

ATS

Ydintekniikka n:o 1/1977

ATS-PALSTA		s. 3
KOTIMAAN TAPAHTUMIA		s. 5
PRAV, SKBF JA KBS - RUOTSIN YDIN- JÄTEORGANISAATIO TÄNÄÄN	I. Mikkola	s. 20
SUOMEN PLUTONIUMSTRATEGIA VUOTEEN 2000	P. Silvennoinen	s. 22
YDINJÄTEHUOLLON NYKYTILANNE USA:SSA	J. Heinonen	s. 30
ENERGIAN SÄÄSTÖTOIMENPITEET SUOMESSA	H. Kotila	s. 45
TEOLLISUUDEN ENERGIATUTKIMUKSET	P. Sarkomaa	s. 51
YDINTEKNIIKAN TUTKIMUS- JA KEHITYSTYÖ VALTION TEKNILLISESSÄ TUTKIMUSKESKUKSESSA		
Yleiskuva VTT:n ydintekniikan tutkimuksesta	V. Palva	s. 85
Piirteitä VTT:n ydinvoima- tekniikan laboratorion toiminnasta	L. Mattila	s. 90
Sähkötekniikan laboratorion toiminnasta	P. Salminen	s.100
Reaktorimateriaalitutkimus VTT:llä	K. Törrönen	s.105

ATS YDINTEKNIikka

Numero 1/1977

Huhtikuu 1977

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

Toimitus: päätoimittaja
Lasse Mattila
toimittaja
Jorma Karjala

YDINTEKNILLISEN TUTKIMUKSEN TULEVAISUUS SUOMESSA

Ei voida kieltää sitä, että tutkimus yleensä ja erikoisesti teknillinen tutkimus on joutunut vastatuuleen koko läntisessä maailmassa. Tutkimusta ei enää nähdä keinona ongelmien ratkaisuun, apua haetaan yhteiskuntatieteiden taholta ja sosiaaliset sekä kansainväliset probleemat koetaan teknillisiä kysymyksiä merkittävämmiksi. Tällöin unohdetaan helposti kaikkien inhimillisten toimintojen läheinen yhteennivoutuminen. Järjestelmän toimiminen edellyttää sen osajärjestelmien toimimista.

Energian tuotannon turvaaminen on ja säilyy teollistuneen maailman keskeisenä ongelmana. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi on mobilisoitava kaikki keinot. Ydinenergia on erikoisesti Suomen olosuhteita silmälläpitäen erittäin houkutteleva vaihtoehto edellyttäen, että sen soveltamiseen liittyvät ongelmat kyetään hoitamaan tavalla, joka säilyttää sen taloudellisen kilpailukyvyn ja samalla takaa riittävän turvallisuustason. Huolimatta ydinvoiman rakentamisen viivästymisestä kulutuksen ennakoitua vähäisemmästä kasvusta johtuen, on sen tarjoama vaihtoehto edelleen pidettävä mielessä tehtäessä päätöksiä energiantarpeen tyydyttämiseksi.

Voidaan helposti sanoa, että ydinteknillisen tutkimuksen hoitavat meitä suuremmat maat. Meidän tulisi siis hoitaa vain koulutukseen liittyvä tutkimus ja tutkimustyö, joka tarvitaan ydinenergian turvallisen käytön ja päätöstentien teknillisen asiantuntemuksen varmistamiseksi. Nämä vaatimukset määrittelevätkin tutkimustoiminnan minimitason ja tätä laajuutta työ maassamme on seurannutkin. Eräillä alueilla on jopa ollut vaikea tyydyttää minimitarvetta laadullisesti, erikoisesti käytännön kokemuksen puute on ollut toimintaa vaikeuttava tekijä. Koska omaan ydinvoimalaitossuunnitteluun ei ole ollut mahdollisuuksia, on tarve pyritty tyydyttämään kansainvälisellä yhteistyöllä ja tutkimuksella.

Kun nyt Suomessa rakenteilla olevat voimalaitokset alkavat valmistua, vedetään helposti se virheellinen johtopäätös, että ydinteknillisen tutkimuksen tarve tästä johtuen huomattavasti vähenisi. Tämä ei pidä paikkaansa, sillä

- Suomessa on ydinteknillinen tutkimus mitoitettu niin suppeaksi, että sen supistaminen uhkaisi voimalaitosten turvallista käyttöä, johtaisi teknillisen tason laskuun ja vaikeuttaisi kansainvälisten yhteyksien hoitamista
- voimalaitosten valmistuessa vaativat käytönaikaiset ongelmat jatkuvaa tutkimista, jonka tarve vain lisääntyy laitosten vanhetessa
- jäteongelman ratkaisu on edelleen avoin ja sen hoitaminen vaatii nykyistä huomattavasti suurempaa tutkimuspanosta
- kehityksen seuraaminen ja ulkomainen yhteydenpito edellyttävät huomattavaa tutkimuspanosta
- kokemus on osoittanut, että annosrajojen ylläpito voi häiriötoimintojen tapahtuessa olla ilman aktiivisilla aineilla työskentelemään tottunutta varamiehistöä vaikeaa.

On siis aivan ilmeistä, että meidän myös tulevaisuudessa tulee suorittaa huomattavasti ydinteknillistä tutkimusta. Sen rahoituksen tulee tulla osittain valtion taholta, osittain voimayhtiöiden ja teollisuuden tahoilta. Viranomaisten tehtävänä on huolehtia siitä, että riittävä tutkimuspanos saadaan aikaan. Tutkimustyön suorittajina tulevat kysymykseen lähinnä entiset organisaatiot: tutkimuslaitokset, teollisuus ja yliopistot sekä korkeakoulut. Jäteongelman ratkaisu voi edellyttää uusien tutkimusorganisaatioiden luomista työn erikoislaadun ja pitkän aikajänteen vuoksi. Ydinteknillisellä tutkimuksella on siis edelleen tärkeä asema maassamme, sen määrään ei tulisi liian lyhytnäköisten tarkastelujen antaa vaikuttaa.

Pekka Jauho

ATS-PALSTA

VUOSIKOKOUKSEN 1977 PÖYTÄKIRJASTA

Suomen Atomiteknillisen Seuran 11. vuosikokouksen avasi seuran puheenjohtaja Erkki Vaara. Vuosikokouksen puheenjohtajaksi valittiin Ilkka Mäkipentti ja pöytäkirjan tarkastajiksi valittiin Lasse Mattila ja Björn Palmén sekä heidän varamiehekseen Pekka Hiismäki.

Seuran toimintakertomus vuodelta 1976 hyväksyttiin ja kuultiin tilintarkastajien lausunto yhdistyksen varainhoidosta ja hallinnosta. Tilinpäätös vuodelta 1976 hyväksyttiin sellaisenaan. Edellisten perusteella seuran johtokunnalle myönnettiin tili- ja vastuuvapaus yhdistyksen tileistä ja hallinnosta.

Seuran puheenjohtajaksi valittiin yksimielisesti Olli Tiainen. Erovuoroisia johtokunnassa olivat puheenjohtajan vaalin jälkeen Reino Hyvärinen, Risto Tarjanne ja Erkki Vaara. Heidän tilalleen tulivat äänestyksen jälkeen Pekka Hiismäki, Paavo Holmström ja Ami Rastas. Johtokunnan keskuudesta valittiin varapuheenjohtaja, sihteeri ja rahastonhoitaja. Kokoonpanoksi tuli seuraava:

Olli Tiainen	puheenjohtaja
Paavo Holmström	varapuheenjohtaja
Pekka Hiismäki	rahastonhoitaja
Ami Rastas	jäsen
Bjarne Regnell	jäsen
Eric Rotkirch	jäsen
Launo Tuura	sihteeri

Seuran tilintarkastajiksi valittiin Antero Raade ja Aito Ojala sekä heidän varamiehekseen Leena Katajapuro. Seuran jäsenmaksut pysytettiin ennallaan ja ne ovat siis:

liittymismaksu	40 mk
vuosijäsenmaksu	30 mk
ainaisjäsenmaksu	400 mk
kannatusjäsenmaksu	600 mk

Toimihenkilöiden vuosipalkkioiksi vahvistettiin rahastonhoitajalle 1200 mk ja sihteerille 1400 mk.

Seuran toimintasuunnitelma hyväksyttiin lisäyksellä, että kuukausikokousten ohjelmistoon sisällytetään katsaus suomalaisten ydinvoimaprojektien nykyvaiheeseen.

JOHTOKUNNAN JÄRJESTÄYTYMINEN

Seuran johtokunta piti järjestäytymiskokouksen 1977-02-07. Siinä nimettiin seuran yleissihteeriksi Jorma Karjala. Hän toimii samalla "ATS Ydintekniikka" -lehden toimittajana. Päätoimittajaksi nimettiin edelleen Lasse Mattila. Lisäksi kokouksessa valittiin seuraa kotimaisissa ja ulkomaisissa järjestöissä edustavat henkilöt. Kotimaisia ovat Sähköinsinöörijärjestöt, TAVYN, SÄHKÖ -lehden toimitusvaliokunta, Tieteellisten seurojen neuvosto ja Tekniikan sanastokeskus. Kansainvälisiä yhteyksiä on European Nuclear Society (ENS) ja American Nuclear Society (ANS) kanssa, joista ENS:n Steering Committeeessa on Juhani Kuusi ja Information Committeeessa Ahti Toivola.

Seuran ekskursiotoimikuntaan nimitettiin Eric Rotkirch ja Jorma Karjala. Ulkomaan ekskursio pyritään järjestämään syksyllä 1977. Informaatiotoimikunnan (ATSinfo) kokoonpano pysyi ennallaan. Toimikunnan puheenjohtaja on Ahti Toivola.

Järjestäytymiskokouksessa todettiin lisäksi, että ATS järjestää ENS:n ja ANS:n kanssa kansainvälisen "Low Temperature Nuclear Heat" -konferenssin Otaniemessä 1977-08-21...08-24. Konferenssin General Chairman on Erkki Laurila ja Program Chairman on Risto Tarjanne.

Launo Tuura

KOTIMAAN TAPAHTUMIA

AKATEEMIKKO ERKKI LAURILA - MIES SUOMEN ATOMIENERGIAN KEHITYSHISTORIAN TAUSTALLA

Akateemikko Erkki Laurila on ollut keskeisesti vaikuttamassa siihen kehityskulkuun, jonka huipentumana Suomesta on juuri tullut ydinenergiaa hyödyntävä valtio. Tehokkaimmin Laurila on voinut vaikuttaa tapahtumien kulkuun olemalla Atomienergianeuvottelukunnan puheenjohtajana aina sen perustamisesta v. 1958 vuoden 1975 loppuun. Hänen työnsä tulokset tullevat konkreettisesti näkymään ja vaikuttamaan vielä vuosikymmeniä eteenkinpäin, sillä tällä hetkellä hän johtaa työryhmää, jonka tehtävänä on valmistella Suomen atomilain uudistusta.

Tämän mittavan työn korostamiseksi nykyinen atomienergianeuvottelukunta järjesti akateemikko Laurilan kunniaksi 1977-01-04 päivälliset, jossa kauppa- ja teollisuusministeri Arne Berner piti puheen, jonka lehtemme saa tässä nyt tuoda laajemminkin julki.

Suomen ensimmäisen atomivoimalaitoksen käyttöönotto tulee lähiaikoina olemaan tosiasiassa, kun vielä viime hetkessä esiintyvät teknilliset vaikeudet on voitettu, ja olen erittäin iloinen siitä, että kauppa- ja teollisuusministerinä minulla on ollut mahdollisuus päästä mukaan tähän historiallisesti varsin merkittävään tapahtumaan esittämällä valtioneuvostolle tarvittavan käyttöluvan myöntämisen Imatran Voima Osakeyhtiölle. Täällä päättyi pitkä tapahtumaketju joka oikeastaan alkoi vuonna 1954. Sähköinsinööriyhdistyksen kevätkokouksessa sinä vuonna, siis 23 vuotta sitten, pidettiin nimittäin silloin esitelmä, jonka aiheena oli "Energiäkysymys fyysikon silmin". Kyseessä oleva fyysikko ja esitelmän pitäjä oli tämän illan kunniavieraamme akateemikko Erkki Laurila, ja hänen esitelmänsä päättyi seuraaviin sanoihin: "Loppujen lopuksi näyttää siltä, että Suomessa, jossa atomienergian tutkimusta ei rahoiteta eikä kovin paljon harjoiteta, olisi paremmatkin edellytykset kuin monissa muissa maissa tämän uuden energiantuotantomuodon taloudelliseen hyväksikäyttämiseen."

Jos siirrymme ajassa vuoden eteenpäin, voimme todeta että Suomen Akatemia maaliskuussa 1955 järjesti kokouksen, johon Akatemian silloisten jäsenten Kailan, Nevanlinnan ja Palménin lisäksi osallistuivat akatemian ulkopuolelta professori Erkki Laurila sekä Imatran Voima Osakeyhtiöstä toimitusjohtaja H. Lehtonen ja sähköosaston johtaja insinööri M. Laurila. Kokouksen tuloksena akatemian esimies professori Artturi I. Virtanen lähetti valtioneuvostolle akatemian ehdotuksen siitä, että valtioneuvosto asettaisi atomienergiatoimikunnan huolehtimaan alan kaikinpuolisesta kehittämisestä. Tasan kaksi viikkoa nainitun kokouksen jälkeen valtioneuvosto asettikin komitean selvittämään kysymystä, ja puheenjohtajaksi pyydettiin Erkki Laurilaa. Erkki Laurilan kirjasta Atomienergian tekniikkaa ja politiikkaa olen lukenut että hänelle itselleen ei ollut selvää että hän lähtisi ohjaamaan Suomen atomivoiman tielle. Ministeri Aarre Simonen tarjosi tämän energiakomitean puheenjohtajan tehtävää hänelle, ja Erkki Laurila kirjoittaa suostumisestaan näin:

"En ollut kovinkaan halukas ryhtymään tehtävään, koska Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan osaston ainoana professorina ja tähän osastoon kiinteästi kuuluvan valtion teknillisen tutkimuslai-

toksen teknillisen fysiikan laboratorion johtajana minulla oli riittämiin mielenkiintoista puuhaa. Suostutteluun osallistui myös sovelletun fysiikan professori Jarl A. Wasastjerna, joka huomautti tehtävään liittyvästä mahdollisuudesta saada teollisuudelta tukea korkeakoulussa suoritettavalle tutkimustyölle."

Samana vuonna, siis 1955, järjestettiin Genevessä ensimmäinen kansainvälinen atomikonferenssi, jossa Suomen valtuuskunnan puheenjohtajana toimi Erkki Laurila. Tämä konferenssi johti kansainvälisen atomienergiajärjestön perustamiseen. Viisi vuotta myöhemmin löydämme Erkki Laurilan tämän järjestön, IAEA:n hallintoneuvostossa eräänä sen kuvernöörinä. Energiakomitea laati Erkki Laurilan johdolla mietinnön, joka annettiin syksyllä 1956. Erityisen atomitutkimuskeskuksen perustamista muiden pohjoismaiden malliin komitea ei pitänyt tarpeellisena, mutta katsoi välttämättömäksi hankkia maahan tutkimus- ja koulutusreaktorin. Nyt, 20 vuotta myöhemmin, voimme todeta että ratkaisu oli varsin oikeaan osunut, ja että Suomi on voinut Nordiska kontaktorganet för atomenergifrågor elimen myötävaikutuksella hyötyä muiden pohjoismaiden varsin kalleista tutkimuksista Suomelle erittäin edullisella tavalla - kontaktorganetissa on Suomen valtuuskuntaa alusta eli vuodesta 1957 lähtien johtanut Erkki Laurila. Toinen energiakomitean toteutuneista esityksistä oli atomienergianeuvottelukunnan perustaminen, joka toteutui vuonna 1958. Puheenjohtajaksi nimitettiin Erkki Laurila. Energiakomitea esitti ja sai v. 1957 menoarvioon niin sanotun atomimomentin, joka löytyy kuluvankin vuoden menoarvioesityksestä energiahuoltomomenttina. Tämän määrärahan turvin onkin Suomen atomitutkimus kuluneen 20 vuoden aikana rahoitettu, ja Suomeen on koulutettu atomiasiantuntijat, aluksi suoraan atomienergianeuvottelukunnan assistentteina.

Suomen ensimmäisen atomireaktorin valinta jäi Erkki Laurilan ja professori Pekka Jauhon vastuulle. Alvar Aalto oli jo aikaisemmin merkinnyt atomireaktorin paikan Otaniemen asemakaavaan. Valituksi tuli amerikkalainen Triga-merkkinen reaktori, joka lähti käyntiin vuonna 1962 teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan osaston rakennuksen vieressä. Tämä tutkimusreaktori on tietysti tänäkin päivänä menestyksellisesti toiminnassa Otaniemessä, ja ratkaisu voidaan pitää oikeaan osuneena.

Suomen muuttaminen atomivoimaa käyttäväksi maaksi ei ole ainoa tehtävä jonka Erkki Laurila on kaikella kunnialla suorittanut. Kuten hän itse kirjassaan huomauttaa, hänellä on aina kaikenlaista mielenkiintoista puuhaa. Häntä pidetäänkin poikki-tieteellisenä yleisnerona, jonka mielenpidettä kuullaan mitä erilaisista asioista ja hänellä löytyy tietoja ja kokemuksia niin eri aloilta kuin merentutkimuksesta, tähtitieteestä, lentokonesuunnittelusta, elektroniikasta, magneettimalmien erotuksesta, metalliopista, kojetekniikasta, korkeakouluopetuksen kehittämisestä jne. mainitakseni nyt muutamia. Ainoa ala, jolla Erkki Laurila tietääkseni ei ole mainittavasti menestynyt on poliitikon uralla, kun hän valitettavasti ei saanut riittävästi ääniä päästäkseen presidentti Kekkonen valitsijamieheksi v. 1961. Mutta meille poliitikoille pitää tietysti myöskin jättää jotain tekemistä, ja tekeminen onkin helppoa kun on käytettävissä akateemikko Laurilan kaltainen asiantuntija-apu.

Saanan lopuksi esittää valtioneuvoston kiitokset akateemikko Erkki Laurilalle siitä valtavasta työstä, minkä hän on suorittanut Suomen energiatalouden ja atomitutkimuksen hyväksi, ja kiitoksen ansaitsevat myöskin atomienergianeuvottelukunnan arvoisat jäsenet jotka ovat olleet mukana tässä tärkeässä työssä Suomen ja suomalaisten hyväksi.

Juokaamme Erkki Laurilan malja!

LOVIISA I VIHITTY

Loviisan voimalaitoksen I-blokin koekäytössä on edistytty niin pitkälle, että vihkiminen tapahtui 23.3.1977 Tasavallan Presidentin U.K. Kekkonen ja Neuvostoliiton Ministerineuvoston Puheenjohtajan A.N. Kosygnin toimesta arvovaltaisen kutsuvierasjoukon läsnäollessa.

Näin huomattavaa tapahtumaa ja Suomen siirtymistä atomiaikaan sähköntuotannossa Imatran Voima Osakeyhtiö juhlisti 3-päiväisillä vihkiäisjuhllallisuuksilla. Juhlien 3-päiväisyys korostaa ensimmäisen ydinvoimalaitoksen merkitystä, mutta on toisaalta ollut ainoa ratkaisu, jolla IVO on voinut järjestää mahdollisimman monelle laitoksen suunnitteluun, toimituksiin, rakentamiseen ja koekäyttöön osallistuneille yhtiöille ja organisaatiolle mahdollisuuden osallistua vihkiäisiin.

Koekäytön kulku

Laitoksen koekäyttöön päästiin alustavien viritysten ja huuhteluiden jälkeen toukokuussa 76 siten, että Cold-Hydro reaktori-piirille alkoi 20.5.76. Koekäytössä ei saavutettu laitoksen valmistumiselle asetettua tavoitetta "Sähköntuotantoon vuoden 77 alusta", mutta itse kokeisiin on kuitenkin käytetty vähemmän aikaa, kuin vuonna 74 laadituissa koekäyttöaikatauluissa on varattu (katso taulukko), kun taas revisiot ja tarkastukset ovat vaatineet arvioitua enemmän aikaa.

Tosin, kun rakennus- ja asennustyöt myöhästyivät tavoiteaikataulusta, laadittiin useamman kerran uusia koekäyttöaikatauluja, joissa vähennettiin kokeille varattuja aikoja aiemmin menetetyn ajan voittamiseksi takaisin. Alkuperäisten ohjelmien mukainen kokeiden suoritus vaati kuitenkin oman aikansa eikä ajan takaisin voittamisessa ole kuin osittain onnistuttu.

Revisioihin tarvittua aikaa on lisännyt ei ainoastaan tekniset vaikeudet, vaan myös se, että osa asennustöistä jäi suoritettavaksi Cold-Hydro-kokeiden jälkeen. Näin tapahtui erityisesti venttiilien osalta koko laitoksella, mutta myös putkiston osalta turbiinilaitoksella. Tästä aiheutui hidastusta myös kokeiden suoritukselle, kun asennukseltaan keskeneräisiä putkistoja jouduttiin erottamaan koestettavista järjestelmistä hitsaamalla sokeita laippoja. Tästä seurasi myös painekokeiden toistamisia.

Koekäytön aikataulu

Alkuperäinen aikataulu vuodelta 74		Toteutunut	
(Esiviritykset	90 vrk)	(Asennusten, lomassa)	
Kylmähuuhtelu	24 "	18 vrk	alkaen 20.5.76
I-revisio & tarkastus	26 "	69 " "	7.6.76
Kuumahuuhtelu	35 "	35 " "	15.8.76
II-revisio & tarkastus	39 "	62 " "	20.9.76
Lataus & fysik.käyn- nistys	<u>180 "</u>	<u>≈ 130 "</u>	21.11.76
	304 vrk	≈ 314 vrk	

Edellisessä taulukossa ollut jakso "Lataus & fysikaalinen käynnistys ja tehonnosto" eteni seuraavien vaiheiden kautta tehota-
solle 80 %.

Polttoainelataus	21.11.-1.12.	11 vrk
Muutos-/viimeistelytöitä: Paineistimen jalan kevennys Torus-renkaan hitsaus	2.12.-26.12.	25 vrk
II-kuumakoe	27.12.-20.1.	25 vrk
Reaktori kriittiseksi	21.1.77 klo 11.21	
0-tehokokeet	21.1.-1.2.	12 vrk
Reaktorin teho 2%:lle	1.2.	
5-15 % tehokokeet	2.2.-8.2.	6 vrk
Turbogeneraattori tahdistettu verkkoon 1. kerran	8.2. klo 22.46	
Reaktorin teho 30%:iin ja kokeet 30%:lla turbiiniteholla 120-130 MW.	9.2.-23.2.	15 vrk
2-Turbogeneraattorin tahdistus verkkoon	19.2. klo 21.05	
Reaktorin teho 55%:iin	23.2.	
50%:n tehokokeet	23.2.-11.3.	18 vrk
Reaktorin teho 80%:iin	11.3.	
75%:n tehokokeet	11.3. alkaen	

Koekäytön vaikeudet

Vaikka koekäytössä onkin säästytty varsinaisilta vaurioilta tai vakavien suunnittelu- tai valmistusvirheiden aiheuttamilta isoilta muutostöiltä, on kulunut paljon aikaa pienten vaikeuksien ja viimeistelyjen parissa, jotka ovat tulleet esille vasta kokeiden yhteydessä. Asennuksen yhteydessä suoritettulla laadunvalvonnalla on luonnollisesti ollut merkittävä vaikutus vikoja vähentävänä tekijänä, mutta kaikkia vaikeuksia ei voida paljastaa ilman toimintakokeita, jotka muodostavat viimeisen vaiheen laadunvarmistuksen ketjussa.

Loviisassa ovat toimintakokeiden esiintuomia ja korjauksia vaativia vaikeuksia olleet: venttiilien ja välityskardaaniin vaatimat suunnitteluarvoja isommat voimat ja siten isommat moottorit ja kontaktorit; pumppujen värinät ja akselitiivisteiden vuodot; putkistojen lämpöliikkeiden aiheuttamat jännitykset ja siirtymät, venttiilien karatiivisteiden ja laippatiivisteiden vuodot (ei kuitenkaan aktiivisissa piireissä, koska niissä on hitsatut liitokset ja venttiileissä paljettiivisteiset karat).

Oman ryhmänsä muutoksia vaativissa töissä ovat muodostaneet instrumentointiin kohdistuneet muutokset, jotka ovat seurausta siitä, että ensimmäistä kertaa sovitettiin neuvostoliittolaisen PWR-laitoksen prosesseihin saksalaista instrumentointia automaatioasteen ollessa osittain jopa korkeampi kuin Saksassa rakennetuissa ydinvoimaloissa (Biblis A ja B mukaanluettuina). Vaikka tarvittavat muutokset ovat olleet lukuisia, on kuitenkin todettava, että laajuudeltaan ne ovat olleet vähäisiä ja valittu laiteteknologia instrumentoinnissa on sallinut muutosten joustavan toteutuksen siten, että koekäyttö ei ole missään vaiheessa "jäänyt kiinni" näistä muutoksista.

Tästä voitaneen tehdä se johtopäätös, että neuvostoliittolaisten prosessisuunnittelijoiden ja suomalaisten instrumenttisuunnittelijoiden välinen yhteistyö ja keskinäinen informaatio siirto - saksalaiset instrumenttispesialistit mukaanluettuna - on onnistunut erinomaisesti, kun muistetaan millaisia vaikeuksia joskus on ollut pelkästään suomalaisen prosessitoimittajan ja suomalaisen instrumenttitoimittajan yrittäessä saada systeemejä toimimaan yhteen.

Edellä lueteltujen "kooltaan" vähäisten vaikeuksien lisäksi on laitoksella ollut myös muutamia ns. "isompia vaikeuksia", joille kuitenkin on ollut ominaista, että itse vaikeuden konkreettinen korjaaminen ei ole ollut suuri työ, vaan aikaavievin työvaihe on ollut korjaussuunnitelman teko ja sen hyväksyttävyyden tarkistaminen lujuus- ym. analyysien.

Ehkä eniten tutkimus- ja selvitystyötä ovat tässä mielessä aiheuttaneet ohaiseen taulukkoon kootut tapaukset:

KOHDE	VAIKEUS	SYY (OSIN OLETTU)
Pääkiertopumput	Yliteho	Magnetiitin kerrostuminen pumppuun Pyörre loop:ssa höyrystimen jälkeen
Paineistimen jalka	Lämpöjännitys jalan vahvuuden takia	Paineistinta hitaampi lämpeneminen, jäähdyminen
Varavoimadieselit	Tehon riittävyys Dieselien uusiminen	Mitoituskriteerien muuttuminen ja moottorikuormien lisääntyminen
Pääkiertopumppujen akselitiivisteet	Luotettava toiminta	Käyttöolosuhteiden vaihtelu koe- käytön aikana
Putkistot	Vesi-iskut	Putken tyhjeneminen vedestä ja täyttyminen höyryllä
Putkistot	Värähtelyt ja paine- pulsatiot	Mäntäpumppujen indusoimat
Yhteenvedo		

Koekäytön loputtua ja laitoksen siirryttyä kaupalliseen käyttöön tullaan varmasti tekemään monia erilaisia yhteenvedoja ja tilastoja kaikesta tapahtuneesta ja siihen johtaneista syistä.

Eräänä tällaisena yhteenvedona oheen kerätty kuvasarja 1-8:

- Laitoksen tekniset arvot ja prosessijärjestelmät on esitetty kuvissa 1-3, joista selviävät järjestelmien pää-mitoitusarvot ja keskinäiset prosessitekniset riippuvuudet.
- Kesäkuussa 70 allekirjoitetun sopimuksen mukaan laitoksen tuli olla nimellisteholla kesäkuussa 76, tätä tavoitetta tarkistettiin toukokuussa 75 siten, että laitos valmistuisi joulukuussa 76. Kuvassa 4 on esitetty toteutuva aikataulu, jonka mukaan takuukokeiden jälkeen laitos siirtyisi kaupalliseen käyttöön toukokuussa 77.
- Rakennusaikainen työvoimavahvuus Loviisassa on esitetty kuvassa 5, joka kuitenkin sisältää myös Loviisa 2:n työvoiman. Korkein huippu LO1:n kohdalla oli vajaa 3000 henkeä, josta neuvostoliittolaisia asentajia on ollut n. 800.
- Kustannusten jakautuminen eri kohteille on esitetty kuvassa 6.
- Kuvassa 7 on esitetty Loviisan laitoksen suunnittelun ja toteutuksen tehtävä- ja vastuujaako eri organisaatioiden ja yhtiöiden kesken. Kaavio käsittää luonnollisesti vain tärkeimmät ryhmät ja kokonaisvastuut. Kaikkien Loviisan toteuttamiseen osallistuneiden suunnittelu- ja toimitusorganisaatioiden luettelo tulisi käsittelemään useita satoja nimiä.

Loviisan voimalaitos

Omistaja: Imatran Voima Osakeyhtiö
Päätöimittäjä: V/O Atomenergoexport
Sijainti: Hästholmenin saari, 12 km
kaakkoon Loviisan kaupungis-
ta ja 100 km itään Helsin-
gistä

Rakennusaikataulu: Lol
Rakennustöiden alku 6.1971
Reaktori kriittinen 7.1976
Kaupallisessa käytössä 12.1976

REAKTORITYYPPI: PWR painevesireaktori

TEHO

sähköteho, netto 420 MW
sähköteho, brutto 440 MW
lämpöteho 1375 MW

REAKTORISYDÄN

korkeus 2,42 m
halkaisija 2,80 m
polttoaineen laatu UO₂
polttoaineen määrä 42 tonnia U
poistopalama 28600 MWd/tU
polttoainenuippuja 349 kpl
polttoainesauvoja/nippu 126 kpl
booriteräksisiä
säätösauvoja 37 kpl

JÄÄHDYTE

jäähdyte-hidaste tislattu vesi
ja H₃BO₃
paine 123 bar
lämpötila reaktorin
sisäänmenossa 267°C
lämpötila reaktorin
ulostulossa 296°C
ensiökierron virtaus 6x7100 m³/h

REAKTORIN. PAINEASTIA

aine CrMoV-seosteinen hiiliteräs
ruostumaton teräsvuoraus
rungen korkeus 11,80 m
sylinteriosan ulkoh. 3,84 m
seinämän vahvuus
sylinteriosassa 140 m

SUOJARAKENNUS

tyyppi:
sisempänä vapaasti seisova
jäälauhduttimella varustettu
terässuojakuori, ulompana
betoniseinä
korkeus 64 m
terässuojakuoren halkai-
sija 44 m
jäälauhdutin n. 950 t
jäätä, lämpötila
n. -10°C

TURPIINIT

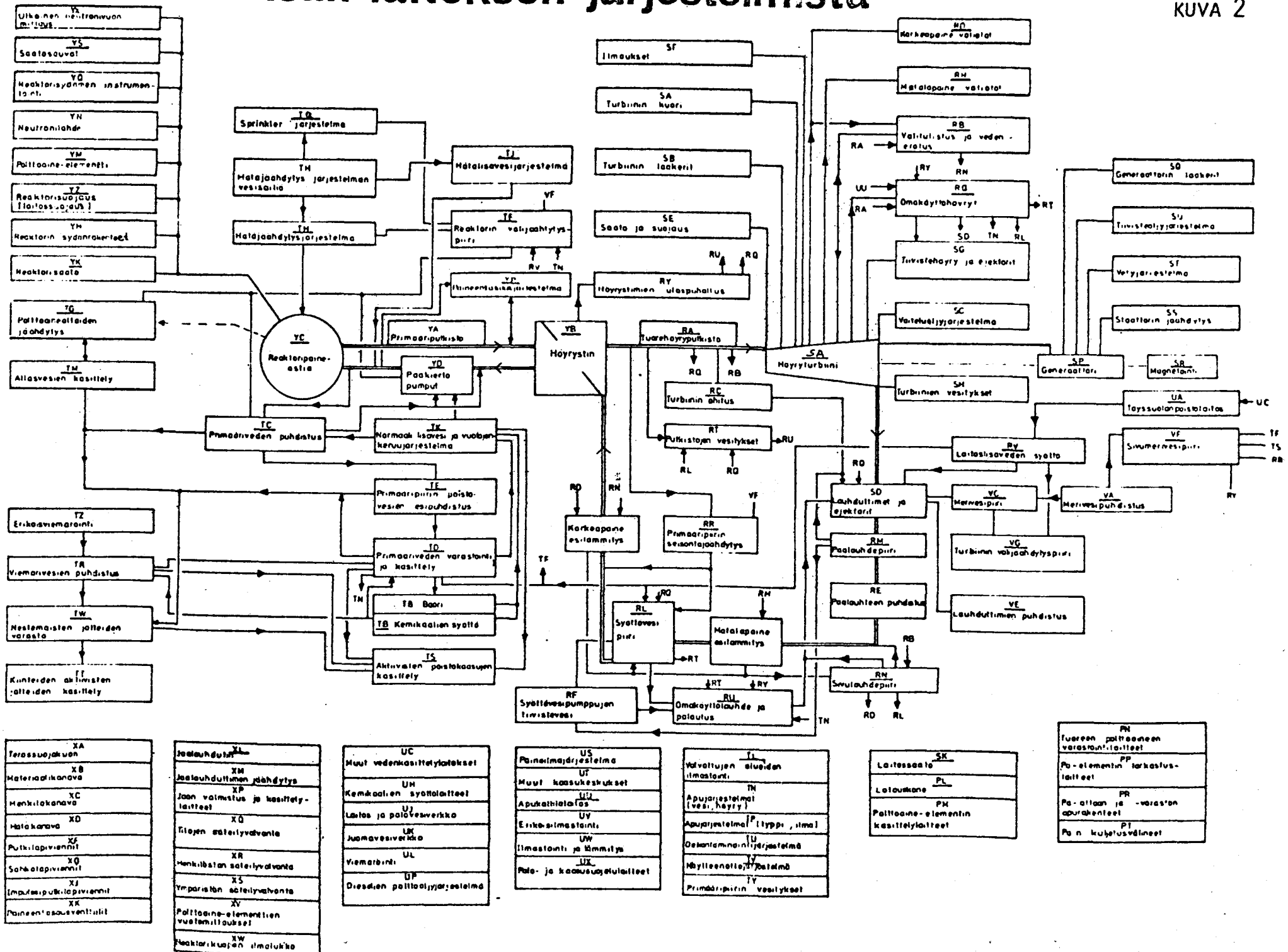
lukumäärä 2 kpl
kierrosluku 3000 r/min
höyryarvot
- paine 44 bar
- lämpötila 255°C

RAKENNUKSIEN TILAVUUDET

Lol
reaktorirakennus 116000 m³
turpiini- ja
valvomorakennus 165000 m³
apurakennus 67000 m³
muut rakennukset yht. 69000 m³
Yht. 417000 m³

Kaavio Loviisan laitoksen järjestelmästä

12



XA	Teräsuojakuori
XB	Materiaalikanava
XC	Henkilökanava
XD	Hätäkanava
XE	Puhtilapiverkko
XF	Säätöapiverkko
XG	Impulsiapiverkko
XH	Paineenläsaverkko

JA	Jäähdytys
JB	Jäähdyttimen jäähdytys
JC	Jään valmistus ja käsittelylaitteet
JD	Tilien säätelyvalvonta
JE	Henkilöiden säätelyvalvonta
JF	Ympäristön säätelyvalvonta
JG	Polttoaine-elementtien vaihtolaitteet
JH	Reaktorikuori ilmalukko

UC	Muut vedenkäsittelylaitteet
UH	Kemikaalien syöttölaitteet
UI	Laitos ja paloväerikko
UJ	Juomavesiverkko
UK	Viemäri
UL	Dreadien polttoainelaitteet

US	Paineilmajärjestelmä
UT	Muut kaasukeskukset
UU	Apukattilat
UV	Eriksilmastointi
UW	Ilmastointi ja lämmitys
UX	Pala- ja kaasujohdot

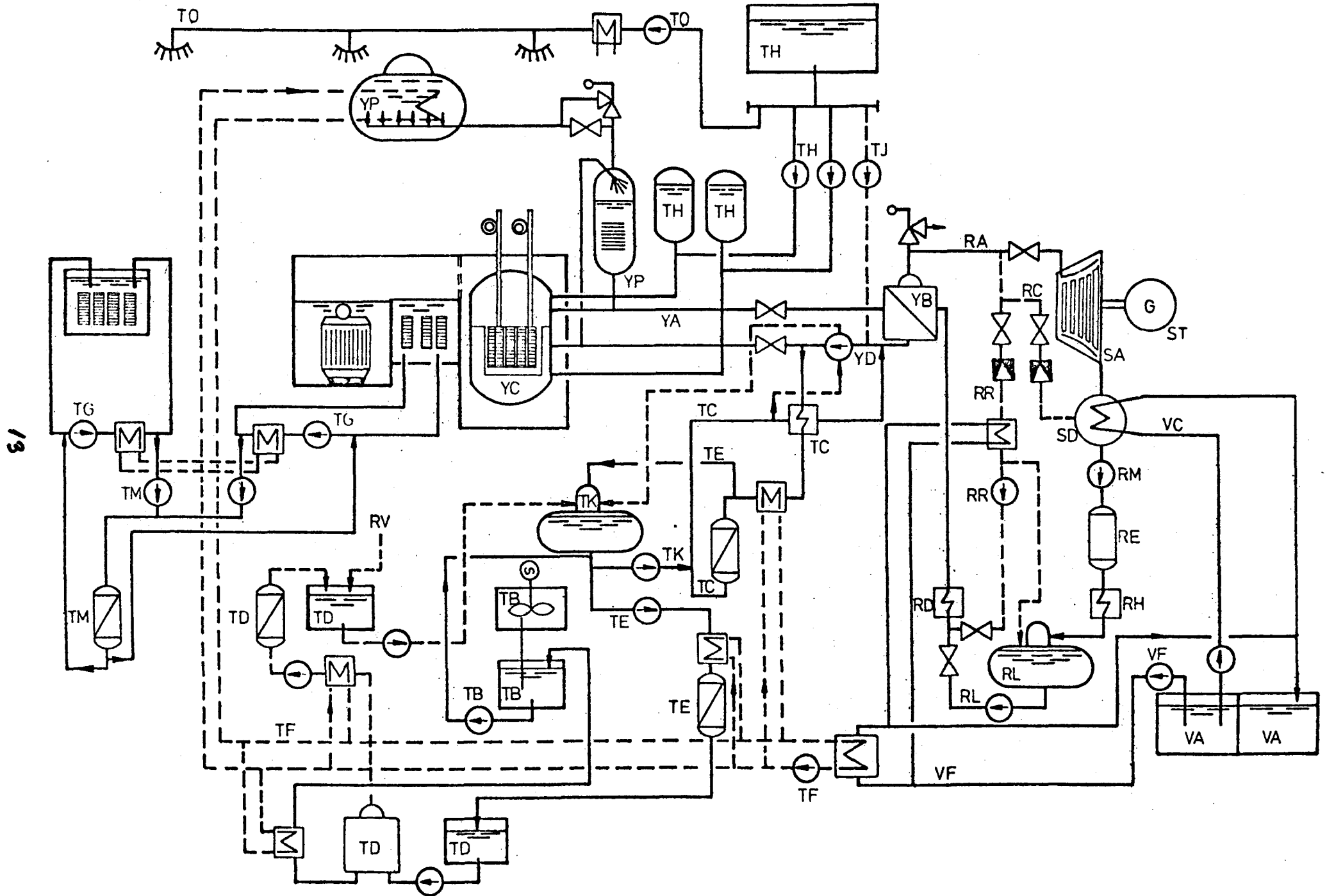
IL	Valvottujen alueiden ilmastointi
IN	Apujärjestelmä (vesi, höyry)
IO	Apujärjestelmä (tyyppi, ilma)
IU	Osastotilan ilmajärjestelmä
IV	Hyllyneitoilijärjestelmä
IT	Primääripöytä vesikytket

