimivan ydinteollisuuden tuottamat jätteet. Juttu sai suuren julkisuuden ja väitteiden kumoaminen oli vaikeata, vaikka AEC osoittikin, ettei kuusivarpaisen sammakon



kotilampeen ollut päästetty radioaktiivisia jätteitä. Samoin kuin Sternglassin myös Mrs. Weikin nimi esiintyy Indian Pointin voimalan polemiikin yhteydessä. Vuonna 1970 hän nimittäin esitti pamfletissaan väitteen, että 18 henkilöä oli kuollut syöpään voimalan läheisyydessä. Myöhemmin hän nosti luvun 44 henkilöön. Lindell ja Löfveberg esittävät materiaalia Mrs. Weikin väitteiden kumoamiseksi vertailemalla syöpään sairastuneiden luvun ja päästöjen ajallista käyttäytymistä.

3) Molemmat edellä käsitellyt tapaukset ovat esimerkkejä varsin epätieteellisistä väitteistä, jotka lehdistössä saivat suuren julkisuuden. Sen sijaan tutkijapari Gofmanin ja Tamplinin kritiikki on mainittava selvästi vakavammassa mielessä. Gofman on ydinkemisti ja hänellä on lääketieteellinen koulutus, Tamplin on biokemisti ja biofyysikko. Kritiikkinsä he ovat suunnanneet toisaalta poleemisilla teoksilla (esim. /3/ ja /4/ ) suureen yleisöön, toisaalta suoraan viranomaisiin laskelmilla, joissa säteilyn aiheuttama syöpäriski arvioitiin selvästi suuremmaksi kuin ICRP:n vastaavissa arvioissa. Heidän kritiikkinsä on ilmeisesti saattanut vaikuttaa AEC:n normipolitiikkaan.

Nykyisellään säteilyannosnormeja koskeva keskustelu on kuitistunut yleisen ydinvoimaloiden turvallisuuskeskustelun osaluueeksi. Tämä johtuu muun muassa normien tiukentumisesta. Yleistä ydinvoimaloiden turvallisuutta koskevaa keskustelua ei taas julkisuudessa juuri käyty ennen vuotta 1969. Esimerkiksi Brightin artikkeli /5/ osoittaa, ettei vuonna 1968 yleisö Yhdysvalloissa juuri lainkaan puuttanut rakennuslupien myöntämiseen. Vuoden 1969 kuluessa tilanne muuttui ja vuonna 1970 sekä rakennus- että toimilupien käsittelyyn liittyi voimakkaita yleisöreaktioita. Näiden reaktioiden aiheina olivat paitsi

säteilyriski myös voimaloiden yleisempi turvallisuus, ympäristövaikutukset, lämpösaaste jne. Suuren yleisön reaktioista voidaan tietysti syyttää vastuutonta lehdistöä ja asiantunteamonta pamflettikirjallisuutta, usein mainitaan viitteet /6/ ja /7/, mutta perussyynä kaiken takana oli se seikka, että nyt vasta alettiin ymmärtää reaktoriturvallisuuteen liittyvien ongelmien laajuus ja luonne sekä niiden ratkaisemisen vaikeus. Samaan aikaan kun saatiin tietoja mittavista ydinvoimalaohjelmista, samaan aikaan tuli uutisia polttoainevioista ja hätäjähdytysjärjestelmien toimintaa koskevista epäilyistä.

Yhdysvalloissa ydinvoimaloiden turvallisuuskeskusteluun on liittynyt voimakkaita hyökkäyksiä AEC:n toimintaa vastaan. Epäluuloja on erityisesti herättänyt AEC:n kaksinainen rooli: toisaalta se on ollut yhdessä suuryhtiöiden kanssa kehittämässä atomienergian hyväksikäyttöä, toisaalta se on vastannut voimaloiden turvallisuudesta. Pitkässä neliosaisessa Science-lehden artikkelissa Robert Gillette /8/ kuvaa tarkasti hätäjähdytysjärjestelmistä ja AEC:sta käytyä keskustelua. Artikkelin näennäisessä objektiivisuudessaan erittäin taitava hyökkäys AEC:n Reactor Development and Technology-osaston päällikköä Milton Shawta vastaan. Yhdysvalloissa käytyä keskustelua referoidaan myös viitteessä /9/, jossa useita ydinvoimaloiden turvallisuuskeskustelun osa-aiheita käsitellään varsin ansiokkaasti.

Mitä sitten yleisöreaktiot Yhdysvalloissa ovat vaikuttaneet? Teollisuuden näkökantoja valottaa H.G. Slaterin artikkeli /10/ vuodelta 1971. Tällöin ei ollut tapahtunut mitään merkittäviä viivytyksiä, mutta kuitenkin yli 70 % teollisuudesta ilmoitti, että yleisön vastustuksella oli ollut joko "hyvin vakava" tai "vakava" vaikutus. Yleisön näkökannalta merkittävin tulos

on liittynyt säteilyannosnormien tiukentamiseen. Turvallisuustutkimukselle on myönnetty suuria rahasummia ja AEC on uudelleenorganisoitu, (mm. Milton Shaw on savustettu ulos). Yleisöreaktioiden todellista vaikutusta näihin tapahtumiin on vaikeaa objektiivisesti mitata.

Euroopassa ydinvoimaloiden turvallisuuskeskustelua on käyty vilkkaasti ainakin Sveitsissä /11/, Saksan Liittotasavallassa /12/, Ranskassa /13/, Itävallassa, Italiassa ja Ruotsissa. Viitteen /11/ mukaan varsinkin Sveitsissä yleisöreaktioilla on ollut vakavia vaikutuksia. Maan ydinvoimalaohjelman muodostaa kahdeksan laitosta. Ensimmäiset voimalat Beznaussa ja Mühlebergissä 60-luvun puolivälin tienoilla eivät kohdanneet vastustusta, vastarintaa syntyi vasta kolmannen laitoksen kohdalla 1969 Kaiseraugustissa. Viitteen /11/ sävy on usein kärkevä artikkelissa mainitaan, että vastustajat käyttivät mm. Mary Weikin "tilastoja" (lainausmerkit viitteestä). Keskustelu jatkuu ilmeisesti edelleen. Tekijät ehdottavat, että Sveitsin tapaus voisi toimia mallina pyrittäessä analysoimaan ydinvoimalakiistoja muuallakin. Tätä voidaan epäillä, koska Sveitsin poikkeuksellisen laaja paikallinen itsehallinto mahdollistaa valtakunnallisesti katsoen pienten ryhmien näyttävän toiminnan.

Ruotsissa käytiin kevään 1973 kuluessa laaja keskustelu, jossa eräs ydinvoimaloiden päävastustajista oli fuusiotutkimusta kannattava prof. Alfvén. Toukokuun loppupuolella valtiopäivät tekivät päätöksen, jonka mukaan lopulliseen kannanottoon ei ollut riittävän varmaa tietoa. Esitetty kritiikki oli valtiopäivien mielestä kuitenkin ollut vakavaa eikä sitä voitu ohittaa ennenkuin päinvastaista todistettaisiin. Mm. kansainvälistä keskustelua olisi seurattava. "Ydinvoimaloiden rakentaminen lopetetaan siihen saakka, kunnes radioaktiivisesta

säteilystä aiheutuvat vaarat on täydellisesti tutkittu." (Tässä yhteydessä ei siis esitetty mitään aikarajaa toisin kuin eräissä lehdissä on väitetty.) On vaikea sanoa, mikä tämän päätöksen todellinen vaikutus tulee olemaan; ilmeisesti voimaloiden rakennuslupia oli myönnetty jo ennen päätöstä varsin pitkälle tulevaisuuteen.

Neuvostoliitossa käydystä ydinvoimaloiden turvallisuuskeskustelusta kantautuneet tiedot ovat osittain ristiriitaisia. Helsingin Sanomissa on kerrottu Neuvostoliiton tiedeakatemian varapuheenjohtajan Mihail Millionshtshikovin New York Timesille antamasta haastattelusta mm. seuraavaa: "Esimerkkinä Millionshtshikov mainitsi ydinvoimaloiden rakentamisen estämiseen johtaneet vastalauseet Yhdysvalloissa ja sanoi, että Neuvostoliitossa ei havaittu mitään järkeviä perusteluja maan ydinvoimaohjelman viivyttämiseksi." Ja edelleen: "Käsittelemme kaikkia näitä ongelmia hieman eri lailla. Avoin keskustelu lehdistössä ja julkisuudessa ei aina johda ongelmien tarkasteluun oikeasta näkökulmasta. Yritämme harkita ongelmia tieteellisessä keskustelussa, emme julkisuudessa." Näin siis Millionshtshikov New York Timesille Helsingin Sanomien mukaan. Neuvostoliiton tiedemiesten suhtautuminen on ollut optimistista, esimerkiksi olkoon Yu. A. Izraehlin paperi Geneven kokouksessa /14/ sekä hänen puheenvuoronsa kokouksen paneelikeskustelussa. Nyt kuitenkin edellä sanotusta poiketen on kerrottu, että Novovoroneshin laitosten alkuaikoina Neuvostoliitossa käytiin osittain kiihkeääkin keskustelua laitosten turvallisuudesta niin paikallisella kuin valtakunnallisella tasolla. Aikaa myöten keskustelu on sitten vaimentunut.

