



ATS

YDINTEKNIikka

1/88

vol. 17

SISÄLTÖ

POLTTOAINE

Suomi — kansainvälisen tutkimuksen vapaamatkustaja	1
Uraania kuluu — mistä kulutus riippuu? ..	2
Uraanivaratko lopussa?	3
BWR — polttoaineen käytönsuunnittelu ..	6
Kansainvälistä yhteistyötä ydinpolttoaine- tutkimuksessa	8
Seosoksidipolttoaineen käyttö kevytvesireaktoreissa	9
Tiedottaminen — ydinennergian ydinkysymys	11
Maailman energianäkymistä	12
Suomen rooli kansainvälistyvässä fuusioenergiatutkimuksessa	15
Ydinvoimalaitosten käyttö 1987	18
Uusi ydinennergialaki voimaan 1.3.1988 ..	21
AEN selvitti ydinennergijatutkimuksen tuloksellisuutta	22
Sihteerin sana	23
Ydinvoimatekniikka IVO Engineeringin uudessa organisaatiossa	24
Lyhyesti maailmalta	25
Ytimekkäät	26
English Abstracts	27

ATS

YDINTEKNIikka

1/88, vol. 17

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

TOIMITUS

Päätoimittaja
DI Heikki Raumolin
P. 90-609 0281

Perusvoima Oy
PL 138, Malminkatu 16
00101 Helsinki

Erikoistoimittaja
DI Klaus Sjöblom
P. 915-550431

Imatran Voima Oy
PL 23
07901 Loviisa

Erikoistoimittaja
FK Osmo Kaipainen
P. 90-605022

Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53
00100 Helsinki

Toimitussihteeri
DI Pertti Salminen
P. 90-456 4148

VTT/E-osaston kanslia
Vuorimiehentie 5
02150 Espoo

JOHTOKUNTA

Pj TKT Erkki Aalto
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Helsinki
P. 90-508 2410

Jäs. FK Hannu Koponen
Säteilyturvakeskus
Kumpulantie 7
00520 Helsinki
P. 90-70 821

Vpj DI Antti Hanelius
Suomen Voimalaitosyhdistys ry.
Lönnrotinkatu 4 B
00120 Helsinki
P. 90-602944

Jäs. DI Ilkka Mikkola
Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53 B
00100 Helsinki
P. 90-605022

Rh DI Seppo Salmenhaara
VTT/REA
Otakaari 3 A
02150 Espoo
P. 90-4566330

Jäs. TkL Björn Wahlström
VTT/SÄH
Otakaari 7 B
02150 Espoo
P. 90-4566400

Siht. DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Helsinki
P. 90-508 2426

TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri
DI Jussi-Pekka Palmu
P. 90-530 1647
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Helsinki

Ekskursios sihteeri
TkL Eero Patrakka
P. 90-605022
Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53 B
00100 Helsinki

Kans.väl.yhteyks.siht.
DI Klaus Kilpi
P. 90-648931
VTT/Ydinvoimatekniikan lab.
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki

ATS-Info puheenjohtaja
TKT Seppo Vuori
P. 90-648931
VTT/Ydinvoimatekniikan lab.
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki

Suomi — kansainvälisen tutkimuksen vapaamatkustaja

ATS YDINTEKNIikka (17) 1/88

POLTTOAINE

Vuoden 1988 numeroiden teemat:

- No. 2 ”Ydinvoima ja ympäristö”
artikkelit viimeistään 30.4.
- No. 3 ”Turvallisuus”
artikkelit viimeistään 15.8.
- No. 4 ”Ekskursion kohdema”
artikkelit viimeistään 31.10.

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin ATS:n jäseniltä: 200 mk

Ilmoitushinnat: 1/1 sivua 1300 mk
1/2 sivua 800 mk
1/3 sivua 600 mk

Toimituksen osoite:

ATS Ydintekniikka
c/o Pertti Salminen
VTT/E-osaston kanslia
Vuorimiehentie 5
02150 ESPOO
p. 90-456 4148
telex 122972 vttha sf
telefax 90-462382

Lehdessä julkaistut artikkelit edustavat kirjoittajien omia mielipiteitä, eikä niiden kaikissa suhteissa tarvitse vastata Suomen Atomiteknillisen Seuran kantaa.

ISSN-0356-0473

Vuoden alkupuolella on ollut muoti-ilmiö ottaa kantaa eurooppalaiseen tutkimusyhteistyöhön. Keskustelu käynnistyi, kun opetusministeriön asettama akateemikko Pekka Jauhon johtama työryhmä luovutti selvityksensä Suomen osallistumisesta CERNin toimintaan ja rahoitukseen.

Alkeishiukkastutkimukseen keskittynyt CERN (European Laboratory for Particle Physics) on perustettu vuonna 1953. Tutkimus on luonteeltaan perustutkimusta, mutta siihen liittyy huomattava määrä teknologiakehitystä. Painoalueita ovat mm. suprajohteet, uudet materiaalit, tietoliikenneverkot, magneetit, tyhjiötekniikka ja hiukkasilmaisimet. Lisäksi mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmiin liittyvä tarkkuuselektronikka ja rinnakkaisprosessointijärjestelmät ovat tärkeitä kehityskohteita.

Suomi ei ole CERNin jäsen eikä osallistu laboratorion kustannuksiin. Suomalaiset tutkijat ovat kuitenkin voineet työskennellä CERNissä ja näin Suomi saa saman tutkimuksellisen hyödyn kuin jäsenmaatkin. Suora kustannusvaikutus Suomelle on 2,5 Mmk vuodessa, kun taas työryhmän mukaan täysjäsenyys maksaisi 55 Mmk vuodessa.

Muita Suomessa näkyvästi esillä olleita eurooppalaisia yhteistyöhankkeita ovat ainakin EC:n teknologiaohjelmat BRITE (Basic Research in Industrial Technologies for Europe), ESPRIT (European Strategic Programme of Research and Development) ja RACE (R & D in Advanced Communications Technologies in Europe), JET fuusiotutkimus (Joint European Torus), COST-yhteistyö (European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research), avaruusyhteistyöhankkeet ESA (European Space Agency) ja pohjoismainen Tele-X sekä EUREKA-hankkeet.

Ymmärrettävästi teollisuuden kiinnostus CERNiä ja JETiä kohtaan on vähäinen, koska ne ovat perustutkimusta ja mahdollinen taloudellinen tulos on epävarma ja kaukana tulevaisuudessa. EUREKA-hankkeet ovat tuotekehityshankkeita ja EC:n teknologiaohjelmat sivuavat sekä soveltavaa että tuotekehitystä. Teollisuuden kiinnostus näihin on merkittävästi laajempaa. ESA on perustutkimuksesta tuotekehitykseen ulottuva strateginen ohjelma.