SK	Laitosala
PL	Laitoskone
PM	Polttoaine-elementin käsittelylaitteet

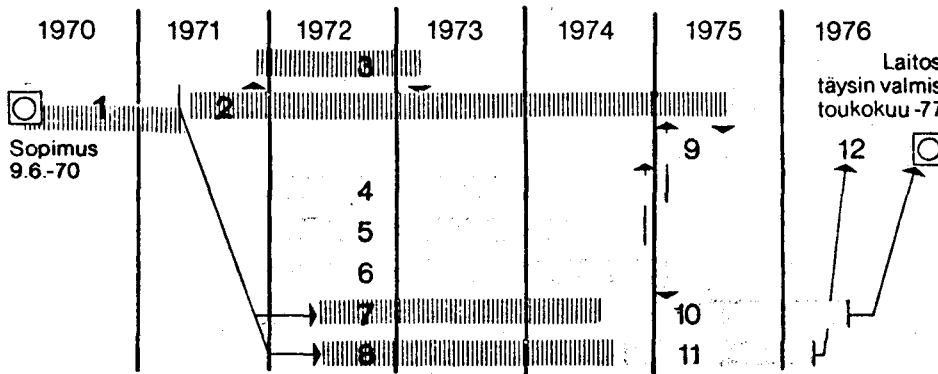
PN	Tuoreen polttoaineen varastointilaitteet
PP	Pa-elementin tarkastuslaitteet
PR	Pa-allaan ja -varaston apulaitteet
PT	Pa-n kuulusvälineet

Pääkiertokaavio

KUVA 3



KUVA 4



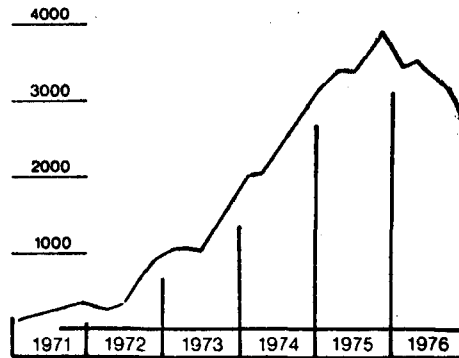
Loviisa 1:n rakennusaikataulu

1. Suunnittelu (AEE/IVO)
2. Reaktorirakennuksen rakennustyöt (Yleinen ins.tsto.)
3. Teräsuojakuoren asennus (Wärtsilä)
4. Höyrykehittimien valmistus
5. Reaktoripaineastiain valmistus
6. Turpiinien valmistus
7. Turpiinirakennuksen rakentaminen
8. Apurakennuksen rakentaminen
9. Reaktorirakennuksen asennukset
10. Turpiinien asennus ja koekäyttö
11. Laite- ja putkistoasennukset
12. Polttoaineen tuonti ja koekäytöt

AEE:n työ
 IVO:n työ

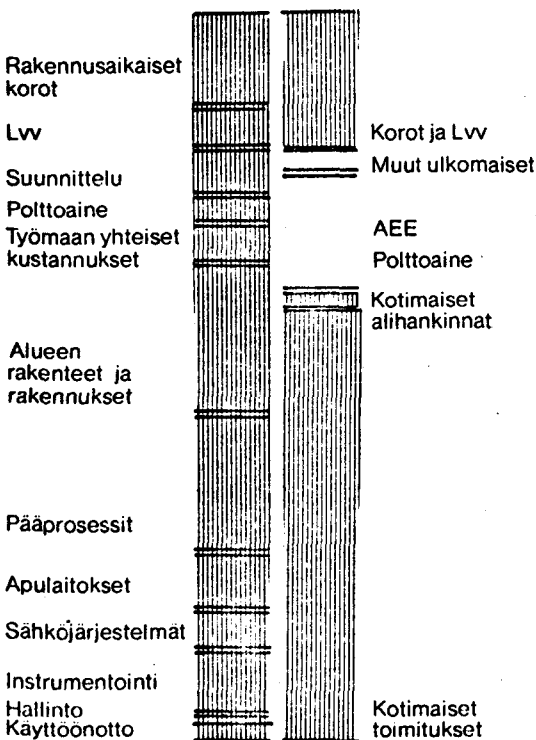
KUVA 5

Työvoimavahvuuden vaihtelu Loviisan voimalaitostyömaalla.



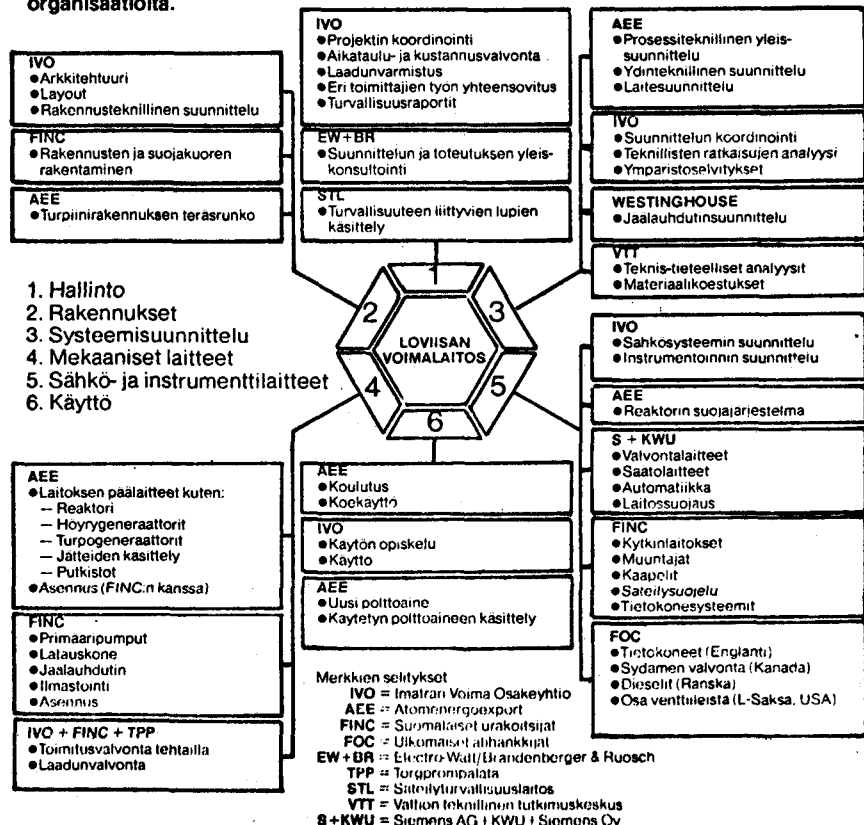
KUVA 6

Loviisa 1:n kustannusjakautuma.



KUVA 7

Loviisan voimalaitoksen toteutukseen osallistuneita organisaatioita.



LOVIISA 2

Reaktorirakennuksen runkorakennustyöt jatkuvat edelleen. Suuremmista kohteista on kesken enää päähoitotaso +25.40. Runkotyöt valmistuvat pääosin kesän aikana, sen sijaan viimeistely- ja maalaustyöt jatkuvat vielä ensi vuodenvaihteen yli.

Päätöimittajan, Atomenergoexportin (AEE) toimitusosuuden asennukset käynnistyivät vähitellen turpiinilaitoksella vuoden 1976 lopulla ja reaktorilaitoksella tämän vuoden alussa. AEE:n lisäksi asennusurakoitsijoina ovat Huber, AP-konepaja sekä Tehdasputkitus. Suurista päälaitteista ovat tällä hetkellä asennettavina lauhduttimet ja toinen turpiini. Höyrystimien toimitus on edelleen viivästynyt, niistä ensimmäinen tulee maaliskuu-huhtikuun vaihteessa.

Kotimaisten toimitusten osalta ovat käynnissä jäälauhduttimen ja ilmastointijärjestelmien asennukset. Pääkiertopumppujen ja polttoaineenvaihtokoneen tehdasvalmistus on loppuvaiheessaan. Ensimmäiset sähkö- ja instrumenttikaapelointiurakat sekä eritysurakat ovat tarjouskyselyvaiheessa.

Voimassa olevan pääaikataulun mukaan primääripiirin vesipainekoe (Cold Hydro test) tehdään maaliskuussa 1978, ja laitos on kaupallisessa käytössä 15.11.1978 alkaen.

Työmaan kokonaisvahvuus on tällä hetkellä noin 2100 henkeä.

Viime kuukausina ovat työt molemmilla laitostyksiköillä edistyneet ripeästi. Työvoiman määrä Olkiluodossa on pysytellyt edelleen yli 3000, joskin se vuoden 1977 alkupuoliskolla alkaa jonkin verran laskea.

TVO I

Rakennustyöt ovat valmiit 99-prosenttisesti.

Reaktorirakennuksessa polttoainealtaiden valutyöt ovat loppuvaiheissaan. Reaktorihallissa jatkuvat maalaustyöt, samoin turbiinirakennuksessa. Eräiltä osin tehdään vielä vesikattotöitä.

Asennustöiden volyyymi ensimmäisellä laitostyksiköllä alkaa olla maksimissaan, asennustyövoimaa on lisätty mm. putkisto- ja sähköasennuksissa. Töiden painopiste on ollut putkiasennuksissa reaktori- ja turbiinilaitoksilla. Putkiasennus on nyt saavuttanut lähes maksimivolyyminsa, työvoiman kasvua on enää odotettavissa pienputkistojen ja turbiinilaitoksen putkistojen osalta.

Huomattavia asennustapahtumia ovat viime aikoina olleet:

- reaktorin paineastian säätösauvapesien hitsauksen valmistuminen
- reaktorialtaan levvuorauksen valmistuminen
- eristysventtiilien asennuksen aloittaminen höyrykuilussa
- alemman dry-wellin putkistoasennuksen aloittaminen
- wet-wellin putkistoasennuksen aloittaminen
- merivesipumppujen asennuksen aloittaminen

Sähkö- ja instrumenttiasennusten osalta on järjestelmien koestukset päässeet hyvin alkuun asennustöiden rinnalla. Oleellisimpana yksittäistapahtumana voidaan mainita päämuuntajan siirtäminen paikoilleen ja sen varustaminen.

Päämuuntaja saapui laitospaikalle joulukuussa. Sen on valmistanut Oy Strömberg Ab Vaasasta, teholtaan se on 800 MVA ja on suurin yhtiön tähän mennessä valmistama yksikkö.

Kytkinlaitoksen ja voimalaitosten välisen 400 kV:n linjan kaikki perustukset ovat valmiit, viisi pylvästä on valmiina ja kolme työn alla.

TVO II

Laitoksen betonivaluista on tehty kaikkiaan n. 66 000 m³ eli n. 80 %. Betonirakenteiltaan ovat valmiit valvomo, sisäänkulkurakennus, jäte-rakennus, oikea ja vasen apurakennus, välppä- ja pumppurakennus sekä kytkinlaitos.

Reaktorirakennuksen ulkoseinä on noussut korkeuteen +52 lukuunottamatta pohjoisseinää, rakennuksen lopullinen korkeus tulee olemaan 63 m. Tällä hetkellä on käynnissä välipohjan valutyöt tasolla +36,5. Reaktorin suojarakennuksen sisäsyylinteri on betonoitu ylös asti, eli tasolle +35. Tiivistelevyn viistosuutta viimeistellään. Turbiinin peruslaatta on valettu ja työt pääosin käynnissä turbiinin päähoitotasolla +15,5.

Asennustyöt ovat osittain päässeet alkamaan valvomorakennuksessa sekä reaktorirakennuksen alaosissa, jotka kuuluvat ensimmäisiin asennuskohteisiin.

Wet-well-tilassa on käynnistynyt tiivistelevyn valmistuttua PS-läpivientien hitsaus, alaspuhallusputkien tuenta, hoitotasojen asennus sekä kondensaatioaltaan vuorauksen juuritukien hitsaus.

ENERGIATALOUDEN KEHITTYMINEN SUOMESSA V. 1976 - YLLÄTTÄVÄÄ KASVU- VAUHTIA

Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto julkaisee nykyään Energiakatsaus-tiedotuslehteä, jonka tavoitteena on kertoa, lähinnä energiaviranomaisen kannalta, energia-alan kehityksestä ja tapahtumista. Ohessa tiivistetyssä muodossa Energiakatsaus 1/1977:ssä helmikuun puolivälissä julkaistua tietoa energiatalouden kehitymisestä v. 1976.

Energian kokonaiskulutus kasvoi 6% ja oli 22.8 Mtoe. Kasvu nopeutui vuoden loppua kohden. Kokonaistaloudelliseen kehitykseen nähden ripeä kasvu selittyy sillä, että v. 1976 keskilämpötila oli alhainen v. 1975 verrattuna (kiinteistöjen lämmitysenergian kulutus kasvoi 9%) ja runsaasti energiaa kuluttavan teollisuuden tuotanto kasvoi kokonaistuotantoa nopeammin (teollisuuden polttoaineiden kulutus kasvoi 6%, sähkön vastaavasti 7%).

Sähkön kulutus lisääntyi 9% ja oli 31,8 TWh.

Erityisen voimakasta, 11%, oli kotitalouksien, palvelujen ja julkisen sektorin energiankulutuksen kasvu. Energian säästökampanjalla heti energiakriisin jälkeen saadut kulutustottumusten muutokset eivät siten näytä jääneen kovin pysyviksi.

Energian kulutuksen kasvu jouduttiin peittämään tuontienergialla, koska suurin kotimainen energialähde vesivoima supistui yli 20% vuodesta 1975. Öljyn kulutus kasvoi 11%, hiilen 40%. Hiilen tuonti kuitenkin väheni, joten varastot supistuivat voimakkaasti.

Turpeen käyttö enemmän kuin kaksinkertaistui, mutta vastasi silti vain 0,5% koko kulutuksesta. Turpeen nosto kasvoi kuitenkin vain 11%.

Sähkön kulutuksen kasvu ja vesivoimavajaus jouduttiin kattamaan laudutusvoimalla, jonka tuotanto kasvoi peräti 72%.

Voimalaitoskapasiteetti lisääntyi 690 MW eli oli vuoden lopussa n. 8000 MW. Suurimmat uudisrakennukset olivat Inkoon 250 MW ja Tahkoluodon 200 MW laudutusvoimalaitokset. Vuoden lopussa oli rakenteilla tai koekäytössä voimalaitoksia 3000 MW:n edestä, tästä 2160 MW ydinvoimaa.

Energian tuonnin arvo nousi 17% ja oli n. 6000 Mmk. Kaikkiaan energian osuus tavara-tuonnista oli 21%. Raakaöljyn tuontihinta nousi n. 9%, mutta tuontisähkö kallistui yli 60%, hinta oli 5,1 p/kWh.

Energian kuluttajahinnat nousivat merkittävästi. Keskeisten öljytuotteiden osalta vuoden lopussa maksettiin n. 20% enemmän kuin vuoden alussa. Raskas polttoöljy kallistui kuitenkin selvästi vähemmän. Öljytuotteiden kuluttajahinnat olivat vuoden loppupuolella kansainvälistä keskitasoa.

Edellä käsitellyn tilastotiedon lisäksi Energiakatsaus 1/1977 sisältää yhteenvedon energia-alan tapahtumista v. 1976, T. Korpelan näkemyksen Suomen energiatutkimuksen suuntauksesta sekä H. Kotilan ja T. Mäntysaaren ajatuksia energian säästämistoimenpiteiden odotettua huonommista tuloksista.

LUOTETTAVUUSSANASTO JULKAISTU STANDARDINA

Sanaston tarve

Luotettavuustekniikan sovellusten nopea määrällinen ja aloittainen lisääntyminen on luonut tarpeen suomenkielisen luotettavuusteknisen sanaston käyttöön. Useilla sovellusaloilla kuten elektroniikka-, sähkövoimatekniikka- ja ydinvoimalaitostekniikka-alalla alkoi vakiintua luotettavuusterminologiaa. Sovellusalojen välisen sanastoa koskevan koordinoinnin ja yhteisen perustan puuttuessa käytäntö alkoi muodostua epäyhtenäiseksi ja jossain määrin ristiriitaiseksi. Virallisen suomenkielisen luotettavuussanaston tarve oli ilmeinen.

Toimikunta

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen luotettavuusprojektin johtoryhmän aloitteesta Suomen Atomiteknillinen seura ryhtyi vuonna 1972 toimenpiteisiin suomenkielisen luotettavuustekniikan sanaston laatimiseksi. Työtä suorittamaan perustettiin keväällä 1973 eri sovellusaloja edustavista henkilöistä muodostuva toimikunta. Toimikunnassa olivat edustettuina tärkeimmät luotettavuustekniikkaa soveltavat alat: ydinvoimatekniikka, sähkövoimatekniikka, tietoliikennetekniikka, metalliteollisuus sekä alaan liittyvä opetus ja tutkimus. Toimikunnan puheenjohtajana toimi prof. Olli Lokki Teknillisestä korkeakoulusta ja sihteerinä dipl.ins. Jorma Väkiparta VTT:n luotettavuusryhmästä.

Esikuvat

Laadittu luotettavuussanasto perustuu pääosin European Organisation for Quality Control (EOQC)-järjestön sanaston "Glossary of terms used in quality control" neljännen painoksen luotettavuusosaan. Sanaston termit ovat yhtäpitävät EOQC:n sanaston termien kanssa, mutta määritelmiä on korjattu ja täydennetty sekä sanaston organisaatio on toisenlainen. Sanastoon ei ole otettu mukaan muutamia EOQC:n sanaston luotettavuustekniikan kannalta epäolennaisia termejä, mutta toisaalta siihen on lisätty runsaasti eräitä keskeisiä luotettavuuskäsitteitä. Sanastoa muokattaessa on käytetty hyväksi kansainvälistä standardia IEC 271 (List of basic terms, definitions and related mathematics for reliability) ja ruotsalaista standardia SEN 41 05 05 (Tillförlitlighetsteknik Ordlista).

Kielet

Sanastossa on termeille sekä englannin- että ruotsinkieliset vastineet. Englanninkielisten termien yhteydessä on säilytetty EOQC:n Glossaryn numerointi ja näin on saatu aikaan yhteys Glossaryn viiteentoista kieleen: englantia, saksa, tanska, hollanti, norja, ruotsi, ranska, italia, espanja, venäjä, tsekki, puola, serbokroatia ja arabia. Glossaryn viidestoista

kieli on suomi, joka saatiin mukaan vuonna 1976 ilmestyneeseen neljännen painokseen. Mainittakoon, että EOQC:n glossarystä valmistellaan parhaillaan suomenkielistä laadunohjaussanastoa, jonka luotettavuusosan korvaa kuitenkin nyt julkaistu luotettavuussanasto.

Julkaiseminen

Luotettavuussanasto oli laatimistyön aikana laajalla lausuntokierroksella alan intressipiireissä, jonka jälkeen se viimeisteltiin julkaisukelpoiseksi. Suomen Atomiteknillinen seura ja Suomen Laadunvalvontayhdistys sopivat sanaston julkaisemisesta yhteistyössä siten, että Laadunvalvontayhdistys lähetti sanaston laatutekniikan alan standardisoimisen toimialayhteisönä Suomen Standardisoimisliittoon julkaistavaksi suomalaisena standardina. Yhteistyö katsottiin hyödylliseksi, koska sanastotoimikunnassa oli sekä Atomiteknillisen seuran että Laadunvalvontayhdistyksen jäseniä ja sanaston pohjana oli kansainvälinen laatusanasto.

Sanastostandardiksi

Luotettavuussanasto vahvistettiin vuoden 1976 lopussa julkaistavaksi SFS-standardina SFS 3750 ja se on nyt saatavissa painettuna Suomen Standardisoimisliitosta. Näin noin neljä vuotta kestäneen valmistelutyön tulos on käytettävissä luotettavuustekniikan soveltamisen apuvälineenä ja käyttökokemusten kertyessä tulee varmaan tarve kehittää alan sanastoa edelleen.

Luotettavuus-käsite

Todettakoon, että ilmestyneen luotettavuussanastostandardin mukaan luotettavuustekniikka on luotettavuusteorian soveltamista käytännön järjestelmiin. Tarkoituksena on parantaa (tai optimoida) sovelluskohteen luotettavuutta ottaen huomioon mahdolliset taloudelliset, turvallisuuteen liittyvät yms. rajoitukset. Perustana oleva luotettavuusteoria selvittelee luotettavuuteen liittyviä taloudellisia, fysikaalisia, kemiallisia, matemaattisia ym. malleja. Itse käsitettä luotettavuus voidaan käyttää tarkoittamaan järjestelmän tai laitteen toimintakykyä yleensä tai varsinaista luotettavuuden mittausta, joka ilmaistaan todennäköisyytenä.

Ydinalalla toimivia henkilöitä kiinnostanee, että sanastossa on määritelty myös käsitteet yksittäisvika ja yhteisvika.

PRAV, SKBF ja KBS - RUOTSIN YDINJÄTEORGANISAATIO TÄNÄÄN

1. PRAV = Programrådet för Radioaktivt Avfall

PRAV on valtiopäivien asettama, teollisuusministeriön alainen elin, joka koordinoi jäteasioiden tutkimustoimintaa noin 10-15 Mkr vuotuisbudjetein. Aikaisemmalla hallituksella oli kaavailu kehittää PRAV vähitellen jäte-yhtiöksi. Nyt PRAV keskittyy seuraaviin kolmeen päätehtävään:

- Voimalaitosjätteiden käsittelymenetelmien kehitys siten, että pitkäikäisen, lopullisen sijoittamisen vaativan jätteen määrä olisi mahdollisimman pieni (mm. Cs ja Sr erottelu)
- Käytetyn polttoaineen keskusvaraston kehittäminen ja projektointi
- Jätteiden lopullinen sijoittaminen

PRAV:in työtä johtaa Nils Rydell, entinen Oskarshamnin voimayhtiön (OKG) insinööri. Työ on luonteeltaan pitkäjännitteistä.

2. SKBF = Svenska Kärn-Bränsle-Försörjning Ab

SKBF on voimayhtiöiden yhtiö, joka toimii nykyään voimayhtiöiden yhteisenä edustajana mm. jälleenkäsittelyä koskevissa neuvotteluissa ja suorittaa jälleenkäsittelyyn liittyvää selvitystyötä.

Aikaisemmin voimayhtiöistä OKG on tehnyt omat jälleenkäsittelysopimuksensa suoraan englantilaisten kanssa ja on jo lähettänyt käytettyä polttoainetansa Englantiin.

SKBF:n puitteisiin on luotu myös KBS-projekti. SKBF:n toimitusjohtaja on Erik Svenke.

3. KBS = Kärn-Bränsle-Säkerhet

Vaalien jälkeinen hallitus laati esityksen ehdoiksi uusien ydinvoimalaitosten käyttöönotolle, nk. "vilkorspropositionen", josta on tarkoitus tehdä laki tänä keväänä. Esityksen ytimenä on, että voimayhtiöiden tulee osoittaa, miten ja missä pitkäikäiset jätteet sijoitetaan lopullisesti, joko kapseloitu polttoaine tai jälleenkäsittelystä tuleva (lasitettu) jäte. Jälkimmäisessä tapauksessa on oltava myös jälleenkäsittelysopimus.

Ruotsissa on nykyään käynnissä Oskarshamn 1 ja 2, Ringhals 1 ja 2 sekä Barsebäck 1 ja 2. Barsebäck 2 lähti käyntiin erikoisluvalla, sen lisäksi uusi lakiesitys koskee seuraavaksi voimalaitoksien Ringhals 3 ja Forsmark 1 käyntiinlähtöä.

Voimayhtiöt ovat perustaneet KBS-projektin loppuvuodesta 1976 vastaamaan polttoaineen tai jälleenkäsittelyjätteen lopullista sijoittamista koskeviin kysymyksiin "var" och "hur" ydinvoimalaitosprojektien asettamien aikataulujen puitteissa. KBS toimii noin 40 Mkr budjetilla. Väliraportti on tarkoitus antaa syksyllä 1977 ja loppuraportti 1978 puolella noin 18 kk työn jälkeen. Projektia vetää Ingvar Wivstad (Vattenfall) apunaan Pehr-Erik Ahlström (Vattenfall) ja L.B.Nilsson (OKG).

PRAV- ja KBS -organisaatioiden välinen yhteistyö on läheinen ja niiden toimistot sijaitsevat samassa talossa. Pääosa tutkimustyöstä teetetään tutkimuslaitoksilla, korkeakouluilla ja ulkopuolisilla yhtiöillä.

4. Polttoainejätteen huollon ratkaisumallit

4.1 Väliaikaisvarasto

Polttoainetta varastoidaan aluksi voimalaitosten varastoaltaissa muutamia vuosia. Sen jälkeiseksi ratkaisuksi projektoidaan kallioon rakennettavaa keskusvarastoa pääasiassa seuraavin perustein:

- Pelivaran hankkiminen jälleenkäsittelyä koskevien päätösten ja jälleenkäsittelyn ajankohdan suhteen
- Mikäli päädytään uraanin kertakäyttöön, polttoaine on syytä ennen kapselointia jäähdyttää, esimerkiksi 20-30 vuotta.

Aluksi on suunniteltu 10 vuoden varasto, joka on laajennettavissa, suunnittelijoina mm. Asea-Atom ja VBB. Kuljetukset tapahtuvat meritse. Samoihin varastoaltaisiin voitaisiin sijoittaa mahdollisesti palautettava lasitettu fissiojäte. Varasto tulee ilmeisesti jonkin voimalaitoksen yhteyteen.

4.2 Jätteiden kapselointi

KBS tutkituttaa mm. Atomenergillä ranskalaisen ja englantilaisen lasitetun fissiojätteen liukenemisominaisuuksia Ruotsin pohjavesiolosuhteissa. Rinnan on kehitteillä käytetyn polttoaineen kapselointi sellaisenaan tai katkaistuna. Eräänä kapselointimenetelmänä on esillä Asean suurpaine-tekniikalla puristettu alumiinioksidikapseli. Tekniikka on sama, jolla on tehty keinotekoisia timantteja.

4.3 Lopullinen sijoittaminen

Stripan kaivoksella on käynnissä graniittikallion ominaisuuksia ja kallio-tekniikkaa koskeva koetyö, jossa tutkimuskohteina ovat mm. kallion ehjyys, pohjaveden ikä ja liikkeet ja säröilyn minimointi.

Mm. Forsmarkissa ja Oskarshamnissa mitataan kallion ominaisuuksia koe-porauksin (noin 500 m). Tarkoitus on osoittaa jokin sopiva paikka, vaikka lopullisella valinnalla ei ole kiirettä.

Lopullisen sijoituspaikan kaivoskäytävien ja onkaloiden suunnittelu sekä kapselien eristys esim. savella on eräs selvitysalue. Lisäksi on käynnissä eri vaiheiden riskianalyysit.

5. Loppusanat

Käytetyn polttoaineen käsittelyyn liittyy kaksi suurta poliittista ongelmaa, plutoniumin leviämisen estäminen ja jätteiden lopullisen sijoituspaikan valinta. Tätä luettaessa voi olla jo tarkemmin selvillä eräiden suurvaltojen suhtautuminen jälleenkäsittelyyn yleensä, sekä Ruotsin hallituksen ja valtiopäivien käsitys siitä, mikä on riittävä näyttö polttoaineen jätteiden turvalliselle sijoittamiselle.

KBS on voimayhtiöiden yritys antaa vaadittu riittävä näyttö, jotta voimalaitosprojektit voitaisiin saattaa päätökseen suunnitelmien mukaan.

Suomen plutoniumstrategia vuoteen 2000

Tarkasteltaessa ydinpolttoaineiden saatavuuteen liittyviä kysymyksiä vuoden 1985 tienoilla ja sen jälkeen tulee plutoniumin uudelleenkäyttö sekä termisissä että nimenomaan nopeissa reaktoreissa olemaan mitä ilmeisimmin keskeisellä sijalla. Tämä johtuu ensinnäkin uraanireservien ehtymisestä sekä toisaalta tarpeesta kattaa polttoaineen jälleenkäsittely-investoinnit ja -käyttökustannukset.

Joskin on selvää, ettei Suomi tule olemaan tiennäyttäjänä kummallakaan plutoniumin hyväksikäytön lohkolla, on toisaalta välttämätöntä ottaa 1970-luvun lopun energiahankintaratkaisuja tehtäessä huomioon ne kauaskantoiset polttoainevirta- ja rahoitusnäkökohdat, joita plutonium tuo kokonaiskuvaan. Tulen tässä lyhyehkössä esitelmässäni valaisemaan ydinvoimaohjelmamme perspektiiviä tältä kannalta ulottaen tarkasteluni kuluvan vuosisadan loppuun. Varsinainen yksityiskohtainen kvantitatiivinen tietoaaineistoni perustuu TKK:ssa ja VTT:ssä tehtyihin selvityksiin /1/.

Käytetty ydinvoimatehoarvio

Olemme tarkasteluissamme lähteneet siitä, että ydinvoimatehon rakennusaikataulu on annettu muun energiapoliittisen suunnittelutoiminnan kautta. Lähtökohtana on siten kuvassa 1 esitetty ydinvoimaohjelma, jossa nykyisin rakenteilla olevien laitteosten lisäksi oletetaan 1000 MWe installoiduksi joka toinen vuosi 1985-1993 sekä tämän jälkeen joko joka (ylempi tehoarvio) tai joka toinen (alempi tehoarvio) vuosi. Myöhemmin tässä esitelmässä tulee osoittautumaan, että alempi tehoarvio johtaa monimutkaisempaan plutoniumin hyväksikäyttöstrategiaan. Mikäli tarkastelut halutaan perustaa esitettyä alhaisempiin (tai korkeampiin) arvioihin, esiteltävä menetelmä on täysin soveltamiskelpoinen.

Valintamenetelmä

Kuvan 1 esittämä ydintehotarve katetaan aikaisemmin todetun mukaisesti 1000 MWe yksiköin. Kunkin laitoksen tyyppivalinta suoritetaan käyttöiän yli laskettujen kokonaiskustannusten minimoinnin avulla. Välittömän rakennusinvestoinnin ohella otetaan huomioon laitoksesta koituvat polttoaine- ja muut käyttökustannukset, jotka diskontataan laitoksen käyttöön-ottohetkeen.

Kustannusennusteet

Yllämainittu vertailumenetelmä edellyttää, että investointien ja polttoainekierron palvelujen yksikköhintojen kehitys on arvioitavissa tai arvattavissa. Vuodelle 1976 käytetty kustannustaso on esitetty taulukossa 1. Eri hinnoille sallitaan ensinnäkin inflaation mukainen peruskehitys. Tämän ohella oletetaan raakauraanin ja erotustyön reaalihintojen nousevan kuvien 2 ja 3 esittämällä tavalla.

Plutoniumin uudelleenkierrätyksen arvoidaan laskevan LWR:n polttoainekustannuksia noin 10% /2/. Plutoniumin hinta LMFBR:a varten on arvioitu erillisenä. Kyseisen hinnan oletetaan kaksinkertaistuvan aikavälillä 1990-2010 nopeiden reaktoreiden oletetun yleistymisen myötä.

Kuten taulukosta 1 käy ilmi, nopeiden reaktoreiden investointikustannuksen on oletettu olevan 15% korkeampi kuin LWR:n. Vuoteen 1995 mennessä eron oletetaan supistuneen 12%:iin.

Plutoniumstrategiat

Alkuolettamusten valossa erottuu tarkasteltaviksi neljä eri tapausta:

- A korkeampi tehoarvio, korkeampi uraani- ja väkevöinti-hintakehitys

- B korkeampi tehoarvio, alhaisempi uraani- ja väkevöinti-hintakehitys
- C alhaisempi tehoarvio, korkeampi uraani- ja väkevöinti-hintakehitys
- D alhaisempi tehoarvio, alhaisempi uraani- ja väkevöinti-hintakehitys

Eri tapauksia vastaavien plutoniumstrategioiden pääpiirteet käyvät ilmi taulukosta 2. Havaitaan, että suurempi tehotarve 1990-luvun lopussa tultaisiin näiden laskelmien mukaan kattamaan nopeilla reaktoreilla. Jotta kotimaassa kehitettyä plutoniumia olisi riittävästi LMFBR-ohjelmaa varten, ei tätä plutoniumia tulisi lainkaan käyttää uudelleen rakennetuissa kevytvesireaktoreissa.

Mikäli alempi tehontarvearvio tai sitäkin vaimeampi kehitys toteutuu, kuten nyt vallitsevan laman aikana ollaan taipuvaisia otaksumaan, tulee plutoniumin uudelleenkierrätys kyseeseen ja se ajoittuu alkamaan 1980-luvun loppupuolella niin pian kuin suinkin teknisesti mahdollista.

Strategian pysyvyys

Tehontarve- ja kustannuskehitysarvioihin sisältyneet vaihtelualueet ovat jo omiaan selventämään eri epävarmuustekijöiden vaikutusta strategian luonteeseen ja siihen liittyviin kvantitatiivisiin arvoihin. Käytetyssä algoritmossa voidaan esim. korkokanta ja inflaatiovauhti antaa sisäänsyöttötietoina. Esitetyissä laskelmissa näillä kahdella suureella oli arvot 10% (korko) ja 7% (inflaatio), jotka saattavat tuntua mieltävaltaisilta.

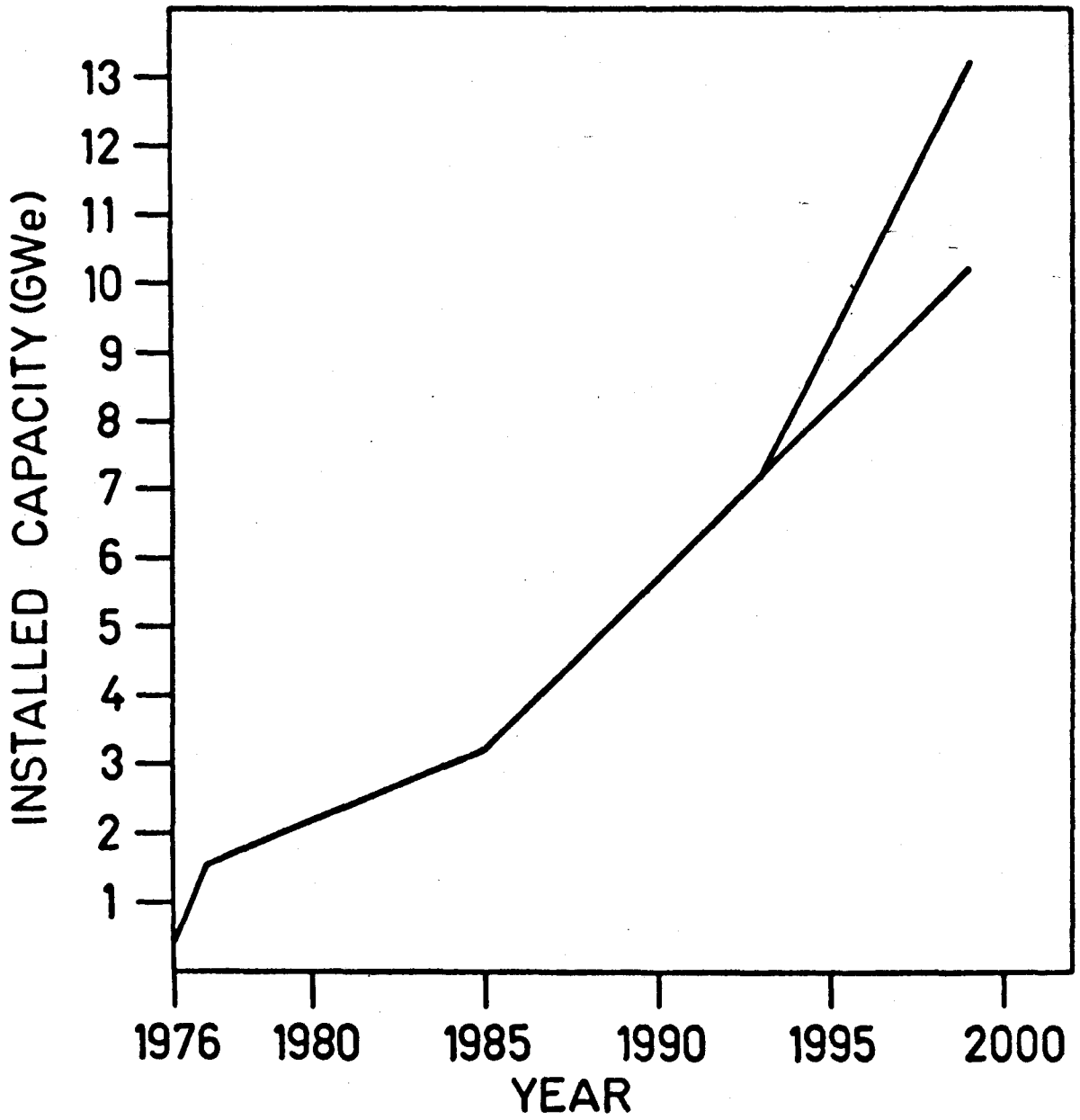
Mikäli korkokantaa nostetaan 15%:iin, eivät optimistrategiat muutu. Tosin tällöin eräät taloudelliset marginaalit saattavat muuttua selvästikin. Kun esimerkiksi tapauksissa C ja D LMFBR:n investointikustannukset saavat aloitusvuonna 1997 olla 110% korkeammat kuin LWR:n, jotta LMFBR vielä olisi

edullisempi, supistuu tämä marginaali 51%:iin korkokannalla 15%.