## 2. YDINVOIMALOIDEN TURVALLISUUDESTA KÄYTY KESKUSTELU SUOMESSA

Nähtävästi ensimmäinen ydinreaktoreiden turvallisuutta epäilevä laajempi artikkeli Suomessa ilmestyi vuoden 1969 alussa Parnassossa. Tämä artikkeli ilmestyi kuitenkin liian aikaisin ja väärässä lehdessä; sitä ei huomattu eikä siitä keskusteltu. Sen jälkeen aina vuoden 1972 syksyyn asti turvallisuutta koskevia artikkeleita tai uutisia ilmestyi hyvin vähän varsinkin kun otetaan huomioon, että yleensä ydinenergiaa koskevia uutisia on ilmestynyt Suomen lehdistössä suuruusluokkaa tuhat vuodessa, siis noin kolme päivässä. Tämän seminaarialustuksen liitteeksi kerätty luettelo eräistä suomalaisista ydinvoimaloiden turvallisuutta käsittelevistä artikkeleista saattaa antaa hieman liiankin niukan kuvan, mutta kuitenkin näyttää siltä, että aina vuoden 1972 syksylle asti Säteilyfysiikan laitoksen ja Imatran Voiman harjoittama tiedotustoiminta muodosti hallitsevan osan aiheesta julkaistuista artikkeleista.

Kevään 1973 kuluessa tilanne muuttui, tähän vaikuttivat varmasti tiedot Ruotsissa käytävästä keskustelusta. Televisio esitti 1973-05-05 Granada TV:n tuottaman filmin "Ovatko reaktorit turvallisia", josta keskusteltiin ainakin ns. asiantuntijapiireissä. Kesäkuussa puhkesi HBL:ssa poikkeuksellisen laaja debatti aiheesta. Keskustelun osanottajien nimet, puheenvuorojen otsikot ja ilmestymispäivät on kerätty omaan liitteeseen tämän alustuksen loppuun. Laajimmat puheenvuorot on merkitty alleviivamalla keskustelijan nimi. Tämä keskustelu oli mielestäni varsin hyvätasoinen, vaikeaa aihetta käsiteltiin usealta kannalta, esitetyt väitteet olivat monesti oikeita tai ainakin vaikeasti vääriksi osoitettavia. Sternglass kummitteli hetken keskustelussa, mutta torjuttiin Lindellin ja Löfvebergin argumenteilla,

nämä argumentit hyväksyttiin. Yleisesti katsoen debatin aiheet ammennettiin kuitenkin ulkomaisista lähteistä, mitään supisuomalaisia uusia aiheita ei keksitty.

2. elokuuta saatiin sisäasiainministeriön lausunto Inkoon Kopparnäsin ja Eurajoen Olkiluodon soveltuvuudesta ydinvoimalan sijoituspaikaksi. Lausunto sisälsi eräitä sellaisia ajatusrakennelmia, joissa päälauseessa jokin asia myönnettiin, mutta sitten se sivulauseessa kiellettiin; lausunto oli siis epäilevällä kannalla. Molemmista sijoituspaikoista lueteltiin joukko kielteisiksi katsottuja seikkoja. Ydinvoimaloiden turvallisuutta koskevan keskustelun toistaiseksi viimeisin mainittava tapahtuma on varatuomari Heikki von Hertzenin kirje valtioneuvostolle, jossa mm. professori Alfvéniin vedoten ennustetaan fuusioenergian pikaista tuleamista. Siihen saakka tulisi fission perustuvista voimaloista luopua.

Muutamia huomioita Suomessa käydyistä keskustelusta:

1) Keskustelulle on ollut ominaista ruotsinkielisten lehtien suuri osuus. Tälle seikalle on useitakin syitä. Ydinvoimalat sijoitetaan rannikkoseuduille, joilla ruotsinkielisten osuus väestöstä on keskimääräistä selvästi suurempi. Asia koskee läheisesti monia ruotsinkielisiä maanomistajia, kalastajia, huvilanomistajia. Rannikkoalueiden kunnille voimalatyöt tuovat työpaikkoja ja vilkastuttavat liiketoimintaa. Toisaalta kielikysymys saattaa vaikuttaa päinvastaiseen suuntaan; voimala tuo paikkakunnalle suomenkielistä väestöä. Kaikkia näitä seikkoja punnitaan varmasti turvallisuuskeskustelun taustalla. Ruotsissa käydyin keskustelun helppo seuraaminen vaikuttaa luonnollisesti Suomen ruotsinkielisen lehdistön kiinnostumiseen asiasta.

2) Käydyin keskustelun puheenvuorot ovat tulleet \*ulko-

puolelta" tai "ylhäältä"; ydinvoimalapaikkakunnan tavalliset kansalaiset eivät juuri ole keskusteluun osallistuneet.

3) Keskustelun aiheet ja argumentit on voittopuolisesti haettu ulkomailta. Uusia väitteitä ei ole löydetty, viitteessä /12/ esitetty 12:n argumentin luettelo kattaa käytännöllisesti katsoen kaikki Suomessakin esitetyt ydinvoimaloita vastustavat väitteet. Näin ollen ulkomaisen keskustelun ja poleemistenkin pamflettien seuraaminen näyttää tärkeältä sille, joka pyrkii vaikuttamaan käytävään keskusteluun.

### 3. LEHDISTÖKESKUSTELUN TUTKIMISESTA

Edellä on katsauksenomaisesti kuvattu ydinvoimaloiden turvallisuutta käsittelevän keskustelun syntyä ja kehitystä. Tä-mäntapaisia kuvailevia katsauksia on tehty lukuisissa maissa, edellä mainittiin eräitä viitteitä. Suomessa on Risto Tarjanne viime keväänä pitänyt tästä aiheesta ATS:ssa esitelmän /15/, johon osittain olen nojannut. Jos pelkästä kuvailusta halutaan päästä pitemmälle, voidaan yrittää käyttää niitä välineitä, joita kommunikaatiotutkimus on kehittänyt. Asiaan pääsee hel-poimmin "sisälle" lukemalla Antti Eskolan kirjan "Sosiologian tutkimusmenetelmät" II osan sivut 104...128 /16/. Yksi laa-jimmista ja edustavimmista esimerkeistä kommunikaatiotutkimuksen soveltamisesta Suomessa on Olavi Borgin "Suomen Puolueideologiat" /17/, jossa kommunikaatiotutkimuksen menetelmiä käytetään suo-malaisten puolueohjelmien erittelyyn. Pekka Tarkan kirja "Paavo Rintalan saarna ja seurakunta" /18/ olkoon esimerkkinä suomalaisesta lehdistökeskustelun analyysistä.

Kommunikaatiotutkimus pyrkii laajimmillaan selvittämään

vastaukset klassilliseen kysymyssarjaan: Kuka sanoo kenelle, mitä, koska, miten, miksi, missä ja millä vaikutuksella? Näihin kysymyksiin vastaamiseksi on kehitetty tutkimustekniikkoja, joista ilmeisesti tärkein on sisällön erittely. Sisällön erittelyn avulla kuvataan objektiivisesti, systemaattisesti ja kvantitatiivisesti kommunikaation ilmissisältöä. Borgin tutkimuksessa puolueohjelmien vertailua suoritettiin neljällä eri tasolla, joiden mainitseminen tässä yhteydessä saattaa havainnollistaa asiaa:

### 1) Kohdeanalyysi.

Tällä tasolla tutkitaan, mitä sanotaan, mihin kiinnitetään huomiota. Kyseessä on siis lähinnä kommunikaatiossa esiintyvien aiheiden luettelointi. Ydinvoimalakeskusteluista tällaisia luetteloita on laadittu useita, esimerkkinä mainittakoon uudesta viitteen /12/ 12 argumenttia.

### 2) Orientoitumisanalyysi.

Tässä analyysissä selvitetään, millä organisoitumisen sekä alueellisen ja ajallisen ulottuvuuden tasoilla kommunikaatiossa liikutaan. Ensiksikin aikaorientoituminen: missä määrin kommunikaatiossa suuntaudutaan menneisyyteen, nykyisyyteen ja tulevaisuuteen. Toiseksi alueellinen orientoituminen: esimerkiksi keskitytäänkö kommunikaatiossa tarkastelemaan kylää, kuntaa, lääniä, maata, maapalloa tai jotain muuta sopivaa alueellista yksikköä. Organisoitumisen analyysissä kiinnostavat erilaiset viiteryhvät; ne ryhmät, puolueet tai kansankokonaisuudet, joita kommunikaatiossa käsitellään.