Perustutkimuksen rahoitus on lähes kokonaan valtiovallan vastuulla. Teollisuudelta voi korkeintaan toivoa, että se nostaisi perustutkimuksen samaan kategoriaan urheilun ja kulttuurin kanssa, ja sponsoroisi nuoria kyvykkäitä tutkijoita sekä rahoittaisi osaltaan myös eurooppalaisia yhteistyöhankkeita.

Onneksi muissa Euroopan maissa päättäjät ymmärtävät perustutkimuksen merkityksen paremmin kuin Suomessa ja ovat valmiit panostamaan siihen eräänlaisia riskirahaa tulevien sukupolvien hyödyksi. Suomi pienenä ja köyhänä ja puolueettomana maana on päässyt mukaan täyttämättä omaa maksuveloitteaan. Selittelijöinä olemme maailmanmestareita.

Viimeinen selitys, että Suomi ei lähde paikkaamaan CERNin huonosti hoidettua taloutta, on kuitenkin limbojen limbo. Jos tämän jälkeen vielä suomalaiset tutkijat pystyvät pitämään hyviä suhteitaan yllä CERNiin ja jatkamaan ilmaista osallistumistaan tutkimukseen, ei voi kuin ihaila heidän yhteistyökykyään ja CERNin pitkämielisyyttä. □

Uraania kuluu — mistä kulutus riippuu?

Väkevöityä uraania sisältävän polttoaineen lämpöarvo on noin sata tuhatta kertaa hiilen lämpöarvo. Voidaan myös laskea, että kymmenen tuhatta öljyrekkaa tarvittaisiin liikenteessä korvaamaan kahden ydinpolttoainelaatikon kuljetus Olkiluodon voimalaitokselle. Kannattaako siis uraania enää pyrkiä säästämään?

Uraani on kuitenkin verrattain kallista ainetta, luonnonuraaninakin noin 200 mk kilolta. Maamme ydinpolttoainehuolto maksaa vuodessa satoja miljoonia markkoja. Vaikka se on noin viidesosa vastaavan hiilimäärän kustannuksista, on säästämiseen tarvetta. Uraanin käytön tehostamisella voidaan lisäksi vähentää käytetyn polttoaineen määrää ja säästää luonnonvarojen (uraanin) käyttöä.

Uraanin kulutuksen tekijät

Kuvasta ilmenee, miten Olkiluodon voimalaitoksen tuotannon lisääminen on lisännyt luonnonuraanin kulutusta. Taloudellisten laskelmien perustana oli aluksi käyttökerroin 70 %. Kun se pystyttiin nostamaan 90 % tienoille, lisääntyi uraanin kulutus laskennallisesti noin 34 % (kuvan kohta 1). Tehonkorotusprojektin avulla tuotantoa lisättiin edelleen, ja samalla uraanin kulutusta 12 % (kohta 2). Mikäli polttoainetta ei olisi samanaikaisesti kehitetty, olisi kulutus lisääntynyt yhteensä 50 %. Latausjaksojen pidentyessä näet ladattujen nippujen määrä lisääntyy enemmän kuin tuotanto.

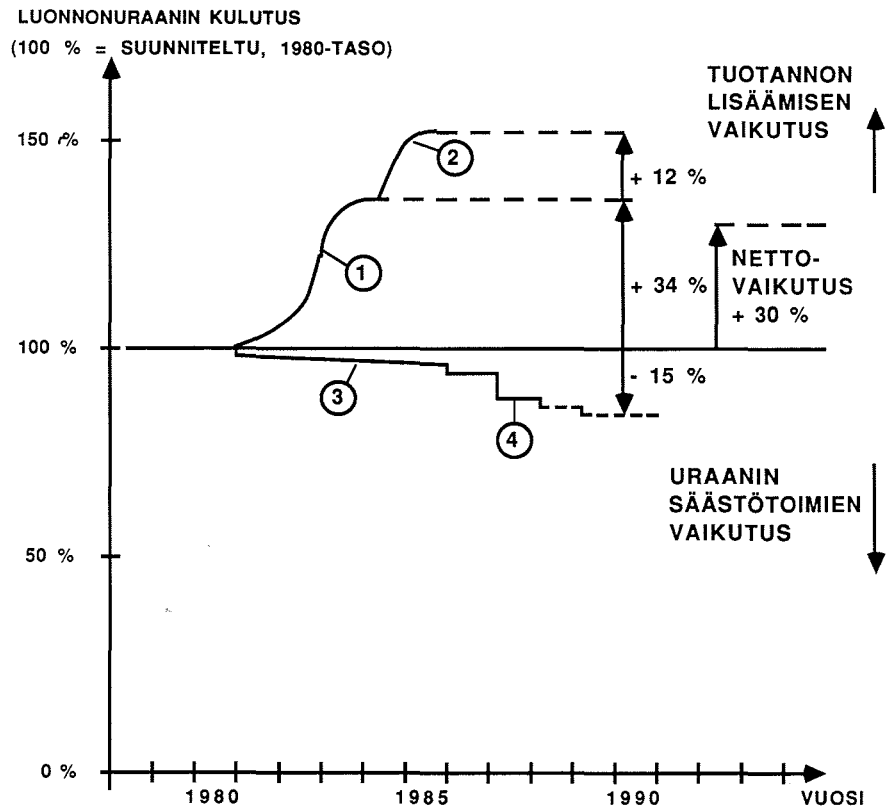
Luonnonuraanin kulutukseen voidaan kuitenkin vaikuttaa useilla teknisillä keinoilla, joita ovat polttoainepin suunnittelu, väkevöintiaste ja käyttötapa sekä väkevöinti prosessin tehokkuus.

Väkevöintiasteen nosto

Ladattavien polttoainepin määrä pienenee, kun väkevöintiastetta nostetaan. Samalla luonnonuraania kuluu enemmän nippua kohden, mutta syntyy

DI Ilkka Mikkola on Teollisuuden Voima Oy:n polttoainetoimiston päällikkö, p. 90-605 022.