Edellä todettiin, ettei tapauksissa A ja B plutoniumin uudelleenkierrätys tule lainkaan kysymykseen. Jos kuitenkin nopeat reaktorit ovat saatavilla vasta 1998, siis vain vuoden esitetystä myöhästyneenä, tällöin tulee uudelleenkierrätys mukaan myös näissä tapauksissa.

Viitteet

- /1/ P. Silvennoinen, E. Tusa ja J. Routti, Economic Considerations of Plutonium Utilization in the Nuclear Power Strategy of Finland, esitetään IAEA:n konferenssissa "International Conference on Nuclear Power and Its Fuel Cycle" Salzburgissa 2-13.5.1977.
- /2/ Benefit Analysis of Reprocessing and Recycling Light Water Reactor Fuel, ERD-76-121, joulukuu 1976.



KUVA 1

NUCLEAR POWER GROWTH

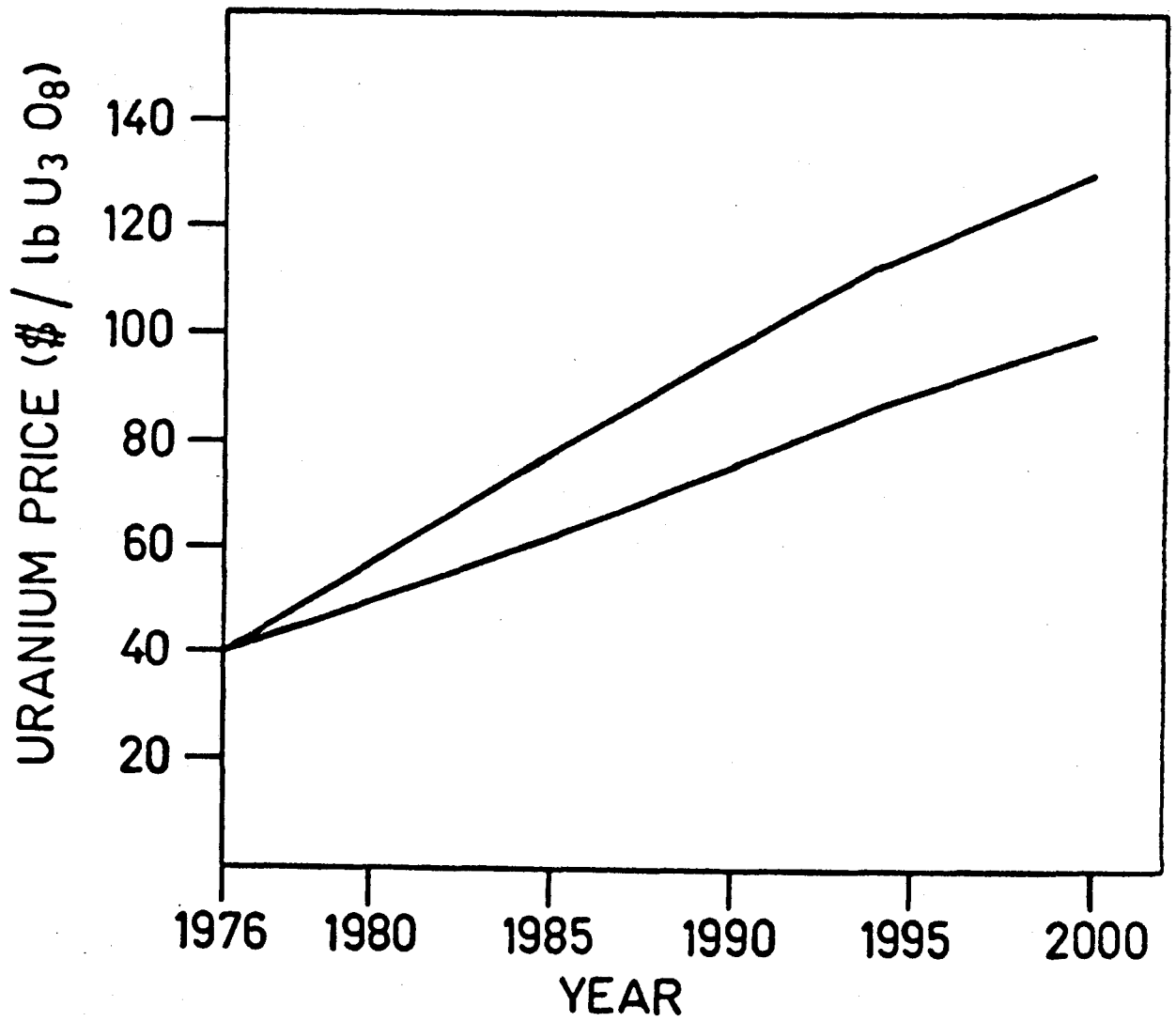


Fig. 2
TRENDS FOR THE URANIUM PRICE

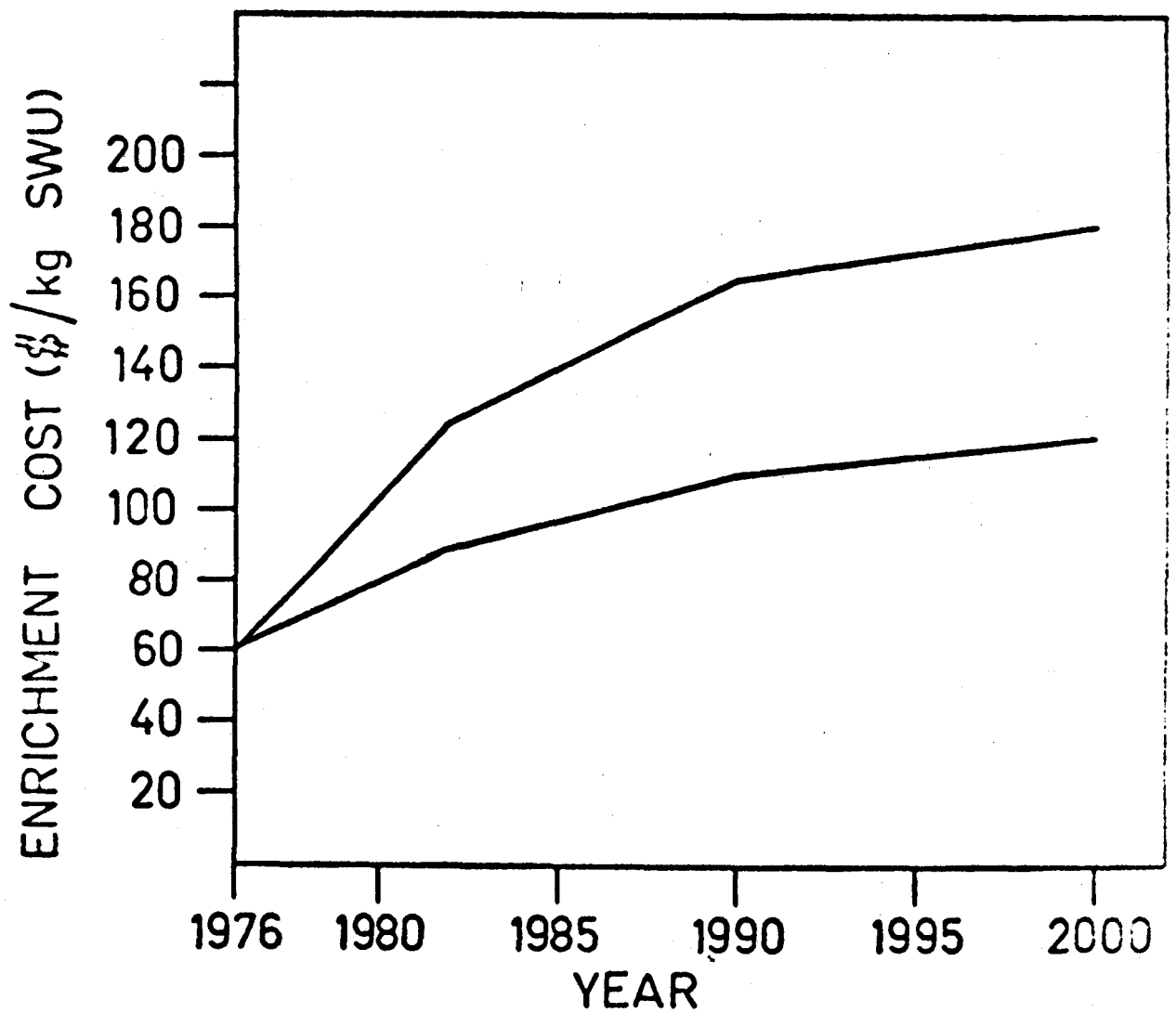


Fig.3
TRENDS FOR THE ENRICHMENT COST

TABLE I

LWR AND LMFBR COST COMPONENTS
LOAD FACTOR 0.75

	Investment Cost \$/kWe	Annual Fuel Costs \$/kWe/a	Other Operating Cost \$/kWe/a
LWR	817	35.5	11.8
LMFBR	940	17.8	13
LMFBR/LWR	1.15	0.50	1.10

TABLE II

SUMMARY OF RESULTING STRATEGIES

	Plutonium Recycle	Introduction of the LMFBR	Total Revenue Requirement Discounted to 1976, M\$			Savings due to Pu Recycle Discounted to 1976, M\$
			Investment	Fuel	Total	
A	Plutonium stored for the LMFBR programme	1997	7700	7250	15700	-
B		1997	7700	5550	14000	-
C	1985-1991 on self-generated basis in all plants installed	1997	6250	6640	13500	151
D		1997	6250	5140	12000	114

YDINJÄTEHUOLLON NYKYTILANNE USA:SSA

Selostus konferenssi- ja tutustumismatkasta 1976-10-02...24

1. Symposium Waste Management-76 Tucson, Arizona, 1976-10-03...06

Symposiumilla oli alaotsikko Wastes from Energy Production - in Perspective. Tilaisuuden oli organisoinut kolme instituuttia: University of Arizona, Arizona Atomic Energy Commission ja Western Interstate Nuclear Board.

Symposiumiin osallistui 130 henkilöä, enimmäkseen ydinjätealan asiantuntijoita. Symposiumin neljässä istunnossa pidettiin kaikkiaan 30 esitelmää lisäksi yhtenä iltapäivänä työskenneltiin seitsemässä rinnakkaisessa työryhmässä, joissa myös pidettiin useita ennalta valmistettuja esitelmiä.

1.1 Ydintekniikan yleisistunto, 5 esitelmää

Laajemmaltikin olisi jo vihdoin tajuttava, etteivät waste management ja waste disposal ole synonyymejä. Jäteongelma ei ole ollenkaan uusi asia. Ydintekniikalla/radionuklideilla on omintakeinen luonne, kemiallisten efektien sijasta on radioaktiivisuus. Jätteen varastointi olisi saatettava yhteisön vastuulle yksityisten sijasta.

1.1.1 ERDA:n ympäristö- ja turvallisuusosaston yleiskatsaus

ERDA:n nykyinen laajamittainen jätehuoltotutkimusohjelma on seurausta aikaisemmista laiminlyönneistä. Tavoitteena on saada jätehuolto hoidetuksi turvallisesti kohtuullisin kustannuksin. Vasta nyt otetaan jätehuoltokustannukset mukaan arvioitaessa energian tuotantokustannuksia.

Tuontiin perustuva energian tuotanto on kestämatön ratkaisu USA:ssa.

ERDA:n ympäristöosaston vastuulla on hyväksyä tai hylätä tarjotut jätehuoltoratkaisuvaihtoehdot. USA:ssa on n. 20 muuta organisaatiota, joilla on vastaava vastuualue. Myöskään tutkimus- ja kehitystyö ei ole yksinomaan ERDA:n harteilla.

Tarkoituksena on kerätä koko olemassa oleva tutkimuskapasiteetti, jotta päädyttäisiin mahdollisimman tarkoituksenmukaisiin ratkaisuihin. Tällöin on arvioitava kaikki energiavaihtoehdot realistisesti käytettävissä olevan teknologian pohjalla.

Ydinjätteiden osalta on tarkasteltava koko polttoainekierron aluetta. Käytettävissä on kaksi perusvaihtoehtoa: uudelleenkierto tai sijoitus eristämällä ympäristöstä. Polttoainekierron loppupään jätteet muodostavat todellisen ongelman. Päätökset ydinenergian tuotannosta pitäisivät perustua tietoon mitä tehdään jätteille.

Keski- ja alhaisaktiivisten jätteiden huolto tullaan uudelleen arvioimaan turvallisuus- ja ympäristönäkökohtien pohjalla. Käytössä olleeseen ja olevaan kaupalliseen toimintaan ei olla tyytyväisiä.

PU:n uudelleen kierto on huomattava safeguards-ongelma. USA:n ja IAEA:n on tehostettava safeguard/ohjelmaansa.

Ennen kaupallisen jälleenkäsittelytoiminnan aloittamista muutamat kysymykset on harkittava uudelleen.

Jätteen varastointi merenpohjaan tai geologisiin muodostumiin on sekä institutionaalinen että ekonomisen kysymys.

Pitäisi laatia perusteelliset riski- ja hyötyarvioinnit ydinenergian ja vaihtoehtoisten energialähteiden suhteen.

Hiilen käytön suhteen on paljon vähemmän tietoa käytettävissä kuin ydinenergian, esim. CO₂:n vaikutukset. Olisi jo aika lopettaa puheet ja ryhtyä tiedon keräämiseen. Tarvitaan liittovaltiokohtaisia yhteisprojekteja ympäristöasiantuntijoiden ja ydintekniikan eksperttien kanssa. Kaikki ratkaisut pitäisi perustua faktoihin eikä tunteeseen. Ei ole olemassa yleispätevää energiaratkaisua vaan aikaan ja paikkaan sidotut olosuhteet on otettava huomioon.

USA:ssa ei ole ratkaistu PU-kiertoa, jälleenkäsittelyä eikä ydinteknologian vientiä. Ratkaisut tapahtuvat presidentinvaalien jälkeen.

ERDA:n mielestä, jos PU-kiertoa ei toteuteta, joudutaan ongelmiin polttoaineen riittävyyden kanssa.

1.1.2 NRC:n yleiskatsaus

Ydinjätehuolto laiminlyötiin useita vuosia olettamalla, että jätteet voidaan turvallisesti kerätä ja varastoida.

Säännösten laatimisten kannalta on puutetta koordinoituista ohjelmista.

On suuri tarve toimintakelpoisista säännöksistä ja ohjeista ydinjätehuollon alalla sekä riskiarvioinneista suurten jätemäärien tuotannolle.

NRC:n ohjelma koostuu toisaalta tutkimuskohteiden ratkaisumallien toiminta-arvioinnista toisaalta säännösperiaatteiden laatimisesta.

- Arvioitava potentiaaliset vaarat, suuruus ja kesto
- Teknologiset ja institutionaaliset kysymykset

Laadittavien toimintakelpoisten säännösten tunnuspiirteet

- Ne antavat ohjeet ERDA:lle
- Niiden pitää vaatia mielekästä yhteensopivuutta asetetuilta toimintastandardeilta (Require conformance with performance standards).
- Suoda riittävä joustavuus teknologialle.

Säännösperiaatteiden laatiminen

- Kriteerit kiinteytetyille HLW:lle
- Jätteen luokitus
- Kriteerit geologiselle varastoinnille
- Hyväksyttävät riskikriteerit
- Säännökset ydinpolttoainekierron jätteille
- Metodologian ja perustietouden kehittäminen arvioitaessa pitkäaikaiseen geologiseen varastointiin liittyvää riskiä.
- USGS:n migraatiotutkimukset

Kuusi käytössä olevaa maahanhautausta paikkaa, joissa voidaan tutkia migraatiota. Niiltä saatujen tietojen pohjalla voidaan asettaa kriteerit uusille paikoille.

Suunnitellut tutkimukset

- Vaihtoehdot maahanhautaukselle
- ⁸⁵Kr:n varastointi ja sijoitus; riski/hyöty -tutkimus

Toiminnassa on korostettava kansainvälisesti hyväksyttävien ratkaisujen välttämättömyyttä.

1.1.3 EPA:n yleiskatsaus

Järjestön tarkoituksena on suojella ympäristöä. Pyritään aikaansaamaan koordinoituja ohjelmia jätehuolto-ongelmien ratkaisemiseksi. Kehitetään jätehuoltoa varten sellaisia kriteereitä, joita voidaan käyttää kaiken tasoisten aktiivisuuksien käsittelyssä. Kriteerit olisi saatava aikaan nopeasti, koska ERDA kehittää käsittelyteknologian ennenkuin NRC saa valmiiksi säännösten asettamistyönsä.

Olisi kyettävä määrittelemään:

- vaadittu jätteen eristäminen ympäristöstä, esim. geologiset tekijät ja institutionaaliset tekijät
- jätehuoltoon sisältyvä riski
- suuntaviivat voimakkaasti aktiivisen jätteen huoltokriteereille, jotka ovat vasta idea-asteella
- standardisointi, niin että kaikki jätehuoltoon sisältyvät toimenpiteet olisivat ympäristön suojelun kannalta hyväksyttäviä.

Erityisen vaikeita ongelmia on esim. minkälaiset rajoitukset ja vaatimukset tulee asettaa jätteelle, jota ei aikanaan tarvitse viedä liittovaltion varastopaikalle. Myös jätteen luokituskysymys on erityisen vaikea. Luokituksen pitäisi olla riittävän joustava, niin että se olisi edelleen käyttökelpoinen, vaikka kansalliset säännökset ja jätehuolto-organisaatio muuttuisivatkin.

On sanottu, että USA:n ydinjätehuolto voidaan kyllä hoitaa, jos vain kansallinen lainsäädäntö, säännökset ja organisointi voidaan hoitaa.

1.2 Työryhmät, jätehuolto laitospaikalla

Millstone I laitoksella (BWR) on ollut vaikeuksia (1976), koska polttoaine ei käyttäytynyt kunnolla. Tämän vuoksi piti laitosta käyttää vajaalla teholla, jotta kaasupäästöt pysyisivät sallituissa rajoissa.

Esitettiin, että lähivuosina on odotettavissa oleellisia parannuksia polttoaineen laadussa, niin että fissiotuotteita ei enää vuoda jäähdytysveteen ollenkaan. Lausunto perustuu tehtyihin menestyksellisiin kokeisiin. Kyselin lausunnon paikkansapitävyyttä monelta taholta. Kokeneiden jäteasiantuntijain yhdenmukainen käsitys kärjistettynä ja pelkistettynä: "Lausunto on tyyppillistä kaupallisen teollisuusmiehen puhetta. Koetulosten pohjalla ei ole oikeutettua tehdä tällaisia johtopäätöksiä (teollisen mittakaavan prosessi, vuosien käyttöaika). Saavutus olisi erinomainen, jos jäähdytysveteen vuotavia fissiotuotteita voitaisiin alentaa kertaluvulla".

- Esitettiin, että kustannukset voimalajätteen varastoinnissa rakennettuihin jätevarastoihin olisivat \$ 500/m³ ja kokonaiskustannukset aina \$ 140 /tynnyri. Samalla mainittiin kuitenkin, että on epävarmaa kannattaako voimalla investoida tilavuuden pienennykseen kuten puristimiin, kun usein päästään vain kaksinkertaiseen tilavuuden pienennykseen. Voimaloiden jätehuolto on kehittymässä arvaamattoman kalliiksi. Tähän vastattiin, että

on edesvastuutonta esittää yo. kustannusarvioita. Barnwell'issa haudataan alhaisaktiivisia jätteitä maahan hintaan \$ 110/m³, eikä hintoja nosteta vuoden 1977 aikana ja hautauspaikka on moitteeton myös ympäristöhygienisesti. Mitä puristukseen tulee Los Alamos'issa on päästy jopa 10-kertaiseen tilavuuden pienennykseen. Ontario Hydrolla, Kanada, taas on hyviä kokemuksia alhaisaktiivisen jätteen poltosta ilman savukaasun-suodatusta.

- NRC:n edustaja sanoi, ettei lähimmän 5 vuoden aikana anneta lupia uusiin kaupallisiin maahanhautaushautiloihin.
- Sanottiin, että voimateollisuuden tulee välttää akateemisia tutkijatyyppettä, tohtoreita (Ph Ds), tarvitaan näet vain hyvää käyttöhenkilökuntaa. Millstone yhtiön edustaja vastasi: "Näin mekin ajattelimme ennen. Viisi vuotta sitten ei yhtiöllä ollut yhtään tohtoria, nyt on 12 ja jokaista tarvitaan kipeästi. Vaikka kuinka ostettaisiin erikoistietoutta ja valmista tekniikkaa niin yksinomaan nykyinen ympäristön suojeleu asettaa energiantuotannolle siksi korkeat vaatimukset, että teollisuudella on oltava omaa valmiutta hyvin monimutkaisten kysymysten arvioimiseen".

1.3 Jätteen alkuperä ja erityisominaisuudet

Istunnon ehkä mielenkiintoisin ja erityisesti suurelle yleisölle tuntematonta tietoa esitettiin alustuksessa, joka käsitteli geotermisen energian jätekysymyksiä. Sellainen geotermisen energian hyväksikäyttö, johon nykyinen ja lähivuosikymmenien (20-30 a) teknologia kykenee, merkitsee tällä hetkellä aivan ratkaisemattomia jäteongelmia. 1000 MW(e):n geotermisen voimalaitos kuluttaa vettä 400-1000 miljoonaa litraa vettä päivässä. Tällaisen veden suolaisuus on 100 000-200 000 ppm = 10%-20% = 10 x meriveden suolapitoisuus sisältäen mm. As:a, B:a, F:a 10-30 x korkeimmat sallitut pitoisuudet. Valtavien korroosio ym. ongelmien lisäksi ei näköpiirissä ole mitään ratkaisua mihin niin suunnattomat määrät tämän laatuista vettä johdettaisiin.

1.4 Kansainvälisiä jätehuolto-ohjelmia

1.4.1 Ontario Hydroon rakennetut jätevarastot

Suomen kannalta istunnon mielenkiintoisin esitys selvitti kanadalaista alhais- ja keskiaktiivisten jätteiden varastointikäytäntöä.

Brucen ydinvoimalakeskus sijaitsee Huron-järven rannalla. Tänne on rakennettu kahdenlaiset jätteen varastointitilat: 1) jo käytössä olleet maan sisässä, pintakerroksessa olevat betonisäiliöt sekä putkisäiliöt, 2) melkein valmiiksi rakennetut ja pian käyttöön otettavat maan pinnalle rakennetut betonisäiliöt, joilla on kaksinkertaiset seinät.

Esitettiin lukuisia tekijöitä, jotka kokemuksen ja harkinnan kautta johtivat Ontario Hydrossa uudelleen pintavaraston käyttöönottoon esim.:

- Kaksinkertainen pintasäiliö mahdollistaa jatkuvan ja vaivattoman vuoto-monitoroinnin ja näytteenoton seinämien välistä.
- Pintavarastointi on riippumaton sijaintipaikasta. Eristäminen pohjavedestä on välttämätön edellytys mainitulle riippumattomuudelle.
- Rakenteelta vaadittu vähintään 50 vuoden efektiivinen toiminta-aika. 100 vuoden käyttöaika merkitsisi, että suurin osa jätteestä olisi jo kuoleentunut vaarattomalle tasolle.
- Varastoitaessa maan sisään vaikeasti hallittavat hydrogeologiset tekijät ovat merkitsevässä asemassa, sen sijaan geologisilla tekijöillä on vähän vaikutusta pintavarastoihin.
- Massiiviset maanpinnalla olevat betonirakenteet ovat yhtä turvallisia pommeihin ja sabotaasitekoihin nähden kuin maansisäiset (pintakerros) rakenteetkin.
- Pintavarastoja on yleensä helpompi rakentaa kuin maan sisäisiä säiliöitä.

1.5 Yhteenveto yleisösuhteita käsittelevän työryhmän loppuraportista

- Suuri yleisö tarvitsee valistusta
- Kommunikoinnissa yleisölle on vältettävä epärealistisuuden vaikutelmaa
- Vältettävä muiden energialähteiden vastustamista
- On pyrittävä selvittämään todelliset riskit

- Ydinenergiaa on yleensä pyrittävä esittelemään objektiivisesti; sekä hyöty että riskit
- Tarvittaisiin mielipiteen muokkaajia ja PR-toimihenkilöitä

2. Käynti Arizonan yliopistossa, 1976-10-07

Yliopisto on perustettu v. 1885 ja se sijaitsee Tucsonissa n. 140 ha:n kampuksella. Opiskelijoita on nykyään n. 30 000. "Bachelor"-tutkinto on mahdollisuus suorittaa 136:lla eri alalla ja vastaavasti "Master's" 118:lla sekä tohtorin tutkinto 77:llä.

Tutustuin lähinnä ydintekniikan insinöörejä kouluttavaan "College of Engineeringiin". Täällä tehdään myös ydinjätealan työtä. Waste Management-symposioiden lisäksi kaksi professoria ja neljä väitöskirjaa valmistelevaa opiskelijaa tekevät ERDA:n tilaamia kirjallisuus- ja teoreettisia selvityksiä ja tutkimuksia. Laitoksella on maailman toiseksi vanhin Triga-reaktori, teho 100 kW. Reaktoria käytetään opetuksen ja neutronifysiikan tutkimuksen lisäksi myös aktivointianalyysiin.

Aktivointianalyyseissä perinteellinen sovellutusalue on ollut arkeologinen tutkimus, intiaanien kupariesineiden materiaalin alkuperän selvittäminen. Nyt ovat myös lääketieteelliset sovellutukset alullaan.

3. American Atomics Corporation, Tucson, 1976-10-08

Otsikon toiminimi on mielenkiintoinen, pieni teollisuusyritys, joka hyödyntää kahta tunnettua ydinjätteistä separoitua nuklidia ^3H ja ^{85}Kr , valmistuen niistä valolähteitä yleensä tarkoituksiin, joissa riippumattomuus ulkoisesta energialähteestä on ratkaiseva.

Valolähteen rakenneperiaate on yksinkertainen. Boorisilikaattilasiputki on sisäpuolelta päällystetty fosforilla ja täytetty ^3H -kaasulla. β -säteily aiheuttaa jatkuvan luminisenssin fosforissa. Koska ^3H β -säteily on hyvin pehmeää, se pidättyy täysin lasiputkeen.

Sovellutukset ovat lähinnä turvallisuusjärjestelmien valokilpiä esim. valaistut hätä- ja varaueloskäytävien kilvet. Ne eivät ole alttiina sähkökatkoille eivätkä asennuksen jälkeen vaadi huoltoa. Myös on valmistettu valaistuja merkkikeppejä hiihtolatuja varten. Myös kelloteollisuudessa

on käytetty tehtaan valmistamia tritiumlähteitä. Toiminnan suurin ongelma on kuitenkin hyvin kaupaksi menevien sovellutusten keksiminen.

Hintaesimerkki: Varauuskäytävä-merkki:

"American Atomics Emergency Exit Sign"	\$ 149,00,
Tavanomainen kilpi	\$ 150,00
10 vuoden huolto- ja energiakustannukset:	
"American Atomics..."	\$ - 0 -
Tavanomainen	\$ 262,56

4. Battelle Northwest Laboratories, Richland, Washington, 1976-10-12
Laboratoriolla on käytettävissään noin 1000 km²:n maa-alue. Ydinjätealan tutkimus- ja kehitystyö on pääasiassa toteutettu Programme Divisionissa, jonka alaisuudessa toimii kaikkiaan 18 eri jätealan ohjelmaa, jotka jakautuvat seuraavien pääotsikoiden mukaisesti:

1) Kokeelliset jäteteknologiaohjelmat

- Polttoainekierron jätteiden dekontaminointi ja käsittely sijoitusta varten
- Polttoainekierron jätteiden monitorointi
- Geologisen eristämisen tehokkuuden mittaaminen

2) Analyttiset jäteteknologiaohjelmat

- Polttoaine/jätekiertotutkimukset
- Jätehuoltosysteemejä koskevat tutkimukset
- Riskiarvioinnit eri jätehuoltosysteemeissä (pääpaino geologisessa eristämisessä)
- Geologista varastoa koskevat turvallisuusarviot
- Ydinpolttoainekiertoa koskeva tutkimus kustannus/riski/hyöty ympäristövalvonnan ja -suunnitelman kannalta
- Riski-hyöty analyysi koskien nuklidierotusta - transmutaatioon perustuvassa jätehuoltosuunnitelmassa
- Jätteenkuljetusta koskevat turvallisuustutkimukset
- Jätteenkuljetuksen problematiikan analyysit
- Transuraanijätteen pidättäminen

3) Ympäristötutkimukset ja ydinteknisten laitosten käytöstä poisto

Korkea-aktiivisten jätteen kiinteytyslaitteita näytettiin laboratoriossa. Laitoksella on olemassa teollista mittakaavaa oleva lasituslaitteisto simuloitun inaktiivisen jätteen kiinteyttämiseksi. Vuoden 1977 aikana valmistuu pilot plant laitteisto (1/5 teollisen mittakaavan laitteistosta) aktiivisia kiinteytyskokeita varten. 1983 uskotaan päästävän kaupalliseen lasitustoimintaan. Prosessi, johon tällä hetkellä eniten uskotaan on "in can melting" s.o. metalliastian syötetään sulaa lasimassaa ja kalsinointituotetta ja annetaan jäähtyä kiinteäksi massaksi.

Lasitustuotteen testaus on lähinnä keskittynyt lämmön- ja säteilynkestokokeisiin. Huolellisilla kokeilla ja tulosten analysoinnilla on tehty efektien ekstrapoloiteja pitkille ajanjaksoille s.o. 10 000 vuoteen asti.

5. Idaho National Engineering Laboratory, Idaho Falls, Idaho, 1976-10-14 Laboratorio, aikaisemmin reaktorikoestusasema, perustettiin v. 1949 ensi sijaisena tarkoituksena todistaa, että ydinenergiaa voidaan turvallisesti käyttää sähköenergian tuotantoon. N. 250 000 ha:n alueelle on tähän mennessä rakennettu yhteensä 51 reaktoria, joista 17 on edelleen käytössä.

Laboratoriolla on myös uraanimetallipolttoaineen jälleenkäsittelylaitos. Tämä laitos on tuottanut vuodesta 1953 tähän mennessä 5 milj. gallonaa korkea-aktiivista nestemäistä jätettä, joka säilytetään 300 000:n gallonan tankeissa. Tankit ovat toimineet moitteettomasti ilman vuotoja. 2.8 miljoonaa gallonaa ym. nesteestä on kiinteytetty vuodesta 1963 kalsinoimalla. Kalsinaatti säilytetään teräslieriöissä betonitankkivarastoissa, joissa on ilmajäähdytys. Uskotaan, että tällainen varastointi on tyydyttävä ratkaisu ainakin 500:ksi vuodeksi.

On huomattava kuitenkin, että tällaisen jätteen aktiivisuus on vain 1/1000 kaupallisen kalsinoidun jälleenkäsittelyjätteen aktiivisuudesta.

On tutkittu myös kalsinointituotteen edelleenkiinteyttämistä stabiilimpaan ja vaikealiukoisempaan muotoon.

Lasin ohella on tehty paljon kokeita keraamisella materiaalilla, jonka lämmön- ja säteilynkesto-ominaisuudet ovat paremmat kuin lasilla.

6. Oak Ridge National Laboratory, 1976-10-18...20

Oak Ridge. Tennessee

Laboratorio, jonka käyttäjänä on Union Carbide yhtiö, työllistää kaikkiaan n. 20 000 työntekijää. Laboratorion on jakaantunut 20:een tutkimusosastoon (divisions) ja lisäksi on erilaisia ohjelmaryhmiä.

6.1 Ydinjätteen eristämisyhmä

ORNL:ssa suoritettava ydinjätealan työ on perinteisesti kuulunut Health Physics divisionille. Vuonna 1976 jätealalle investoidut resurssit moninkertaistettiin. Tällöin perustettiin myös erillinen jätteen eristämisyhmä (Office for Waste Isolation), joka raportoi suoraan yhtiön (Union Carbide) johdolle. Ryhmä on pieni koostuen neljästä kokeneesta tutkijasta ja sen oma välittömien kulujen vuosibudjetti on \$ 200 000,-. Ryhmä voi kuitenkin tarpeen mukaan käyttää erilaisia asiantuntijoita, laboratorioita jne. ORNL:ssa ja sen ulkopuolella, teknikkoja, sosiologeja, taloustieteilijöitä jne.

Ryhmän tehtävänä on tarkastella ydinjätehuoltoa laajalla pohjalla myös institutionaalisisena ja sosiaalipoliittisena kysymyksenä. Ryhmä pohtii osaltaan myös ERDA:n ja EPA:n välistä työnjakoa ja arvioi asiantuntija-apua käyttäen myös NRC:n säännösluonnoksia ja suunnitelmia.

Tämän hetken tärkeimpiä työkohteita ovat:

- Voimakkaasti aktiivisen jätteen pitkäaikainen huolto.
Pitäisi päätyä yhteen yksikäsitteiseen ehdotukseen kansallisesta elimestä, jonka vastuulla kysymys olisi sekä tutkittava jonkin kansainvälisen elimen mahdollisuudet ja merkitys.
- Voimakkaasti aktiivisen jätteen reversiibeli varastointiratkaisu, 50 vuodeksi tai vuosisadoiksi. Tämän hetken todennäköisin vaihtoehto on maanalainen, rakennettu varastointitila.
- Uraanikaivosten jätehuolto
- Alhais- ja keskiaktiivisen jätteen hautaus maan pintakerrokseen koskien myös transuraanipitoista (TRU-) jätettä. Yhdysvalloissa tuote luokitellaan TRU jätteeksi, kun transuraanipitoisuus 10 nCi/g.
- Merkittävä osatehtävä on ehdotuksen laatiminen ydinjätteen luokituksiksi. Tämä on monivaiheinen työ, jossa on käytetty ja käytetään lukuisia asiantuntijoita. Nyt on päädytty luonnosasteelle ja kerätään luonnoksesta

asiantuntijalausuntoja ja organisoidaan asiantuntijakokouksia.

Tämän hetken "policy näkymiä":

Jätteet, jotka vaativat yli 200 vuoden eristämisen ympäristöstä, on varastoitava geologisiin varastoihin.

- Laitospaikalla tapahtuvat toiminnot voivat olla kaupallisen yhtiön tai yksityisen organisation vastuulla myös jälleenkäsittelyä koskien.
- Pitkäaikaiset ja keskitetyt varastot tulisi olla liittohallituksen vastuulla. Kysymyksessä olisi todennäköisimmin voittoa tuottamaton valtion yhtiö, jolle olisi lainsäädännöllisesti taattu myös valtion vastuu siinä tapauksessa, että yhtiö tekisi konkurssin tai muuten lakkaisi olemasta. Jos kyseessä olisi valtion laitos/liittohallitus, niin katsotaan, että vastuussa on kaksi pahaa varjopuolta: 1) ristiriita tutkimus- ja kehitystyön ja käytännön toiminnan välillä. 2) rahoitus olisi jokavuotisesta budjetista riippuvainen.

Säätiötä pitkäaikaisen vastuun kantavana organisationa ei ole harkittu, koska USA:n kaikki säätiöt ovat yksityisiä.

6.2 Laitoksen oman jätteen käsittely

Vuodesta 1969 lähtien on ORNL:ssa sijoitettu kallioperään keskiaktiivista jäteliuosta käyttäen "hydraulic fracturing"-tekniikkaa. Noin 300 m syvälle liuskekiveen aikaansaadaan painevedellä halkeama, johon pumpataan seosta, joka sisältää jäteliuosta (aktiivisuus 0,25 Ci/l) sementtiä, tuhkaa, savea. Tuote kovettuu satbiiliksi ja testien mukaan varsin niukkaliukoiseksi tuotteeksi, lisäksi liuskakivihalkeama 300 m syvällä suo hyvin geologisen suojan. Menetelmään ollaan erittäin tyytyväisiä ja mitään vuotoja ei ole toistaiseksi havaittu eikä uskota tapahtuvankaan. Vuosittain injektoidaan näin n. 400 000 litraa keskiaktiivista jätettä 0,25 Ci/l. Yhteen halkeamaan voidaan injektoida neljä erää ja kolme metriä ylöspäin edellisestä voidaan tehdä uusi halkeama jne. eli kun käytettävissä on 100 m paksu liuskesiintymä niin sama injektiokaivo riittää ORNL:lle nykyisellä käytöllä 30-40 vuotta.

ORNL:ssa on myös betonista rakennettuja, maan pintakerrokseen upotettuja jätevarastoja, sekä kiinteän jätteen maanhautauspaikkoja.