### 3) Asennoitumisanalyysi.

Asennoitumisanalyysissä selvitetään, miten eri asiakohteisiin asennoidutaan. Esimerkkinä tutkimuksesta, jossa on suoritettu sekä kohdeanalyysi että jonkinlainen asennoitumisanalyysi,



mainittakoon Hessin tutkimus, viite /19/. Siinä on tutkittu 662 ydinvoimaloiden turvallisuutta ja ympäristövaikutuksia käsittelevää yleistajuista tai puolitieteellistä artikkelia. Kohdeanalyysituloksena on tiivistetty 12 aihetta; jokaisessa artikkelissa käsiteltiin siis yhtä tai useampia näistä 12 aiheesta. Asennoitumisanalyysissä on yksinkertaisesti katsottu, miten käsiteltyihin aiheisiin asennoiduttiin, oliko omaksuttu kanta ydinenerginen kasvavaan käyttöön nähden myönteinen, neutraali vai kielteinen. Viitteen /19/ tulosten yleislinja näkyy taulukosta I.

**Table 1 Articles Devoted to Subject Categories Associated with Nuclear Technology and an Evaluation of the Expressed Attitude or Inferred Impact on Public Opinion**

Category	Evaluation			Total
	Against	Neutral	For	
Nuclides and wastes	142	98	71	311
Thermal pollution	95	68	66	229
Environment	66	72	68	206
Siting	82	63	38	183
Nuclear safety and reactor accidents	55	31	26	112
Legalistics, law, and legislation	63	27	7	97
AEC regulation	32	9	8	49
Insurance and subsidy	24	4	2	30
Esthetics	6	6	10	22
Antitrust and monopoly	13	5	1	19
Safeguards	5	3	0	8
Subtotal	583	386	297	1266
General	93	106	228	427
Grand Total	676	492	525	1693

#### Taulukko I

Hessin tuloksia /19/

#### 4) Motivaatio- ja argumentointianalyysi.

Tässä pyritään selvittämään, missä määrin ja millaista esitettyjen näkemysten perustelemista ja motivoimista ilmenee. Esimerkiksi voidaan tutkia, missä määrin ja millaista emotionaalista kielenkäyttöä esiintyy.

Kommunikaation ilmissisältöön kohdistuvan tutkimuksen rinnalla kiinnitetään huomio myös muihin seikkoihin, kuten esimerkiksi kirjoittajien koulutukseen, ammattiin ja muihin taustatietoihin. Ydinvoimalakeskusteluissa näyttää olevan tärkeätä kysyä, miksi juuri tämä henkilö juuri tässä tilanteessa esittää puheenvuoronsa. Sanojahan käytetään usein todellisten ajatusten salaamiseen. Kuten edellä jo Suomen ruotsinkielisen lehdistön kiinnostusta analysoitaessa kävi ilmi, ydinvoimalan sijoittaminen jollekin paikkakunnalle muodostaa monimutkaisen haitta- ja hyötynäkökohtien vyyhdin. Ne henkilöt tai ryhmät, jotka laskevat oma-kohtaiset haittansa saavutettavissa olevaa hyötyä suuremmiksi, eivät useinkaan halua käydä keskustelua avoimesti haitta-hyötynäkötasolla. Keskustelu pyritään pitämään poissa tulenaroiksi katsotuilta alueilta ja tällöin ydinvoimaloiden turvallisuus tarjoaa jo todennäköisyyslaskennallisen luonteensa vuoksi erään hyökkäyskohteen. Esimerkiksi varatuomari von Hertzenin valtioneuvostolle lähettämän kirjeen sisältöanalyysi ei mielestäni anna täydellistä kuvaa tekstinlaatijan tarkoitusperistä. Yleisten haitta-hyötynäkökohtien lisäksi on tietysti useita yksilöllisiä tai vaikkapa kyseisen lehden toimitustapaan liittyviä syitä, joista johtuen tietty henkilö laatii kirjoituksen tietysissä tilanteissa.

Voidaan sanoa, että jokainen lehdistökeskusteluun osallistuva suorittaa tietoisesti tai tietämättään jonkinlaisen alkeellisen sisältöanalyysin keskustelun aikaisemmista puheenvuoroista. Tarkempien kommunikaatiotutkimusten taustalla on usein pyrkimys hallita syntyviä keskusteluja, kanavoida ne haluttuihin uomiin, estää edeltäkäsikin "irrationaalisten reaktioiden" synty, kuten asia on joskus ilmaistu. Samanlainen pyrkimys sisältyy niihin tutkimuksiin (esimerkkinä viite /20/), joissa on selvi-

tetty voimayhtiön antaman informaation merkitystä ydinvoimala-  
kiistojen eskaloitumisen ehkäisyssä.

#### KIRJALLISUUSVIITTEET

- /1/ Lindell B. ja Löfveberg S., Kärnkraften, människan och säkerheten. Allmänna Förlaget, Stockholm, 1972.
- /2/ Tappava ydinreaktori. Insinööriutiset, 1973-10-05.
- /3/ Gofman J.W. and Tamplin A., 'Population control' by nuclear pollution. Chicago, Nelson-Hall company, 1970.
- /4/ Gofman J.W. and Tamplin A., Poisoned power. Emmaus, Pa., Rodale Press, 1971.
- /5/ Bright G.O., Some effects of public intervention on the reactor licensing process. Nuclear Safety 13 (1972) 1, pp. 13...21.
- /6/ Novick S., The careless atom. Boston, Houghton Mifflin Company, 1969.
- /7/ Curtiss R. and Hogan E., Perils of the peaceful atom; the myth of safe nuclear power plants. Garden City, N.Y., Doubleday & Company, Inc., 1969.
- /8/ Gillette R., Nuclear safety (I): the roots of dissent. Science 177 (1972) 1 September, pp. 771...776.  
Nuclear safety (II): the years of delay. Science 177 (1972) 8 September, pp. 867...871.  
Nuclear safety (III): critics charge conflicts of interest. Science 177 (1972) 15 September, pp. 970...975.  
Nuclear safety (IV): barriers to communication. Science 177 (1972) 22 September, pp. 1080...1082.

- /9/ Bond V. P., The impact of nuclear power on the public, the American experience. Brookhaven National Laboratory 1973. BNL-17897.
- /10/ Slater H.G., Public opposition to nuclear power: an industry overview. Nuclear Safety 12 (1971) 5, 448 ...456.
- /11/ Feuz P., Meichle A. et Winkler W., L'opinion publique suisse face a l'energie nucleaire. A/CONF.49/P/676, (1971).
- /12/ Schuster G., Sicherheitsbedenken gegen die friedliche Nutzung der Kernenergie. Atomwirtschaft (1970) Januar, 29...34.
- /13/ Robin A. et al., Energie atomique et relations publiques. A/CONF.49/P/641, (1971).
- /14/ Izrael Yu.A. and Teverovsky E.N., Prospects of wide use of atomic energy with radiation safety of population. A/CONF.49/P/684, (1971).
- /15/ Tarjanne R., Ydinenergia ja yleisö. Esitelmä ATS:n ekskursion yhteydessä Finlandia-laivalla 1973-05-13.
- /16/ Eskola A., Sosiologian tutkimusmenetelmät, osa 2. Porvoo, WSOY, 1967.
- /17/ Borg O., Suomen puolueideologiat. Porvoo, WSOY, 1965.
- /18/ Tarkka P., Paavo Rintalan saarna ja seurakunta. Keuruu, Otava, 1966.
- /19/ Hess N.D., Nuclear Power in perspective: the plight of the benign giant. Nuclear Safety 12 (1971) 4, 283...290.
- /20/ Jopling D.G. and Gage S.J., The pattern of public resistance. Nuclear News 14 (1971) 3, 32...35.

SUOMESSA JULKAISTUJA ARTIKKELEITA YDINVOIMALOIDEN  
TURVALLISUUDESTA

1. Novick S., Ydinvoiman rauhanomaisen käytön vaarat. Parnasso (1969) no 2, s. 100...109. (Artikkeli ilmestyi Commentaryssa (12/1968), suomennos: Tapio Karjalainen.)
2. Vuorinen A. ja Toivola A., Ydinvoimalaitoksen vaikutus ympäristöön. Tekniikka (1970) no 1, s. 79...86.
3. Säteilyfysiikan laitos, Ydinvoimalaitos ja ympäristön turvallisuus. (1971), suomeksi ja ruotsiksi.
4. Numminen K., Ydinvoimalaitos ja ympäristön turvallisuus. Väestönsuojelulehti (1971) no 4, s. 2...6.
5. Vuorinen A., Toivola A. ja Kahlos H., Ydinvoimalaitosten turvallisuus. Väestönsuojelulehti (1971) no 7, s. 16...20.
6. Vuorinen A. ja Toivola A., Ydinvoimalaitoksen paikanvalintaan vaikuttavista turvallisuustekijöistä. Sähkö 44 (1971) no 7-8, s. 164...167.
7. Hästholmen tiedottaa. Imatran Voiman ryhmäristiside jokaiseen kotiin, ilmestyy suomeksi ja ruotsiksi, ensimmäinen numero v. 1972.
8. Ydinvoimalaitos ja ympäristö. Sähköviesti (1972) no 3.
9. Miljöforskare till attack: Atomkraften skapar oanade problem! Nya Pressen, 1972-07-13.
10. Atomkraftverkets säkerhet. Östra Nyland, pääkirjoitus 1972-08-08.
11. Jokaisen ydinvoimalan piipusta tulee vähän radioaktiivisuutta. Helsingin Sanomat, 1972-08-29.