TEOLLISUUDEN VOIMA OY:N URAAIN KULUTUKSEN KEHITYS



- ① KÄYTTÖKERTOIMEN PARANTUMINEN 70 % TASOLTA 90 % TASOON
- ② TEHON NOSTO + 8 % (660 MW => 710 MW)
- ③ "8x8" POLTTOAINE, RIKASTUSASTEEN JA PALAMAN NOSTO
- ④ UUDET POLTTOAINEET "9x9" JA "SVEA", JOISSA LUONNONURAAINBLANKETIT

kuitenkin jonkin verran luonnonuraanin säästöä, ks. kuvan kohta 3. Palaman (lämpöarvon) nostamisen edellytyksenä on ollut polttoainepin ja suojakuoren kehitystyö ja laajat kansainväliset polttoainetutkimukset. Niihin kuuluu mm. TVO:n käytettyjen polttoainesauvojen tutkiminen Englannissa.

Polttoaineen muu tekninen kehitys

Polttoainepin reaktorifysikaalista ja mekaanista konstruktiota on kehitetty yhteistyössä toimittajien kanssa, mikä ilmenee myös kuvasta (kohta 4). Keinoja ovat mm. seuraavat: **polttoainesauvojen lukumäärän** lisääminen nippussa (ohuempi

halkaisija, alhaisempi uraanilämpötila ja suuri jousto käytössä); **vesi-polttoainesuhteen** muuttaminen (erityisesti "SVEA", jossa ristikanava ohjaa lisää vettä yläosaan, kiehuvan veden alueelle ja lisää moderointia); **luonnonuraanivyöhykkeet** sauvojen ala- ja yläpäässä (ns. "heijastin" eli neutronipeili); tehojakautuman sääteleyt **palavan myrky**n avulla.

Reaktorin käyttötapa

Säästötoimenpiteiden vaikutus ilmenee kuvan kohdasta 4. Säästöihin sisältyy myös tehokkaan lataussuunnittelun avulla saavutettu hyöty.

Olkiluodossa on niinkään koko ajan käytetty "spektrinsäätöä", joka on eräs säästötapo: latausjakson alussa pääkiertopumput käyvät minimikierröksillä tuottaen kovan neutronispektrin (paljon höyryaukkoja) ja enemmän plutoniumia. Plutoniumia pyritään polttamaan entistä enemmän pois jakson lopun maksimivirtauksella ja pehmeällä spektrillä. Lopuksi ajetaan energiaa polttoaineesta muutama viikon ajan tehoa alentaen.

Säästötoimenpiteiden yhteisvaikutus

Tuotettua sähkömäärää kohden on polttoainepiippujen kulutusta pienennetty teknisillä toimenpiteillä yhteensä noin 22—24 % verrattuna siihen, kuinka paljon vuoden 1980 polttoainetta kuluisi nykyisellä tuotannolla. Käytetyn polttoaineen "tuotanto" pienenee vastaavasti. Luonnonuraanin vastaavat säästöt ovat kuitenkin vain noin 15 %, kun väkevöintiästä on nostettu.

Yhteenvedo ja tulevaisuuden näkymät

Olkiluodon voimalaitosten tuotannon lisäämisestä olisi aiheutunut noin 50 % lisäys luonnonuraanin kulutuksessa, mutta teknisin toimenpitein saavutettujen 15 % säästöjen jälkeen luonnonuraanin kulutus on lisääntynyt vain noin 30 % (ja latausmäärät sekä käytetyn polttoaineen vuotuismäärät vain runsaat 20 %).

Luonnonuraanin kulutusta on edelleen mahdollista vähentää väkevöintilaitoksilla käyttämällä niitä tehokkaammin. Noin 10—20 % säästö on nähtävissä, kunhan väkevöinnin hinta suhteessa uraaniin laskee riittävästi eli siis myös, jos uraanin hinta nousee. Kuvassa esitetyt laskelmat perustuvat väkevöintilaitoksen vakioajotapaan.

Lopuksi voidaan vielä mainita, että vesi-reaktorit käyttävät vain noin 1 % uraanin teoreettisesta energiasisällöstä. Loppu jää köyhydytetyn uraanin ja käytetyn uraanin varastoihin. Ehkä se käytetään tulevaisuuden reaktoreissa. □

Juhani Vira, VTT

Uraanivaratko lopussa?

Markkinatalousmaiden varmuudella tunnetut kohtuuhintaiset uraanivarat ovat tätä nykyä runsaat kaksi miljoonaa tonnia. Lähemmin tutkimattomista esiintymistä arvioidaan löytyvän lisää ainakin puoli-toista miljoonaa tonnia. Jos markkinatalousmaiden ydinvoimakapasiteetti kasvaa nykyistä menoa ja tekniikka säilyy nykyisen kaltaisena, varmistetut kohtuuhintaiset varat riittävät vuodeksi eteenpäin. Arvioitujen lisävarojen turvin selvittäisiin parikymmentä vuotta pitemmälle. Siihenkö homma päättyy?

Halpoja, alle 80 \$/kg tuotantokustannuksin louhittavia uraanivaroja tunnetaan markkinatalousmaissa puolisentoitista miljoonaa tonnia¹. Hieman suuremmin, 80—130 \$/kg, tuotantokustannuksiin saadaan lisää runsaat puoli miljoonaa tonnia. Yhteensä uraanivaroja tunnetaan siis runsaat kaksi miljoonaa tonnia, mikä vastaa noin yhdeksää tuhatta gigawattivuotta kevytvesireaktoreilla tuotettua sähköä. Nelisensataa tuhannen megawatin kevytvesireaktorin kuluttamien varat loppuun kolmen vuosikymmenen kuluessa. Tällaisten lukujen perusteella on povattu fissioenergian aikakaudelle varahaista loppua.

Maapallon uraanivarat ovat kuitenkin varmasti suuremmat kuin nykyisin varmuudella tunnetut varat. Halpoja lisävaroja on markkinatalousmaissa jo tutkittujen esiintymien välittömässä läheisyydessä tai tunnistetuissa mutta tarkemmin kartoittamattomissa esiintymissä arvioitu olevan lähes miljoona tonnia ja kalliimpia 80—130 \$/kg varoja lisäksi ainakin puoli miljoonaa tonnia. Ainakin osa näistä varoista on saatavissa käyttöön. Kysymys on esiintymistä, joissa tiedetään joko suorien havaintojen tai yleisten geologisten tutkimusten perusteella olevan uraania mutta joita ei ole vielä tarkemmin tutkittu. Jo tähän mennessä tehtyjien etsintöjen nojalla näiden puolentoista miljoonan tonnin lisäksi on vihiä noin miljoonan tonnin muista esiintymistä samoissa tuotantokustannusluokissa.