6.3 ORNL:n käyttöosasto

Tässä osastossa tehdään jätealan tutkimus- ja kehitystyötä lähinnä seuraavien kysymysten parissa:

- 1) Aktinidien erottaminen jälleenkäsittelyjätteestä ja niiden transmutaatio
- 2) Raskaiden metallien konsentroidi laimeasta liuoksesta tutkimalla myös biologisia konsentroidimahdollisuuksia
- 3) ^3H :n konsentroidi biologisin keinoin
- 4) Jätteen ^{129}J :n ja ^{14}C :n kiinteyttäminen sementtiin
- 5) Jälleenkäsittelyssä vapautuvan polttoaineen suojakuorijätteen käsittely
- 6) Ennusteiden laatiminen tulevaisuudessa USA:ssa tuotettavan jätteen laadusta ja määrästä
- 7) Yhteistyössä NRC:n kanssa tutkitaan mikä on niin alhainen päästö kuin mahdollista ja käytännöllistä ja järkevää.

Seuraavassa tärkeimpiä esiintulleita asioita keskustelussa Dr. A. Croffin kanssa

USA:ssa on kaksi täysin erillistä jätehuolto-ohjelmaa: 1) kaupallinen, 2) sotilaallinen. Tällä hetkellä käytetyt polttoaine-elementit säilytetään ensisijaisesti ydinvoimaloilla, joiden varastoaltaita modifioidaan lisäkapasiteetin saamiseksi. Käytännössä se merkitsee polttoaine-elementtien entistä tiheämpää sijoittamista ja boorin lisäämistä jäähdytysvesikiertoon. Vioittuneet ja vuotavat polttoainesauvat suljetaan teräskuoreen. USA:n kolmen jälleenkäsittelylaitoksen nykytilanne:

- NFS, Nuclear Fuel Service
Laitos on lopullisesti vanhentunut ja poistettu toiminnasta. Sen ajanmukaistaminen uskotaan mahdottomaksi.
- G.E:n Midwest laitos. Kylmäkokeissa todettiin useita vaikeita ongelmia: 1) laitos on liian pieni ollakseen taloudellinen 3-4T/d. 2) prosessi vaikeuksia, U_2O_5 kivettyi 3) pahoja korroosio ongelmia
- Barnwellin laitos, omistajat C.S, Allied Gulf, Nuclear Service
Teknisesti periaatteessa lähes valmis. Laitoksella on kuitenkin eräitä

lissenssi ongelmia liittyen mm. Pu:n muuntamiseen oksidiksi ja vielä rakentamattomaan jätteenkäsittelyjärjestelmään.

Hyvin monimutkaista ja pitkällistä lissenssintiprosessia pidetään USA:ssa huomattavana ongelmana ydinteknisten laitosten rakentamisessa. Ydinjätteen maahanhautauspaikat (pintakerroksiin) ovat ainoat ydintekniset laitokset, jotka eivät ole liittovaltion valvonnassa, vaan kunkin osavaltion.

Yhdysvalloissa uskotaan hyötyreaktoreihin ja sanotaan, että ilman niitä polttoaineen jälleenkäsittely ei ole motivoitua. Polttoaineen kertakäyttöä ei pidetä todennäköisenä vaihtoehtona.

Aktinidien separointi ja transmutaatio tutkimus. Tämäkin osaltaan liittyy hyötyreaktoreihin. Transmutaatio on käytännöllisintä suorittaa nopeilla reaktoreilla. Käytännössä päästään 10 % /vuosi x elementti transmutaatiovauhtiin, 2 vuotta = 20 % /kerta. Reaktori ainoa realistinen väline transmutaation käyttöön. Myöskään ei uskota fuusioreaktorin käytettävyyteen tässä suhteessa. Käytännön kokeet aktinidien separoinnissa liittyvät lähinnä kokeelliseen toimintaan purex-prosessin parantamiseksi. Jälleenkäsittelyprosessin suhteen ei ole odotettavissa mitään ratkaisevaa parannusta lähimmän 20-30 vuoden kuluessa.

7. Yhteenveto

USA:ssa tämän hetken tilanne ydinenergian ja etenkin jätehuollon alalla on sekava. Kuitenkin ydinenergian tuotanto ja sen laajentaminen on väistämätöntä. Öljyn omavaraisuus on näet laskenut 60 %:iin eikä suurvalta voi pitkällä tähtäyksellä jättäytyä tuontienergian varaan.

Ydinjätehuollon sekavuus pätee erityisesti liittovaltiokohtaisissa "policy-kysymyksissä", lainsäädäntö, säännökset, ohjeet ja standardisointi, organisointi, vastuukysymykset sekä hyväksyttävät riskikriteerit ovat määrittelemättä, ratkaisematta tai odottavat ajanmukaistamista. Joissakin kysymyksissä on odotettu syksyn vaaleja.

Toiminnan räjähdysmäinen laajentuminen ja investoitujen resurssien moninkertaistaminen ydinjätehuollon alalla viimeisen kahden vuoden aikana sanotaan johtuvan aikaisemmista laiminlyönneistä. Edelleenkin on puute käyttökelpoisista energiantuoton jätehuoltoon koskevista kustannusarvioista.

Toiminnan tämän hetken painopistealoja ovat riskiarvioinnit, riski/hyöty-analyysit ja systeemianalyysit. On näet puutetta realistisista riskiarvioinneista sekä riski/hyöty-analyyseistä vaihtoehtoisten energialähteiden välillä. Toimintaa vaikeuttaa tietojen niukkuus esim. hiilivoimaloiden ympäristövaikutusten osalta.

Geoterminen energia ei liene vaihtoehto ydinenergialle sähköntuotannossa lähivuosisikymmenien aikana toistaiseksi ratkaisemattomien jäteongelmiensa takia.

Suuren yleisön keskuudessa on laajalle levinnyt paniikki ydinenergian suhteen: hallitus ja tiedemiehet yhdessä haluavat väkisin tuottaa epätaloudellista ja vaarallista ydinenergiaa.

Tutkijat ovat optimistisia ydinenergian ja sen jätehuollon suhteen. USA:ssa tutkitaan kaikkia ydinpolttoainekierron vaihtoehtoja, mutta esim. kertaikäntäkiertoa ei pidetä todennäköisenä. Yleisesti uskotaan ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyyn, jonka motiivina tulisivat olemaan lähinnä nopeat hyötöreaktorit. Jälleenkäsittelyprosessissa ei käsitysten mukaan ole odotettavissa huomattavia parannuksia lähivuosisikymmenien aikana. Myöskään transmutaatio ei suotuisassakaan tapauksessa tuo mitään kumouksellista ratkaisua pitkäikäisten nuklidien jätehuoltoon.

Voimakkaasti aktiivisen jätteen kiinteyttämistä lasiin on tutkittu jo 20 vuotta ja sen pysyvyydestä pitkällä ajanjaksolla uskotaan tiedettävän jo niin paljon, että sitä voidaan suositella.

Ratkaisut koskien voimakkaasti aktiivisen jätteen varastointia eivät näytä vieläkään olevan kovin lähellä. Esitettiin, että reversiibeli väliaikaisvarastointi (50-200 ä) jouduttaneen yleisösuhteiden vuoksi toteuttamaan jonkinlaisiin rakennettuihin geologisiin varastotiloihin. Myös merenpohjaan upotusta pidetään vaihtoehtona (reversiibelinä).

Voimakkaasti aktiiviselle jätteelle on osoitettu myös hyödyntämismahdollisuuksia. Edellä kuvatun valolähdetehtaan lisäksi armeija on suunnitellut jäte-elementtien käyttämää 5 MW:n voimalaitosta sotasairaalaan varten. Jäteasiantuntijoiden mielestä mahdollinen jätteiden hyväksikäyttö ei helpota heidän työtään.

Alhais- ja keskiaktiivisen jätteen huoltoa pidetään USA:ssa hyvin toissijaisena kysymyksenä voimakkaasti aktiiviseen jätteeseen ja yleensä jälleenkäsittelykysymykseen nähden. Maanhautauksista pidetään edelleen halpana ja toteuttamiskelpoisena ratkaisuna. Sille pitäisi vain saada liittovaltion asettamat ohjeet, standardit ja määräykset. Hautaustoiminta pitäisi poistaa kaupallisilta yhtiöiltä tai alistaa ainakin tarkkaan liittovaltion kontrolliin. Tucsonin symposiumissa kanadalaiset esittivät varsin vakuuttavasti maan pinnalle rakennetun jätevaraston etuja alhais- ja keskiaktiivisen jätteen reversiibelissä varastoinnissa.

Voimaloilla tapahtuvan jätehuollon kehitysnäkymissä oleellisin esiintullut asia oli odotettavissa oleva ydinpolttainesauvojen laadullinen paraneminen, niin että fissiotuotteet vähenisivät oleellisesti primääripiirin jäähdytysvedessä.

ENERGIAN SÄÄSTÖTOIMENPITEET SUOMESSA

Miksi energiaa on säästettävä

Energian säästäminen ja siihen liittyvät erilaiset toimenpiteet ovat saaneet osakseen runsaasti huomiota viimeisten kolmen vuoden aikana. Raakaöljyn raju hinnan nousu koettiin niin vakavana, että useissa maissa pyrittiin säästämään energiaa pakollisilla säännöstelymääräyksillä. Nyttemmin energian tarkoituksenmukaisen ja tehokkaan käytön edistämiseksi on ryhdytty muihin toimenpiteisiin.

Suomen elinkeinoelämän rakenteesta ja pohjoisesta sijainnista johtuen energian kokonaiskulutus on henkeä kohti laskettuna kansainvälisesti korkea. Energian tuotantoon, siirtoon, jakeluun ja kulutukseen sidotaan vuosittain huomattava osa yhteiskuntamme voimavaroista. Energian säästäväisellä käytöllä voitaisiin vähentää energian kulutuksen kasvua, pienentää energianinvestointien määrää sekä saavuttaa kansantaloudellista hyötyä energian tuonnin vähentämisen muodossa.

Energian säästäminen ja tarkoituksenmukainen käyttö voidaan määrittellä mm. siten, että se on energian tuotannon ja siirron teknisen hyötysuhteen parantamista ja tuoteyksikköä, suoriteyksikköä tai palvelusta kohti lasketun energian kulutuksen taloudellisesti kannattavaa vähentämistä. Tällöin palveluihin voidaan laajasti ottaen katsoa sisältyvän myös aineettomien palvelusten, kuten asumisen tai yksityisen liikenteen, virkistyksen yms. energian kulutus.

Energian säästämiseen liittyy lähes aina jokin uhraus joko voimavarojen lisääntyvän käytön tai toteutettujen kulutus- tai käyttötapojen muuttamisen muodossa. Niin kauan kuin energian säästämiseen tarvittavat uhraukset eivät ylitä säästöä saatavia hyötyjä, säästämisen voidaan katsoa olevan tarkoituksenmukaista. Viime kädessä energian säästämässä onkin kysymys laajasta optimointiongelmasta, jonka ratkaisun sisältö riippuu oleellisesti mm. energian hinnasta ja siitä, kuinka vaihtoehtoisin toimenpiteisiin liittyvät hyödyt ja haitat arvostetaan.

Seuraavassa selvitetään lyhyesti niitä toimenpiteitä, joita tähän mennessä on toteutettu energian tarpeettoman kulutuksen poistamiseksi ja sen taloudellisen käytön edistämiseksi. Samalla käsitellään tulevan toiminnan kannalta keskeisiä säästömahdollisuuksia.

Suoritettuja toimenpiteitä

Vuoden 1973 loppupuolella puhjennut energiakriisi antoi varsinaisesti alkusysäyksen edelleenkin jatkuville energiansäästötoimenpiteille. Mainitun vuoden joulukuussa valtioneuvosto teki päätöksen polttoaineiden käytön yleisestä rajoittamisesta. Valtioneuvoston päätöksen sisältämät rajoitukset koskivat mm. kiinteistöjen sisälämpötiloja, koneellista tuuletusta, uima-altaiden veden lämmitystä, mainos-, näyteikkuna- ja ulkovalaistusta sekä auto- ja moottoripyöräkilpailujen järjestämistä ja harrasteilmailua. Kauppa- ja teollisuusministeriö sai samanaikaisesti valtuudet antaa tarkempia määräyksiä ja tehdä erityisistä syistä poikkeuksia päätöksen sisältämiin määräyksiin. Pakolliset energiansäästö määräykset olivat voimassa 31.5.1974 saakka. Saman vuoden syksyllä ne korvattiin kauppa- ja teollisuusministeriön antamalla säästösuosituksilla.

Valtiovarainministeriö ja rakennushallitus ryhtyivät keväällä 1974 laatimaan ohjeita, jotka koskivat energian taloudellista käyttöä valtion omistamissa ja valtionapua nauttivissa laitoksissa. Hiljattain uudistetut ohjeet koskevat myös valtion kiinteistöjen rakentamista.

Sisäasiainministeriö on antanut kaavoitusta ja rakentamista valvovalle viranomaisille ohjeet, miten energiatalous tulisi ottaa huomioon kaavoitus- ja rakentamistoimintaa ohjattaessa. Ministeriö on valmistellut myös rakennuksia koskevia energiataloudellisia määräyksiä. Vaikka näitä määräyksiä ei ole vielä annettu, asuntohallitus ja maatilahallitus ovat lainahejojensa perusteella edellyttäneet vuodesta 1974 lähtien lainoittamiltaan asunnoilta parempia lämpöteknisiä ominaisuuksia kuin käytössä olevien rakennusnormien nukaan olisi tarpeen. Asuntohallituksen suunnitteluohjeet ovat vaikuttaneet myös yksityiseen rakentamiseen.

Liikenneministeriö määräsi kevätkaudeksi 1974 korkeimmaksi sallituksi nopeudeksi maanteille 80 km/h. Myöhemmin on energian kulutusta pyritty vähentämään suosimalla liikennepoliittisin keinoin joukkoliikenteen kehittymistä sekä kiinnittämällä huomiota taloudelliseen ajotapaan ja moottoriajoneuvojen huoltoon.

Energiansäästötoimenpiteitä on toteutettu yhteistoiminnassa kuntien ja niitä edustavien järjestöjen kanssa. Kauppa- ja teollisuusministeriö on esittänyt kunnallisviranomaisille erityisten energiansäästöelinten perustamista kuntiin. Niiden tehtävänä olisi vastata energiansäästötoimenpiteiden koordinoinnista ja toteutuksesta. Yhteistoiminnan piiriin ovat kuuluneet myös teollisuuden keskusjärjestöt. Niinikään on ministeriö pyrkinyt vaikuttamaan yleiskirjeiden ja säästösuosituksen välityksellä asuinkiinteistöjen hallintoelimiin kiinteistöjen energiatalouden parantamiseksi.

Tiedotustoiminta

Valtioneuvoston tehtyä energian säästämistä koskevan päätöksen asetettiin kauppa- ja teollisuusministeriön käyttöön määräraha tiedotus- ja valistustoiminnan aloittamiseksi. Toiminnan tarkoituksena oli toisaalta saattaa pakolliset säästömääräykset yleisön tietoisuuteen ja toisaalta edistää vapaaehtoisuuteen perustuvaa energian säästämistä. Toimintaa toteutettiin lehtikirjoittelun ja laajamittaisen mainoskampanjan muodossa koko kevätkauden ajan.

Tiedotustoimintaan saatiin lisävaroja loppukeväällä 1975. Vuoden loppuun jatkuneen kampanjajakson aikana järjestettiin tiedotusvälineille useita seminaareja, laadittiin erilaisia opaskirjasia ja muuta valistusaineistoa sekä aloitettiin kouluikäiseen nuorisoon suunnattu asennekasvatustyö.

Toimintaa jatkettiin edelleen vuoden 1976 alusta. Tavoitteeksi asetettiin erityisesti energian säästämismotivaation voimistaminen. Toiminnassa käytettiin hyväksi keskeisempiä tiedottamisen ja mainonnan menetelmiä.

Asenteet muuttuneet

Viimeisten kolmen vuoden aikana toteutettujen energiansäästötoimenpiteiden voidaan katsoa vaikuttaneen hidastavasti energian kulutuksen kasvuun. Vuosien 1975 ja 1976 lopulla suoritettujen kuluttajatutkimukset osoittivat, että muihin yleishyödyllisiä asioita ajaviin kampanjoihin verrattuna energiansäästökampajan sanoma on havaittu parhaiten. Tutkimusten mukaan myös kuluttotottumuksissa on tapahtunut muutosta energiaa säästävään suuntaan. Sen sijaan ei ole voitu luotettavasti arvioida, mikä on ollut kaikkien toimenpiteiden yhteenlaskettu vaikutus markkamääräisesti mitattuna.

Yleisesti voitaneen todeta, että paitsi tuotantoelämässä, myös yksityisen kulutuksen alueella ollaan omaksumassa uudenlainen asennoitumistapa energiaan. Yhä yleisemmin ymmärretään, että energian säästäväinen käyttö on välttämätöntä paitsi yksityistalouden myös koko kansantalouden kannalta.

Energiansäästötoiminnan jatkuminen

Vapaaehtoisuuteen perustuvat keinot, esimerkiksi tiedotustoiminta ja taloudelliset yllykkeet, eivät yksinomaan johda riittävään energian säästöön. Olemassa olevaa lainsäädäntöä olisi kehitettävä siten, että energiataloudelliset näkökohdat tulisivat paremmin huomioonotetuiksi.

Kiinteistöjen energiahuollon toteuttamiseen voidaan vaikuttaa maankäytön suunnittelulla sekä tulevaan energian käyttöön suunnittelu-, rakentamis- ja käyttövaiheessa. Rakennuslakia olisi kiireellisesti muutettava niin, että sen perusteella voitaisiin antaa rakentamista koskevia energiataloudellisia määräyksiä. Energiatalouden kannalta tärkeimmät määräykset mm. rakennuksen sisäilmastoa, rakennuksen sijoittelua maastoon, rakennusosien lämmöneristävyyttä, LVI-laitteita sekä rakennuksen käyttöä ja huoltoa. Määräyksiä voitaisiin soveltaa vain uudis- ja peruskorjattaviin rakennuksiin.

Julkisten rakennusten sekä asuinrakennusten energian käytön valvontaa on syytä edelleen kehittää ja tehostaa. Kiinteistöjen hoidosta vastaavien elinten työ tulee tältä osin lisääntymään. On aiheellista myös tutkia, mitä mahdollisuuksia kunnallisilla, kaukolämpöä toimittavilla laitoksilla olisi avustaa kiinteistöjä energian käytön valvonnassa. Kaukolämpölaitos voisi esimerkiksi etsiä kuluttajatiedostostaan sellaisia lämmön kuluttajia, joiden ominaiskulutus on suuri verrattuna muihin samanlaisiin kiinteistöihin.

Suunnitteilla oleva kuluttajansuojalaki antanee eräitä mahdollisuuksia vaikuttaa kotitalouksien energian käyttöön. Energiaa käyttävien koneiden mainontaa voitaisiin sen perusteella valvoa tehokkaammin. Lisäksi voitaisiin määrätä, mitä tietoja valmistajien tulisi antaa tuotteista markkinointiviestinnässään.

Liikenteen energiansäästöihin olisi pyrittävä sellaisella liikennepolitiikalla, joka suosii ominaiskulutukseltaan edullisia liikennemuotoja. Yhdyskuntasuunnittelulla tulisi vähentää kuljetuksen tarvetta yleensä. Joustavan ajantavan ja ajoneuvon teknisen kunnan merkitystä olisi syytä edelleenkin korostaa.

Taloudelliset yllykkeet

Taloudellisilla yllykkeillä olisi mahdollista tukea sellaisia energiansäästoinvestointeja, jotka muuten saattaisivat jäädä suorittamatta. Monille yrityksille energia muodostaa marginaalisen kustannustekijän ja sen pienentämiseksi tarvittavilla investoinneilla pitäisi olla erityisen nopea takaisinmaksuaika. Kokonaisuutena talouden kannalta saattaisi olla edullista toteuttaa myös sellaisia energiansäästoinvestointeja, joiden takaisinmaksuaika on hitaampi.

Vanhojen kiinteistöjen lämpötalous jää yleensä huomattavasti heikommaksi kuin uusien määräysten mukaan rakennettujen. Nykyinen energian hintataso ei johda riittävässä määrin energiatalouden parannustoimenpiteisiin eikä rakennusnormeilla yleensä voida vaikuttaa niiden suorittamiseen. Koko rakennuskannan energia-

talouden parantamista nopeuttaisi, jos edellä mainittuja investointeja voitaisiin tukea valtion varoilla.

Tiedotustoiminta

Energian säästämiseen liittyviä tiedotustoimenpiteitä tarvitaan jatkossakin. Niillä pitäisi pyrkiä vaikuttamaan energiaa tuhlaaviin asenteisiin ja käyttäytymistapoihin. Lisäksi tulisi kiinnittää huomiota niihin energiatalouden parantamismahdollisuuksiin, joita voidaan aikaansaada käyttämällä hyväksi uusimman teknologian saavutuksia sekä tutkimusten tuloksia. Tiedotustoimintaan tulisi vuosittain varata riittävä määräraha.

Yhteenveto

Energian tarpeettoman kulutuksen poistaminen ja sen taloudellisen käytön edistäminen on ymmärrettävä jatkuvaksi toiminnaksi. Pysyviin tuloksiin pääseminen edellyttää useilla tahoilla samanaikaisesti ja pitkällä aikavälillä toteutettavia toimenpiteitä. Edellä on esitetty ainoastaan niitä toimenpiteitä, joita on toteutettu ja jotka ovat suunnitteilla energian kulutuksen vähentämiseksi. Sen sijaan ei ole puututtu energian tuotannossa, hankinnassa ja jakelussa aikaansaataviin säästöihin. Energian kokonaissästöä ja vaihtotaseen tasapainottamista ajatellen edellä mainittuihin seikkoihin liittyvillä laajakantoisilla energiapoliittisilla ratkaisuilla lienee kuitenkin ajan mittaan suurin merkitys.

TEOLLISUUDEN ENERGIATUTKIMUKSET

1. YLEISTÄ

Energian hinta Suomessa on eri syistä ollut jatkuvasti korkeammalla tasolla kuin kilpailevissa teollisuusmaissa. Sen vuoksi meillä on jouduttu aina kiinnittämään huomiota energian kulutusta vähentäviin toimenpiteisiin. Tapahtunut energian hintojen jyrkkä kohoaminen energiakriisin seurauksena on antanut aiheen myös teollisuuden piirissä säästökohteiden entistä tarkempaan inventointiin ja selvittämiseen.

Teollisuuden energiatalouden kehittyminen vaikuttaa merkittävästi teollisuuden kilpailukykyyn ja Suomen maksutaseeseen. Teollisuus on kansantalouden suurin energian kuluttaja. Sen osuus maamme polttoaineen kulutuksesta on vajaa puolet ja sähkön kulutuksesta yli 2/3. Prosessiteollisuuden osuus koko teollisuuden energiankulutuksesta on noin 80 %.

Pääpiirteissään näiltä lähtökohdiltaan päättyivät SITRA sekä teollisuuden järjestöt vuosina 1974 ja 1975 käynnistämään energiaprojektit, joiden yleistavoitteeksi asetettiin selvittää ensi sijassa ne toimet, joilla yritykset voivat tunnettua tekniikkaa hyväksi käyttäen lähivuosien aikana alentaa energian nettokulutusta tuoteyksikköä kohti.

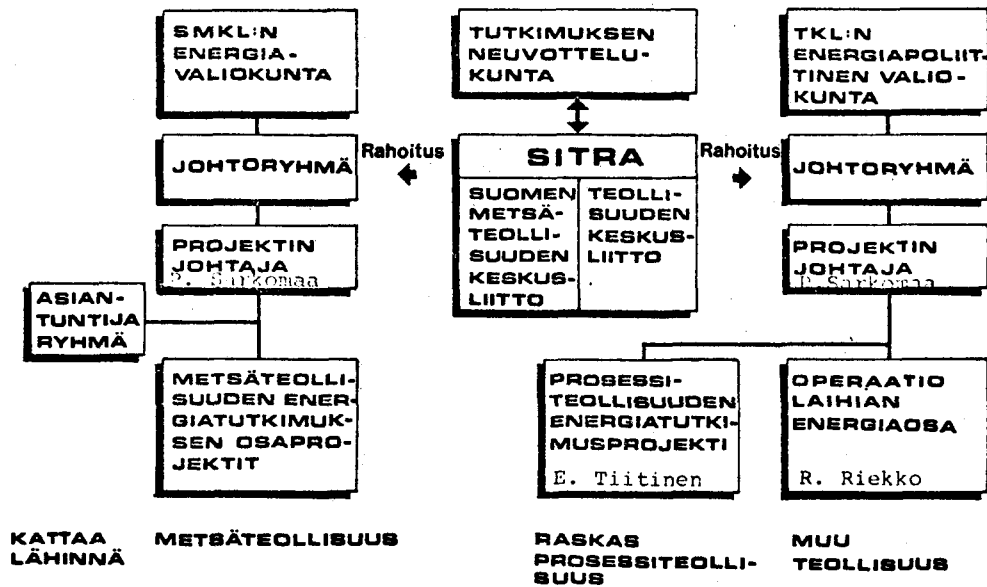
Tehdaskohtaisten energiaselvitysten tulosten analysointia helpottavat vertailukelpoiset vastaavien prosessien tiedot ja mittaustulokset. Tämän vuoksi SITRAn ja Suomen Metsä-

teollisuuden Keskusliiton vuonna 1974 käynnistämässä ja syksyllä 1974 päättyneessä Metsäteollisuuden energiatutkimuksessa keskityttiin pääasiassa prosessien energian kulutusrakenteen selvittämiseen. Samanaikaisesti SITRAn ja Teollisuuden Keskusliiton toteuttamassa prosessiteollisuuden energiatutkimusprojektissa tutkimuskohteena oli muu prosessiteollisuus kuin metsäteollisuus. Koska tässä teollisuudessa vain harvoin on Suomessa kaksi samanlaista prosessia, keskityttiin tutkimuksessa pääasiassa selvittämään käyttöhyödykejärjestelmien vaikutusta energiatalouteen. Molempien tutkimusten tavoitteiksi määriteltiin:

- taloudellisimpien valmistusmenetelmien selvittäminen nykyisten odotettavissa olevien energian hintojen vallitessa,
- nykyisten energiataloudellisten ratkaisujen kartoitus,
- edullisimmista ratkaisuista tiedottaminen,
- tutkimustyön käynnistäminen energiaa säästävien laitteiden ja prosessien kehittämiseksi sekä
- luotettavan aineiston antaminen päätöksentekijöille energiataloutta palvelevista investoinneista.

Em. lisäksi SITRA, Teollisuuden Keskusliitto ja sen eräät jäsenjärjestöt päättivät toteuttaa Operaatio Laihian yhteydessä energiakustannusten säästöön tähtäävän energiaselvityksen. Näiden kolmen tutkimuksen kohdealueet kattavat periaatteessa koko teollisuuden.

Teollisuuden järjestöjen energiaprojektien organisaatio on kuvassa 1 ja aikataulut kuvassa 2.



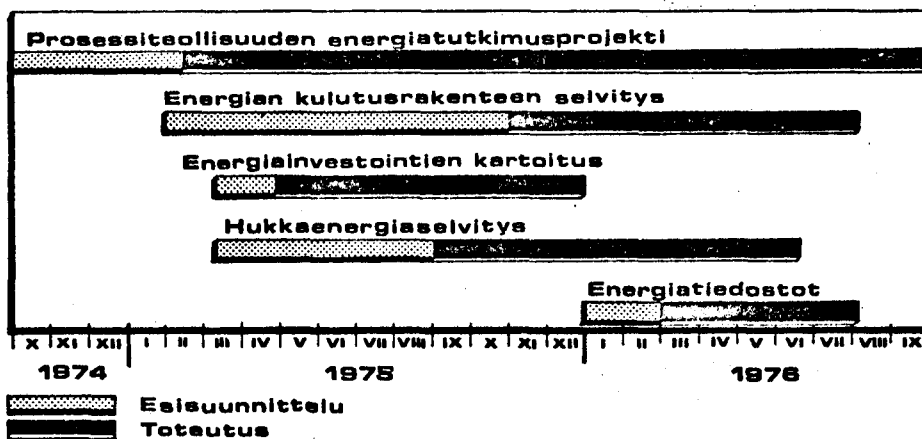
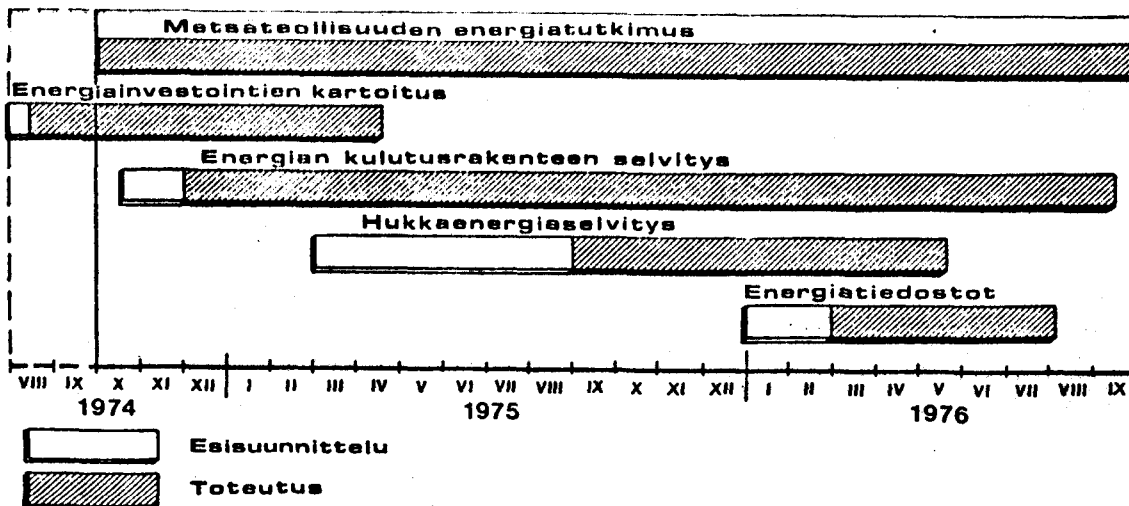
Kuva 1. Teollisuuden järjestöjen energiaprojektit

Tutkimukset jakautuivat useihin osatutkimuksiin, joiden tavoitteita ja tuloksia on esitelty lyhyesti seuraavassa.

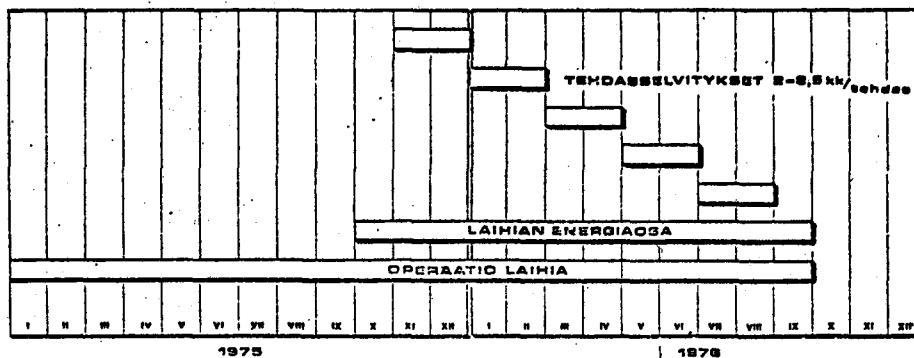
2. METSÄTEOLLISUUDEN ENERGIATUTKIMUS

Metsäteollisuuden energiaturkimus jakautui seuraaviin osatutkimuksiin

- energiainvestointien kartoitus,
- energian kulutusrakenteen selvitys,
- hukkaenergiaselvitys ja
- energia-alan tietopankin perustamismahdollisuuksien selvitys sekä



OPERAATIO LAIHIAN AIKATAULU



Kuva 2 Teollisuuden järjestöjen energiatutkimusprojektien aikataulut

- energian säästöön liittyvien tuotekehitysprojektien käynnistys.

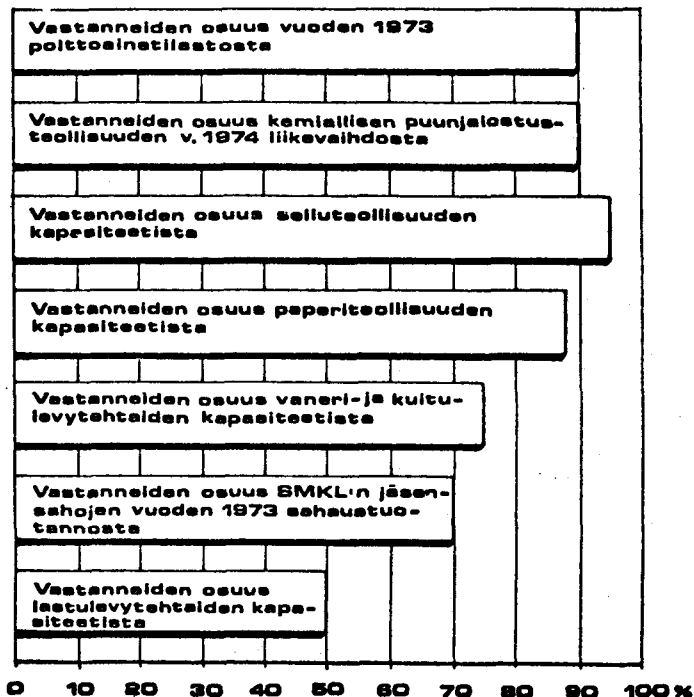
Tehtaiden henkilökuntaan kuulumattoman tutkimushenkilöstön osan kustannukset olivat 1,35 Mmk.

2.1 Energiainvestointien kartoitus

Energiainvestointikyselyn tavoitteena oli

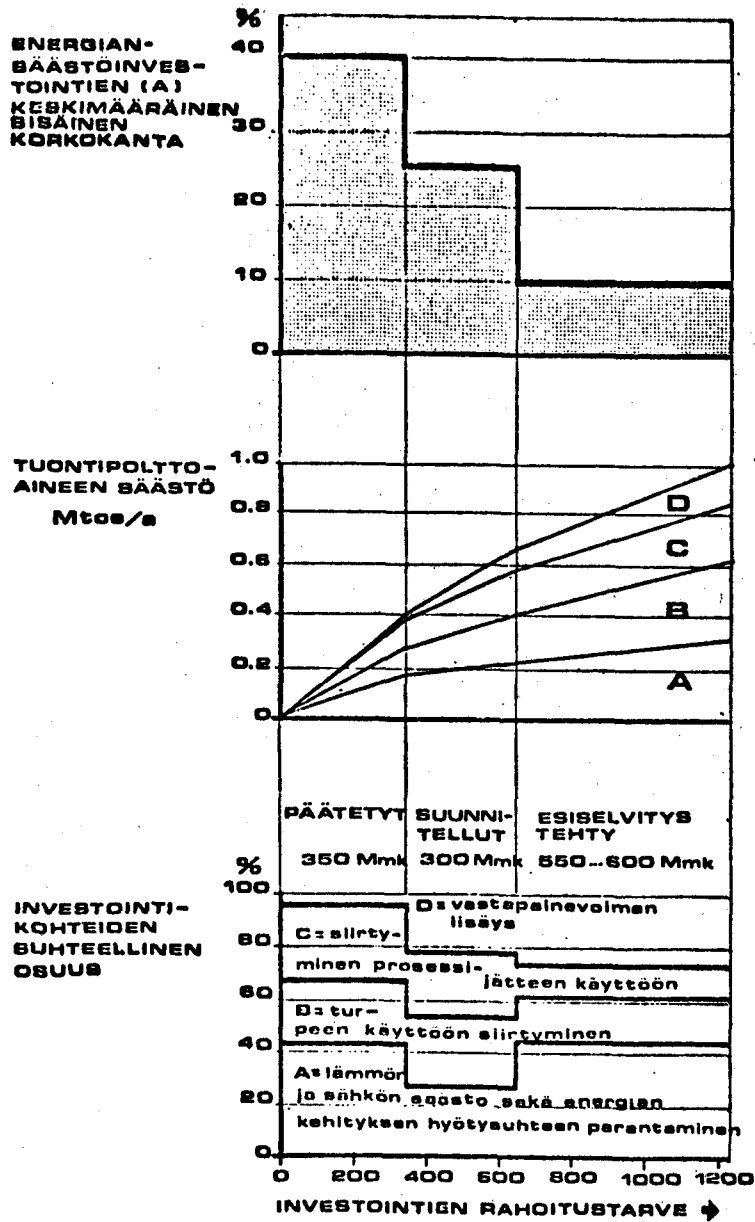
- energiansäästöinvestointien rahoitustapreen ja vastaavien säästöjen selvitys energiansäästöinvestointien rahoituksen helpottamiseksi
- antaa teollisuudelle tietoja, joiden avulla se voi ajoittaa tilauksensa niin, että laitteistotoimittajien kapasiteetti tulee tarkoituksenomaisesti hyväksikäytettyä ja
- selvittää missä määrin metsäteollisuus on siirtymässä energiatuotannossaan turpeen käyttöön.

Selvitys suoritettiin kyselynä ja sen yhteenveto valmistui keväällä 1975. Kyselyn kattavuus ja yhteenveto kyselyn tuloksista on kuvissa 3 ja 4.



Kuva 3.

Energiainvestointikyselyn kattavuus



Kuva 4. Investointien jakautuminen eri kohteisiin ja tuontipolttoainesäästö investoinnin (vuoden 1974 lopun hintataso) suuruudesta riippuvana sekä esimerkki kannattavuudesta.

Kyselyn tuloksista ilmenee, että

säästetty energia

säästöinvestointipanos

pienenee nopeasti, kun kumulatiivinen säästöinvestointien määrä suurenee.