12. Minne panemme atomijätteet? Rakennustaito (1972) no 13.
13. Mäkelä T., Tietoisku Loviisalle, Vuosaarelle, koko Suomelle ... Miksi ydinreaktoreiden vaaroista vaietaan? Nyrkkiposti (1972) no ?
14. Haglund K., Några frågor till Imatran Voima. Östra Nyland, palstalla Läsarna skriver 1972-11-07.
15. Teerimäki N. (IVO informationbyrån), Om a-kraftverket på Hästholmen. Östra Nyland, vastaus edelliseen artikkeliin 1972-11-11.
16. Luonnonsuojelijat Loviisassa: Enemmän tietoa - vähemmän huhuja. Loviisan Sanomat, 1972-11-14.
17. Problematisk atomkraft. Hufvudstadsbladet, pääkirjoitus 1973-01-08.
18. Atomskugga över oss! Atomkraftverket väcker oro i Ingå och Sjundeå. Nya Pressen, 1973-04-05.
19. Atomivoimala-ankka. Kansan Uutiset, pääkirjoitus edellisen artikkelin johdosta, 1973-04-08.
20. Winchester S., Epäilyksiä ydinvoiman tulevaisuudesta. Helsingin Sanomat, lainaus The Guardian-lehdestä, 1973-04-30.
21. Bärs B. ja Mankamo T., Näinkö myös Suomessa: Imperialismin keskukset energiakriisin kourissa. Tiedonantaja, 1973-05-05.
22. HBL-debatt, 1973-06-03...1973-08-30. Ks. seuraavaa sivua.
23. Nurmi R., Rämö M. ja Räsänen J., Ekologit kysyvät Imatran Voimalta: Ovatko Loviisan ja Inkoon ydinvoimalat turvallisia? Helsingin Sanomat, 1973-08-12.

24. Regnell B., Imatran Voima vastaa ekologeille: Viranomaiset valvovat turvallisuusvaatimuksia. Helsingin Sanomat, vastaus edelliseen artikkeliin 1973-08-19.
25. von Hertzen H., Fissioreaktoreiden rakentaminen olisi syytä jättää. Insinööriuutiset, H. v. H:n kirje Valtio-neuvostolle ilmeisesti kokonaisuudessaan, 1973-09-07.
26. Suomi rakentaa, vaikka atomivoimalat äärimmäisen vaarallisia. Turun Päivälehti, 1973-09-11.
27. Laaksonen J., Syrjäyttääkö vetyvoima atomivoiman? Helsingin Sanomat, 1973-09-26.

#### HBL-DEBATT

- 1973-06-03 Med.lic. Tom Brunila: "Kärnkraftverken innebär betydande katastrofrisk"
- 1973-06-11 Fil.mag. Björn Wahlström: "Kärnenergiindustrin uppvisar en unik säkerhetsstatistik"
- 1973-06-17 Tekn.dr. Bruno Bärs: "Hellre aktiv i dag än radioaktiv i morgon"
- 1973-07-08 Mag. Kirsti Erä-Esko: "Växande mängder radioaktiv avfall kan inte lagras säkert"
- 1973-07-15 Med.lic. Tom Brunila: "Hur påverkas vår miljö av kärnkraftverken?"
- 1973-07-17 Fil.mag. Björn Wahlström: "Opinionsbildning kring kärnkraft kräver saklighet"
- 1973-07-17 Ekol.stud. Markku Rämö: "Stopp för atomkraften"

- 1973-07-18 Fil.mag. Björn Wahlström: "Kärnkraftverkens säkerhet har fungerat klanderfritt"
- 1973-07-21 Ekol.stud. Markku Rämö: "Känslan och det sunda förnuftet"
- 1973-07-26 Tekn.dr. Bruno Bärs: "Vår erfarenhet av kärnkraft är alltså begränsad"
- 1973-07-26 B B (Bruno Bärs ?) "Nader kräver stängning av 20 kärnkraftverk"
- 1973-07-26 Fil.mag. Björn Wahlström
- 1973-07-26 Med.lic. Tom Brunila
- 1973-08-03 Nordiska Sommaruniversitetets Ekologigrupp; Risto Nurmi, Markku Rämö, Juhani Räsänen: "Frågor till dem som bär ansvar för kärnkraftverk"
- 1973-08-07 Mag. Kirsti Erä-Esko: "Problemen runt atomindustrin komplexa, berör olika områden"
- 1973-08-08 Mag. Kirsti Erä-Esko: "Har vi moralisk rätt att efterlämna radioaktivt avfall"
- 1973-08-09 Prof. Erik Spring: "Kärnkraft, radioaktivitet och politiska synpunkter"
- 1973-08-11 Säkerhetschefen Bjarne Regnell: "Kärnkraftverk planeras synnerligen grundligt"
- 1973-08-13 Tekn.dr. Bruno Bärs: "Reaktorforskningspolitiken"
- 1973-08-18 Ekol.stud. Markku Rämö: "Kärnkraftverkens säkerhet"
- 1973-08-30 Svante Gillberg: "Imatran Voima och Kopparnäs"



TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Teknillisen fysiikan osasto

vt. prof. Jorma Routti

## TEHOREAKTORIEN TEKNIILLISIÄ KYSYMYKSIÄ JA ENERGIAN TUOTANNON NÄKYMIÄ

### Ydintekniikan seminaarit lukuvuonna 1973-1974

#### 1. Tavoitteet

Laajamittaisen ydinvoimalaitosten rakennusohjelman toteuttaminen ja siihen liittyvien tutkimuspalvelusten suorittaminen maassamme vaativat lisääntyvää koulutuspanosta ydintekniikan alalla. Monet alan tehtävät edellyttävät diplomi-insinööritutkintoa laajempaa ja syvällisempää jatko- tai täydennyskoulutusta. Näitä koulutustarpeita teknillisen fysiikan osasto on pyrkinyt täyttämään järjestämällä koko lukuvuoden 1973-1974 kestävä ydintekniikan lisen-siaattiseminaarin.

Syyslukukaudella 1973 seminaarin ohjelma keskittyi ydinvoimalaitosten luotettavuus- ja turvallisuuskysymyksiin. Nämä kysymykset laajasti käsitettyinä ovat keskeisiä ydinvoimalaitosohjelmaa toteutettaessa. Nihin liittyvien selvitysten tekoon ja tutkimuksiin tarvitaan myös koulutuksessa sekä laadullisesti että määrällisesti suurempaa panosta. Ydinvoimalaitosten käyttöön liittyvien riskien analysoinnin ja rajoittamisen lisäksi ovat nämä kysymykset tärkeitä myös taloudelliselta kannalta tarkasteltuna. Korkeat luotettavuus- ja turvallisuuskriteerit täyttävä ydinvoimalaitosten toteutus parantaa laitosten käytettävyyttä ja pienentää odottamattomien käyttökeskeytysten- ja rajoitusten aiheuttamia tuotannon menetyksiä. Oikeilla valinnoilla voidaan myös osittain välttää tarpeettoman varovaiset ja kalliit ratkaisut.

Kevätlukukauden 1974 ohjelmassaan seminaari keskittyi tehoreaktorien rakenne- ja käyttötekniillisiin kysymyksiin. Luotettavuus- ja turvallisuuskriteerien asettamat vaatimukset ovat täytettävissä ainoastaan oikeiden rakenneteknillisten ratkaisujen ja materiaalivalintojen, valmistusvaiheen riittävän laadun-

varmennuksen sekä laitosten hyväksymiseen ja käyttöön liittyvän valvonnan ja tarkastustoiminnan kautta. Lisäksi tarkasteltiin uusien fissioreaktorityyppien kehitysnäkymiä. Energiantuottoon ehdotettuja muita kauempana toteutumistaan olevia mahdollisuuksia, kuten auringon energian, geotermisen energian ja fuusioreaktorien lupauksia ja rajoituksia on tarkasteltu lisensiaattiseminaarin kanssa rinnakkaisessa ydintekniikan kevätlukukauden 1974 oppilasseminaarissa "Energiantuoton fysikaaliset vaihtoehdot".

Lisensiaattiseminaarin koulutukselliset tavoitteet asetettiin laajapohjaisiksi. Seminaariin osallistuvien henkilöiden asiantuntemuksen parantamisen ohella on pyrkimyksenä pidetty myös korkeatasoisen aineiston kokoamista myös laajempaa keskustelua varten. Tämä nimenomaan ydinvoimalaitosten luotettavuus- ja turvallisuuskysymyksiin keskittyvä keskustelu on vilkkaana käynnistynyt kaikissa ydinvoimaohjelmia toteuttavissa maissa ja selviä merkkejä sen alkamisesta myös Suomessa on ollut nähtävissä. Tähän keskusteluun usein liittyvän asiatietojen vähäisyyden tai virheellisyyden välttämiseksi on korkeatasoisen aineiston tarve ilmeinen.

## 2. Fissioenergian näkymiä

Energiantuottoon tarkoitetut ensimmäiset fissioreaktorit valmistuivat 1950-luvun loppupuolella. Nykyisin on asennettua ydinvoimalaitostehoa maailmassa noin 40 GWe. Tähän asti on ollut mahdollista tuntea suuri osa koko maailman ydinvoimalaitoksista niiden sijainnin perusteella valituilta "kutsumanimiltä". Taulukko I esittää yhteenvedon ja toiminnassa olevista laitoksista.