Erilaisten geologisten analogioiden ja hajanaisen tutkimusten perusteella tehdyt arviot markkinatalousmaiden uraanivaroista päätyvät lähes kymmenen miljoonan tonnin lukemiin nykyisten varmuudella tunnettujen varojen lisäksi. Suunnitelmatalousmaista arvioidaan kaikkiaan löytyvän 5—6 miljoonaa tonnia. Näihin enemmän tai vähemmän spekulatiivisiin arvioihin on tietenkin suhtauduttava varoen. Vaikka arvioitu uraanimäärä olisi olemassa, mikään ei takaa kaikkien esiintymien löytymistä.

Tunnettujen uraanivarojen määrä riippuu paljolti etsintöihin ja tutkimuksiin käytetyistä rahavaroista. Vuosien 1964 ja 1984 välisenä aikana varmuudella tunnetut halvat uraanivarat kasvoivat vuosittain keskimäärin noin 60 000 tonnilla. Vaikka uraanin markkinahintojen nykyinen alhaisuus ja tulevaisuuden kysyntäepävarmuudet ovatkin vähentäneet halua investoida uraanietsintöihin, on viimeksi kuluineenkin vuosina tunnettujen varojen määrä lisääntynyt jatkuvasta kulutuksesta huolimatta. Vuosien 1983 ja 1986 välillä markkinatalousmaiden tunnetut varat kasvoivat noin 180 000 tonnilla, kun samaan aikaan vuotuinen kulutus oli alle 40 000 tonnia.

Jos markkinatalousmaiden ydinvoimakapasiteetti kasvaisi nykyistä vauhtia ja tekniikka säilyisi nykyisellään, halvoilla alle 80 \$/kg kustannuksin tuotettavilla jo tunnetuilla varoilla pärjättäisiin 20—30 vuotta². Kaiken kaikkiaan varmuudella tunnetuilla varoilla ja melkoisella varmuudella arvioituilla lisävaroilla päästäisiin nykyistä menoa vuoden 2030 tienoilta (kuva 1). Uraanista voitaisiin kyllä joutua maksamaan nykyistä enemmän.

Siis kalliiksi käy?

Kysymys uraanivarojen riittävydestä on suhteellinen. Arviot uraanivaroista ovat mielekkäitä vain suhteessa uraanin tuotantokustannuksiin. Tarve-ennusteet taas riippuvat oletetusta käyttötekniikasta.

Maapallolla on uraania suunnattomasti määrät esimerkiksi merivedessä, mutta uraanin erottaminen vedestä tulisi nykyisellä tekniikalla maksamaan monikym-

TkT Juhani Vira on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion teknismatemaattisen jaoston erikoistutkija, p. 90-648 931.

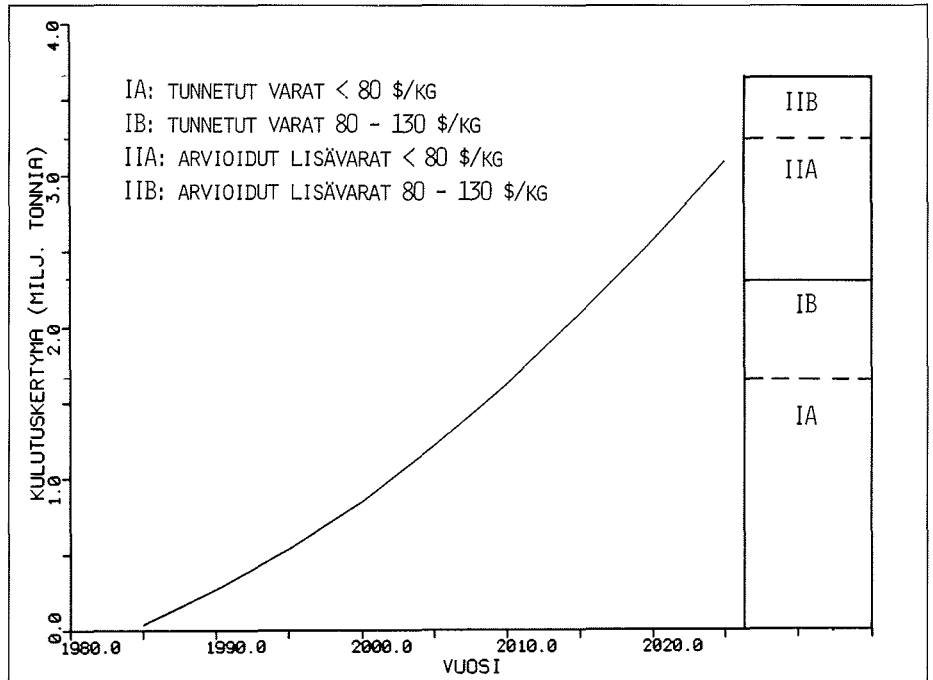
menkertaisesti nykyisiin kaivoksiin verrattuna. Uraania on huomattavat määrät myös fosfaattiesiintymissä; pelkästään Marokossa on arvioitu olevan tällaisia varoja yli kuusi miljoonaa tonnia keskimäärin 0,12 promillen pitoisuuksina. Uraanin talteenotto näistä esiintymistä voi tulla kyseeseen fosforihapon tuotannon sivutuotteena. Toistaiseksi pitoisuudeltaan köyhiin esiintymiin ei ole ollut suurta kiinnostusta. Tämä selittää osin myös sen tosiasian, että varmuudella tunnetuista varoista suurin osa sisältyy halvimpaan tuotantokustannusluokkaan. Joka tapauksessa nostamalla ylemmän tuotantokustannusluokan raja 130 dollarista kilolta 260 dollariin kiloa kohti tunnettujen uraanivarojen määrä nousee heti puolella miljoonalla tonnilla.

Käytettyjen tuotantokustannusluokkien määrittely perustuu nykyiseen tuotantotekniikkaan. Uraanin tuotantokustannukset eivät riipu yksinomaan malmin uraanipitoisuudesta, mutta karkeasti ottaen kustannukset ovat kääntäen verrannolliset pitoisuuteen. Siirtyminen köyhempiin esiintymiin siis johtaisi nouseviin kustannuksiin. Muiden metallien kaivannaisteollisuudesta vuosikymmenien kuluessa kerättyjen tilastojen väitettään kuitenkin kumoavan tällaisen suhteen historiallisen paikkansapitävyyden. Tekniikan kehitys näyttää usein enemmän kuin kompensaation pitoisuuden laskun. Hintahailehteluja on esiintynyt, mutta pitkään aikavälin keskimääräiset hinnat osoittavat usein allistytävää stabiilisuutta.