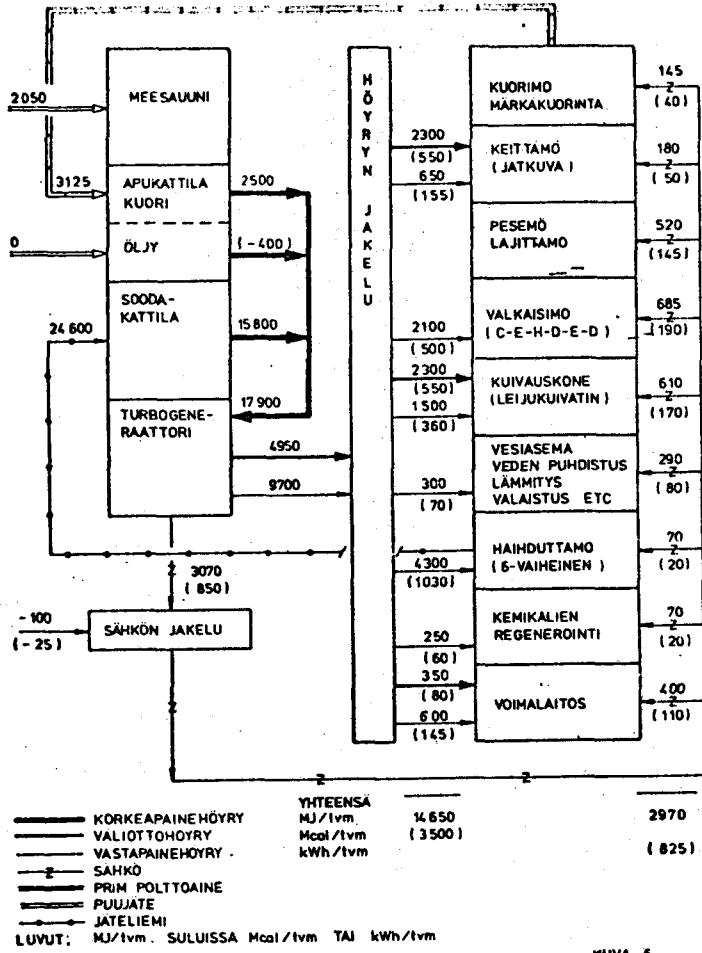
2.2 Energian kulutusrakenteen selvitys

Energian kulutusrakenteen selvitys oli tutkimuksen keskeisin osa, jonka tavoitteena oli

- selvittää puunjalostusteollisuuden energian kulutusrakennetta tuotantoprosesseittain nykyistä ja uutta teknologiaa käytettäessä, ja
- vertailulaskelmien teko taloudellisesti edullisten energiansäästömahdollisuuksien identifioimiseksi.

Syksyllä 1974 suoritetun esitutkimuksen ja myöhemmin tehtyjen päätösten mukaisesti suoritettiin seuraavat osatutkimukset:

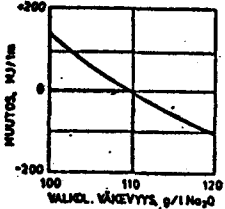
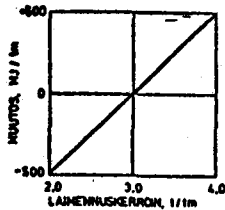
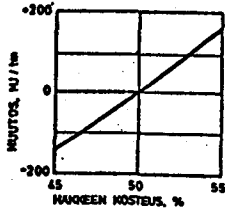
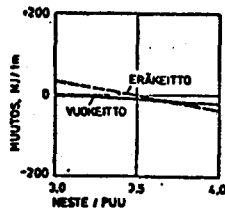
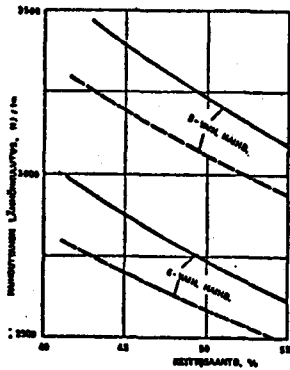
- ENERGIAN HANKINTA- JA HINTASELVITYKSEN tarkoituksena oli määrittellä energian hinta käyttökustannuksena. Lisäksi pyrittiin antamaan yleiskuva tyyppitehtaiden kokonaisenergian kulutuksesta sekä sähköenergiatalouden omavaraisuudesta. Esimerkkinä tuloksista on kuvassa 5 valkaistun havupuusulfaattitehtaan energiatase.
- SELLUN VALMISTUSPROSESSIEN ENERGIANKULUTUKSET määritettiin tehdasmittausten, tehtaalta kerättyjen tilastotietojen, teoreettisten taselaskelmien ja mallien perusteella. Kaikkiaan tutkittiin kahdeksan tehdasta, joista kuusi valmistaa sulfaattisellua, yksi NSSC-massaa ja yksi sulfiittisellua. Erityisesti selvitettiin pumppaukseen kuluvan sähköenergian säästömahdollisuuksia, koska pumppaus on yksi puunjalostusteollisuuden eniten sähköä kuluttavista toiminnoista. Esimerkkinä tuloksista on haihduttamon lämmönkulutus sellutonnia kohti, kuva 6.



Kuva 5
Valkaistun havupuu-sulfaattitehtaan energiatase

KUVA 6

SITRA, SUOMEN METSÄTEOLL. KESKUSLIITTO
Sulfaattisellutehdas (havupuu)
Energiatase



Vuokeitto

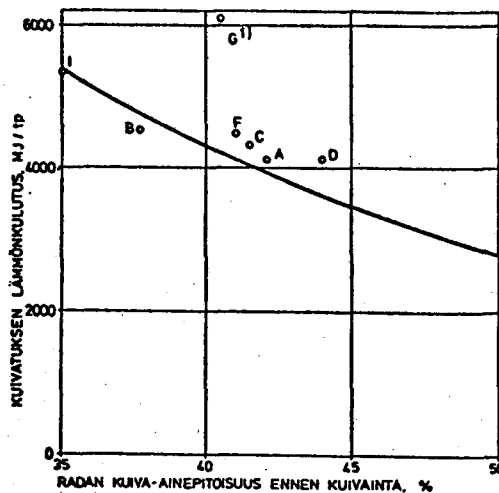
- neste/puu 3,0
- alkaliannos 16 %
- laim.kerros 3,0 t/tm
- hakekosteus 50 %
- valkol.väk. 110 g/l

Eräkeitto

- neste/puu 3,5
- alkaliannos 16 %
- laim.kerros 3,0 t/tm
- hakekosteus 50 %
- valkol.väk. 110 g/l

Kuva 6
Haihduttamon lämmönkulutus sellutonnia kohti laskettuna

- ENERGIAN OMINAISKULUTUKSET PAPERIN JA KARTONGIN VALMISTUKSESSA selvitettiin tehdaskäynneillä kerätyn tilastoaineiston ja mittaustulosten perusteella. Tutkittiin yhdeksän paperitehdasta, neljä kartonkitehdasta ja kaksi päällystyslaitosta. PULPPERIN ENERGIANKULUTUSTA selvitettiin laitetoimittajien antamien tietojen ja kirjallisuudesta kerätyn aineiston perusteella. Esimerkkinä tuloksista on paperikoneen kuivatusosien ominaislämmönkulutusarvoja, kuva 7.



Olosuhteet:

- Häviöt (säteily, läpipuhallukset jne.) 5 %
- Rainan lämpötila ennen kuivainta 40 °C
- Kuivausilman lämpötila ennen höyrypattereita 40 °C
- Kuivausilman kosteus 0,015 kg H₂O/kg i.k.
- Poistohöngän kosteus 0,100 kg H₂O/kg i.k.
- Poistohöngän lämpötila 80 °C

0 A, B, C, D, F, G, I = MITTAUSTULOKSIA

1) Lisänä pintaliimauksen vesimäärä

Kuva 7 Paperin kuivauksen lämmönkulutus

- Nykyisin uusien prosessien kehittämisen perusteena ovat paremman kokonaistalouden ohella erityisesti puuraaka-aineen tehokkaampi hyväksikäyttö ja ympäristönsuojelun vaatimukset. Tässä mielessä selvitettiin RAAKA-AINE-MUUTOKSET, TUOTTEEN LAATU- JA LAJIVALIKOIMAN MUUTOKSET JA NIIDEN VAIKUTUS ENERGIAN KULUTUSRAKENTEeseen. Esimerkkinä kuorellisen puun käytön vaikutus sellutehtaan osastojen mitoittamiseen sekä sähkön ja lämmön kulu-tukseen.

Taulukko 1

Kuorellisen puun käytön vaikutus sellutehtaan mitoituseseen ja energiankulutusarvoihin.

Kohde	Muutos %
Kuitulinjan lisämitoitus	+ 5
Kemikaalikierron lisämitoitus	+ 10
Sähkönkulutus	0
Lämmönkulutus	+ 5

Tutkimuksessa UUDET PROSESSIT JA ENERGIA selvitettiin, miten uudet prosessit ja sekundäärilämmön käytön tehostaminen vaikuttavat energiankulutusrakenteeseen.

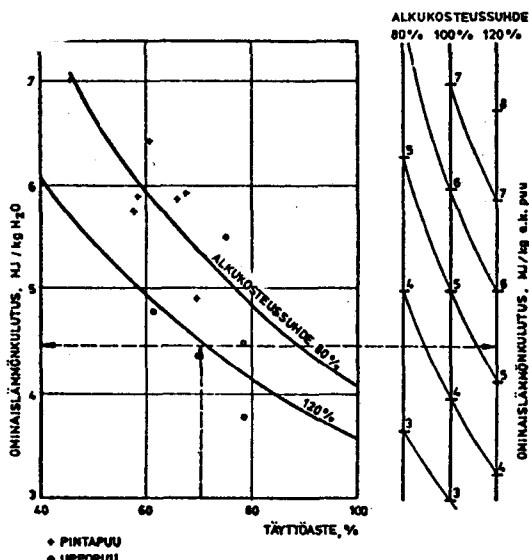
YMPÄRISTÖNSUOJELU JA ENERGIA-selvityksessä tarkasteltiin ympäristönsuojelun ja energiatalouden tavoitteiden keskimääräisiä suhteita. Esimerkiksi sulfaattitehtaan osalta tutkitut prosessitekniset toimenpiteet ovat seuraavat:

- + kuorimon vedenkierron sulkeminen ja siirtyminen kuivakuorintaan,
 - + lauhdeiden puhdistus ja kierrätys,
 - + pesun tehostaminen,
 - + lajittamon vedenkierron sulkeminen,
 - + vuotojen keräily,
 - + valkaisimon vedenkierron sulkeminen ja
 - + hajukaasujen poltto.
- Osaselvityksessä AUTOMAATION JA TEHOSTETUN ENERGIANKÄYTÖN VALVONNAN VAIKUTUS ENERGIAN KULUTUSRAKENTEeseen kartoitettiin mahdollisuuksia tehostaa energiankäyttöä automaatiolla. Useissa metsäteollisuuden prosesseissa voidaan automaatiolla vähentää energian ominaiskulutusta.

Esimerkkinä arvio paperikoneen energiansäästöistä, jotka ovat laskettavissa automaation ja prosessitietokoneen ansioksi.

- kosteuden ja neliömassan säädön kautta 17 MJ/tp (4,1 Mcal/tp)
- puristimien viivapaineen kautta (jos kosteus alenee 0,5 %) 110 " (27 ")
- lajinvaihdon ohjauksen kautta 27 " (6,6 ")

- Osatutkimuksessa OMINAISLÄMMÖNKULUTUKSET MEKAANISEN PUUNJALOSTUSTEOLLISUUDEN KUIVAUSPROSESSEISSA mitattiin ominaislämmönkulutukset yhdessä sahalaitoksessa, yhdessä lastulevytehtaassa ja kahdessa vaneritehtaassa. SAHATAVARAN KUIVAUSMENETELMIEN VERTAILUSSA tutkittiin mahdollisen uuden teknologian vaikutusta sahatavaran kuivauksen energiankulutukseen vertaamalla toisiinsa jatkuvatoimisen lämminilma-, savukaasu- ja lämpöpumpukuivaimen käyttöä. Tehdasmittaukset VIILUN KUIVAUKSEN LÄMMÖNKULUTUKSESTA yhdistettiin matemaattiseksi malliksi, jossa otetaan huomioon alkukosteussuhde, kuivaimien täyttöaste ja kuivausilman määrä, kuva 8.



Kuva 8
Viilun kuivauksen lämmön-
kulutus

2.2 Hukkaenergiaselvitys

HUKKAENERGIASELVITYKSESSÄ käytettiin olemassa olevia tilastotietoja ja suoritettiin tehdastutkimuksia. Tulokset osoittavat, että hyödyntämiskelpoisen hukkaenergian määrä on vähäinen ja että hukkaenergian hyödynnettävyys heikenee nopeasti siirtoetäisyyden kasvaessa.

2.3 Prosessisimulointijärjestelmä

Tehdasmittaustulosten käsittelyyn käytetty tutkimuksen yhteydessä kehitetty PROSESSISIMULOINTIJÄRJESTELMÄ on dokumentoitu siten, että käyttö- ja suunnitteluhenkilöstö voi käyttää sitä työvälineenään olemassa olevien tai uusien prosessien kehittämisessä ja investointien suunnittelussa. Tietokonepohjaisen mallin katsottiin olevan paras mahdollisuus koota järjestelmällisesti eri tehtaiden hyvin vaihtelevissa oloissa mitattuja energiakulutustietoja. Tietokoneohjelma on ilman ohjelmavuokraa Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton jäsenyritysten ja SITRAN käytettävissä näiden tai EKONO Oy:n tietokoneessa. Jos ohjelma joudutaan siirtämään toiselle tietokoneella, maksaa käyttäjäyritys siirto- ja muutokustannukset. EKONO Oy perii maksuun tietokoneensa käytöstä ja siihen tarvittavasta henkilöstöstä.

2.4 Energiatiedostosiselvitys

Tutkimuksessa kartoitettiin energia-alan tietolähteet ja selvitettiin, miten niitä voidaan käyttää. Koska ENERGIA-TIEDOSTOJEN määrä on suuri, tehtiin lisäselvitys erityisesti metsäteollisuudelle tärkeistä lähteistä.

3 PROSESSITEOLLISUUDEN ENERGIATUTKIMUSPROJEKTI

Prosessiteollisuuden energiatutkimusprojekti jaettiin seuraaviin osatutkimuksiin:

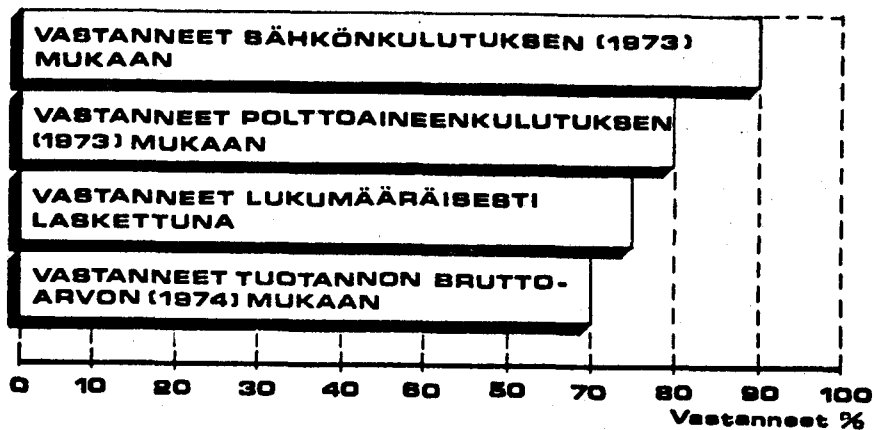
- energiainvestointien kartoitus
- hukkaenergiaselvitys
- energian kulutusrakenteen selvitys
- selvitys mahdollisuuksista perustaa energia-alan tietopankki ja
- energian säästöön liittyvien tuotekehitysprojektien käynnistäminen.

Tehtaiden henkilökuntaan kuulumattoman tutkimushenkilöstön osan kustannukset olivat 0,75 Mmk.

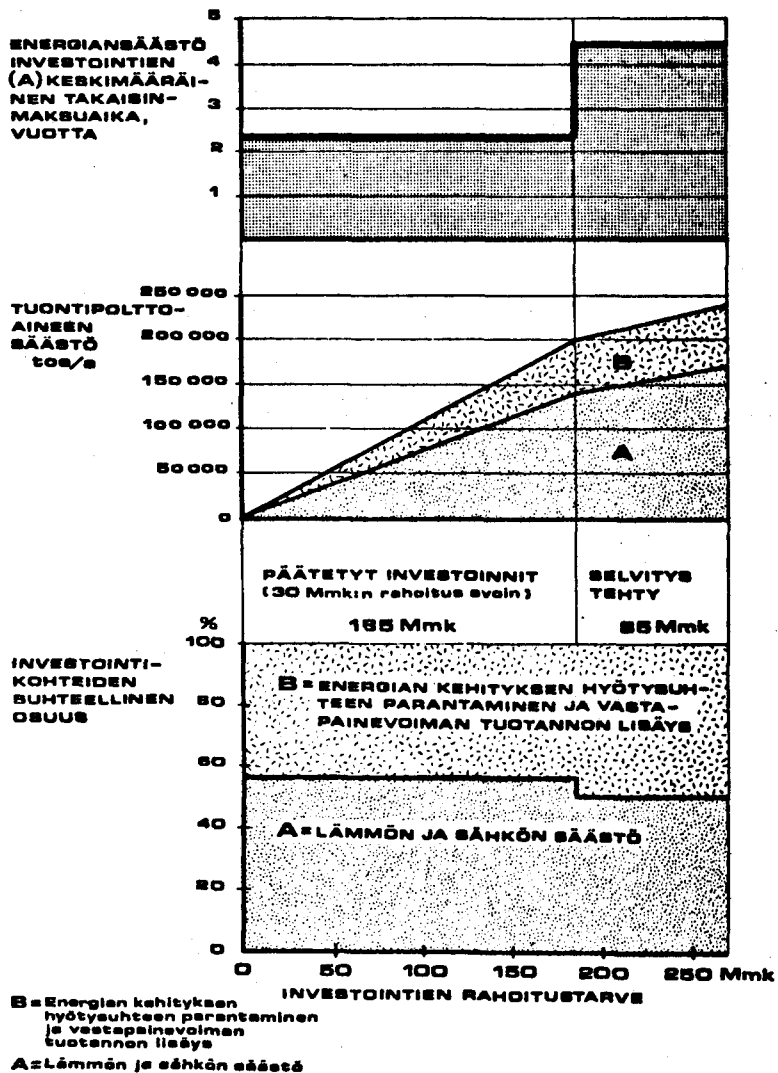
3.1 Energiainvestointien kartoitus

Tavoitteena oli parantaa energiataloutta edistävien investointien rahoitusmahdollisuuksia selvittämällä vallitseva rahoitustarve ja investoinnein saatavien energiansäästöjen merkitys. Lisäksi tarkoituksena oli saada kotimaiselle konepajateollisuudelle tietoja siitä, miten energiansäästöinvestoinnit jakautuvat ajallisesti. Kyselyn eräs tarkoitus oli myös selvittää prosessiteollisuuden mielenkiinto energiansäästöön kohdistuviin investointeihin.

Kartoitus suoritettiin kyselyn ja vastaukset edustavat loppukesän 1975 tilannetta. Kyselyyn vastanneiden osuus eri perustein laskettuna on esitetty kuvassa 9 ja yhteenveto kyselyn tuloksista kuvassa 10.



Kuva 9 Energiainvestointikyselyn vastausaktiivisuus



Kuva 10 Investointien jakautuminen eri kohteisiin ja tuontipolttoaineen säästö investoinnin suuruudesta riippuvana. Ylinnä esimerkki takaisinmaksuajasta

3.2 Hukkaenergiaselvitys

3.2.1 Hukkaenergian käsite

Tasapainotilassa toimivaan prosessiin viety ja siitä poistuva energiamäärä ovat energian häviämättömyyden lain mukaan yhtä suuret. Prosessista poistuva energia, jota ei käytetä prosessin ulkopuolella hyödyksi, on hukkaenergiaa. Osa tästä hukkaenergiasta saattaa olla mahdollista käyttää taloudellisesti hyödyksi prosessin ulkopuolella; se on siten hyödyntämiskelpoista. Prosessin suunnittelun ja käytön on aina tapahduttava liiketaloudellisesti optimaalisesti. Jo tehdyn investoinnin osalta on kyseessä kateuoton maksimointi; suunnitellun investoinnin osalta taas jonkun investoinnin hyvyyskriteerin tai -kriteereiden, esim. sisäisen korkokannan, maksimointi. Näissä tarkasteluissa on otettava huomioon kaikki tuotannontekijät, mm. pääoma, työvoima, henkiset voimavarat ja energia. Kun prosessi on näin liiketaloudellisesti optimoitu, on energiankulutus, joka ylittää liiketaloudellisen optimin, hukkaan käytettyä energiaa. Perimmäisenä tavoitteena on aina oltava se, että tämä liiketaloudellisen optimin ylittävä hukkaan käytetty energia minimoidaan.

Vaikka prosessi toimii liiketaloudellisessa optimissa, siitä poistuu energian häviämättömyyden lain mukaan hukkaenergiaa ulkoilmaan tai vesistöihin. Osa näistä hukkaenergiavirroista saattaa olla mahdollista käyttää taloudellisesti hyödyksi prosessin ulkopuolella.

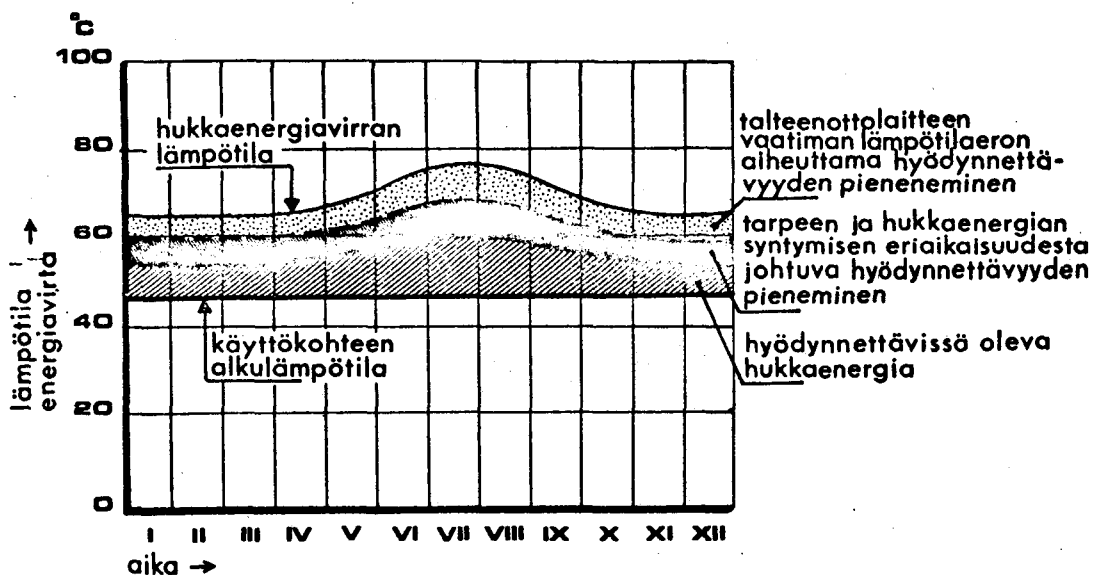
Se osa prosessin hukkaenergiaa, jota ei voida käyttää hyväksi, on arvotonta jäte-energiaa (anergiaa).

Hukkaenergian hyödynnettävyyteen vaikuttavat sen määrä ja erityisesti arvo suhteessa tarvittaviin investointeihin, joihin vaikuttavat useat eri tekijät, kuten

- energian tarve muualla,
- säästetyn energiayksikön hinta,
- vaihtoehtoiset energialähteet,
- hukkaenergiälähteiden lukumäärä, suuruus ja lämpötila verrattuna mahdollisten käyttökohteiden vastaaviin arvoihin,
- hukkaenergian virtausajan ja sen tarpeen samanaikaisuus,
- hyödynnettävän hukkaenergian siirtomatka,
- hukkaenergiavirtauksen syövyttävät ja likaavat vaikutukset,
- hyödynnettävän hukkaenergian saannin luotettavuus ja
- talteenottojärjestelmän fysikaaliset ominaisuudet.

Koska asia on monitahoinen, seuraavassa esitetään muutamia näkökohtia hukkaenergian hyödyntämisestä.

Lähes ehdoton edellytys hukkaenergiälähteen hyödyntämiselle on se, että lämpötila on suurempi kuin käyttökohteen ja että se lämpötilero, jonka käytettävä lämmön talteenotto-laite toimiakseen vaatii, on lisäksi olemassa. Lisäksi on muistettava, että lämpö siirtyy aina alenevan lämpötilan suuntaan. Lämpöpumppujen taloudelliset käyttömahdollisuudet hukkaenergiälähteiden hyödyntämisessä ovat yleensä varsin pienet.



Kuva 11 Esimerkki hukkaenergiavirran hyödyntämismahdollisuuksista. Prosessista poistuvaa hukkaenergiaa kuvaa hukkaenergiavirran lämpötilakäyrän olla oleva koko pinta ja hyödynnettävissä olevaa hukkaenergiaa alempi vinoviivoitettu alue.

Kuvassa 5 esitetään erään hukkaenergiavirran lämpötila vuodenajasta riippuvana. Kyseisellä hukkaenergiavirralla lämmitetään lämmönsiirtimen avulla erästä prosessinestettä, jonka alkulämpötila on $+45^{\circ}\text{C}$. Hukkaenergiavirran lämpötilakäyrän alapuolella oleva pinta esittää hukkaenergiavirtaa, joka siis ei ole kokonaan hyödyntämiskelpoista hukkanenergiaa, vaan prosessista energian häviömättömyyden lain mukaisesti poistuvaa energiaa. $+45^{\circ}\text{C}$:n vaakasuoran ja hukkaenergian lämpötilakäyrän välinen alue edustaa teoreettisesti talteen saatavissa olevaa energiaa. Lämmönsiirrin vaatii kuitenkin tietyn lämpötilaeron ja pienentää talteen saatavaa energiaa, jota esittää vinoviivoitetut pinnat (20 % koko hukkaenergiasta), kun lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhteen on otaksuttu olevan 75 %. Jos edelleen hukkaenergian synnyn ja sen tarpeen samanaikaisuus on prosessien eritahtisen käynnin johdosta noin 60 %, on hyödyntämiskelpoisen hukkaenergian määrä tässä esimerkkitapauksessa $0,6 \times 20 \% = 12 \%$.

3.2.2 Hukkaenergian hyödyntämisyjärjestys

Tehtaan energiankulutus muodostuu koneiden, prosessien ja näistä koostuvien tuotantolinjojen ja osastojen eriaikaisesta ja eritahtisesta käynnistä. Kuten edellä on todettu, kuluttaessaan energiaa koneet ja prosessit tuottavat samalla hukkaenergiaa, jonka hyväksikäytölle voidaan esittää seuraava järjestys, joka perustuu mahdollisimman hyvään käytettävyyteen ja pienimpiin investointikustannuksiin.

- Hukkaenergiaa kannattaa parhaiten käyttää hyväksi siinä prosessissa, missä sitä syntyy. Jos prosessi on jatkuva, ja tasaisesti käyvä, voidaan hukkaenergia käyttää mahdollisimman täydellisesti hyväksi, koska sen käyttö ja muodostuminen ovat samanaikaisia.

- Jos hukkaenergiaa ei voida käyttää samassa prosessissa, se kannattaa käyttää saman tuotantolinjan toisessa prosessissa. Käyttö ja muodostuminen eivät enää välttämättä ole siinä määrin samanaikaisia kuin edellä, joten osa lämpötilaeron aikaansaamasta mahdollisuudesta käyttää hukkaenergia hyväksi menetetään.
- Hukkaenergiaa voidaan käyttää toisessa tuotantolinjassa, joka kuitenkin saattaa käydä eriaikaisesti ja eritahtisesti kuin hukkaenergiaa tuottava linja. Käytön muodostumisen samanaikaisuus heikkenee edellisestä tapauksesta.
- Hukkaenergia voidaan viedä toiseen tehtaaseen, jolloin samanaikaisuus todennäköisesti edelleen heikkenee.

Yleensä hukkaenergian käytön ja muodostumisen samanaikaisuuskerroin ja siten myös sen hyväksikäyttöaste pienenee, mitä kauemmaksi sitä joudutaan kuljettamaan siitä prosessista tai linjasta, jossa se syntyy. Samalla investoinnit kasvavat ja kannattavuus heikkenee.

Hukkaenergia olisi siis käytettävä mahdollisimman lähellä syntykohtaansa, mieluummin samassa prosessissa, koska käytettävyyden on tällöin paras. Tällöin välttytään myös kuljetus- ja säätölaiteinvestoinneilta. Hukkaenergian käyttö lämmitykseen on sekä samanaikaisuuden että investointien kannalta yleensä taloudellisesti epäedullisin vaihtoehto. Sitä kannattaa harkita vasta sitten, kun muita käyttökelpoisia vaihtoehtoja ei ole.

3.2.3 Hukkaenergiaselvityksen tavoite ja tulokset

Tutkimuksessa selvitettiin kahdeksan tutkitun tehtaan hukkaenergiälähteiden käytettävyyteen liittyvät ominaisuudet. Selvitys osoitti, että käytettävissä olevat hukkaenergiämäärät ovat kylmänä vuodenaikana pienimmillään, koska raakaveden ja ulkoilman lämpötila on silloin matalin.

Hukkaenergialähteiden pieni lämpötilaero ympäristöön nähden (vrt.kohtaa 3.2.1) tekee niiden hyväksikäytön tehtaan sisäpuolella kannattavaksi vain poikkeustapauksissa. Selvityksessä ei varsinaisesti tutkittu hukkaenergian käyttöä tehtaan ulkopuolella silloin kun käyttö omassa tehtaassa osoittautui kannattamattomaksi. Kuten kohdassa 3.2.2 on todettu, on epätodennäköistä, että hukkaenergian siirto usein pitkiäkin matkoja tehtaan ulkopuolisiin käyttökohteisiin olisi kannattavaa. Tutkituissa tapauksissa käyttömahdollisuuksien osuus tehtaiden hukkaenergiämäärästä vaihteli karkeasti arvioituna 0 %:sta noin 20%:iin.

Sähkömoottorikäyttöisissä laitteissa syntyvä hukkaenergia jäi selvittämättä, koska tarvittavia mittaustuloksia ei ollut käytettävissä. Yli 50 kW:n suuruiset sähkömoottorikäyttöiset laitteet luokiteltiin laitetyypin mukaan ja tehtaiden koko sähkömoottorikannan käyttöaste selvitettiin. Se vaihteli noin 20:sta 60 %:iin. Alhainen käyttöaste johtuu siitä, että varakapasiteetti on laskettu mukaan.

Tutkittiin myös energiankehitykseen liittyvä hukkaenergia eli vastapainevoiman kehityksen käyttämättä jättäminen. Sitä esiintyi lähinnä vastapaineturbiinien riittämättömän kapasiteetin yhteydessä, ja sen osuus tehtaan hukkaenergiasta oli vain muutamia prosentteja.

Hukkaenergiaselvityksessä on kartoitettu kahdeksan valmistusprosessin hukkaenergialähteet ja saatu näin näiden hukkaenergian hyödyntämisen tarkemman selvittämisen tekninen perusta. Suhteellisen karkeisiin arvioihin perustuvat tulokset hukkaenergialähteiden hyödyntämismahdollisuuksista viittaavat siihen, että hukkaenergian hyväksikäytön kannattavuus on kyseisissä esimerkkitehtaissa heikko. Asian varmistaminen vaatisi kuitenkin tarkempia ja laajempia taloudellisia ja teknisiä selvityksiä.

3.3 Energian kulutusrakenteen selvitys

Koska yritysten toimialat ovat heterogeenisia, on selvityskohteet valittu tehtailta saatujen ehdotusten perusteella siten, että ne ovat hyödynnettävissä mahdollisimman suuressa osassa prosessiteollisuutta. Energian kulutusrakenteen selvitys jakautui yhdeksään osatutkimukseen.

TUTKIMUKSEN JÄÄHDYTYSVEDEN PUMPPAUSJÄRJESTELMIEN TALOUDELLISUUDESTA PROSESSITEOLLISUUDESSA tavoitteena oli selvittää jäähdytysveden pumppausjärjestelmien taloudellisuutta energiankäytön kannalta tutkimalla muutaman esimerkkitehtaan ja -prosessin jäähdytysvesijärjestelmiä. Tutkimus sisältää jäähdytysvesijärjestelmien taloudellisuuteen vaikuttavien seikkojen yleisesittelyn sekä selvityksen esimerkkikohdejärjestelmistä. Taloudellisuuteen vaikuttavista tekijöistä esitetään ensin "kerran läpi" - ja sitten suljetut jäähdytysvesijärjestelmät. Sen jälkeen esitellään kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä, kuten vesimäärän, veden paineen, pumpun hyötysuhteen, likaantumisen ja korroosion vaikutusta. Tässä yhteydessä selvitetään erityisesti erilaisia pumpun pyörimisnopeuden säätötapoja. Edelleen esitetään jokaisen kohdetehtaan taustatiedot ja selville saadut säästömahdollisuudet. Kukin kohdejärjestelmä esitellään tarkasti. Suurimpiin säästöihin päästään tarpeetonta vedenkulutusta vähentämällä automaattisella säädöllä tai käsin säädettävällä kuristusventtiilillä, jos käyttöhenkilökunnalle annetaan poistuvan jäähdytysveden ohjearvot ja heidät saadaan suorittamaan säätötyö. Melkoinen vaikutus vedenkulutukseen on myös laitteiden valinnalla. Erityisesti jäähdytyslämmönsiirtimet ovat usein alimitoitettuja.

TUTKIMUKSEN PAINEILMAKOMPRESSORIEN JÄTELÄMMÖN HYVÄKSIKÄYTTÖMAHDOLLISUUKSISTA tavoitteeksi asetettiin selvittää käytännön esimerkein mahdollisuuksia käyttää hyväksi paineilma-kompressorien jätelämpöä siten, että mahdollisimman suuri

osa prosessiteollisuudesta voisi soveltaa tutkimusta omiin tarpeisiinsa.

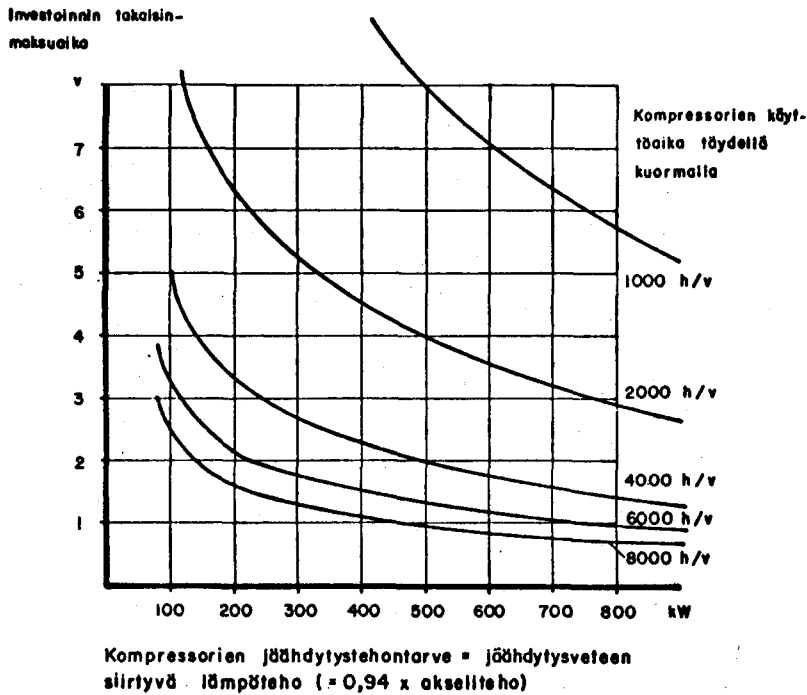
Tutkimuksessa tarkastellaan aluksi paineilmakompressorien tarvitsemaa jäähdytystehoa ja sen jakautumista erityyppisissä kompressoreissa väli- ja jälkijäähdyttimelle. Jäähdytysjärjestelmät ja kytkennät esitetään vesi- sekä ilmajäähdytteisille kompressoreille ja selvitetään jäähdytyksen vaikutus kompressorin tehontarpeeseen.

Tyypillisiä jätelämmön käyttökohteita ovat

- kattilan lisäveden esilämmitys,
- prosessiveden esilämmitys,
- sisään puhallettavan ilman esilämmitys,
- teollisuustilojen lämmitys kiertoilmalla ja
- ilmajäähdytteisten kompressorien jätelämmön käyttö lämmitystarkoituksiin.

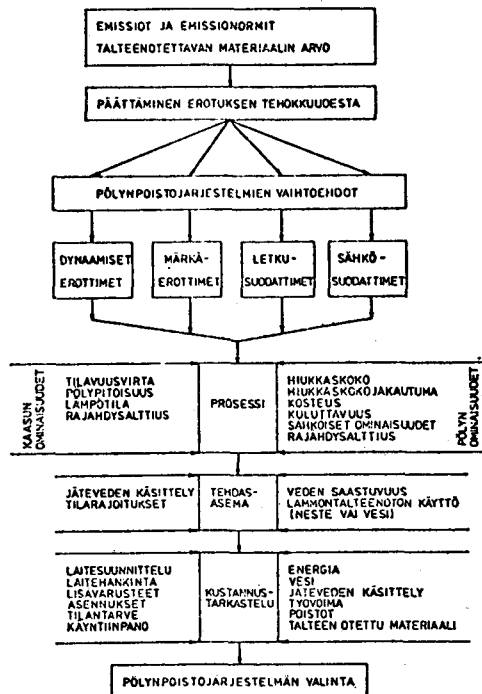
Kattilan lisäveden sekä sisään puhallettavan ilman esilämmitys ovat erittäin sopivia ja tehokkaita kohteita jätelämmön hyväksikäytölle.