Lähitulevaisuudessa tulee laitosten lukumäärä nopeasti kasvamaan. Vuoden 1973 puolivälin tilastojen mukaan on rakennettu olevien ja tilattujen yksiköiden määrä 256, josta yksin Yhdysvalloissa 143. Näiden laitosten kokonaisteho yltää jo 215 Gwe arvoon. Ennusteiden mukaan tulee asennettu fissioteho kasvamaan noin 500 GWe määrään kymmenen vuoden kuluessa ja noin 3000-5000 GWe määrään vuosisadan loppuun mennessä. Huolimatta näin nopeasta kasvusta tulee fissioenergian osuus, joka nykyisin on alle 1 % maailman noin 8000 GW suuruisesta teknologisesti raakaenergian käytöstä, jäämään vielä vuosisadan vaihteessa noin neljännekseen koko raakaenergian kulutuksesta.

Taulukko I. Asennettu ydinvoimalaitosteho maittain 1.6.1973

Maa	Teho	Tyyppi	Valm.	Maa	Teho	Tyyppi	Valm.
Reaktori	MWe		vuosi	Reaktori	MWe		vuosi
<b>Alankomaat</b>				<b>Ranska</b>			
Borssele	450	PWR	73	Bugey	540	GCR	72
Dorewaard	55	BWR	69	Chinon	70+200+480	GCR	64,65,
<b>Englanti</b>				Chooz	272	PWR	67
Berkeley	2x137	GCR	62	Marcoule	2x40	GCR	59,60
Bradwell	2x150	GCR	62	St. Laurent	487+515	GCR	69,71
Calder Hall	4x50	GCR	56	<b>Ruotsi</b>			
Chapel Cross	4x50	GCR	58	Oskarshamn	440	BWR	72
Doundreay	250	LMFBR	73	<b>Saksan Dem. Tasav.</b>			
Dungeness	2x275	GCR	65	Nord	440	PWR	73
Hinkley Point	2x625	AGR	73	Rheinsberg	75	PWR	66
Hunterston	2x160	GCR	64	<b>Saksan Liittotasav.</b>			
Oldbury	2x300	GCR	68	Grundremmigen	237	BWR	67
Sizewell	2x290	GCR	66	Karlsruhe	52	PHWR	62
Trawsfynydd	2x250	GCR	65	Lingen	256	BWR	68
Windscale	32	AGR	63	Obrigheim	320	PWR	68
Winfrith	94	SGHWR	68	Stade	630	PWR	72
Wyfa	2x590	GCR	71	Würgassen	640	BWR	72
<b>Espanja</b>				<b>Sveitsi</b>			
Garona	440	BWR	71	Beznau	2x350	PWR	69,72
Vandellos	480	GCR	72	Mühleberg	326	BWR	72
Zorita	153	PWR	69	<b>Tsekkoslovakia</b>			
<b>Intia</b>				Bohunice	110	GCHWR	72
Rajasthan	2x202	PHWR	72	<b>Yhdysvallat</b>			
Tarapur	2x190	BWR	69	Big Rock Point	70	BWR	62
<b>Italia</b>				Dresden	200+2x800	BWR	60,70,
Garigliano	150	BWR	64	R.E.Ginna	490	PWR	70
Latina	150	GCR	64	Haddam Neck	575	PWR	68
Trino Vercelesse	247	PWR	65	Hanford	790	LGR	66
<b>Japani</b>				Humbolt Bay	68	BWR	63
Mihama	320+470	PWR	70,72	Indian Point	265	PWR	62
Tokai Mura	159	GCR	67	LaCross	53	BWR	69
Tsuruga	340	BWR	70	Maine Yankee	790	PWR	72
<b>Kanada</b>				Millstone	652	BWR	70
Douglas Point	206	PHWR	68	Monticello	548	BWR	71
Gentilly	250	BLWR	72	Nine Mile Point	612	BWR	69
Pickering	4x512	PHWR	71,72,73	Oyster Creek	640	BWR	69
<b>Neuvostoliitto</b>				Palisades	700	PWR	71
Beloyarsk	94+200	LGR	64,67	Peach Bottom	40	HTGR	67
Melekess	70	BWR	66	Pilgrim	670	BWR	72
Novo-Voronezh	210+375+440	PWR	64,69,71	Point Beach	2x497	PWR	70,72
Shevchenko	150	LMFBR	72	Quad Cities	2x800	BWR	72
Troitsk	600	LGR	58	Robinson	700	PWR	71
<b>Pakistan</b>				San Onofre	430	PWR	68
Kanupp	125	PHWR	72	Shippingport	100		
				Surry	2x788	PWR	72,73
				Turkey Point	725	PWR	72
				Vermont Yankee	514	BWR	72
				Yankee Rowe	175	PWR	61

Luonnonuraanivarojen rajallisuuden vaatima uudentyyppisten hyötöreaktorien kehittäminen tulee ennestään lisäämään fissioreaktorien tekniikassa vallitsevaa tyyppikirjavuutta. Esiintyyhän jo nykyisin käytössä olevissa tehoreaktoreissa polttoaineen rikastusasteen ja rakenteen, hidastimen ja jäähdytteen materiaalivalinnan, lämmönvaihtimien ja sähköntuottopiirien, toisiopiirin jäähdytyksen ja useiden muidenkin rakenneparametrien suhteen useita vaihtoehtoja, niin että kahta identtistä reaktoria on tuskin vielä rakennettu. Standardisointipyrkimykset ovat kyllä olleet viime aikoina usein esillä, mutta niitä rajoittavat erilaiset käsitykset suunnitteluperusteista ja kansallisten säännösten erilaisuudet. Optimiratkaisujen määrittäminen on hyvin vaikeata edes lähtökohdiltaan määrättyille tilanteille, ja lisäksi lähtötilanteet vaihtelevat huomattavasti eri rakennuskohteissa. Nyt rakenteilla tai tilattavina olevien tehoreaktorien valtaosa on kuitenkin rikastettua luonnonuraa polttoaineenaan käyttäviä kevytvesijäähdytteisiä painevesi- tai kiehutusvesireaktoreita, niin kuin taulukossa II esitetty yhteenveto rakenteilla olevista ja tilatuista reaktoreista eri maiden kohdalta osoittaa.

Kansainvälisissä tilastoissa esiintyy maamme kohdalla kolmea yksikköä koskevia tietoja. Suunnitelmat useamman reaktoriyksikön hankkimiseksi ovat kuitenkin jo melko pitkälle valmistettuja. Ennusteiden mukaisesti tulee ydinenergian osuus maassamme kasvamaan kansainvälistä keskiarvoa nopeammin. Energiapoliittinen neuvottelukunta on eräässä osamietinnössään päättänyt suosittelemaan optimiarvoiksi vuoteen 1985 mennessä 5 GWe ja vuoteen 1990 mennessä 10 GWe. Maamme fossiilisten polttoaineiden niukkuuden lisäksi vauhdittaa ydinenergian nopeaa kasvua maassamme sen soveltuvuus nimenomaan sähköntuottoon. Maamme energiatalouden sähköistysaste on jo nykyisin hieman kansainvälistä keskiarvoa korkeampi ja tulee ennusteiden mukaan edelleen nousemaan. Nykyisin sähkön tuottoon käytetään raakaenergiasta noin 30 % käytetystä kokonaisraakaenergiasta ja tämä osuus tulee ennusteiden mukaan nousemaan noin 40 % arvoon 10 vuodessa ja noin 55 % arvoon vuosisadan vaihteessa.

Ydinreaktorien tyyppikirjavuus tarjoaa useita vaihtoehtoja kansallisia optimiratkaisuja fissioreaktorien käyttöön otossa ja yleisemmin energiahuollon vaihtoehtoja etsittäessä. Ydinvoimalaitosten rakentamis- ja käyttökausien pitkäjännitteisyyden vuoksi on näitä ratkaisuja etsittäessä tarpeellista perehtyä reaktoriteknikan näkymiin pitkälle tulevaisuuteen. Uusien reaktori-tyyppien ja niiden rakentamiseen ja käyttöön liittyvien teknologioiden

Taulukko II. Rakenteilla olevat ja tilatut ydinvuimalaitokset maittain ja reaktorityypeittäin 1.6.1973

Luvut kokonaistehoja MWe, suluisissa reaktoriyksiköiden lukumäärä.