Runsaudensarvifilosofit kuten J. L. Simon ja H. Kahn³ perustavat tulevaisuudenkuvansa tämänkaltaisiin tilastoihin. Ekstrapolaatiot tulevaisuuteen saatavat kuitenkin olla vaarallisia. Viime vuosina tapahtunut uraanin hintojen lasku tuskin on johtunut tuotantokustannusten alenemisesta; kustannukset ovat monin paikoin pikemminkin kasvaneet tiukentuneiden työsuojelu- ja ympäristösuojeluväimusten takia. Köyhien esiintymien hyödyntäminen on osoittautunut nykyisin hinnan kannattamattomaksi. Simonin ja Kahnin ekstrapolaatiot on asetettu yleisesti kyseenalaisiksi: heidän teostensa tilastojen väitettään itse kumoavan teosten johtopäätökset luonnonvarojen ehtymättömyydestä⁴.

Analogia uraanin ja muiden hyötymetallien välillä saattaa sekin ontua. Uraanimarkkinat ovat suhteellisen jäykät ja uraanin kysyntä tulevaisuudessa riippuu vaikeasti ennustettavista poliittisista päätöksistä. Pitkäjänteinen panostaminen tuotantotekniikan kehittämiseen edellyttäisi kuitenkin luottamusta kasvaviin markkinoihin.

Toisaalta pienet uraanin hinnan heilahtelut eivät juuri vaikuta ydinenergian tuotantokustannuksiin. Uraanin hintojen kaksinkertaistuminen nykyisestä nostaisi ydinenergian tuotantokustannuksia ehkä 5—10 prosenttia. Vasta uraanin hintojen moninkertaistuminen vaikuttaisi tuntuvasi ydinenergian kilpailukykyyn.



Kuva 1. Markkinatalousmaiden kumuloituva uraaninkulutus suhteessa tunnettuihin ja arvioituihin uraanivaroihin eri kustannusluokissa. Kulutusarvio perustuu ydinvoimakapasiteetin viimeaikaisen kasvuvauhdin jatkumiseen ja nykyisen kaltaisten kevytvesireaktorien käyttöön. (Lähde: Nuclear Energy and Its Fuel Cycle, OECD/NEA & IAEA).

Uraanin hintojen noustessa kannattaa sitä paitsi satsata uraanin käytön tehostamiseen. Uraanin tarvehan riippuu olennaisesti käyttötekniikasta. Nykyiset kevytvesireaktorit pystyvät tuottamaan muutaman sadasosan siitä energiasta, joka samalla uraanimäärällä olisi tuotettavissa esimerkiksi Superphenixin kaltaisella hyötöreaktorilla. Ainakin paperilla on suunniteltu lukematon määrä erilaisia "kehittyneitä" tai "melkein-hyötöreaktoreita", ja hyötöreaktoreitakin on ehdoteltu monenlaisia. Kun avuksi otetaan lisäksi maapallon toriumvarat, voitaisiin erilaisin symbioottisin järjestelmin fissiolla tuottaa inhimillisesti katsoen loppumattomat määrät energiaa. Tietenkään konseptiasteella olevat järjestelmät eivät ole käytettävissä vielä pitkään aikaan, mutta ideoita uraanin käytön tehostamiseen on joka tapauksessa runsaasti, kunhan houkutus niiden kehittämiseen löytyy.

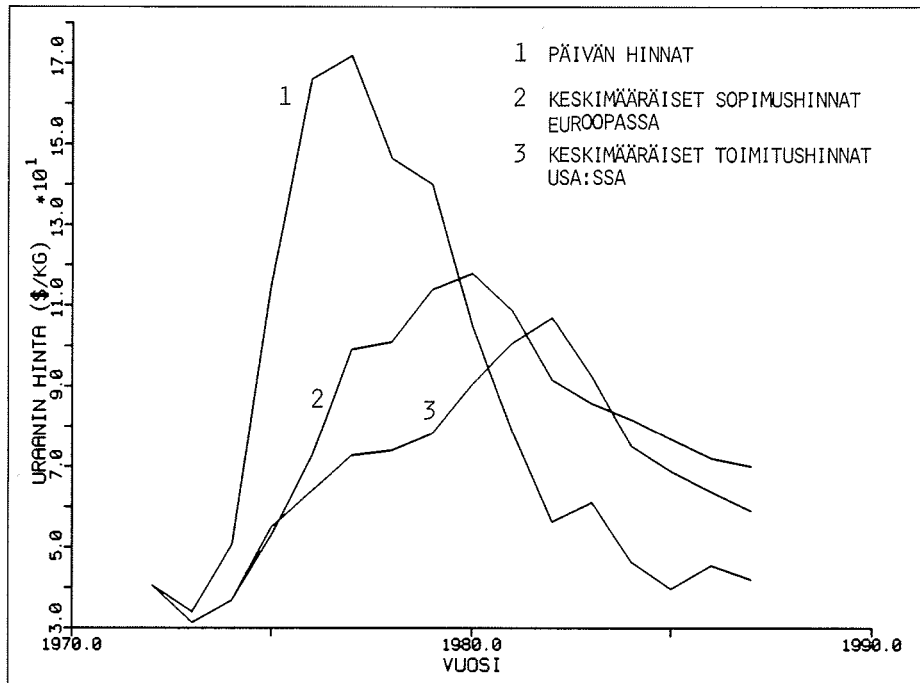
Runsas vuosi sitten sanomalehdissä sai huomiota Maailman energiakonferenssin (WEC) kokouksessa puhunut ranskalainen J.-R. Frisch, jonka mukaan uraani loppuu hyötöreaktoreista huolimatta — vuonna 2090! Hänen laskelmansa perustuivat viime kädessä samoihin NEA:n raportteihin kuin kuvan 1 käyräkin. Hyötöreaktorit tulevat Frischin mukaan plutoniumin riittämättömyyden takia liian hitaasti, jotta ne ennättäisivät ehkäisemään uraanipulaa. Totta onkin, että pelkästään hyötöreaktoreiden potentiaaliin ominaisuuksiin tuijottaessa unohdetaan helposti siirtymävaiheen hitaus käytännössä. Silti, vaikka vuosituhannen alkuun mennessä kovasti ei ehdi tapahtua, viidessä-kymmenessä vuodessa käyttötekniikka ehtii jo uudistua. Plutoniumin — ja epäsuorasti myös uraanin — riittävydestä voidaan päätyä hyvin erilaisiin päätelmiin

olettamalla hyötöreaktoreiden kahdentumis aika kuudeksi vuodeksi laskuissa nykyisin oletetun kolmenkymmenen vuoden asemesta. Kysymys on siitä, mitä vaihtoehtoja kulloinkin on käytännössä valittavana. Fuusioenergia voi olla kilpailija fissioenergialle viidenkymmenen vuoden kulluttua tai sitten ei.