Kompressorien vuotuinen käyttöaika vaikuttaa ratkaisevasti investointien kannattavuuteen. Jos kompressorien kaikki jätelämpö voidaan käyttää hyväksi ja niiden käyttöaika täydellä kuormalla on pitkä (n. 8000 h/a), on investointien takaisinmaksuaika 1-2 vuotta. Kuvassa 12 on esitetty tietyn edellytyksin, jotka on selvitetty varsinaisessa raportissa, laadittu käyrästä, josta käyttöajan vaikutus käy ilmi.



Kuva 12 Investoinnin takaisinmaksuajan riippuvuus kompressorin jäähdytyslämmön tehosta ja käyttöajasta.

TUTKIMUKSEN PROSESSITEOLLISUUDEN PÖLYNPOISTOJÄRJESTELMIEN TALOUDELLISUUDESTA tavoitteeksi asetettiin prosessiteollisuuden pölynpoistojärjestelmien taloudellisuuden tutkiminen energiankäytön kannalta. Lisäksi tutkimuksessa pyrittiin arvioimaan menetelmien soveltuvuutta eri tapauksiin. Esimerkkinä loppuraportin sisällöstä ja pölynpoistojärjestelmän valintakaavio, kuva 13.



Kuva 13
Pölynpoistojärjestelmän valintakaavio

TUTKIMUKSEN PROSESSIUUNIEN LÄMPÖHÄVIÖIDEN (SÄTEILY- JA KONVEKTIO) KÄYTÖSTÄ ILMASTOINNISSA tavoitteeksi asetettiin prosessiuunien lämpöhäviöiden hyväksikäyttömahdollisuuksien kannattavuuden selvittäminen.

Hyväksikäyttökohteista tutkittiin ilmastoinnin lisäksi erityisesti prosessikäyttömahdollisuudet. Prosessiuunien lämpöhäviöt muodostavat merkittävän osan niiden primäärienergian kulutuksesta ja aiheuttavat paikallista tilojen ylikuumenemista. Tutkimuksessa on selvitetty

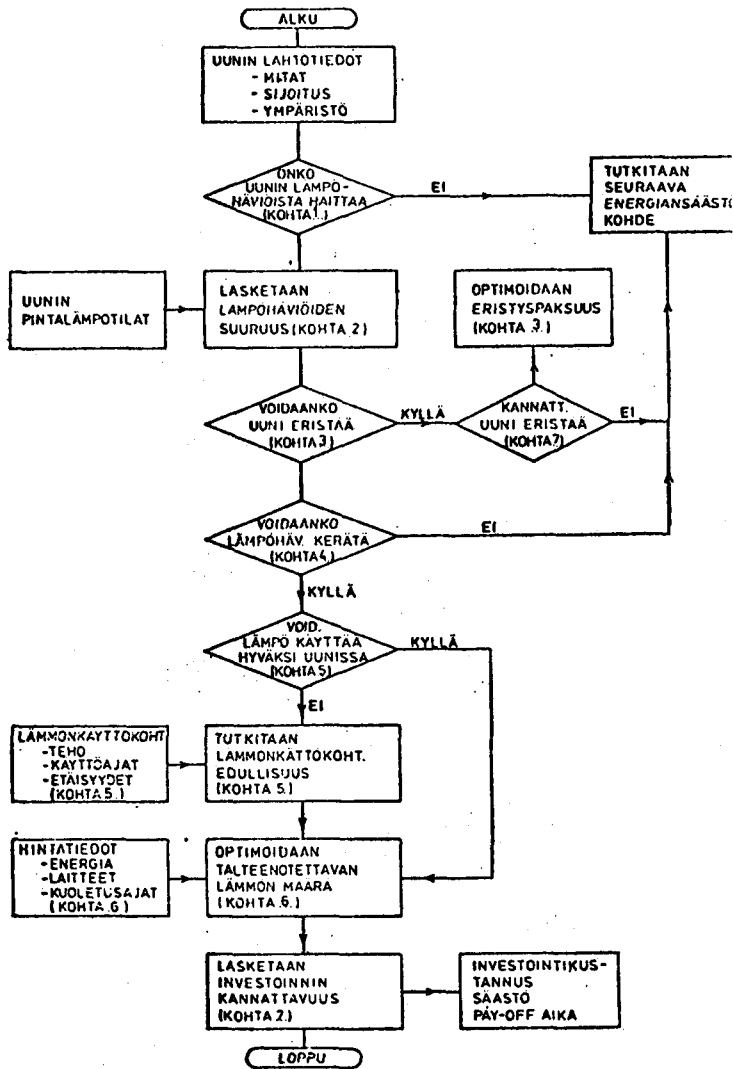
- lämpöhäviöiden syntymistä,
- lämpöhäviöiden keräämis- ja käyttömahdollisuuksia ja
- eri toimenpiteiden kustannuksia, saavutettuja säästöjä ja investointien kannattavuutta.

Esimerkkinä olevilla Vuorikemian tehtailla on edullisinta käyttää lämpö bensiinikäyttöisen kuivaimen palamisilman esilämmitykseen. Toiseksi edullisinta on käyttää se kaltsinointiuunin palamisilman tai lisäilman esilämmitykseen, jolloin korvataan polttoöljyä. Kolmantena vaihtoehtona tulee kysymykseen tehdashallin lämmitysilmän lämmittäminen, jolloin korvataan höyryä. Lämpöhäviöiden käyttö ilmastointiin on hankalaa, koska ilmastoinnin lämmöntarve vaihtelee ulkolämpötilan mukaan.

Kuvassa 14 on periaatekaavio uunien lämpöhäviöiden käytön tutkimisesta.

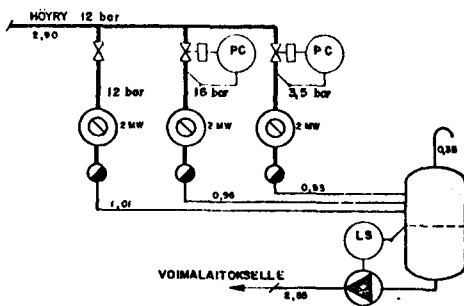
TUTKIMUKSESSA PROSESSITEOLLISUUDEN HÖYRYNKÄYTTÖ- JA LAUHDEJÄRJESTELMISTÄ tavoitteeksi asetettiin selvittää prosessiteollisuudessa esiintyvät höyrynkäyttö- ja lauhdejärjestelmät ja määrittellä sen pohjalta taloudellisuuteen vaikuttavat seikat. Tutkimuksessa käsitellään höyryn painetaso merkitystä, säiliöiden lämmitystä höyryllä, paisuntahöyryn käyttöä, lauhdejärjestelmiä sekä kolmea esimerkkitapausta.

Esimerkkinä tutkimusraportin sisällöstä paisuntahöyryn hyväksikäyttöjärjestelmä, kuva 15.

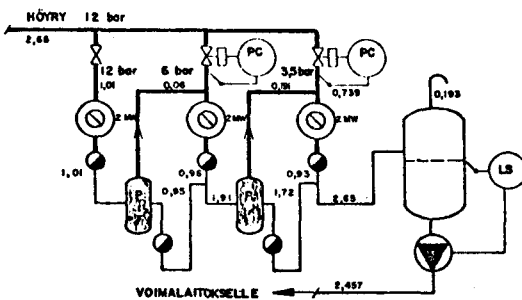


Kuva 14
Uunien lämpöhäviöiden käytön tutkimisen periaate-kaavio

A) LAUNTEET VIRTAAVAT SUORAAN LAUNDESÄILIÖÖN



B) KUUMIMMISTA LAUNTEISTA KÄYTETÄÄN HYVÄKSI PAISUNTAHÖYRY (P = PAISUNTA-ASTIA)

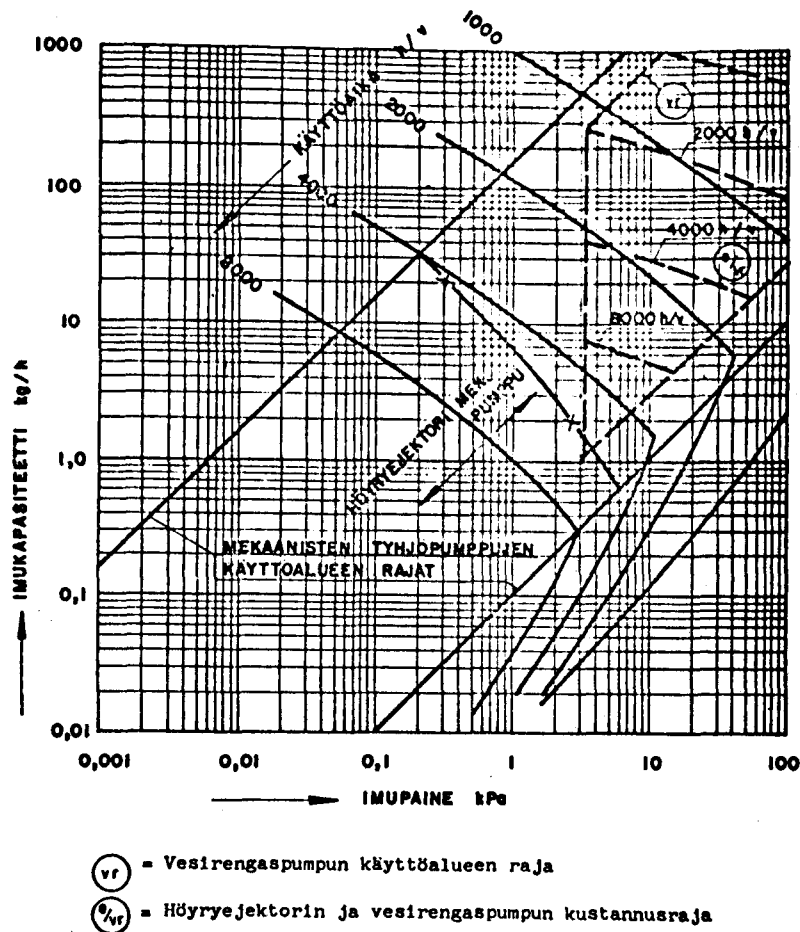


Kuva 15
Paisuntahöyryn hyväksikäyttö. Lauhteet kerätään avoimeen lauhdesäiliöön (höyry- ja lauhdemäärien yksikkönä kg/s).

TUTKIMUKSEN HÖYRYEJEKTOREISTA JA NIIDEN KORVAAMISTA TYHJÖPUMPUILLA tavoitteena oli höyryejektoreiden ja erityyppisten mekaanisten tyhjäpumpujen kannattavuusvertailu ottaen huomioon myös niiden käyttöalueet. Mekaanisista tyhjäpumpuista on esitetty seuraavat tyypit:

- nesterengaspumput,
- kiertomäntä-, trokoidimäntä- sekä roottoripumput,
- Roots-puhallin ja
- mäntäkompressorit.

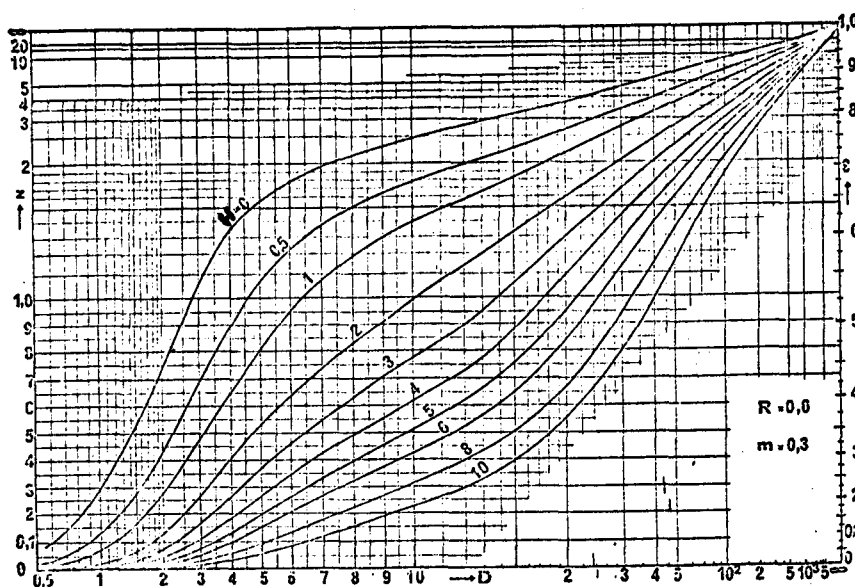
Esimerkkinä tuloksista tyhjäpumpujen taloudellisten käyttöalueiden rajat, kuva 16.



Kuva 16 Tyhjäpumpujen taloudellisten käyttöalueiden rajat

TUTKIMUKSEN HAPELLA RIKASTETUN ILMAN KÄYTÖSTÄ LASITEOLLISUUDESSA tavoitteena oli selvittää lasiteollisuuden mahdollisuudet säästää polttoainetta käyttämällä hapella rikastettua ilmaa lasiuunin polttoilmana sekä selvittää hapen käytön kannattavuus. Tutkimuksesta pyrittiin tekemään sellainen, että sen perusteella voitaisiin suoraan arvioida ylimäärähapen käytön kannattavuus maamme lasitehtaissa. Tutkimus päätettiin suorittaa kirjallisuustutkimuksena. Siihen kuului selvitys ylimäärähapen käytön teoreettisista ja käytännöllisistä vaikutuksista lasiuunissa sekä laitteistovalmistajien ja hintojen selvittäminen. Lisäksi haluttiin saada kannattavuuslaskelmat, joissa hapen saanti ja mahdollisen oman happitehtaan kannattavuus on otettu huomioon. Kerätyistä tiedoista on lasiteollisuuden lisäksi hyötyä yrityksille, jotka suorittavat oman happitehtaan hankinnan perusselvityksiä.

LÄMMÖN TALTEENOTON LÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUS TALOUDELLISESTI OPTIMAALISESTI-TUTKIMUKSEN tavoitteeksi asetettiin laatia lämmön talteenoton lämmönsiirtimen yleispätevät mitoituskäyrästöt taloudellisesti optimaalisten suunnitteluarvojen määrittämiseksi.



Kuva 18 Ristivirtalämmönsiirtimen taloudellisesti optimaalinen dimensioton konduktanssi Z dimensiottoman taloudellisuusluvun D ja painehäviöluvun H funktiona, kun lämpökapasiteettivirtojen suhde $R=0,6$ ja hintaeksponentti $m = 0,3$

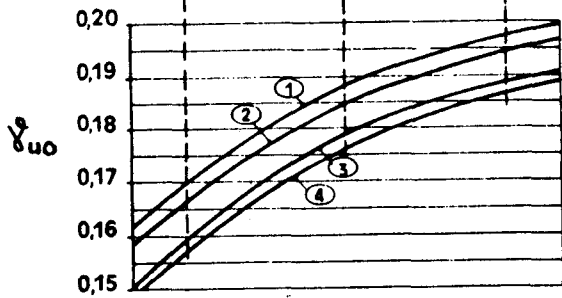
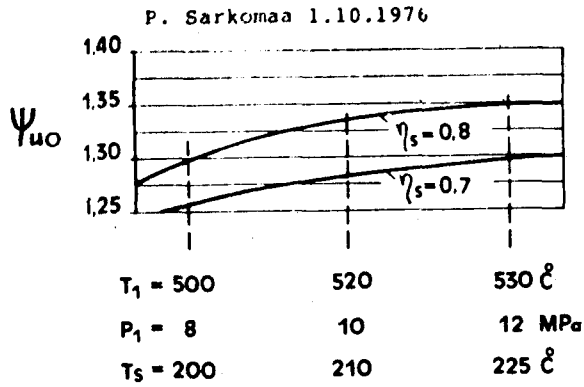
Menetelmän käyttöä esitellään ensiksikin taloudellisesti optimaalisen lämpötilahyötysuhteen etsimiseen. Toiseksi esitetään taloudellisesti optimaalisen lämpökapasiteettivirtojen suhteen etsiminen. Kummassakin tapauksessa esitetään kohta kohdalta menetelmän käyttö lämmön talteenotolle nestevirrasta toiseen, neste- ja kaasuvirran välillä sekä kahden kaasuvirran välillä. Tutkimuksessa on laskettu käyrästöt vastavirta-, myötävirta- ja ristivirtalämmönsiirtimelle.

Tutkimuksen liitteissä on varsinaisten menetelmän käyttöön liittyvien käyrästöjen lisäksi mm. lämmönsiirtimien hintatietoja, ohjeellisia lämmönsiirtymiskertoimen arvoja erityyppisille lämmönsiirtimille sekä likakerrosten lämpövastusarvoja.

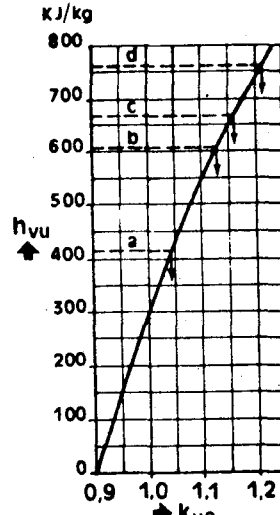
SÄÄSTETYN LÄMMÖN HINNAN ARVIOINTIMENETELMÄ-TUTKIMUKSEN tavoitteena oli selvittää miten säästetyn lämmön hinta voidaan arvioida eri sähkön ja lämmön tuotantovaihtoehdoilla erilaisissa olosuhteissa.

Tutkimuksessa esitetään aluksi, miten prosessijätteen osuus otetaan huomioon polttoaineen hinnassa. Tämän jälkeen esitetään säästetyn lämmön hinta lämmön erillistuotannossa ja yhdistetyssä lämmön ja sähkön tuotannossa. Viimemainitussa tapauksessa esitetään yksinkertaiselle vastapainevoimalaitokselle eri käyttötilannevaihtoehdot (25 kpl) ja niitä vastaava optimaalinen ajotapa ja säästetyn lämmön hinta, (esimerkki kuva 18).

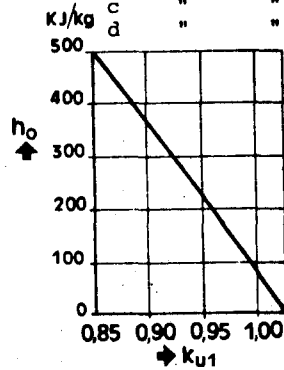
Säästetyn lämmön hinta tiettyinä hetkenä on kysessä olevan käyttötilanteen (25 tapausta esitetty) optimaalisen ajotavan marginaalikustannusten muutosten suhde säästettyyn lämpöön. Keskimääräinen säästetyn lämmön hinta on eri käyttötilanteiden säästetyn lämmön hinnan keskiarvo.



Käyrä n:o	1	2	3	4
Vastapaine P_L , MPa	0,4	0,6	0,4	0,6
Väliottopaine P_v , MPa	1,0	1,0	1,2	1,2



a kylläinen vesi $p = 0,1$ MPa
 b " " $p = 0,4$ MPa
 c " " $p = 0,6$ MPa
 d " " $p = 1,0$ MPa



Väliottohöyryn käytetyn lämmön hinnan yhtälön

$$e_u = \frac{e_p}{q_1 \eta_k} \psi_{uo} k_{u1} k_{u2} (1 - \eta_k \eta_g \eta_{ok} \frac{q_1 e_2}{e_p} \gamma_u)$$

kertoimia. $\gamma_u = \gamma_{uo} \cdot \eta_s / 0.80$. Kun $P_L < 0,3$ MPa,

niin γ_u :n riippuvuus h_o :sta on merkittävä.

Esimerkiksi, kun primaarihöyryn lämpötila $T_1 = 500$ °C ja paine $P_1 = 8$ MPa sekä syöttöveden lämpötila $T_s = 200$ °C, vastapaine $P_L = 0,4$ MPa, väliottopaine $P_v = 1,0$ MPa ja turbiinin isentrooppinen hyötysuhde $\eta_s = 0,7$, niin $\gamma_u = 0,169 \cdot 0,7 / 0,8 = 0,148$ ja $\psi_{uo} = 1,26$. Kun palautetun lauhteen ja lisäveden ominaisentalpia on $h_o = 200$ kJ/kg, niin $k_{u1} = 0,97$. Kun entalpia lämmön käyttökohteen jälkeen on $h_{vu} = 500$ kJ/kg, niin $k_{u2} = 1,08$.

Kuva 18

Tutkimuksessa on esitetty lämmönsäästön kattilainvestointeihin mahdollisesti aiheuttamien muutosten vaikutus säästöinvestointien kannattavuuslaskelmiin. Lämmönsäästön mahdollisesti aiheuttama kattilainvestointien lykkäytyminen ja mitoitustehon pieneneminen suurettavat säästöinvestointien sisäistä korkokantaa ja niistä saatavan hyödyn nykyarvoa.

Käytettäessä annuiteettimenetelmää voidaan kiinteiden vuosikustannusten muutos ottaa huomioon säästetyn lämmön hinnassa.

3.3 Energiatiedostaselvitys

Projektin alussa asetettiin tavoitteeksi tutkia mahdollisuuksia perustaa energia-alan tietopankki. Jatkuvasti täydennettävän tiedoston tiedot olisivat olleet määrätyt ehdot täyttävien tarvitsijoiden käytettävissä. Projektissa selvitettiin yhteistyössä Metsäteollisuuden energiatichimuksen kanssa Suomen teollisuuden oman tietopankin tarve ja tarkoituksenmukaisuus seuraavien aihepiirien osalta:

- yrityskohtaiset käytännössä kokeillut energiataloutta parantavat mm. prosessi- ja säätötekhniset ideat, joista yritys voi luopua vain tietoja myyden tai vaihtaen,
- tiedot eri käyttöhyödykkeiden ominaiskulutuslukujen keskimääräisistä ja nykyteknologialla saavutettavissa olevista arvoista osaprosesseittain,
- jäte-energiaan liittyvät tiedot,
- energia-alaan liittyvien laitteistojen ja laitteiden hinnat sekä käyttökustannukset pääparametrien funktioina,
- tiedot tietolähteistä.

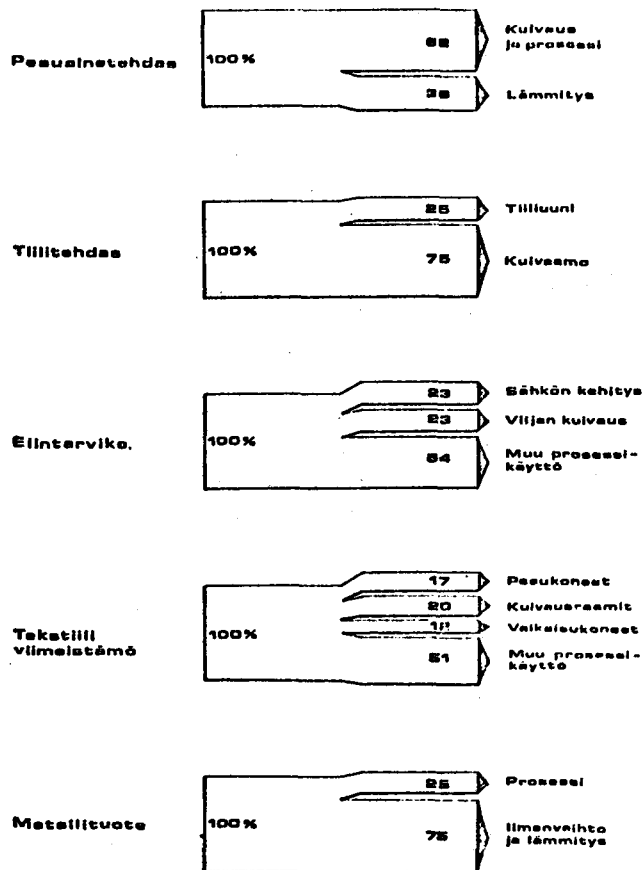
Tarve- ja kustannushyötyanalyysisä käyttäen päädyttiin toteuttamaan vain selvitys olemassa olevista tietolähteistä, jota täydennettiin selvityksellä energia-alan keskeisistä tiedonlähteistä Suomen teollisuuden kannalta.

4. OPERAATIO LAIHIAN ENERGIAOSA (TEOLLISUUDEN ENERGIATALOUSPROJEKTI)

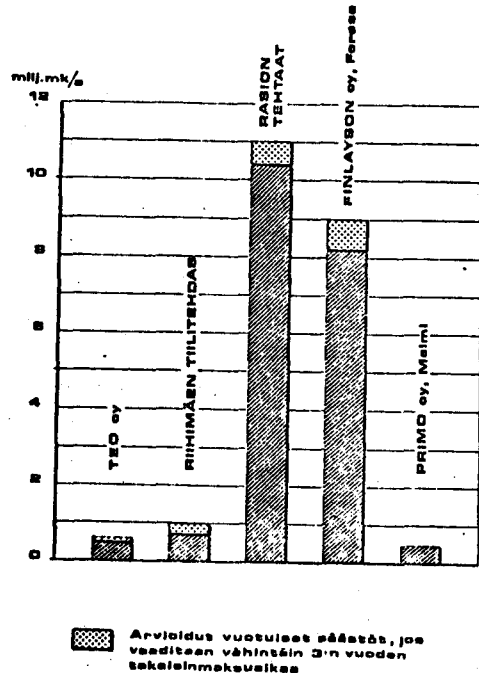
Tavoitteena oli selvittää seuraavien alojen energiankäyttöä ja energiansäästömahdollisuuksia:

- teknokemiallinen teollisuus (pesuaineen valmistus)
- rakennusaineteollisuus
- elintarviketeollisuus
- tekstiiliteollisuus ja
- metalliteollisuus.

Kultakin alalta valittiin edustava keskisuuri esimerkkitehdas, jossa suoritettiin energiatutkimus ja näin saadut tulokset jaettiin toimialan yrityksille. Kuvassa 19 on esitetty nettolämmön käytön jakautuma esimerkkitehtaissa. Kuvassa 20 on esimerkkitehtaiden energiakustannukset 1974 ja arvioidut vuotuiset säästöt, jos säästöinvestoinneilta vaaditaan vähintään 3 vuoden takaisinmaksuaika.



Kuva 19 Esimerkkitehtaiden nettolämmön jakautuma



Kuva 20 Esimerkkitehtaiden energiakustannukset v. 1974
milj mk/a

5. JATKOTUTKIMUKSET

Tutkimuksen aikana käynnistyi energian käytön tehostamiseen liittyviä kehitysprojekteja. Tutkimusten yhteydessä on lisäksi

- laadittu ehdotuksia pohjoismaisena yhteistyönä suoritettaviksi energia-alan tutkimusprojekteiksi,
- ehdotus KTM:n työryhmälle Suomen energiatutkimusohjelman teollisuutta koskevaksi osaksi.

6. MITEN TÄSTÄ ETEENPÄIN ?

Projektin puitteissa tehtyjä tutkimuksia ja selvityksiä laadittaessa on erityisesti pyritty varmistamaan tulosten käyttökelpoisuus yrityksissä. Tutkimustuloksia on hyödynnetty välittömästi niissä yrityksissä, jotka ovat olleet tutkimuskohteina ja useissa kohteissa on saavutettu mer-

kittäviä parannuksia tehtaan energiataloudessa. Teollisuuden järjestöt ovat järjestäneet ja tulevat järjestämään esitelmätilaisuuksia ja seminaareja tutkimustulosten hyödyntämiseksi Suomen teollisuuden kilpailukykyä ja Suomen maksutasetta edistävällä tavalla.

Projekti on osoittanut, että prosessiteollisuuden energiankäytön tehostaminen edellyttää suunnitelmallista tutkimustoimintaa ja investointeja.

Projektityön pohjalta syntyi jatkotutkimusideoita koko prosessiteollisuuden ja yksityisten prosessien osalta. On odotettavissa, että yrityksissä ryhdytään projektin tulosten pohjalta laajassa mitassa tutkimaan sovellutuksia energiankulutuksen alentamiseksi tuoteyksikköä kohti. Tätä yrityskohtaista selvitystyötä voidaan edistää muun muassa julkisen vallan rahoitustuella.

Tutkimuksessa todettiin, että tehtaan energiankulutusta voidaan merkittävästi muuttaa vain hyvin pitkällä aikavälillä. Tämä johtuu siitä, että energian kulutus riippuu käytettävästä teknologiasta ja että toiminnan kannattavuus edellyttää etenkin pääomavaltaisessa teollisuudessa investointien mahdollisimman täysitehoista ja pitkäaikaista käyttöä.

Energian käytön tehostaminen teollisuudessa edellyttää jatkuvaa tutkimustoimintaa, joka tulisi niveltää mahdollisimman saumattomasti tuotantolaitosten ja konepajateollisuuden prosessien kehitystyöhön.

7. LÄHDELUETTELO

1. Pertti Sarkomaa: Metsäteollisuuden energiatutkimus, Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto, Sarja B N:o 30, Helsinki 1976

Metsäteollisuuden energiatutkimuksesta Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 rahaston ja Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton Helsingissä 1976 julkaisemat osatutkimukset

2. N:o 1 Energiainvestointien kartoitus
3. N:o 2 Energian hankinta ja hinta
4. N:o 3 Energian ominaiskulutukset sellun valmistuksessa
5. N:o 4 Sellutehtaan pumpput
6. N:o 5 Energian ominaiskulutukset paperin ja kartongin valmistuksessa
7. N:o 6 Pulperin energiankulutus
8. N:o 7 Raaka-ainemuutokset tuotteen laatu- ja lajivalikoiman muutokset ja niiden vaikutus energian kulutusrakenteeseen
9. N:o 8 Ympäristönsuojelu ja energia
10. N:o 9 Uudet prosessit ja energia
11. N:o 10 Automaation ja energiankäytön tehostetun valvonnan vaikutus energian kulutusrakenteeseen
12. N:o 11 Ominaislämmönkulutukset mekaanisen puunjalostusteollisuuden kuivausprosesseissa
13. N:o 12 Sahatavaran kuivausmenetelmien vertailu
14. N:o 13 Viilun kuivauksen lämmönkulutus
15. N:o 14 Metsäteollisuuden energiaseminaari 1976-02-16...17
16. N:o 15 Hukkaenergiaselvitys
17. N:o 16 Prosessisimulointijärjestelmä
18. N:o 17 Energiatiedostot
19. Eero Tiitinen: Prosessiteollisuuden energiatutkimusprojekti, Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto, sarja B N:o 29, Helsinki 1976.

Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto ja Teollisuuden Keskusliitto julkaisivat 1976 Prosessiteollisuuden energiatutkimusprojektista seuraavat osatutkimukset:

20. N:o 1 Energiainvestointien kartoitus
21. N:o 2 Tutkimus jäähdytysveden pumppausjärjestelmien taloudellisuudesta prosessiteollisuudessa
22. N:o 3 Tutkimus paineilmakompressorien jätelämmön hyväksikäyttömahdollisuuksista
23. N:o 4 Tutkimus prosessiteollisuuden pölynpoistojärjestelmien taloudellisuudesta
24. N:o 5 Tutkimus prosessiuunien lämpöhäviöiden (säteily ja konvektio) käytöstä ilmastoinnissa
25. N:o 6 Tutkimus prosessiteollisuuden höyrynkäyttö- ja lauhdejärjestelmistä
26. N:o 7 Tutkimus höyryejektoreista ja niiden korvaamisesta tyhjöpumpuilla
27. N:o 8 Tutkimus hapella rikastetun ilman käytöstä lasiteollisuudessa
28. N:o 9 Lämmön talteenoton lämmönsiirtimien mitoitus taloudellisesti optimaalisesti
29. N:o 10 Energiatiedostot
30. N:o 11 Hukkaenergiaselvitys
31. N:o 12 Säästetyn lämmön hinnan arviointimenetelmä
32. Risto Riekko: Esimerkkejä energiansäästömahdollisuuksista teollisuusyrityksissä, Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto ja Teollisuuden Keskusliitto, Helsinki 1976

V. Palva

1977-02-21

YLEISKUVA VTT:n YDINTEKNIIKAN TUTKIMUKSESTA

Yleistä

Esityksen tarkoituksena on antaa yleiskuva ydintekniikan tutkimuksesta VTT:ssä taustaksi tutkimustoiminnan toimintayksikkökohtaisille esittelyille.

Ydintekniikan tutkimus ja siihen läheisesti liittyvä muu tutkimus tapahtuu VTT:n linjaorganisaatiossa kuvan 1 esittämässä puitteissa. Toimintaa on kaikissa kolmessa tutkimusosastossa, mihin on luonnollisena selityksenä ydinvoimarakentamisen teknillinen laaja-alaisuus. Pääosa tapahtuu tietenkin sähkö- ja atomitekniikan tutkimusosastossa.

Ydintekniikan tutkimuksen pääasiallinen rahoituslähde on kauppa- ja teollisuusministeriö. Tavoitteena on tällöin luoda, ylläpitää ja kehittää riittävän korkea tietämys erityisesti niillä alueilla, jotka kiinteästi liittyvät ydinvoiman rakentamiseen maassamme. Tietämyksen hyödyntäjinä ovat turvallisuusviranomaiset, voimayhtiöt ja valmistava teollisuus.

Kuva 2 antaa yleiskuvan KTM:n vuonna 1977 rahoittamien tutkimusprojektien laajuudesta. Pylvään pituuden yksikkönä on henkilötyövuosi. Pylväs jakaantuu kahteen osaan, KTM:n projektirahoitukseen sekä VTT:n osuuteen ko. projektissa. Jälkimmäinen tarkoittaa vuonna 1977 KTM:sta VTT:n tulo- ja menoarvioon siirrettyä 3,5 Mmk määrärahaa, joka on jaettu projekteille. Lisäksi tästä määrärahasta maksetaan reaktorin käyttökustannusten se osa, jota aikaisemmin ei voitu kattaa VTT:n omalla rahoituksella.

Kuvan 2 projektipylväät eivät sellaisenaan anna selvää käsitystä tutkimusalueiden painotuksesta, koska projektikokonaisuuksien muodostaminen osaprojekteista on jossain määrin harkinnanvarainen asia. Yleisen tuntuman ne kuitenkin antanevat, ja seuraavissa esityksissä selviää sitten eri tutkimusalueiden ja projektien teknillinen sisältö. Mainittakoon tässä vielä, että kuvan 2 projektien henkilötyövuosien kokonaismäärä on n. 135. Tämän lisäksi työskentelee ydintekniikan tutkimustehtävissä ulkopuolisten tilaustehtävätulojen ja VTT:n omalla rahoituksella n. 45 henkeä sähkö- ja atomitekniikan tutkimusosastossa. Kuvan 2 projektien rahoitusvolyymi on laite-, matka- ja ATK-kustannuksineen n. 10,5 Mmk.

Tutkimuksen suuntaus

Tässä yhteydessä on paikallaan tarkastella myös ydintekniikan tutkimuksen suuntausta ja tulevaisuudennäkymiä. On selvää, että ydinvoiman rakentamishjelman hidastuminen ja valtiontalouden vaikeudet heijastuvat myös ydintekniikan tutkimus- ja kehitystyöhön. Realistinen lähtöolettaimus on, että valtiorahoitteen ydintekniikan tutkimuksen volyymi lähivuosina tuskin kasvaa.

Tästä olettamuksesta seuraa ensinnäkin se, että olennaiset materiaalliset tutkimusresurssilisäykset suurien laitteistojen osalta ovat käytännössä poissuljettuja. Reaktorilaboratorion lisärakennus (isotooppilaboratorio) saadaan toimintakuntoon ja kuumakammion mahdollistama näytteiden tarkastus voidaan aloittaa. Sensijaan esim. lämpö- ja virtaustekniikan sekä suurten aktiivisuuksien käsittelyn kokeellisten tutkimusten edellyttämiä suuria laitteistoja tuskin pystytään hankkimaan.

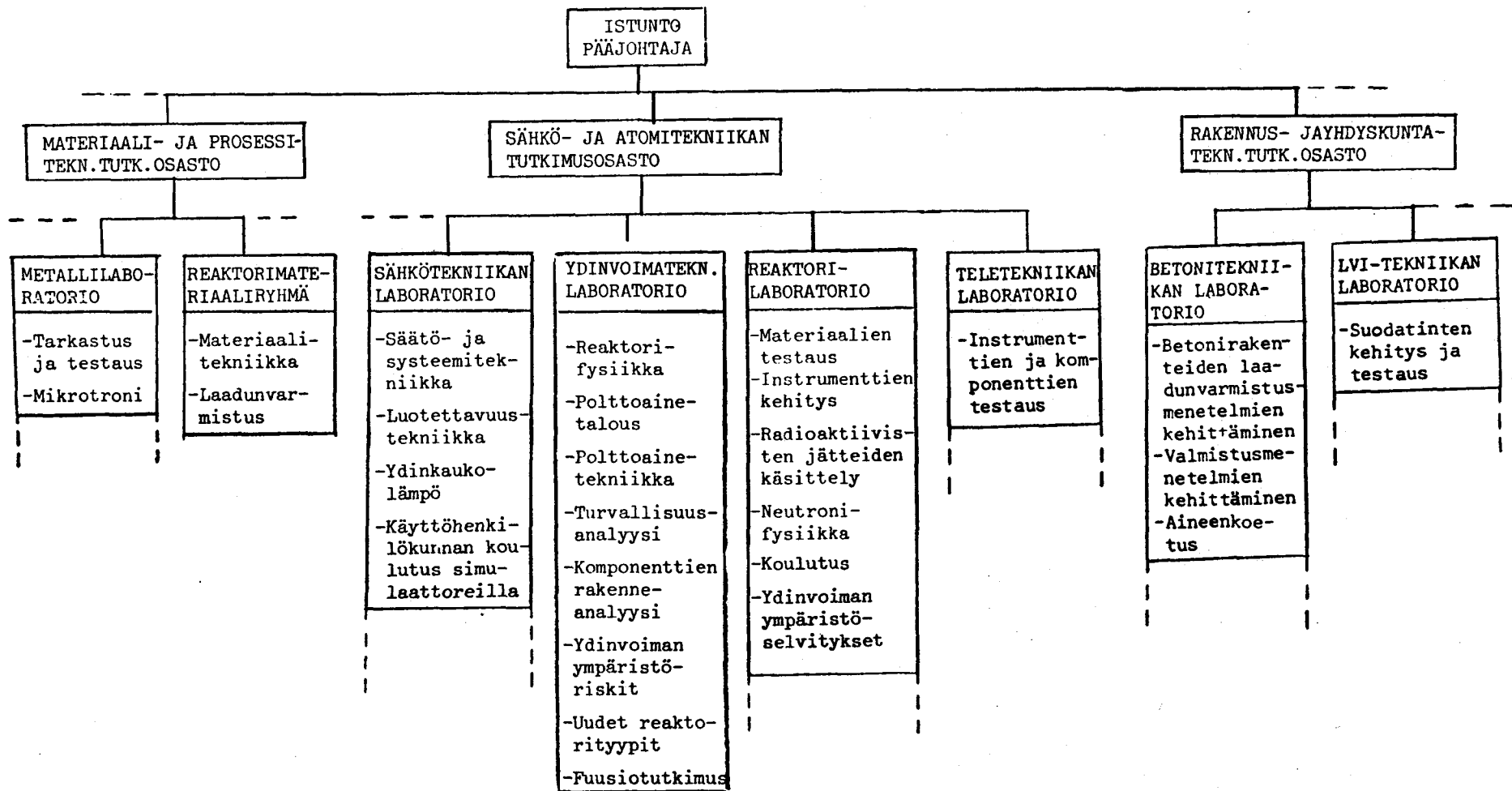
Kokeellisten resurssien käyttöön saamiseksi tulevat kansainvälinen yhteistoiminta ja sen tehostaminen entistä tärkeämmiksi. Tähän on viime vuosien aikana pyritty tietenkin myös muista syistä. Tavoitteena on päästä koordinoitulla yhteistyöllä kohtuullisellakin kansallisella tutkimuspanoksella hyviin tuloksiin. Parhaimmat onnistumisen edellytykset on sopimus pohjaisilla yhteisprojekteilla, joissa projektin johto keskitetyksi käyttää sille annettuja kansallisia resursseja. Kuten seuraavista esityksistä käy ilmi, on tällä alalla päästy hyvään alkuun, ja tarkoituksena on edelleen tehostaa kansainvälistä yhteistoimintaa ja sen hyväksikäyttöä.