Maa	PWR	BWR	LMFBR	Muut	Rakenteilla jo tilattu yhteensä	Jo asennettu yhteensä
Alarkomaat						515 (2)
Argertira				920 (2) PHWR	920 (2)	
Belgia	1650 (3)				1650 (3)	
Bresilia	625 (1)				625 (1)	
Bulgaria	1760 (4)				1760 (4)	
Erglarti				6200 (10) AGR	6200 (10)	6330 (29)
Espanja	6300 (6)	930 (1)			7230 (7)	1070 (3)
Etelä-Korea	560 (1)				560 (1)	
Irtia				600 (3) PHWR	600 (3)	780 (4)
Italia		840 (1)			840 (1)	450 (3)
Itävalta		690 (1)			690 (1)	
Japani	5760 (7)	8020 (11)			13780 (18)	1290 (4)
Karada				3580 (5) PHWR	3580 (5)	2500 (6)
Meksiko	600 (1)				600 (1)	
Neuvostoliitto	1890 (3)		600 (1)	4000 (4) LGR	6490 (8)	2140 (8)
Pakistan						125 (1)
Ranska	3640 (4)	1990 (2)	250 (1)	515 (1) GCR	6395 (8)	2640 (9)
Ruotsi	2610 (3)	4300 (6)			6910 (9)	440 (1)
Saksan Dem.Tasav.	1320 (3)				1320 (3)	515 (2)
Saksan Liittotasav.	7025 (6)	4620 (5)	280 (1)		11925 (12)	2135 (6)
Suomi	840 (2)	660 (1)			1500 (3)	
Sveitsi	920 (1)	1750 (2)			2670 (3)	1025 (3)
Taiwan		3100 (4)			3100 (4)	
Tsekkoslovakia	1760 (4)				1760 (4)	110 (1)
Urkari	880 (2)				880 (2)	
Yhdysvallat	83765 (93)	43455 (42)	400 (1)	5690 (7) HTGR	133310 (143)	15575 (30)
<b>Yhteensä</b>	<b>121905 (144)</b>	<b>70355 (76)</b>	<b>1530 (4)</b>	<b>21505 (32)</b>	<b>215295 (256)</b>	<b>37640 (112)</b>
<b>Keskiteho</b>	<b>847</b>	<b>926</b>	<b>382</b>	<b>672</b>	<b>841</b>	<b>336</b>

PWR = pressurized water reactor  
 BWR = boiling water reactor  
 LMFBR = liquid metal fast breeder reactor  
 PHWR = pressurized heavy-water-moderated and -cooled reactor  
 GCR = gas-cooled reactor  
 AGR = advanced gas-cooled reactor  
 LGR = light-water cooled, graphite moderated reactor  
 HTGR = high-temperature gas-cooled reactor

Taulukoiden lähteinä  
 Nuclear Engineering  
 International ja  
 Nuclear News.

tarkastelu on näitä päämääriä varten tärkeää. Toivottavaa on, että lisensiaattiseminaarin aineisto osaltaan auttaa kartoittamaan näitä ongelmia.

### 3. Vaihtoehtoisista energialähteistä

Vaihtoehtoisia energiantuottomuotoja on tarkasteltu edellä mainitussa rinnakkaisessa seminaarissa "Energiantuoton fysikaaliset vaihtoehdot". Niihin liittyvät aika- ja muut rajoitukset eivät kuitenkaan tule merkittävästi muuttamaan yllä mainittuja kasvuennusteita fissioreaktorien osalta. Mielenkiintoista on kuitenkin tässä yhteydessä lyhyesti tarkastella tätä aihepiiriä ja maailman energiavirtoja yleisemminkin. Näiden virtojen mittana käytetään seuraavassa tehon yksikköä  $1 \text{ GW} = 1000 \text{ MW} = 10^9 \text{ W}$ , joka vastaa suuren voimalaitosyksikön tehoa. Kiinteiden polttoaineiden varojen ja kulutuksen mittana käytetään usein yksikköä  $1 \text{ Mtoe}$  eli miljoona tonnia öljy-akvivalenttia. Kulutus  $1 \text{ Mtoe/v}$  vastaa lämpöarvoltaan jatkuvaa tehoa  $1,3 \text{ GW}$ . Sähkökulutuksen yksikkönä käytetty  $1 \text{ TWh/v} = 10^{12} \text{ Wh/v}$  vastaa jatkuvaa tehoa  $0,11 \text{ GW}$ .

Maailman energiavirtojen taseessa on auringon energialla hallitseva asema. Auringossa vapautuu fuusiotehoa noin  $4,8 \times 10^{18} \text{ GW}$ , joka vastaa noin  $10^{16} \text{ kg}$  säteilyä päivässä. Auringon massa on noin  $10^{30} \text{ kg}$  ja tulee siis riittämään käytännöllisesti katsoen rajattomaksi aikaa. Maapallon päivänpuoleisen pallonpuoliskon auringosta vastaanottama teho on noin  $1,7 \times 10^8 \text{ GW}$ . Radioaktiivisten aineiden hajoaminen maan sisällä tuottaa lämpöenergiaa, jonka virta maan pinnalla on auringosta saatavaa säteilytehoa lähes neljä dekadia pienempi, noin  $25000 \text{ GW}$ .

Nykyisin on koko maailmassa ihmisen teknologinen energiankäyttö noin  $8000 \text{ GW}$  eli noin  $1/20000$  osa auringosta tulevasta energiavirrasta. Sen osuus on kuitenkin kasvanut nopeasti ja kasvaa edelleen noin  $5-7 \%$  vuosittaisella vauhdilla. Pitkälle teollistuneissa maissa on energiankäyttö henkeä kohden noin 100 kertainen verrattuna ihmisen biologiseen energian tarpeeseen, joka on noin  $2000 \text{ kcal}$  päivässä. Kylmän ilmaston teollisuusmaissa tehonkäyttö henkeä kohden on keskimäärin yli  $10 \text{ kW}$  ja koko maailmassa noin  $1,7 \text{ kW}$ .

Maailman väkiluku, joka on nykyisin noin neljä miljardia, kasvaa ja kaksinkertaistuu ennusteiden mukaan  $30-35$  vuodessa. Tähän kasvuun liittyvä

inertia johtaa myöhemmin vielä suurempaan väestöön, jonka arviointi on vaikeaa mutta joka ylittää todennäköisesti noin 15 miljardiin. Näin suuren väestön elinehtojen turvaaminen asettaa tiettyjä vaatimuksia energian käytölle elintarvikkeiden, makean veden, lämmön ja kulutushyödykkeiden tuottamiseksi sekä ympäristön suojelun ja uusiutumattomien luonnonvarojen jälleekierron osalta. Jos oletetaan, että suurin osa väestöstä edelleen tulee asumaan lämpimässä ilmastossa, on tavoitteeksi asetettu 5-50 kW henkeä kohden. Alempaa rajaa vastaava energiankäyttö olisi 15 miljardin ihmisen väestölle 75000 GW.

Vaikka teknologian aiheuttama energiavirta maapallon kokonaistaseessa ehkä näyttääkin pieneltä - jäähän sen osuus yllä mainitun ennusteen 75000 GW kohdalta alle 0.05 % arvoon auringosta tulevasta tehosta - on se ekosysteemin kannalta merkittävän suuri. Fotosynteesin kautta kuluu auringon säteilyenergiaa noin 46000 GW ja sen kautta muodostuvaan biomassaan sitoutuu noin 1/10000 auringon energiasta. Biomassan tuotannossa maanviljelyksen osuus on noin 1/1000. Nykyisellä kasvuvauhdilla ohittaa teknologinen energiankäyttö fotosynteesin osuuden muutamassa kymmenessä vuodessa. Näin suureen ja sitä vielä huomattavasti suurempaan ennustettuun teknologiseen energiankäyttöön liittyy vakavuudeltaan vaikeasti arvioitavia ekologisia riskitekijöitä. Jo nykyisen suuruisen teknologisen energian tuottoon ja käyttöön teollisuusmaissa liittyy ilmeisiä ympäristöhaittoja. Toivottavaa onkin, että nopeasti kasvavan energiankäytön asemasta syntyisi säästeliäämpään teknologiaan perustuva vaihtoehto.

Nykyisestä teknologisesta raakaenergian käytöstä valtaosa, eli 98 %, on peräisin fotosynteesin kautta fossiilisiin polttoaineisiin sitoutuneesta auringon energiasta. Tästä öljyn osuus on 45 %, kivihillen 35 % ja maakaasun 18 %. Erityisesti helposti hyödynnettäviä öljyvaroja kulutetaan nopeasti, nykyisin noin 1 % arvioiduista varoista vuodessa. Kiinteiden fossiilisten polttoaineiden varat riittävät sadoiksi vuosiksi, mutta niiden erittäin laajamittainen käyttö toisi mukanaan tuntemattomia ekologisia riskejä ainakin palamistuotteena syntyvän hiilidioksidin ilmastollisten vaikutusten osalta. Teknologian raakaenergiasta on vain 2 % peräisin vesivoimasta, joka sekin on auringon säteilyenergian sivutuote ja jonka osuus tulevaisuudessa tulee laskemaan. Muut energianlähteet, ydinenergia mukaan luettuna, muodostavat alle 1 % nykyisestä käytöstä.