Entä jos uraanintuottajien mielenkiinto katoaa?

Viime aikoina uraanin hinnat ovat todellakin olleet enemmän uraanin tuottajien kuin kuluttajien huolenaiheena. Reaalisesti uraanin hinnat ovat päivän markkinoilla palanneet 1970-luvun alun tasolle (kuva 2). Suurin osa uraanin ostoista perustuu kuitenkin usean vuoden toimitussopimukseen, joissa hintakehitys on ollut koko ajan tasaisempaa: Kun 1970-luvun puolivälissä päivän hinnat silloisessa rahassa liikkuivat yli 40 dollarin naulalta (yli 100 \$/kg; naulakohtaiset hinnat ilmoitetaan yleensä U_3O_8 :n suhteen, kilohinnat taas alkuainekiloa kohti), useimmat amerikkalaiset voimayhtiöt maksoivat uraanistaan sopimustensa nojalla 15—20 dollaria naulalta (40—50 \$/kg). Tätä nykyä sopimusten nojalla maksettavat hinnat ylittävät helposti kymmenellä dollarilla naulalta päivän hinnan. Sopimushinnat näyttävätkin edelleen täyttävän useimpien kanadalaisien ja australialaisten kaivosten kannattavuusvaatimukset, vaikeuksissa ovat lähinnä Yhdysvalloissa toimivat kaivokset (Australia tosin noudattaa ns. floor price -hinnoittelua). Etelä-Afrikan uraani saadaan sivutuotteena ja sikäläisillä tuottajilla näyttää olevan varaa hintojen alentamiseenkin.

Vallitsevasta alhaisesta hintatasosta huolimatta uraanin tarjonta näyttää säilyvän suhteellisen vakaana. Jo tehtyjen tuotan-



Kuva 2. Uraanin hintoja vuoden 1986 USA:n dollareissa vuosina 1972—1986.

tosuunnitelmien toteuttaminen säilyttäisi tuotantotason riittävänä ainakin tällä ja ensi vuosikymmenellä. Mikäli Kanadan ja Yhdysvaltain välillä suunniteltu vapaa-kauppasopimus syntyy, se voi johtaa Yhdysvaltain oman uraanintuotannon laskuun halvemmän ulkomaisen uraanin tunkeutuessa vapaasti markkinoille. Tämä saattaisi merkitä markkinatalousmaiden kokonaistuotannon pientä alenemista (Yhdysvaltain uraanintuotanto on nykyisin noin 10 prosenttia markkinatalousmaiden koko tuotannosta). Se voisi kuitenkin johtaa myös uraanin maailmanmarkkinahintojen kohoamiseen, mikä saattaisi puolestaan houkuttaa esiin uutta tuotantoa. Tilanne voisi näin stabiloitua suhteellisen nopeastikin. Tilapäisiä tuotannon vajeita voidaan täyttää esimerkiksi väkevöintijäänteen U^{235} -pitoisuutta (tails assay) laskemalla.

Halpa hintataso vähentää kylläkin kiinnostusta uraanin etsintöihin ja tutkimuksiin. Etsintöihin käytetyt varat ovat tiipattaneet alle kahteenkymmeneen prosenttiin vuoden 1979 huipputasosta (markkinatalousmaissa). Monilla uraanin tuottajilla on tiedossa riittävät tuotantomahdollisuudet kaivosten investointien kuolettamiseen, eivätkä nykyiset halvat hinnat houkuttele huomattaviin tuotannon laajennuksiin varsinkaan, kun kysynnän kasvuodotukset ovat perin vaatimatonta 1970-luvulla esitettyihin nähden. Lähivuosina uraanin saatavuus ei ole uusista löydöistä kiinni, mutta arvioitujen lisävarojen ja "spekulatiivisten" varojen muuttuminen todelliseksi resurssiksi edellyttää etsintöjen jatkamista. Esiintymän tunnistamisesta tuotannon aloittamiseen kuluu 10—15 vuotta. Liikkeellä on siis oltava kyllin aikaisin. Osa kuvan 1 mukaisista arvioituista lisävaroista lienee saatavissa suhteellisen nopeasti tuotan-

toon — koska esiintymiä on jo tiedossa joskin tutkimatta — mutta etsintäaktiiviteetin täydellinen loppaaminen näkyisi tarjonnassa viimeistään 2010-luvulla ja hinnoissa kenties jo aiemmin.

Entä jos kysyntä pomppaa?

Ydinvoimaloiden rakentamisajat ovat nykyisin sen verran pitkiä, että todellisen uraanitarpeen äkillinen nopea kasvu ei ole tällä vuosisadalla todennäköistä. Voimayhtiöillä on Yhdysvalloissa keskimäärin kahden, Euroopassa kolmen vuoden tarvetta vastaavat varastot, Japanissa tätäkin suuremmat, joten hamstraaminenkaan ei lähitulevaisuudessa näytä todennäköiseltä.

Jos sähkönkulutuksen suhteellisen nopea kasvu jatkuu ja suhtautuminen ydinvoimaan yleisesti muuttuu nykyistä myönteisemmäksi, uraanin kysyntä saattaa kylläkin ensi vuosisadalla kasvaa huomattavasti kuvassa 1 esitettyä nopeamminkin. Kysyntäodotusten kasvu näkyisi silloin todennäköisesti uraanin hinnoissakin, mikä vauhdittaisi myös polttoaineen käytön tehostamispyrkimyksiä. Sekä kehitteillä oleva laserväkevöintitekniikka että jälleenkieräytstekniikassa tapahtumassa oleva kehitys voivat vähentää uraanin tarvetta jo 2000-luvun ensi vuosikymmeninä.

Mitä jos politiikka sotkee asiat?

Politiikka voi sotkea asioita. 1970-luvulla puhuttiin tuottajien kartellista, jonka syyksi hintojen kohoaminen osaksi pantiin. Viime vuosina uraanin tuottajia ja kuluttajia on kiinnostanut erityisesti Yhdysvaltain energiaministeriön ja uraanintuottajien välinen kädenväntö uraanin tuontirajoituksista. Oikeustoimet ovat edelleen kesken, mutta suunniteltu Yhdysvaltain ja Kanadan välinen vapaa

kauppasopimus saattaisi viedä pohjan kiinnostelulta. Yhdysvaltain markkinoiden täydellinen avautuminen tuskin kuitenkaan heilauttaisi markkinoita kovinkaan rajusti.