Toinen niukkojen tutkimusresurssien ja maamme tämänhetkisten olosuhteiden aiheuttama kehityksen yleispiirre on se, että tutkimuksen painopiste siirtyy entistä enemmän käytännönläheiseen sovellettuun tutkimukseen ja kehitystyöhön. Resursseja on tarpeen suunnata valikoidusti alueille, joilla on nopeasti hankittava tiettyjä valmiuksia ja saavutettava hyödyntämiskelpoisia tuloksia. Luonnollisesti on tietty määrä perustutkimusta tarpeen jo koulutuksellisista syistä, mutta edessämme tai oikeastaan meneillään on vaihe, jossa eri tutkimusalueiden keskinäisiä laajuussuhteita muutetaan. Tämä pyritään kuitenkin suorittamaan ilman suuria epäjatkuvuusmuutoksia.

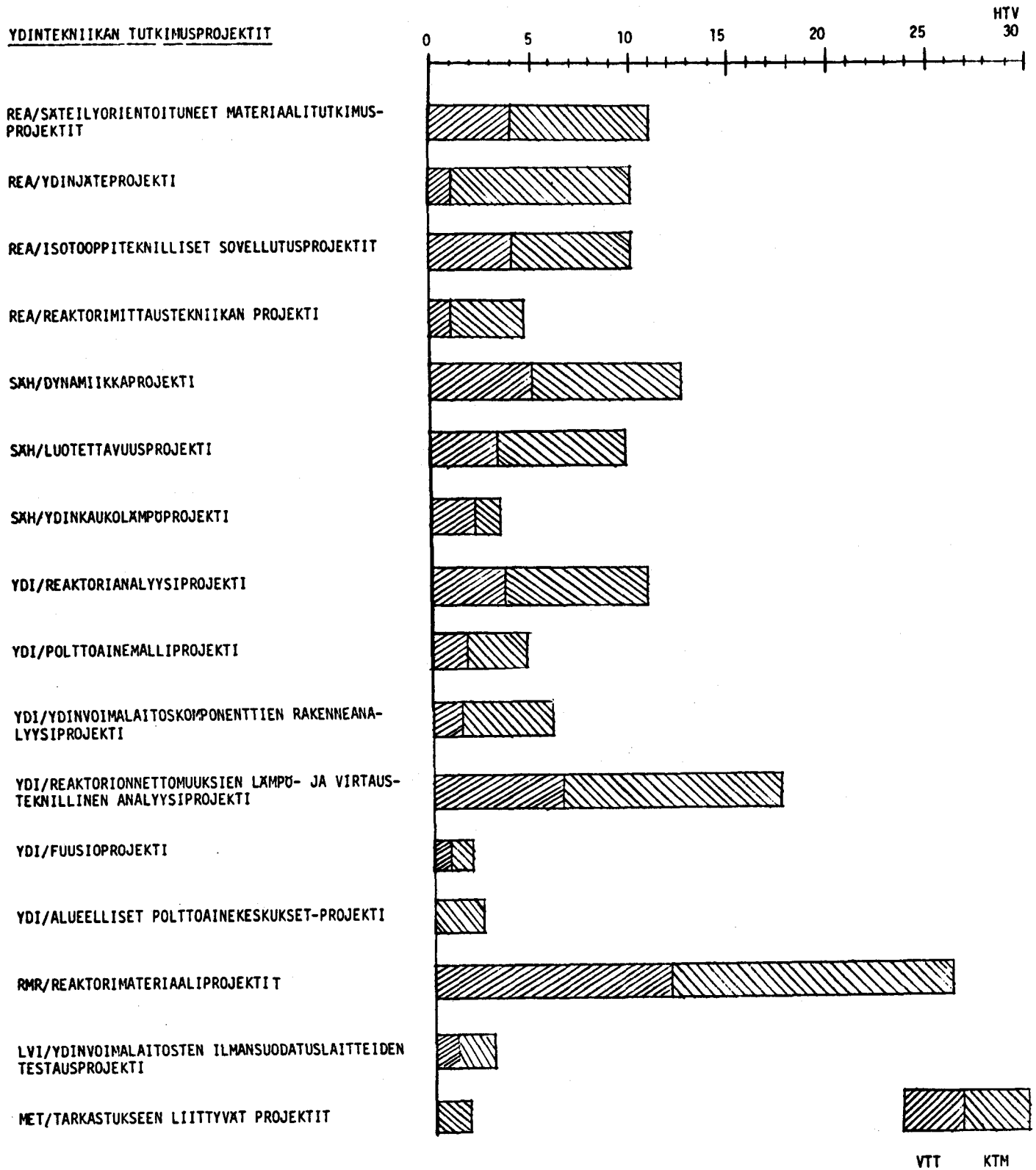
Tutkimuksen teknillisten kohdealueitten osalta on myös tapahtumassa muutoksia. Tähänastinen työ on paljolti suuntautunut ydinvoiman rakentamiseen ja käyttöönottoon liittyvään problematiikkaan, nyt tulevat jatkuvan käytön edellyttämät tutkimustehtävät enemmän etualalle. Laitosten käytettävyyteen ja yleensä taloudelliseen käyttöön liittyviin tutkimuksiin kiinnitetään enemmän huomiota. Turvallisuustut-

kimukset tulevat lähivuosina säilyttämään keskeisen asemansa tutkimuskentässä. Kasvavaa tutkimuspanosta tarvitaan jätekysymysten ja yleisesti polttoainekierron jälkipään ongelmien selvittämiseksi. Näihin kuuluvat kohteina mm. suurten aktiivisuuksien käsittelyn tekniikkaan liittyvät tutkimukset. Tässä yhteydessä on syytä korostaa myös niitten teknis-taloudellisten järjestelmätutkimusten merkitystä, jotka primäärienergian tehokkaamman hyväksikäytön sekä järjestelmäsuunnittelun ja -optimoinnin kautta vaikuttavat maamme ydinvoiman rakentamisohjelman muotoutumiseen.

Tutkimustoiminnan painotuksia tarkasteltaessa ja muutettaessa on pidettävä mielessä sen kytkeminen entistä kiinteämmin ydinvoiman rakentamisohjelman tarpeisiin. Tähän mennessä on luotu useilla aloilla varsin korkeatasoinen tietämys ja suoritusvalmius, joita tulee käyttää hyväksi uusien laitosten suunnittelussa ja rakentamisessa. Meidän on asetettava vakavaksi tavoitteeksi kotimaisuusasteen nostaminen, mikä edellyttää nykyistä läheisempää yhteistyötä viranomais-ten, voimayhtiöiden, valmistavan teollisuuden ja tutkimuslaitosten välillä. Tähän on pyrittävä tutkimusaluekohtaisesti analysoimalla tarpeet, määrittelemällä tavoitteet ja sopimalla samalla myös työn-jaosta ja periaatteellisista rahoitusjärjestelyistä eri osapuolten kesken. VTT on omalta osaltaan valmis ja halukas, viime vuosina kehitettyä tietämystä, projektiorganisaatiota ja projektityöskentelytapoja soveltaen, vaativiin sopimus pohjaisiin tutkimuksiin myös valtiosektorin ulkopuolisten toimeksiantajien kanssa.



YDINTEKNIIKAN TUTKIMUSPROJEKTIT



Kuva 2. KTM-rahoitteiset ydintekniikan tutkimusprojektit vuonna 1977

PIIRTEITÄ VALTION TEKNILLISEN TUTKIMUSKESKUKSEN YDINVOIMATEKNIIKAN LABORATORION TOIMINNASTA

1. TAUSTAA

Laboratorion ensi alkio syntyi oikeastaan jo vuonna 1968 kun atomienergia-neuvottelukunnan silloinen reaktorianalyysijaosto perusti ns. reaktorikoodiryhmän (RKR). Tässä ryhmässä toimi n. 5 tutkijaa. Koodiryhmän toiminta jatkui sittemmin VTT:n reaktorilaboratorion alaisena reaktorianalyysiryhmänä (RAR).

Vuosien 1972...1973 aikana ydintekniikan tutkimus VTT:ssa laajeni ja monipuolistui voimakkaasti, erityisesti turvallisuustutkimuksen suuntaan. Niinpä v. 1974 alusta tilanne oli kypsä uuden laboratorion, nykyisen ydinvoimatekniikan laboratorion (YDI) perustamiselle. Tässä vaiheessa YDIin liitettiin myös ns. lämmitysreaktoriprojekti. V. 1975 alusta laboratorioon liitettiin vielä ns. ydintekniikan tutkijaryhmä (YPF).

2. TOIMINNAN LAAJUUS JA MUODOT

Tällä hetkellä laboratorion palveluksessa on n. 55 henkeä. Vuoden 1976 toiminnan käyttömenot olivat n. 4 Mmk. Laboratorion johtajana on prof. Pekka Silvennoinen. Linjaorganisaatiossa laboratorio on jakautunut yleiseen, reaktorifysiikan, reaktoridynamiikan, ydinvoimalaitostekniikan, turvallisuustutkimuksen ja sovelletun fysiikan jaostoihin. Käytännön toiminta tapahtuu kuitenkin valtaosaltaan projektimuodossa, joten myös seuraava tärkeimpien toiminta-alojen kuvaus noudattaa projektijakoa.

3. TÄRKEIMMÄT KÄYNNISSÄ OLEVAT TUTKIMUKSET

3.1 Reaktorianalyysiprojekti

Reaktorianalyysistä alkoi reaktorikoodiryhmän toiminta v. 1968. Päätaavoitteena on ydinvoimalaitosten, erityisesti VVER-tyyppisten, polttoaineen käytön laskentajärjestelmien luominen ja ylläpito sekä lähtöarvojen, kuten tehonjakautumien, laskeminen onnettomuusanalyysille. Viime aikojen pääsaavutus on kolmidimensioisen VVER-440-reaktorin sydänsimulaattorin HEXBU-3D:n valmistuminen. Kuvassa 1 esitetään kaavio tällä hetkellä käytössä olevasta tietokoneohjelmajärjestelmästä. Vuonna 1976 valmistui myös tietokoneohjelma CONEP, jolla on tarkasteltu erilaisten Suomessa mahdollisten reaktoristrategioiden kustannuksia ja polttoainekiertoa [1,2].

Reaktorianalyysiprojektin toisena päätehtävänä on reaktorilaitosten turvallisuusselosteissa tarvittavien häiriötilojen analyysivalmiuden luominen. Säteilyturvallisuuslaitokselle onkin tehty suuri joukko Loviisa 1 -laitokseen liittyviä analyysejä, joista esimerkkinä kuva 2. Eräissä analyyseissä on voitu edullisesti käyttää hyväksi VTT:n sähkölaboratorion hybridikonesimulaattorilla laskettuja reunaehtoja reaktorisydämen tilalle.

3.2 ALPO-projekti

Tämän KTM:n APO- 1. ydinjätehuoltotyöryhmän alaisuudessa toteutettavan projektin tavoitteena on selvittää Suomelle mahdollisia ydinpolttoainekierron teknis-taloudellisia vaihtoehtoja maailmassa vallitsevan jälleenkäsittelytilanteen kannalta. Konkreettisimpana osatehtävänä on hoitaa teknisesti Suomen osallistuminen IAEA:n "Alueelliset polttoainekierto-keskukset" (RFCC) -projektiin [3].

3.3 Polttoainemalliprojekti

Tämän v. 1976 aloitetun projektin nykyisessä vaiheessa päätavoitteena on kehittää menetelmiä ydinvoimalaitosten lupakäsittelyyn sisältyvien polttoainesauvojen lämpöteknisten ja mekaanisten analyysien tarpeisiin. Samalla kehitetään myös ydinvoimalaitosten käyttöä palvelevaa analyysivalmiutta. Samat polttoainemallit ovat yleensä käyttökelpoisia molempiin tarkoituksiin. Polttoainesauvojen vikautumisen minimoimisella saavutetaan mm. seuraavia etuja:

- aktiivisuuden päästö laitokselta pienenee,
- laitosjätteen aktiivisuussisältö alenee,
- laitoksen huolto- ja korjaustoiminnat helpottuvat,
- käytetyn polttoaineen käsittely helpottuu,
- polttoainekustannukset alenevat ja polttoaineen käytön suunnittelu helpottuu.

Kuvassa 3, lähinnä sen vasemmassa puoliskossa esitetään käytössä ja hankkimisvaiheessa olevat tietokoneohjelmat sekä niiden tärkeimmät syöttö- ja tulostustiedot. Ohjelmien kalibroimisessa tarvittavaa tietoa saadaan osallistumalla kansainvälisiin säteilytyskokeisiin [4,5].

3.4 Reaktorionnettomuuksien lämpö- ja virtausteknillinen analyysiprojekti

Tämä on VTT:n laajin reaktoriturvallisuuteen liittyvä projekti. Turvallisuustutkimus perustuu olennaisesti kansainväliseen yhteistyöhön. Erityisesti NAK:n (Nordisk Atomkoordineringskommitté) koordinoimat pohjoismaiset yhteydet ovat muodostuneet aivan jokapäiväisiksi. Tällä hetkellä osallistutaan seuraaviin kansainvälisiin turvallisuustutkimusprojekteihin:

- NORHAV-LOFT [6]: Pohjoismaiset ydintutkimuskeskukset osallistuvat U.S. NRC:n LOFT-koereaktorilla suoritettavaan mittavaan koeohjelmaan ja siihen liittyvään ohjelmankehitystyöhön ja saavat käyttöönsä koetulokset ja tietokoneohjelmat. Vastapainoksi NRC saa pohjoismaisen NORHAV-projektin tulokset. NORHAV-projektin pääsisältönä ovat NRC:ltä saatujen ohjelmien testaaminen ja mukauttaminen pohjoismaisia sovellutuksia vastaaviksi sekä uusien entistä realistisempien jäähdytteenmenetysonnettomuuden (LOCA) analyysiohjelmien kehittäminen. Kuvan 3 oikea puolisko havainnollistaa U.S. NRC:ltä saadun WREM-ohjelmiston (RELAP4, TOODEE2, MOXY) käyttöä.
- VTI: VTT ja neuvostoliittolainen VTI-instituutti suorittavat transiienttilojen lämmönsiirtokokeita VTI:n laboratoriossa Moskovassa VVER-440

tyyppisillä sauvanipuilla. VTT toimittaa koesauvat ja tietojenkeruu-järjestelmän sekä suorittaa suuren osan tulosten analyysistä.

- Marviken: Käytöstä poistetussa Marvikenin ydinvoimalaitoksessa, kuva 4, on tutkittu BWR-tyyppisen suojarakennuksen lauhdutusjärjestelmässä jäähdytteenmenetys-onnettomuuden ja eräiden transienttien yhteydessä syntyviä värähtelyjä ja niiden vaikutuksia.
- TECPO: Analysoidaan Marviken-kokeissa saatuja tuloksia sekä kehitetään menetelmiä ja laitteita suojarakennusvärähtelyjen estämiseksi tai vaimentamiseksi.

Kansainvälisten koeohjelmien lisäksi VTT suorittaa yhdessä Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun kanssa pienimittakaavaisia jäähdytteenmenetys-onnettomuuden lämmönsiirtokokeita.

Tutkimustyön tuloksena on saatu luotua valmius, joka on mahdollistanut STL:n ja voimayhtiöiden pyytämien lupakäsittelyssä tarvittavien laajojen tarkistus- ja täydennusanalyysien suorittamisen.

3.5 Ympäristövaikutus- ja riskianalyysi

Vuoden 1976 maaliskuussa valmistunutta ns. Kopparnäs-selvitystä[7] varten on valmistettu monipuolinen tilastollisia menetelmiä käyttävä säteilyannos- ja riskilaskentamalli. Mallia on pyritty edelleen täydentämään, jotta se olisi käyttökelpoinen mahdollisissa tulevaisuuden ydinvoimalaitosten sijoitus- ja laitostyyppivertailuissa sekä eri energiantuotantomuotojen ympäristövaikutusten vertailussa. Kuvassa 5 nähdään eräitä tuloksia Kopparnäs-selvityksestä. Vertailun vuoksi samaan kuvaan on laitettu eräitä muita VTT:ssä laskettuja Suomen olosuhteita vastaavia riskikäyriä sekä ns. Rasmussenin tutkimuksen keskeisin tulostähtäjä (RSS). Riskianalyysit on suoritettu yhdessä VTT:n luotettavuusryhmän kanssa.

3.6 Rakenneanalyysiprojekti

Finite-element (FEM)-tekniikkaa hyväksi käyttävien tietokoneohjelmien kehittelyn ja hankinnan tuloksena on saavutettu monipuolinen valmius lineaaris-ten jännitys- ja värähtelyanalyysien alueella. Valmiuden laajentaminen epälineaaristen ongelmien tarkastelemiseksi on aloitettu. Kuva 6 havainnollistaa erästä Loviisa 1-laitokseen liittyvää sovellutusta ja taulukossa I esitetään yhteenveto käytössä olevista tietokoneohjelmista.

3.7 Pohjoismainen lämmitysreaktoriprojekti (SECURE) [8]

VTT (ydinvoimatekniikan laboratorion lisäksi sähkötekniikan laboratorio), Finnatom, ASEA-ATOM ja Ab Atomenergi tutkivat yhdessä pienten, yksinomaan lämpöä tuottavien lähisijoitukseen soveltuvien reaktorien teknisiä, taloudellisia ja kaupallisia edellytyksiä.

3.8 Fuusioteknologia

Projektissa seurataan fuusioteknologian kehittymistä, suoritetaan teoreettista plasma- ja laserfuusiotutkimusta, tehdään Helsingin teknillisen korkeakoulun kanssa pienimittakaavaisia plasmafysiikkakokeita ja tutkitaan fuusiolaitosten soveltuvuutta suomalaisiin olosuhteisiin.

4. TOIMINNAN ERIKOISPIIRTEITÄ

4.1 Toiminnan dynaamisuus

- nopea kasvu 1972 → 1976
 ≈ 5 ≈ 50 tutkijaa ja tutkimusharjoittelijaa
- jatkuvasti painopisteeltään muuttuva tehtäväkenttä
- tilaustyöt ulkopuolisilta: lähes jokainen uudentyyppinen

4.2 Kansainvälisyys

- on tultu tulokseen, että nykyisten niukkien resurssien puitteissa kansainvälinen yhteistyö on ainoa järkevä tapa tehdä suuren mittakaavan kokeita; erityisesti näin on turvallisuustutkimuksen alueella, jossa kaupallisuusnäkökohdat eivät yleensä ole kovin merkittäviä
- takaa tiedon ja tietokoneohjelmien nopean ja mahdollisimman täydellisen saamisen Suomeen
- kohtalaisen kallista, esim. tällä hetkellä YDIn tutkijoista 8 työskentelee pitkäaikaisesti ulkomailla

4.3 Tietokoneen käyttö

- konekäytön laskutus ≈ 700.000 mk v. 1976
- suuria ohjelmia, vaikea löytää riittävän suuria tietokoneita

VIITTEET

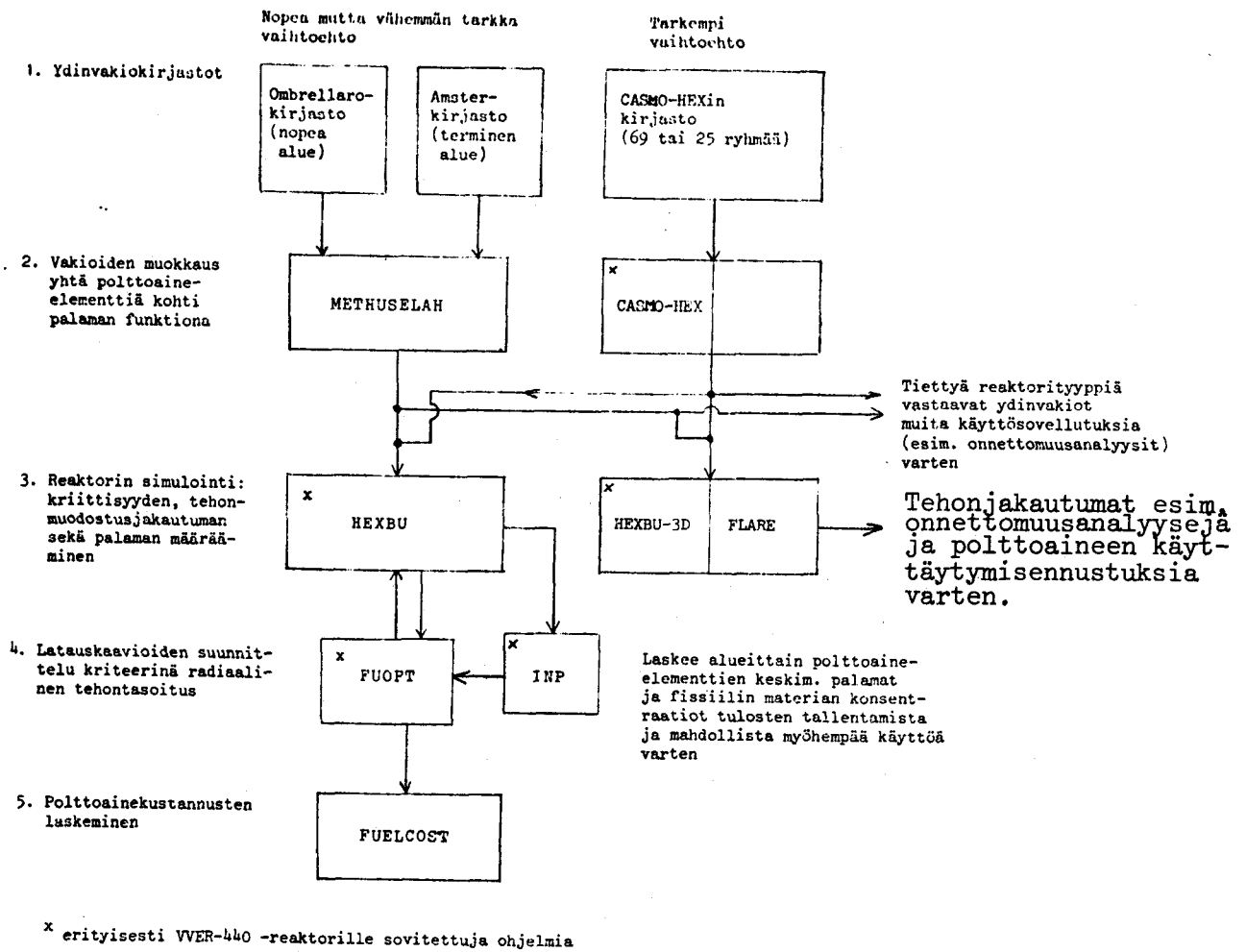
- [1] P. Silvennoinen, Suomen plutoniumstrategia vuoteen 2000. ATS Ydintekniikka 1/77.
- [2] P. Silvennoinen, E. Tusa, J. Routti, Plutonium Utilization in the Nuclear Power Strategy of Finland. Tullaan esittämään IAEA:n konferenssissa "Nuclear Power and Its Fuel Cycle", Salzburg, toukokuu 1977.
- [3] Ajankohtaista ydinpolttoaineen jälleenkäsittelystä ja jätehuollosta. ATS Ydintekniikka 3/76, s. 24..62.
- [4] VTT osallistuu kansainväliseen Inter-Ramp-polttoainetutkimukseen. ATS Ydintekniikka 3/76, s. 9...11.

- [5] M. Ojanen (Ed.), Reactor Technology at the OECD Halden Reactor Project. ATS Ydintekniikka 2/76, s. 24...38.
- [6] Yhdysvaltain ja Pohjoismaiden välinen ydinreaktoreiden turvallisuustutkimusta koskeva sopimus allekirjoitettu. ATS Ydintekniikka 3/76, s. 3.
- [7] S. Vuori, Raportin YDINVOIMALAITOSTEN SIJOITUSPAIKKATUTKIMUS esittely. ATS Ydintekniikka 2/76, s. 91...106.
- [8] SECURE -projekti sekä VTT-SECURE -projektissa. ATS Ydintekniikka 3/76, s. 6 ja 8...9.

RAKENNEANALYYSIOHJELMIEN OMINAISUUKSIA

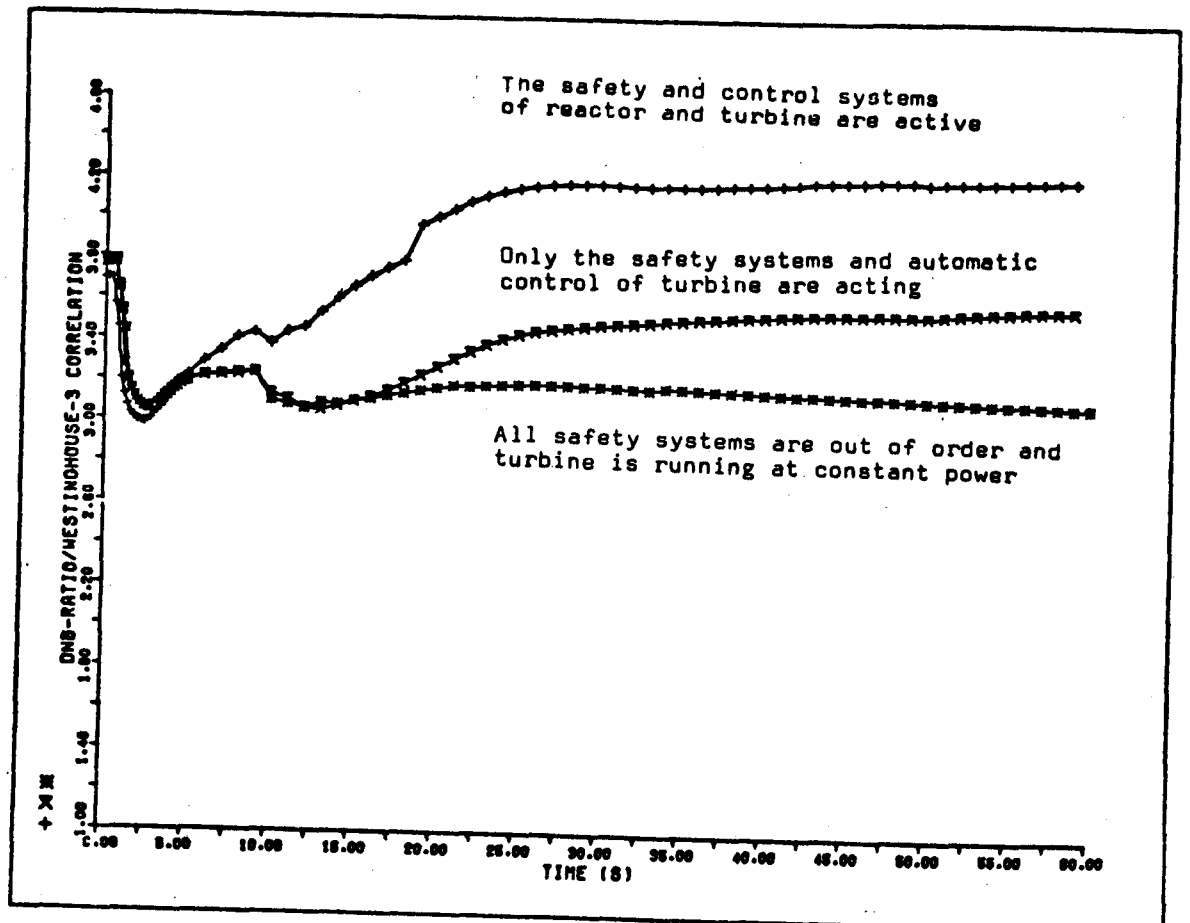
	ELEMENTTITYYPPI					KUORMITUSTYYPIT			MUUT ANALYYSITYYPIT					PIIRTURI-OHJELMA
	PALKKI	PUTKI	AKSISYM., LEVY	LAATTA, KUORI	3-DIM.	PISTE-VOIMA	PAINE	LÄMPÖ-TILA	OMIN AIS-VÄRÄHT.	PAKKO-VÄRÄHT.	LÄMPÖ-TILA	LÄMPÖ-TRANS.	EPÄ-LINEAAR.	
ADINA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
AXIFEM			X			X	X	X						X
KEHÄ	X					X	X	X						
LEVY			X			X	X	X			X			X
NONSAP	X		X	X		X	X			X			X	
PAFEC	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X		X
PIPEBREAK		X				X	X	X		X			X	X
SAP IV	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
TERMOFEM			X								X	X		

YDINVOIMATEKIIKAN LABORATORION RAKENNEANALYYSIOHJELMAT
TAULUKKO 1.

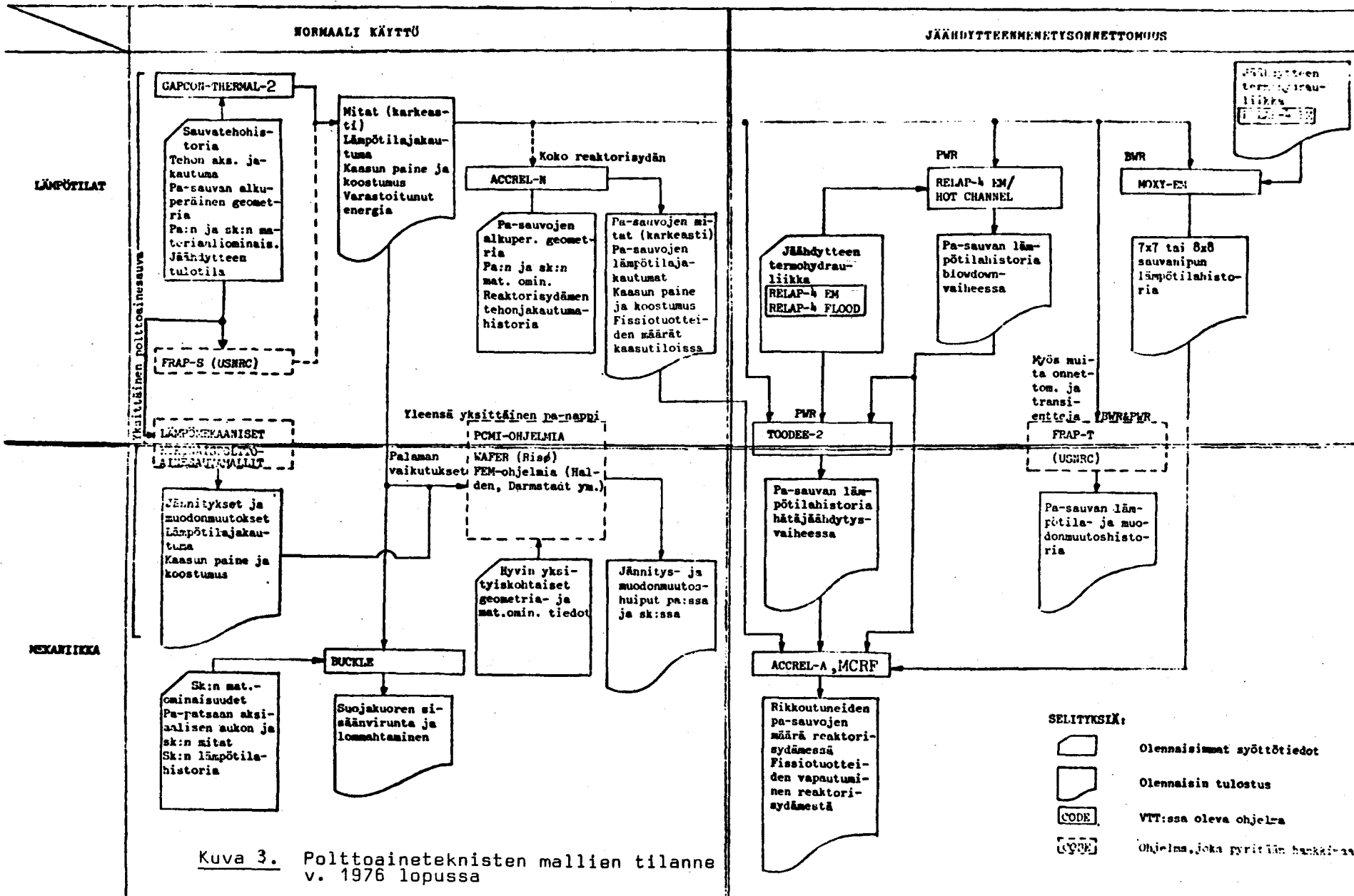


x erityisesti VVER-440 -reaktorille sovitettuja ohjelmia

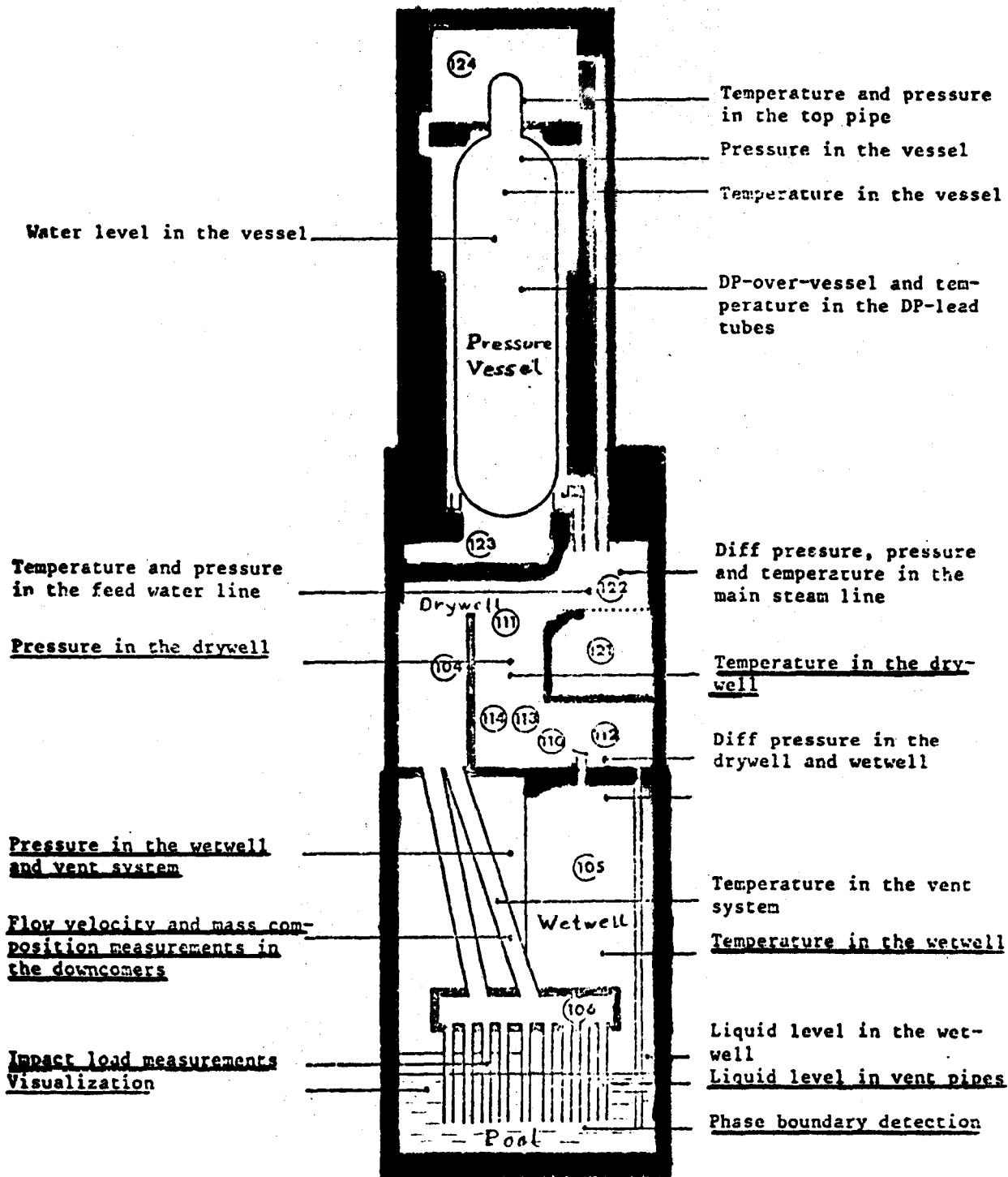
Kuva 1. Polttoainetalouden suunnittelussa käytettävä laskentajärjestelmä