Fossiilisia polttoaineita korvaavien vaihtoehtojen nopean kehittämisen ja hyödyntämisen tarve on kaikkialla tunnustettu. Suurin osuus tästä korvaavasta energiasta tulee lähivuosikymmeninä tuotetuksi termisillä reaktoreilla, kuten taulukot I ja II osoittavat. Arvioidut luonnonuraanivarat nykyisissä alimmissa hintaluokissa alle 20 \$/lb ovat noin  $4 \times 10^6$  tonnia  $U_3O_8$  ja tulevat riittämään termisissä reaktoreissa käytettynä vain suunnilleen yhtä kauan kuin öljyvarat. Korkeammissa hintaluokissa 30-100 \$/lb ovat varat noin 20 kertaiset alimpaan luokkaan verrattuna. Ylärajana voidaan mainita graniitin 4-10 ppm uraanipitoisuus ja meriveden 0.003 ppm uraanipitoisuus, joista jälkimmäinen vastaa kokonaismäärää noin  $4 \times 10^9$  tonnia.

Fissioreaktorien varaan rakentuva energiantuotto edellyttää siis välttämättä hyötöreaktorien tai lähellä hyötöä toimivien reaktorien kehittämistä. Näiden avulla saadaan uraanin hyödyntäminen noin satakertaiseksi termisiin reaktoreihin verrattuna ja lisäksi avautuu runsaiden toriumvarojen käyttömahdollisuus. Nämä kehitysprojektit onkin asetettu etusijalle energiatutkimusohjelmissa, jotka tähtäävät nykyisin ennen kaikkea natriumjäähdytteisen nopean reaktorin kehittämiseen. Nopean kaasujäähdytteisen reaktorin kehitysohjelma on lähtenyt liikkeelle myöhemmin ja hitaammin. Sulasuolakonstruktion perustuva terminen toriumhyötöreaktori on esiintynyt vain teoreettisissa tarkasteluissa. Nopeisiin reaktoreihin liittyvät kehitys- ja turvallisuusongelmat sekä fissioreaktoreiden yhteiset jätteiden varastointiongelmat ovat viime aikoina vauhdittaneet muiden fossiilisia polttoaineita korvaavien mahdollisuuksien tutkimista.

Edellä on auringon energian hallitseva osuus maapallon energiavirroissa tullut usein mainituksi. Ainakin jossakin määrin lupaavia menetelmiä auringon energian suoraan hyödyntämiseen on ehdotettu useita. Näitä ovat lämpöenergian hyödyntämiseen tähtäävät säteilyenergian tai valtamerien pintavesien lämpötilagradienttien käyttöön perustuvat laitteet, valosähköiseen konversioon perustuvat maan pinnalle tai avaruuteen sijoitetut kennot, fotosynteesin tapaisen sähkökemiallisen konversioon käyttö ja biologiseen konversioon kuten metaanin tuottoon perustuvat menetelmät. Joidenkin näiden menetelmien hyötysuhde on niin korkea, että niiden puolesta puhujien arvioiden mukaan olisi mahdollista tuottaa koko nykyinen maailman käyttämä teknologinen energia erämaa-alueella, jonka koko olisi vain alle  $200 \times 200 \text{ km}^2$ . Hyötysuhteella 20 % tuottaisi tämä alue, jolla lankeaa auringon säteilyenergiaa noin  $1 \text{ kW/m}^2$



eli  $1 \text{ GW/km}^2$ , nykyisen teknologisesti käytettävän 8000 GW. Auringon energian suoran käytön etuina voidaan lisäksi mainita sen turvallisuusriskien ja ympäristöhaittojen vähyys. Rajoittavina tekijöinä ovat puuttuvan teknologian lisäksi energian siirrosta johtuvat ongelmat.

Uusiutwana ja rajattomana energialähteenä voidaan auringon energian ohella pitää kontrolloituun fuusioreaktioon perustuvaa energiantuottoa. Sen polttoaine deuterium on erotettavissa vedestä ja sitä on valtamerissä käytännöllisesti katsoen rajattomasti, energiasisällöltään noin  $4 \times 10^{30}$  J, joka aikaisemmin mainittua teknologisen energiankulutuksen ylärajaa 750000 GW vastaten riittäisi noin  $2 \times 10^8$  vuodeksi. Lisäksi tältä energiantuottomuodolta puuttuisivat monet fissioreaktoreiden turvallisuus- ja saasteongelmat. Fuusiotutkimuksen osuus onkin nopeasti kasvamassa sen nykyisestä noin 10 % osuudesta energiatutkimukseen.

Fuusioreaktorin perustana olevat termonukleaariset reaktiot keksittiin noin 40 vuotta sitten ja teknillisiä toteutuksia reaktoreille on etsitty noin 20 vuoden ajan. Sekä magneettikenttien käyttöön perustuvia plasmakoneita että viime aikoina laser- tai elektronisuihkuilla toteutettavaksi ehdotettuja inertiaaliseen koossapitoon perustuvia laitteita on tarkasteltu yksityiskohtaisesti ATS:n tiedoituslehden numerossa 4/1974. Kummankin menetelmän kohdalla odotetaan lähivuosina uusien valmisteilla olevien laitteiden ja teoreettisten mallien kokeellisen tarkistuksen lisäksi myötä huomattavia edistysaskelia ja mahdollisesti reaktorin toteutettavuuden näyttöä, josta kuitenkin ei ole vielä takeita. Sen mahdollisesti onnistuessa on edessä pitkä teknillinen kehitysohjelma, joka esimerkiksi fissioreaktorien kohdalla on kestänyt lähes 30 vuotta ennen laajamittaisen hyödyntämisen alkua. Fuusioreaktoreiden kiihdytetty tutkimusohjelma on tähän astisten tulosten pohjalla hyvin perusteltavissa, sen sijaan sitä ei olisi joidenkin ehdottama fuusioreaktorin varaan rakentuvaan energiantuotto-ohjelmaan keskittyminen fissioreaktorit hyläten.

Nykyisin on maailman raakaenergian käytöstä sähkön tuottamiseen menevä osuus noin 30%. Kun sähkön tuoton hyötysuhde on noin 30%, on tuotetun sähkön lämpöarvo vain 9% raakaenergian määrästä. Sähköistysasteen ennustetaan kasvavan vuoteen 2000 mennessä niin, että sen tarvitsema raakaenergia kasvaa 45% osuuteen, joka parantuneella hyötysuhteella tuottaa lämpöarvoltaan sähköenergiaa lähes 20% koko raakaenergian määrästä. Pitkällä tähtäimellä ovat fossiili-

lisiä polttoaineita korvaavien ydin- ja aurinkoenergian osuuden edelleen kasvaessa vaihtoehtoina suurempi sähköistysaste tai synteettisten polttoaineiden tuotto näillä energialähteillä. Fissioreaktoreiden käyttö rajoittuu nykyisin lähes yksinomaan sähkön tuottoon. Aurinkovoimaloiden mahdollisesti sijoittuessa kauas energian kulutuksen painopisteistä, muodostuvat sähkön siirtoon, varastointiin ja soveltuvuuteen liittyvät ongelmat merkittäviksi. Näiden vaikutuksien sekä fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyvien ympäristöhaittojen eliminoimiseksi tarjoavat synteettiset polttoaineet huomattavia etuja. Useimmin on ehdotettu vedyn käyttöä energiantuoton väliportaana ja tähän perustuvan vetytaloudelliseen teknologiaan siirtymistä. Vedyn tuottomenetelmät suoraan lämpöenergiaa käyttäen samoin kuin sen teknologian käyttö ovatkin olleet lisääntyvän mielenkiinnon kohteena. Synteettisten polttoaineiden tuotto edustaa yhtä mahdollisuutta niistä lukuisista energian konversiomenetelmistä, jotka ovat tulleet ajankohtaisiksi ja uusien energialähteiden hyödyntämistä kehitettäessä.

Edellä mainitut mahdolliset uudet energialähteet eivät ole maamme olosuhteiden kannalta ajankohtaisia eivätkä kaikki edes kysymykseen tulevia. Epäsuorasti tuleva kuitenkin myös niiden osalta koko maailman energian kulutuksen ja resurssien vaikutukset tuntumaan kaikissa maissa. Tässä mielessä on viittaus seminaarin "Energiantuoton fysikaaliset vaihtoehdot" aihepiiriin paikallaan.

#### 4. Lisensiaattiseminaari

Tutkintosuorituksiin tähtäävien jatko-opiskelijoiden lisäksi toivottiin seminaariin laajapohjaista osanottoa myös muiden aiheista kiinnostuneiden taholta. Osallistumiskutsuja lähetettiin myös korkeakoulun ulkopuolelle ydinteknillisten kysymysten parissa tutkimus- ja selvitystyötä tekeviin laitoksiin, ydinvoimalaitosten rakennuttajille ja komponenttien valmistajille sekä Atomiteknillisen seuran jäsenille osoitetun kutsun kautta laajasti alalla työskenteleville henkilöille.