Pääosa markkinatalousmaiden uraanista tulee kahdeksasta tuottajamaasta. Yksin Kanada edustaa noin 30 prosenttia koko tuotannosta. Sen tuotannosta noin viidennes kuluu omiin tarpeisiin. Vaikka eräissä provinseissa onkin tehty päätöksiä, joilla estetään uraanin etsinnät ja tuotanto, uraanintuotannon pääalueilla Saskatchewanissa ja Ontariossa poliittisia esteitä ei ole näkyvissä.

Lähiajan epävarmuuksista merkittävin koskee Etelä-Afrikan uraania. Etelä-Afrikan osuus markkinatalousmaiden uraanintuotannosta on tätä nykyä viitisentoista prosenttia. Tuotannosta suurin osa menee Länsi-Eurooppaan ja Japaniin. Etelä-Afrikan sulkeminen kansainvälisiltä uraanimarkkinoilta heilauttaisi todennäköisesti päivän markkinahinnat ylöspäin, mutta suuria vaikeuksia kyseisen tuotannon korvaamisen muilla lähteillä ei odoteta aiheutuvan. Maailmalla on edelleen ylisuuria uraanivarastoja, jotka hintojen kohotessa saattaisivat nopeasti työntyä markkinoille.

Tulevaisuuden kannalta merkittävää on Australian uraanintuotannon kehitys, koska yksittäisistä maista juuri Australialla on suurimmat tunnetut tai suurella todennäköisyydellä arvioidut uraanivarastot. Maassa on tällä hetkellä kaksi toimivaa kaivosta ja kolmas tulossa. Uraanin tuotanto on kuitenkin pitkään ollut sisäpoliittisena kiistakapulana, ja virallisen politiikan mukaan edellä mainittujen kolmen kaivoksen lisäksi muita kaivosprojekteja ei hyväksytä. Eräät luonnonpuistohankkeet uhkaavat estää myös uraanin etsinnät potentiaalisesti merkittävillä uraanialueilla. Yhtenä perusteena vastustukseen on usein vedetty esiin uraanin mahdollisen väärinkäyttö ydinaseiden valmistukseen. Uraani on kuitenkin tärkeä vientitavara Australialle, eikä maan totaalinen vetäytyminen uraanimarkkinoilla tulevaisuudessakaan näytä todennäköiseltä. Käynnistymässä oleva Olympic Dam kaivos tulee tuottamaan uraanin ohella kultaa ja kuparia ja ainakin tämän kaltaisissa tapauksissa päätös uraanin talteenottamisen ja viennin puolesta lienee tulevaisuudessakin helppo.

Ydinsulkupyrykimykset vaikuttavat kyllä kaiken kaikkiaan huomattavasti uraanimarkkinoihin. Uraanin viejät asettavat yleensä tiukkoja ehtoja uraanin ostajille — tämä näkyy Suomen uudessa ydinenergialainsäädännössäkin — ja tulevaisuudessakin uraanin kauppa tullee poikkeamaan muiden polttoaineiden kaupasta. Monimutkaisuudesta huolimatta kansainvälinen sopimuskäytäntö tuskin heikentää ydinpolttoaineen saantimahdollisuuksia Suomessa. Eräät suuret kehitysmaat ovat kylläkin katsoleet nykyisen käytännön uhkaksi ydinenergiasuunnitelmilleen ja pyrkineet mahdollisimman suureen omavaraisuuteen polttoaineen jalos-

tuksessa ja jälleenkäsittelyssä — mikä ehkä on takaisku harjoitetulle ydinsulkupoliittikalke.

Toimitushäiriöitä vastaan voidaan varautua varmuusvarastoin, eikä parin vuoden polttoainevarastojen ylläpito nykyisin polttoaineen hinnoin aiheuta ylivoimaisia kustannuksia. Suomessa on myös omia uraanivaroja. Tunnettuja kohtuullisin kustannuksin hyödynnettävissä olevia varoja on nykyisin noin 1500 tonnia, arvioituja kohtuuhintaisia lisävaroja vaajat 3000 tonnia. Yhteensä näillä tunnetuilla ja arvioituilla varoilla voitaisiin pyörittää nykyisiä voimaloita toistakymmentä vuotta. Jotta kyseisistä varoista olisi todella hyötyä, malmirikaste pitäisi kuitenkin saada joko ulkomailta tai kotimaassa jalostetuksi ja väkevöidyksi reaktoreihin sopivaksi polttoaineeksi. Nykyisellään ainakin väkevöintipalvelut pitäisi

voida ostaa ulkomailta. Tulevaisuudessa lasertekniikka voisi alentaa kustannuskynnystä, mutta kaikkien polttoainekierrolaitosten hankkiminen Suomeen tulisi silti varsin kalliiksi.

Mitä tästä kaikesta siis pitää päätellä.?

Uraania on riittävästi maapallolla niin nykyisten kuin nykyisin suunniteltavienkin ydinvoimaloiden tarpeisiin. Pitämällä tulevaisuudessa uraanin saatavuus riippuu etsintöjen jatkumisesta ja tulokellisuudesta; jo tehdyt tutkimukset luovat luottamusta uusien varojen löytymiseen, mikäli kiinnostus säilyy. Uraanin hintataso ei välttämättä säily nykyisellään kymmeniä vuosia, mutta toisaalta yhdestä uraanikilosta saatavan energian määrä voidaan jo nykyisin tunnetulla tekniikalla monikymmenkertaista, jos tämä talou-

dellisesti katsotaan kannattavaksi. Kannattavuus taas riippuu kaiken kaikkiaan olemassa olevista vaihtoehdoista. Poliittiset seikat saattavat luonnollisesti vaikuttaa uranimarkkinoihin, mutta tässäkin suhteessa tietty varmuus lienee helpommin ylläpidettävissä kuin kilpailevilla tuontipolttoaineilla. □

Lähdeluettelo

- 1 Uranium: Resources, production and demand. Paris, 1986. OECD Nuclear Energy Agency & International Atomic Energy Agency.
- 2 Nuclear energy and its fuel cycle. Paris 1987. OECD Nuclear Energy Agency & International Atomic Energy Agency.
- 3 Simon, J. L. & Kahn, H., The resourceful earth. London, 1984.
- 4 Trainer, F. E., A critical examination of "The ultimate resource" and "The resourceful earth". Technological forecasting and social change 30 (1986), s. 19—37.