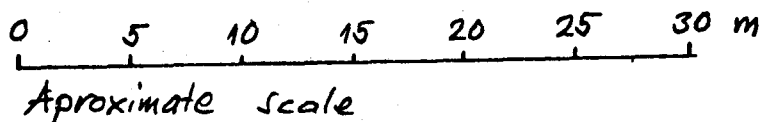
Kuva 2. An example of transient analyses of the Loviisa 1 plant by the TRAWA code. The minimum departure from nucleate boiling ratio after one primary circuit pump is locked



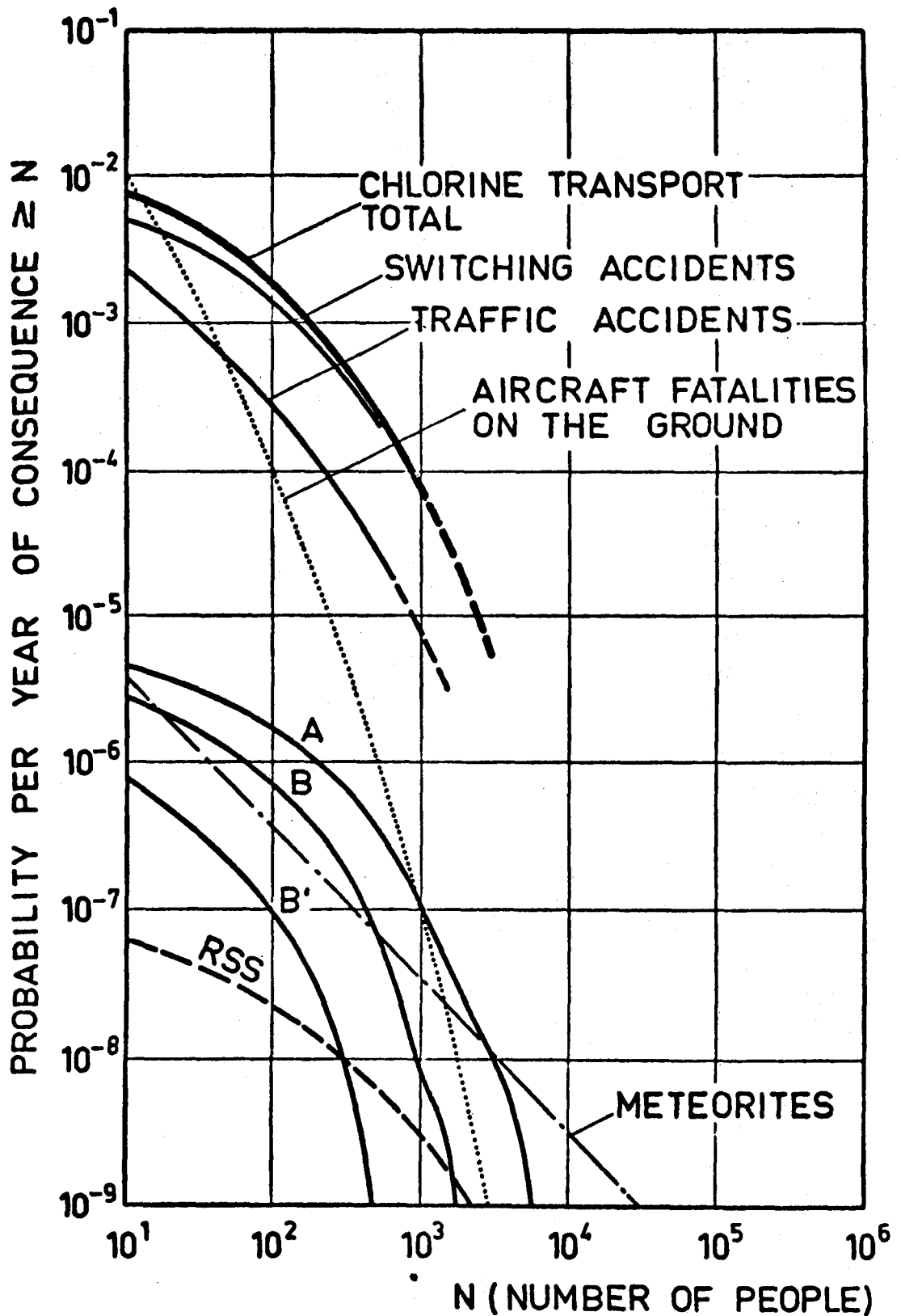
Kuva 3. Polttoaineteknisten mallien tilanne v. 1976 lopussa



The Marviken test facility

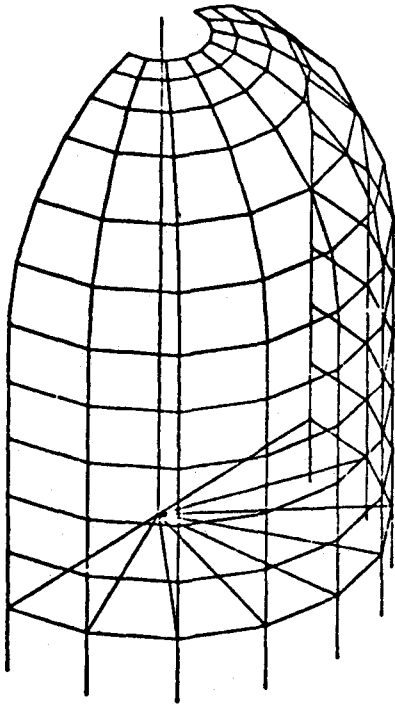


Kuva 4. Kaavio Marvikenin ydinvoimalaitoksen suojarakennuksesta ja tärkeimmistä MX-II-CRT tutkimusohjelman mittauskohteista.

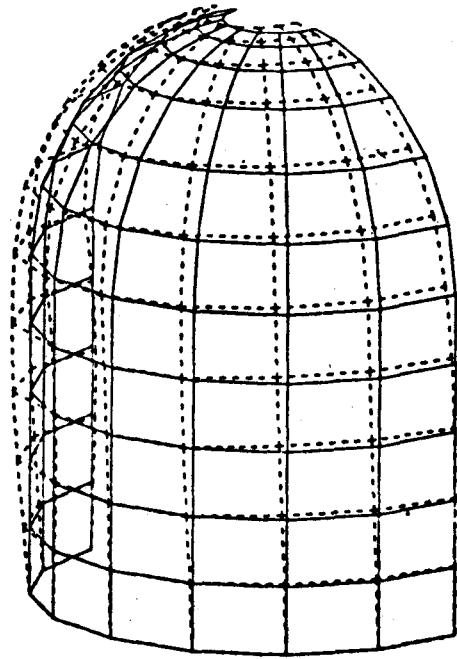


Kuva 5. Complementary cumulative probability distributions of acute fatalities in different activities. The curves A, B and B' are calculated with the program ARANO based on the reactor accident probabilities and release magnitudes of the U.S. Reactor Safety Study. The curve RSS shows the results obtained in that study.

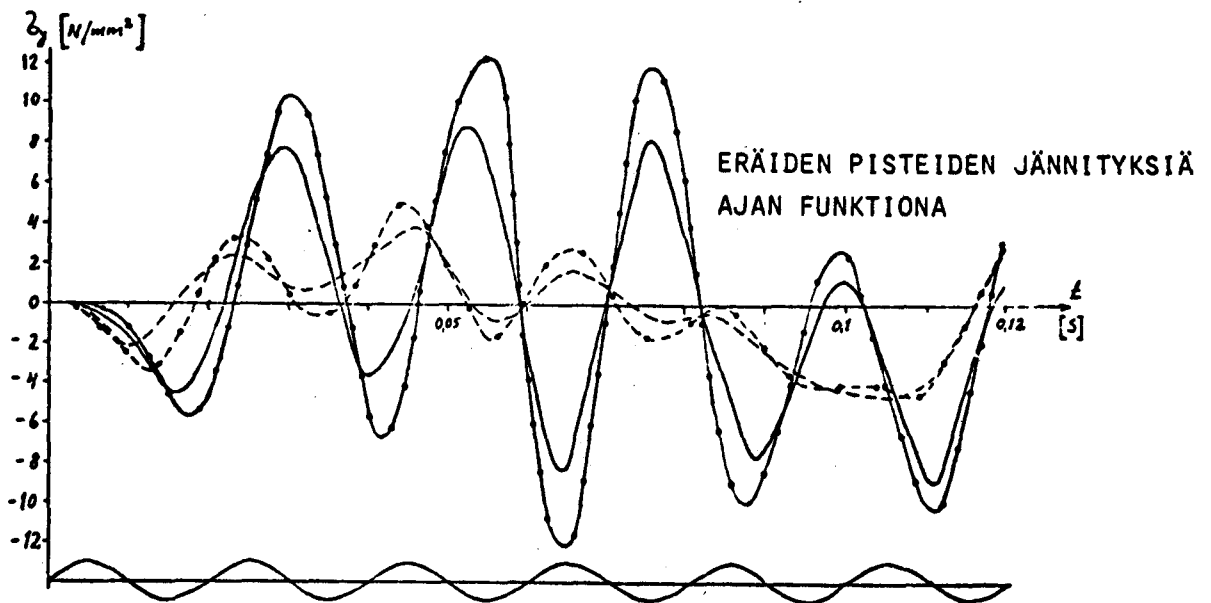
LOVIISAN YDINVOIMALAN TERÄSSUOJARAKENNUKSEN
VÄRÄHTELYNALYYSI ELEMENTTIMENETELMÄLLÄ



PIIRTURIKUVA TERÄSSUOJARAKENNUKSEN
PUOLIKKAAN ELEMENTTIMALLISTA



VAPAIEN VÄRÄHTELYJEN KOLMAS
OMINAISMUOTO



RÄJÄYTYSTÖIDEN AIHEUTTAMA
50 HZ:N SINIMUOTOISENA VÄRÄH-
TELYNÄ KUVATTU MAAPERÄN LIIKE

Kuva 6.

SÄHKÖTEKNIIKAN LABORATORION TOIMINNASTA

Sähkötekniikan laboratorio sijaitsee Otaniemessä teknillisen korkeakoulun sähköosaston kanssa samassa rakennuksessa. Laboratorion henkilökunta on tätä nykyä n. 60, joista n. 35 on korkeakoulututkinon suorittaneita. Laboratorion vuoden 1977 käyttömenot ovat jonkin verran yli 4 Mmk ja laitehankinnat noin 0,3 Mmk.

Laboratorion nimi ei erityisen tarkkaan kuvaa laboratorion toimintaa. Nimi on peräisin ajalta, jolloin laboratorio aloitti toimintansa 35 vuotta sitten tapahtuneen VTT:n perustamisen yhteydessä. Myöhemmin, kun VTT:hen on perustettu useita muita sähköalan laboratorioita, olisi tämänkin laboratorion nimeä voinut ehkä tarkentaa.

Toiminta sähkötekniikan laboratoriossa jakaantuu neljään jaostoon: Sähkövoimajaosto tutkii sähköenergian tuotantoon, siirtoon ja käyttöön liittyviä kysymyksiä sekä koestaa suurjännite- ja vahvavirtatekniikan laitteita. Säättö- ja systeemijaosto tutkii erilaisten järjestelmien säättö- ja ohjauskysymyksiä. Mittaustekniikan jaosto suorittaa sähkö- ja valoteknillisiä sekä akustisia mittauksia ja koestuksia. Luotettavuus- jaoston tutkimusalue on teknillisten järjestelmien luotettavuus- ja käytettävyysskysymykset.

Laboratorion toiminta-alue kokonaisuudessaan on laaja. Päälinjaksi on kuitenkin vuosien kuluessa muodostunut toiminta, jota on tullut tavaksi kuvata sanonnalla "systems engineering for power and energy". Tämä sisältää sellaisia asioita kuten virrantuotannon ja sähköjakelun ohjaus-, säättö- ja luotettavuuskysymykset sekä erilaiset energiamallit, jotka palvelevat energiajärjestelmien käyttöä, suunnittelua tai pitkän tähtäyksen päätöksentekoa. Näissä asioissa tutkimustyössä käytettävä menetelmävalikoima muodostaa erään kokonaisuuden. Lisäksi laboratoriossa on pitkälle kehitettyä tietoutta ja resursseja valaistustekniikan, sähköalan mittanormaalityönnän sekä suurjännitekoestuksen alueella. Osa näistä toiminnoista perustuu yhteistoimintaan TKK:n kanssa.

Ydinenergiaan liittyvä tutkimus muodostaa huomattavan osan laboratorion toiminnasta; vuonna 1977 noin 40 %. Pääosa ydinenergian tutkimuksen rahoituksesta tulee KTM:stä, mutta jonkin verran myös voimayhtiöiden toimeksiantotehtävistä.

Kun laboratoriossa on samanaikaisesti meneillään n. 25 tutkimusprojektia ja lisäksi pienempiä tilaustutkimuksia ja -koestuksia, ei tässä yhteydessä ole tarpeen eikä mahdollistakaan esitellä koko toimintaa. Sen vuoksi seuraavassa rajoitutaan ydinenergiatutkimuksen alueella tehtävään työhön ja lisäksi kosketellaan eräitä sellaisia yleisempiä energiatutkimusaiheita, jotka uskotaan kiinnostavan ATS:n jäsenkuntaa.

Ydinenergiaan liittyvä tutkimus

Sähkötekniikan laboratorion suurin projekti tällä alueella on ydinvoimalaitosten dynaamista käyttäytymistä, säätökysymyksiä ja automaatiota sekä ydinvoimasimulaattoreita tutkiva dynamiikkaprojekti. Työ aloitettiin v. 1969 ja vuoden 1976 loppuun mennessä eri osaprojekteihin käytetty yhteinen työpanos on n. 59 henkilötyövuotta. Työ alkoi perusvalmiuden kehittämällä ja tällöin hankittiin myös hybriditietokone EAI 690, joka on osoittautunut varsin sopivaksi työkaluksi niissä tehtävissä, joita projektin puitteissa on suoritettu. Hybridikonetta on käytetty erilaisiin tehtäviin - joista osa projektin ulkopuolella - tähän mennessä yhteensä noin 17 000 tuntia, mikä monessa tapauksessa on varsin suuri luku tutkimuslaitteen ja tietokoneen käyttöäksikin.

Alkuvaiheessa projektin työ kohdistui ydinvoimalaitoksen pääsääntöjärjestelmien suunnittelukysymyksiin ja projektissa tehtiin tuolloin huomattava määrä Loviisan laitoksen pääsääntöjärjestelmän kehittämiseen liittyvää työtä. Sen jälkeen kun Loviisa I:n suunnitteluvaihe saatiin tältä osin valmiiksi, suoritettiin projektissa erilaisia analyyseja viranomaisia varten, kirjoitettiin säätöjärjestelmän käyttöproseduureja sekä laadittiin ohjelmia laitoksen dynaamisia kokeita varten.

Mielenkiintoinen tehtävä, jota parhaillaan toistetaan Loviisa II:n laitteilla, oli Loviisa I:n pääsääntöjärjestelmän testaus hybriditietokone-mallin avulla. Testauksessa suuri osa laitokselle tulevista pääsääntöjärjestelmän laitteista asennettiin laboratoriossa järjestelmään, jossa voimalaitoksen prosessi ja eräät muut toiminnot simuloitiin hybridikoneella.

Testauksessa pyrittiin korjaamaan kaikki suunnittelu- ja toteutusvirheet sekä tarkistamaan, että järjestelmä toimii kokonaisuudessaan dynaamisesti oikein myös kaikissa ajateltavissa olevissa häiriötilanteissa.

Kun käytettävissä oli suunnittelutarkoituksiin laadittu suhteellisen täydellinen laitoksen dynaaminen malli, joka saatiin helposti toimimaan reaaliajassa, niin melko pienellä lisätyöllä oli aikaansaataavissa sellainen koulutussimulaattori, jolla voidaan demonstroida laitoksen käyttäytymistä tehoalueella ja joka soveltuu laitoksen käyttöhenkilökunnan perusopetukseen. Kun kokemukset Loviisan periaatesimulaattorista - kuten laitetta sittemmin ruvettiin kutsumaan - olivat kaikin puolin positiivisia, rakennettiin Olkiluodon BWR-laitosta varten vastaavanlainen. Tätä varten oli myös kehitettävä sopiva simulointimalli.

Tällä hetkellä projektin työpanoksesta pieni osa kuluu suoritettujen töiden viimeistelyyn. Pääosa työstä tähtää kuitenkin eteenpäin tulevaisuudessa tarpeellisten valmiuksien kehittämiseen. Tässä mielessä on käynnissä mm.

- prosessitietokonesovellutuksia koskeva työ
- valvomoergonometrian tutkimus, tehdään yhteispohjoismaisena projektina
- softwaren luotettavuus, yhdessä luotettavuusprojektin kanssa ja kansainvälisenä yhteisprojektina Haldenin kanssa
- osallistutaan lämmitysreaktorin säätöjärjestelmän suunnitteluun ja kehitetään laitoksen hybridisimulointimalli osana yhteispohjoismaista lämmitysreaktoriprojektia.

Mielenkiintoinen ja monella tapaa opettavainen hanke on ollut koulutussimulaattoriprojekti, joka on tähdännyt täysmittakaavaisen ydinvoimakoulutussimulaattorin hankintaan Suomeen. Työ VTT:llä oli aluksi tämän varsin monitahoisen asian kaikinpuolista selvittämistä ja arvioimista ja viime vaiheessa yksityiskohtaisten teknillisten spesifikaatioiden laatimista. Tällä hetkellä VTT:n asema projektissa on lähinnä konsultin tehtävä organisaatiossa, jossa ostajana on Imatran Voima Oy ja toimittajana NOKIA Elektroniikka.

Toinen suuri ydinvoimatekniikkaan läheisesti liittyvä alue on tutkimustyö, jota tehdään luotettavuusprojektissa. Työ alkoi v. 1970 ja tähän mennessä kertynyt työpanos on n. 52 henkilötyövuotta. Lähes tyhjästä

alkanut toiminta oli aluksi tietojen hankkimista, menetelmien kehittämistä ja perusvalmiuden luomista. Projektin puitteissa on tehty huomattavan suuri työ luotettavuustekniikkaa koskevan tietouden ja ajattelutavan kehittämisessä teollisuuteen. Loviisaa koskevia luotettavuusanalyyseja on suoritettu yli 30 kpl (kukin useita henkilötyökuukausia) ja parhaillaan on työn alla eräitä Olkiluotoa koskevia analyyseja. Muista luotettavuustekniikan alueella tehdyistä tai tekeillä olevista töistä on tässä syytä mainita

- pohjoismaisen lämmitysreaktorin turvallisuusryhmän työhön osallistuminen
- esitutkimus ydinvoimalaitosten luotettavuustietojärjestelmän toteuttamisesta Suomessa
- ydinvoimalaitosten käytettävyystilastot
- software luotettavuus.

Ydinvoimatekniikan ulkopuolella olevia töitä on myös suoritettu, kuten äskettäin rautateiden kloorikuljetuksen riskitutkimus, metsäkoneen prosessoriosan ja paperikoneen puristinosan luotettavuusanalyysit.

Eräs varsin mielenkiintoinen projekti on ollut ydinkaukolämpöjärjestelmän systeemivaihtoehtoja koskeva tutkimus. Pääkaupunkiseudun ydinvoimahankkeesta on jo tehty useita selvityksiä. Sähkötekniikan laboratoriossa äskettäin valmistunut työ muodosti toisen puolen laajemmasta yhteisprojektista, joka suoritettiin yhdessä HKS:n kanssa. Pääosa VTT:n työstä kohdistui sellaisten menetelmien kehittämiseen, joilla voidaan hakea sellaisia eri osajärjestelmien ratkaisuja, joilla päästään järjestelmän kokonaisoptimiin. Tätä kautta on pyritty aikaisempaa pätevämmin arvioimaan eri energiatuotantojärjestelmien taloudellisuutta ja keskinäistä edullisuutta - ja käsittääkseni tässä on kiistatta onnistuttukin. Lisäksi VTT:n työssä on tutkittu eräitä kokeilemattomia ratkaisuja - kuten lämmön varastointi - ja arvioitu näiden soveltamiskelpoisuutta.

Muita energia-asioihin liittyviä systeemitutkimusprojekteja

Paremmän kokonaiskuvan antamiseksi sähkötekniikan laboratorion toiminnasta on seuraavassa vielä luettelomaisesti esitelty eräitä tutkimusprojekteja, jotka saattavat olla kiinnostavia tässä yhteydessä:

Sähkölaitoksen energianhankinnan optimointimenetelmien kehitys.

Sähkötekniikan laboratoriossa käynnissä oleva työ koskee tapausta, jossa sähkölaitos myy kuluttajille sekä sähköä että kaukolämpöä ja energianhankinta tapahtuu omalla vesivoima- ja vastapainekoneistolla, lämpökattiloilla sekä ostamalla tariffien mukaisesti ja tilapäiskaupoin sekä sähköä että lämpöä. Sekä lyhyen että pitkän tähtäimen energiahankinnan optimointi on tällaisessa järjestelmässä varsin vaikea ongelma mm. sähkön ja lämmön tuotannon keskinäisen riippuvuuden sekä toisaalta vesivoiman käsittelyn johdosta.

Sähkön tuotantokapasiteetin rakentamisohjelmien tarkastelua varten on IAEA:lta hankittu WASP-ohjelmakirjasto. Ohjelmakirjaston avulla voidaan määrätyistä oletuksista lähtien määrittää optimaalinen sähkötuotantolaitosten laajennusohjelma määrätyille ajanjaksolle. Lähtötietoina ohjelmistolle tarvitaan luonnollisesti yksityiskohtaisia tietoja nykyisestä koneistosta, tulevasta kulutuskehityksestä, kysymykseen tulevista voimalaitoskandidaateista, tuotannon toimitusvarmuudesta jne. Ohjelmakirjasto on saatu pystytetyksi äskettäin ja sillä on suoritettu jo jonkin verran laajennusohjelmien tarkasteluja ajanjaksolle 1982...1991.

Suomen energiatalouden resurssien käytön vaihtoehtojen kuvaamiseen soveltuva lineaarinen optimointimalli on ollut kehitteillä jonkin aikaa ja ensimmäiset kokeilut sillä on jo suoritettu. Mallilla voidaan määrätä resurssien optimaalinen jako eri käyttötarkoituksiin. Edelleen sillä voidaan analysoida uusien energian tuotantomuotojen kannattavuutta koko maan energiataloudessa. Mallissa käytetty lineaarisen optimoinnin tekniikka asettaa luonnollisesti rajoituksia mallin käytölle dynaamisten ilmiöiden kuvaamisen suhteen.

Sähkölämmitystutkimukset ovat jatkuvasti olleet työn alla jossakin laajuudessa. Parhaillaan on hankkeilla tutkimus, jonka avulla pystyttäisiin ottamaan kantaa sulkuaikakäytön potentiaalisiiin mahdollisuuksiin, saavutettavissa oleviin säästöihin koko maan puitteissa sekä mahdollisesti tekniikkaan, millä sulkuaikakäyttöä voidaan parhaiten hyödyntää.

REAKTORIMATERIAALITUTKIMUS VTT:LLÄ

Tekn.lis. Kari Törrönen

Ydinvoimalaitoksissa käytettäviin materiaaleihin, ydinvoimalaitosten mekaanisten komponenttien valmistukseen ja käytönaikaiseen käyttäytymiseen sekä laadunvarmistustoimintaan kohdistuvaa tutkimustoimintaa tehdään VTT:llä pääasiassa materiaali- ja prosessitekniikan tutkimusosastolla reaktorimateriaaliryhmässä sekä jonkin verran myös metallilaboratoriossa.

Reaktorimateriaaliryhmä perustettiin vuonna 1970 Atomienergianeuvottelukunnan alaiseksi tutkimusryhmäksi; VTT:n alaisuuteen ryhmä siirtyi vuoden 1974 alusta. Ryhmän henkilökunnan määrä on kasvanut tasaisesti, tällä hetkellä se on yhteensä 25 henkeä, joista 13 tutkijaa. Organisatorisesti ryhmä on toistaiseksi toiminut erillisenä tutkimusryhmänä suoraan materiaali- ja prosessitekniikan tutkimusosaston tutkimusjohtajan alaisena. Reaktorimateriaaliryhmän johtajana on ollut sen perustamisesta lähtien tekn. tri Jarl Forstén.

Reaktorimateriaaliryhmän toiminnasta aiheutuvat kustannukset on pääasiassa rahoitettu KTM:n ydinenergian rauhanomaiseen käyttöön tarkoitetuista varoista. Tämä rahoitus oli vuonna 1975 n. 1,5 milj. mk ja viime vuonna n. 1,7 milj. mk. Tälle vuodelle on budjetoitu n. 1,8 milj. mk. KTM:n rahoittamien projektien lisäksi suoritetaan jonkin verran voima-yhtiöiden ja komponenttiteollisuuden toimeksiantoja.

VTT:n laiteresurssit materiaalitutkimuksen alalla ovat varsin monipuoliset. Mekaanista aineenkoetusta, haurasmurtumis- ja väsymistutkimuksia varten VTT:llä on mm. 2000 kN:n

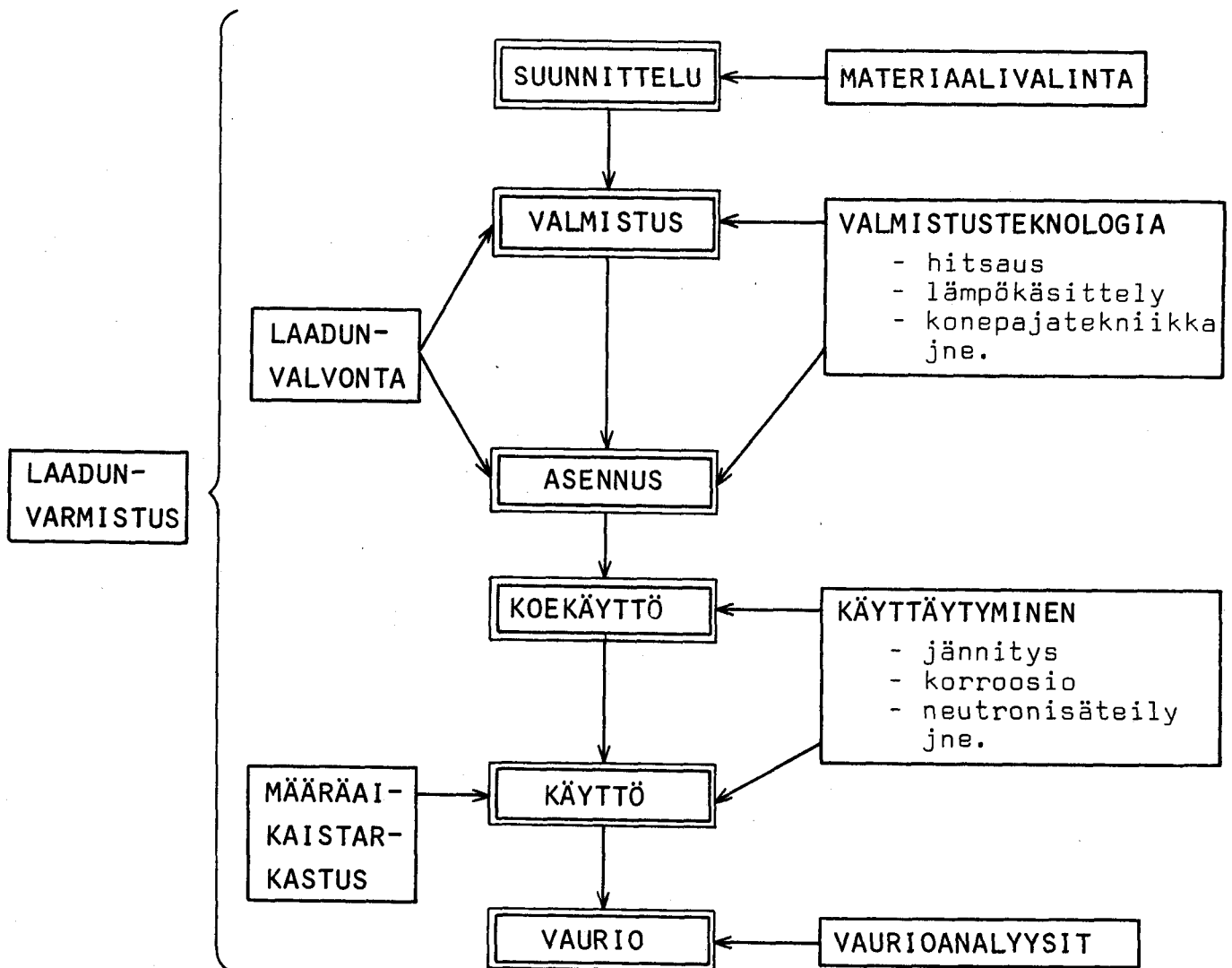
yleisaineenkoetuskone, Pellini-iskuvasara, instrumentoitu iskuvasara sekä pienempiä yleisaineenkoetuskoneita. Lämpökäsittelylaitteista voi mainita mm. infrapunakuumennusta käyttävä uunilaitteisto, jolla voidaan simuloida suurten kappaleiden lämpökäsittelyjä. Korroosiotutkimuksia varten on mm. autoklaavi, jännityskorroosion mittauslaitteita sekä laitteisto ns. sähkökemiallista potentiokineettistä reaktivaatiotestiä varten. Metallograafisia tutkimuksia varten on 200 kV:n läpivalaisuelektronimikroskooppi sekä 50 kV pyyhkäisyelektronimikroskooppi, joista jälkimmäinen on varustettu energiadispersiivisellä analysaattorilla.

Reaktorimateriaaliryhmän toiminnan päämäärä on edesauttaa viranomaisten, voimayhtiöiden ja ydinvoimalaitoskomponentteja valmistavan teollisuuden työtä. Tähän päämäärään pyritään

- seuraamalla alan yleismaailmallista kehitystä
- suorittamalla alaan liittyviä tutkimuksia ja toimeksiantoja
- kehittämällä tarvittavia laitteita ja tutkimusmenetelmiä, jotta tarvittavat laadunvalvontakoeket, aineenkoetukset ja tutkimukset voidaan tehdä Suomessa
- suorittamalla materiaalien ja komponenttien turvallisuus- ja käyttövarmuustarkasteluja
- selvittämällä mekaanisia komponentteja koskevia vauriotapauksia
- osallistumalla alan säännöstön kehittämiseen
- osallistumalla alan koulutuksen kehittämiseen ja antamiseen.

Reaktorimateriaaliryhmän tutkimustoiminnan painopistealueet on esitetty seuraavassa kaaviossa, josta selviää myös niiden liittyminen ydinvoimalaitoksen rakentamis- ja käyttövaiheisiin.

Reaktorimateriaaliryhmän tutkimustoiminnan painopiste-
 alueiden liittyminen ydinvoimalaitoksen rakentamis- ja
 käyttövaiheisiin



Seuraavassa käsitellään lyhyesti painopistealueittain tärkeimpiä reaktorimateriaaliryhmässä suoritettuja tai käynnissä olevia tutkimuksia.

Valmistusteknologia

Valmistusteknologiaan kohdistuva tutkimus on kohdistunut lähinnä materiaalien lämpökäsittelyihin sekä hitsaukseen. Lämpökäsittelytutkimuksien kohteena on ollut reaktoripaineastiateräkset 12X2M0A, A533B ja A508 Cl.2. Näiden tutkimusten tavoitteena on ollut lämpökäsittelyn kriittisten parametrien kartoittaminen. Tuloksia voidaan käyttää hyväksi laadunvalvontatoimenpiteiden kohdistamisessa kriittisiin käsittelyvaiheisiin sekä kotimaisessa komponenttivalmistuksessa.

Hitsaustutkimus on kohdistunut edellämainittujen paineastiaterästen lisäksi ruostumattomiin austeniittisiin teräksiin. Hitsaustutkimuksen tavoitteina on ollut mm. erilaisten hitsausliitosten sekä hitsattujen pinnoitteiden ominaisuuksien selvittäminen. Tällöin on erityistä huomiota kiinnitetty ns. myöstöhalkeilutaipumuksen syiden selvittämiseen sekä austeniittisessä teräksessä esiintyvien herkistymisilmiöiden kartoittamiseen. Tuloksia on hyödynnetty mm. kotimaisessa komponenttivalmistuksessa, komponenttien turvallisuustarkasteluissa, laadunvalvontaohjeissa ja vaurioanalyseissa.

Materiaalien käyttäytyminen jännityksen alaisena

Tutkimuksen kohteena ovat olleet lähinnä reaktoripaineastiateräkset sekä näiden hitsausliitokset. Tutkimuksilla on pyritty materiaalien ja komponenttien haurasmurtumis- ja väsymiskäyttäytymisen kartoittamiseen ottaen huomioon erilaiset ympäristöolosuhteet. Lisäksi on selvitetty ja kehitetty eri materiaaleille soveltuvia haurasmurtumiskoemenetelmiä. Suurimmat projektit ovat olleet Loviisan

reaktoripaineastian perusainenäytteen ja hitsinäytteen tutkiminen sekä Olkiluodon reaktoripaineastian osien ns. referenssilämpötilan määrittäminen.

Tuloksia on hyödynnetty mm. turvallisuusanalyysiin liittyvissä haurasmurtumis- ja väsymisanalyseissä sekä erilaisissa vaurioanalyseissä. Edelleen tulosten perusteella voidaan määrittellä komponenteille hyväksyttäviä kuorimitustapoja, mm. paineastioille painekokeen suoritus. Lisäksi voidaan asettaa hyväksymisrajoja materiaali- ja osille.

Korroosio

Korroosiotutkimukset ovat kohdistuneet niihin primaaripiirimateriaaleihin, jotka joutuvat jäähdytteen kanssa kosketuksiin, ts. ruostumattomiin teräksiin, nikkeli-valtaseoksiin ja sirkoniseoksiin. Tutkimusten tavoitteena on selvittää valmistusparametrien ja seosaineiden vaikutus materiaalien korroosiokestävyyteen. Edelleen pyritään kehittämään luotettavia myös laadunvalvontaan sopivia korroosio- ja vaurioanalyysikokeita. Tuloksia on hyväksikäytetty mm. kotimaisessa komponenttivalmistuksessa, oikeiden laadunvalvontakokeiden valinnassa sekä vaurioanalyseissä.

Ydinpolttainemateriaalit

Kokeellinen tutkimus on tähän asti kohdistunut pääasiassa polttoaineen suojakuorimateriaalina käytettyihin sirkoniseoksiin, mutta tutkimustoimintaa on tarkoitus laajentaa koskemaan myös uraanidioksidia. Tutkimuksilla on pyritty polttoaineen suojakuorimateriaalien mekaanisten ominaisuuksien ja korroosiokestävyyden selvittämiseen. Suuri osa tutkimuksista on suoritettu kansainvälisten tutkimusprojektien yhteydessä (esim. Halden, Scanuk, Inter-Ramp). Tutkimuksissa saatuja tuloksia ja tietoutta käytetään hyväksi polttoainevalmistuksen laadunvalvonnassa sekä polttoaine-elementtien käyttäytymisen analysoinnissa.

Laadunvarmistus ja laadunvalvonta

Harjoitettu laadunvarmistustoiminta kattaa ydinvoimalaitosten suunnittelu-, valmistus- ja käyttövaiheet. Toiminnalla on pyritty laadunvarmistustoiminnan kehittämiseen ja tunnetuksitekemiseen Suomessa. Laadunvarmistustoiminnan alalla on suoritettu mm. voimayhtiöiden ja komponenttivalmistajien seuranta ja seurantatoiminnan suunnittelua, määräaikaistarkastusohjelmien laadintaa sekä laadunvalvontaproseduurien laadintaa. Rikkomattoman aineenkoetuksen alalla tutkitaan ruostumatonta austeniittista terästä olevien valujen ja hitsien ultraäänitarkastusta; tuloksia on hyödynnetty Loviisa I:n määräaikaistarkastuksissa.

Tarkastustoimintaan liittyen on VTT:n metallilaboratoriossa käynnissä kaksi KTM:n rahoittamaa projektia, joita on lyhyesti selostettu seuraavassa:

Tarkastajien päteväittäminen

Suunnitelman "rikkomattoman aineenkoetuksen tarkastajien koulutuksen ja pätevyysvaatimuksien suunnittelu" mukaisesti on Ammatienedistämislaitos VTT:n tukemana aloittanut tarkastajien tehokkaan koulutustoiminnan vuonna 1976.

Nordtestin puitteissa on lähdetty kehittämään yhteispohjoismaista päteväittämisskäytäntöä, joka perustuu Eurotestin ja ASMT:n noudattamiin menetelmiin.

Vuoden 1977 aikana on tarkoitus saada Suomessa käyntiin tarkastajien päteväittämisskokeiden suoritus Nordtestin järjestelmän mukaisesti. Pätevyyskokeita tullaan järjestämään röntgen-, ultraääni- ja pintatarkastuksia suorittaville tarkastajille.

Jokaiseen Pohjoismaahan perustetaan päteväittämisskeskus. Suomessa keskuksiksi on ehdotettu VTT:ta.

Pyörrevirtatarkastus

Tämän vuoden alussa käynnistetyn projektin tavoitteena on hankkia VTT:lle pyörrevirtatarkastukseen soveltuva laitteisto sekä tarvittava asiantuntemus. Pyörrevirtatekniikkaa voidaan käyttää putkien ja tankojen tarkastukseen. Erityisesti ydinvoimalaitosten lämmönvaihtimien ja höyrykehittimien putkien valmistus- ja määräaikaistarkastukset voidaan suorittaa pyörrevirtatekniikalla. VTT:n metallilaboratorion pyörrevirtatarkastuspalvelulla pyritään tyydyttämään koko Suomen tarve.