Ilmoittautuneita osanottajia oli syyslukukaudella 61 ja kevätlukukaudella 54. Osanottajien henkilökohtaiset tavoitteet ja mielenkiinto jakautuivat suoritettun kyselyn perusteella seuraavasti:

	syyslukukausi	kevätlukukausi
- liseniaattitutkinnon pääaineen osasuoritus	13	13
- liseniaattitutkinnon sivuaineen osasuoritus	5	3
- diplomi-insinööritutkinnon osasuoritus	1	1
- täydennyskoulutus	42	37

Ilmoittautuneiden osanottajien työpaikkajakautuma oli seuraava:

	syyslukukausi	kevätlukukausi
- VTT:n Ydinvoimatekniikan laboratorio	23	22
- VTT:n Reaktorilaboratorio	18	10
- ydinvoimalaitoksia rakennuttavat ja komponentteja valmistavat yhtiöt	8	8
- VTT:n Sähkötekniikan laboratorio	5	8
- muut valtion laitokset (KTM, SFL. jne.)	7	6

Seminaari kokoontui viikottain syyslukukaudella 12 kertaa ja kevätlukukaudella 16 kertaa. Kummallakin jaksolla oli 19 alustusta, joista noin puolet jatko-opiskelijoiden pitämiä ja puolet korkeakoulun ulkopuolisten alan laitojen asiantuntijoiden pitämiä.

#### 5. Sisältö ja dokumentointi

Liseniaattiseminaarin esitelmät on koottu neljään Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan osaston raporttiin. Aiheita ja niiden ryhmittelyä kuvaavat parhaiten näiden raporttien sisällysluettelot seuraavassa:

#### Raportti TKK-F-B18, syyslukukauden 1973 1.raportti

vt.prof. Jorma Routti, TKK:

Ydinvoimalaitosten luotettavuus- ja turvallisuuskysymykset, Ydintekniikan liseniaattiseminaari syyslukukaudella 1973

DI Lasse Nevanlinna, IVO:

Energian tuotanto ja käyttö

TL Heikki Yalli, TTY: Ydinvoimaloiden turvallisuudesta  
käydystä lehdistökeskustelusta

DI Tuomas Mankamo, VTT: Reaktorilaitoksen mitoituseriaaiteista

TT Bruno Bärs, VTT: Säteilyannosmääräyksistä, suosituksista  
ja ehdotuksista

PhD Tapio Euroia, SFL: IRS-kokous hätäjähdytysjärjestelmistä,  
Köln 1973

TT Heikki Reijonen, VTT: Yhteenveio Harwellin reaktoriturvalli-  
suuskurssista

DI Seppo Vuori, VTT: Eri reaktorityyppien soveltuvuus lähi-  
sijoitukseen

Lisäksi laajaan Harwellin reaktoriturvallisuuokurssiin liittyvää keskeisintä  
aineistoa koottiin noin 200-sivuiseksi erilliseksi monisteeksi, jota jaettiin  
lähinnä sen aineiston suorittamista kiinnostuneille jatko-opiskelijoille.

Raportti TKK-F-B17, Syyslukukauden 1973 2.raportti

DI Lasse Mattila, VTT: Johdanto seminaarin moduliin "Ydinvoima-  
laitosten turvallisuusanalyysi Suomessa"

TY Esa Mannola, VTT: Reaktorionnettomuustilanteiden lämpö-  
ja virtaustekninen analyysi

TY Ilari Aro, VTT: Suojarakennuksen paine- ja lämpötila-  
transientit onnettomuusolosuhteissa

TT Heikki Reijonen, VTT: VTT:llä suoritettava turvallisuustutkimus

DI Lasse Mattila, VTT: Radionuklidien käyttäytyminen ydinvoi-  
malaitoksella

DI Tuomas Mankamo, VTT: Luotettavuusteknisten menetelmien sovel-  
taminen reaktorilaitosten turvallisuus-  
analyysissä

TL Juhani Ervamaa, VTT: VTT:n luotettavuusryhmässä tehtävä  
turvallisuuokurssin tutkimus

- FM Helge Häkkinen, YMET: Meteorologia ja ydinvoimaloiden turvallisuus
- FL Anneli Salo, SFL: Radionuklidien ympäristövaikutukset
- Raportti TKK-F-B21, Kevätlukukauden 1974 1. raportti
- vt.prof. Jorma Routti, TKK: Tehoreaktorien rakenne- ja käyttö- teknilliset kysymykset, Ydintekniikan lisenssiaattiseminaari kevätlukukaudella 1974.
- DI Erkki Eskola, TKK: Ydinvoimalaitos energian tuottajana
- DI Juhani Johansson, VTT: Kevytvesireaktoreiden teräspaineastiat
- DI Matti Hannus, VTT: Betonipaineastiat
- TT Jaakko Kajamaa, SFL: Ydinvoimalaitosten painettakantavien osien valvontamenettely Suomessa
- TL Juhani Ervamaa, VTT: Ydinreaktorilaitosten turvajärjestelmien luotettavuus
- TY Veli-Erkki Voipio, VTT : Säteilynvalvontajärjestelmät ja luotettavuus
- DI Matti Komsa, VTT: Reaktorin suojaus ja luotettavuus
- DI Tuomas Mankamo, VTT: Kevytvesireaktorilaitosten komponenttien luotettavuudesta
- Raportti TKK-F-B23, Kevätlukukauden 1974 2. raportti
- DI Ilkka Mäkipentti, KTM: Polttoainepolitiikka ja kansainväliset sopimukset
- DI Seppo Karttunen, VTT: Ydinenergian taloudelliset kysymykset
- DI Jorma Karppinen, VTT: Polttoaineen valmistus, mitoitus ja jälleenkäsittely
- DI Pertti Sarkomaa, LTKK: Sydämen mekaaninen ja lämpötekniillinen suunnittelu

DI Rauno Mokka, TKK:	Laadunvarmistus
DI Risto Tarjanne ja	
DI Seppo Vuori, VTT:	Lämmitysreaktoriprojekti
DI Eero Patrakka, VTT:	Polttoaineen käytön optimointi
DI Olli Tiihonen, VTT:	Ydinvoimalan dynamiikka ja säätö
DI Kai Anttila, VTT:	Ydinvoimaloista saatuja käyttö- kokemuksia
DI Seppo Salmenhaara, VTT:	Korkealämpötilareaktorit
DI Frej Wasastjerna, VTT:	Natrium- ja kaasujäähdytteiset nopeat hyötöreaktorit

Raportti TKK-F-B20, Kevätlukukauden 1974 oppilasseminaari

vt.prof. Jorma Routti, TKK:	Energian tuoton fysikaaliset vaihto- ehdot, Ydintekniikan seminaari kevätlukukaudella 1974
TY Olli Vilkamo:	Ennusteet energian käytöstä ja varoista
TY Risto Louhenperä:	Auringon energian suora käyttö
TY Henrik Bärlund:	Vattenkraft och vindenergi
TY Sirkka Vilkamo:	Geoterminen energia
TY Rolf Holmberg:	Lämpöpumppu energian tuottajana
TY Seppo Kelppe:	Vesireaktorit
TY Hannu Kaikkonen:	Kaasujäähdytteiset reaktorit
TY Timo Vanttola:	Hyötöreaktorit
TY Hannu Järvinen:	Plasma-fuusiokoneet
TY Kari Tilli:	Fuusio laserilla tai elektroni- suihkulla
TY Markku Nieminen:	Magnetohydrodynaamiset ja termioniset laitteet
TY Riitta Raiko:	Vetykierto-energiasyteemit ja energian varastointisysteemit

## 6. Yhteenveto

Ydintekniikan lisensiaattiseminaaria suunniteltaessa asetetut tavoitteet tulivat hyvin täytetyiksi. Seminaarin laaja osanotto heijastaa sitä jatko- ja täydennyskoulutuksen tarvetta ja yleisempää mielenkiintoa ydinvoimalaitosten teknillisiä, taloudellisia ja turvallisuuskysymyksiä kohtaan, joita seminaari pyrkii palvelemaan.

Seminaari tuotti runsaasti kirjallista aineistoa. Alalla tapahtuvan nopean kehityksen tähden voivat seminaariesitelmien muodossa suoritettut katsaukset päästä lähemmäksi viimeaikaista kehitystä kuin oppikirjat. Tämä aineiston suomenkielisyys lisäksi toivottavasti parantaa sen käyttöarvoa koulutuksellisia tavoitteita varten.

Erityisesti on seminaarin onnistumisesta kiitettävä niitä ydinvoimalaitosten suunnittelun, rakentamisen ja valvonnan piirissä työskenteleviä asiantuntijoita ja viranomaisia, jotka alustuksillaan ja aktiivisella osanotollaan auttoivat seminaarin toteuttamista. Samoin tulee kiitokset osoittaa seminaarin jatko-opiskelija-alustajille ja aktiiviselle ja kiitettävästi keskusteluun osallistuneelle kuulijakunnalle.

Otaniemessä, toukokuun 25.päivänä 1974

*Jorma Routti*

Jorma Routti

Lähteitä:

- M. Calvin. Solar radiation and life. University of California Lawrence Berkeley Laboratory report LBL-923 (1972).
- L. Nevanlinna. Energian tuotanto ja käyttö. Tutkimus ja tekniikka 10 (1973).
- Nuclear Engineering International. volumes (1973-1974).
- Nuclear News. volumes (1973-1974).
- Physics Today. volumes (1973-1974).
- United States Atomic Energy Commission reports
- WASH-1243. Nuclear fuel resources and requirements (1973).
- WASH-1250. The safety of nuclear power reactors and related facilities (1973).
- WASH-1281. The nation's energy future (1973).