Esa Mannola, TVO

BWR — polttoaineen käytönsuunnittelu

Ydinvoimalaitoksen polttoaineen käytönsuunnittelun muodostavat polttoainenipun reaktorifysikaalinen suunnittelu, vaihtolatauksen suunnittelu ja säätösauvojen ajojärjestyksen suunnittelu reaktorin käyttöjaksoa varten. Prosessi ulottuu usean vuoden jaksolle alkaen hankittavan polttoaineen rikastusjakautuman määrittelystä noin 2,5 vuotta ennen polttoaineen latausta sydämeen. TVO hoitaa Olkiluodon voimalaitoksen polttoainehuollon yhteistyössä VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion kanssa.

Polttoaineen käytönsuunnittelun tarkoituksena on ensi sijassa taata reaktorin suunniteltu ja joustava käyttö ja että halutut latausjaksojen pituudet pystytään saavuttamaan, kun kaikki turvallisuutta koskevat määräykset ja muut reunaehdot täytetään. Vaikka ydinvoimalaitoksen

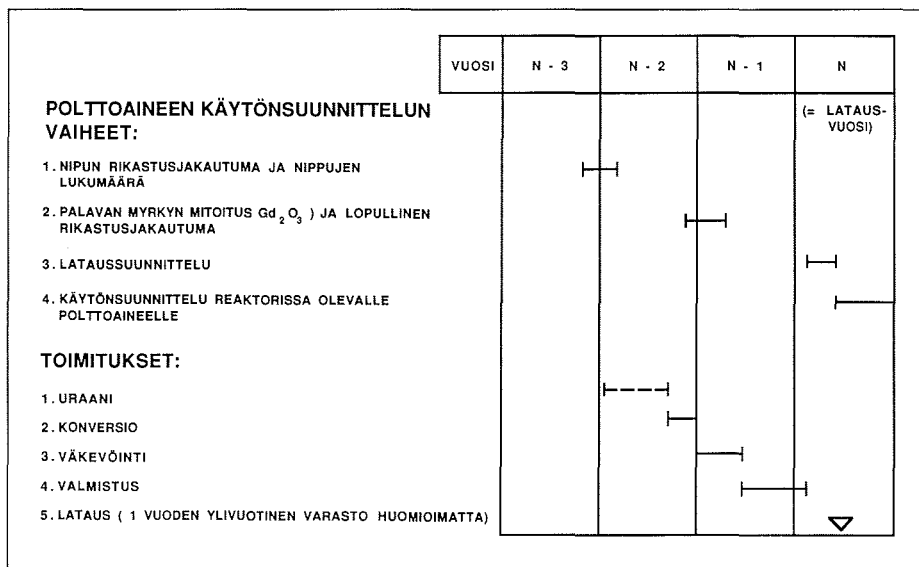
polttoaine on merkittävästi halvempaa kuin esim. hiilivoimalaitoksessa, on myös polttoainekustannusten minimointi ja käytetyn polttoaineen määrän minimointi jatkuvasti merkittävänä päämääränä.

Konventionaalisen polttotekniikan termein on reaktorin lataamista joskus leikkillisesti verrattu halkojen heittämiseen pesään. Luonteeltaan reaktorin toiminta muistuttaa kuitenkin ehkä enemmän tervahaudan palamista, jonka on itseksensä toimittava vaadittu aika ja säilytettävä vaadittu lämpötila ja joka on rakenteeltaan tavallista nuotiota monimutkaisempi.

Polttoainenipun suunnittelu

Ensimmäisenä vaiheena polttoaineen käytönsuunnittelussa on polttoainenipun reaktorifysikaalinen suunnittelu. Joskus tähän työhön liittyy myös itse polttoainetyypin valinta. Esim. TVO on siirtynyt alkuperäisestä 8 × 8-polttoaineesta 9 × 9-polttoaineeseen TVO I:llä ja ns. SVEA-vesiristipolttoaineeseen TVO II:lla. Nipputyypit sovitetaan useita vuosia ennen kuin polttoainetta ladataan reaktoriin suurempia määriä.

Polttoainenipun keskimääräinen rikastusaste kiinnitetään ja nipun sisäinen rikas-



Käytönsuunnittelun aikataulu.

DI Esa Mannola on Teollisuuden Voima Oy:n polttoainetoimiston reaktorifysiikan jaostopäällikkö, p. 90-605 022.

tusjakautuma suunnitellaan n. 2,5 vuotta ennen polttoaineen lataamista reaktoriin. Jos otetaan huomioon TVO:n yhden vuoden polttoainevarasto, tapahtuu se 3,5 vuotta ennen latausta. Normaalin käytönsuunnittelutyön aikataulu ilmenee taulukosta.

Polttoaineen keskimääräinen rikastusaste määrätään lähinnä sillä perusteella, että suunnitelluilla latausjaksojen pituuksilla saavutetaan haluttu polttoaineen poisalama ja samalla tuoreiden nippujen latausmäärä. Keskimääräinen rikastusaste on nostettu asteittain vuoden 1979 toimintuksiin verrattuna 2,75 %:sta 3,23 %:iin. Normaalisti rikastusjakautuma pidetään samana useammassa vaihtolatauserässä.

Nipun rikastusjakautuma suunnitellaan mm. siten, että nipun sisäinen tehokautuma tulee riittävän tasaiseksi samalla kun saavutetaan hyvä reaktiivisuus. Rikastusjakautumassa otetaan myös alustavasti huomioon "palavaa myrkyä" sisältävien polttoainesauvojen sijainti.

BWR-polttoaineessa käytetään ns. palavaa absorbaattoria (eli palavaa myrkyä). Absorbaattorina toimii uraanitabletteihin sekoitettava Gd_2O_3 . Normaalisti palavaa myrkyä on n. 6 polttoainesauvassa pitoisuuden ollessa n. 3—4 %. Palavaa myrkyä tarvitaan ennen kaikkea ylijäämäreaktiivisuuden kompensoimiseksi latausjakson alussa, koska pelkkien säätösauvojen teho ei riitä. Lisäksi sitä tarvitaan myös tehokautumien säätöön optimaalisessa latauksessa. Jälkimmäisessä tarkoituksessa sitä on alettu käyttää myös monissa PWR-polttoaineissa.

Mitä pidempi latausjakso, sitä enemmän myrkyä tarvitaan polttoaineessa. Latauspituudessa on tietysti määrätty joustoraja tietyllä myrkkymäärällä, parempi alaspäin kuin ylöspäin.

Palavan myrkyä mitoituksen suunnittelu tapahtuu (vrt. taulukko) n. 1,5 v ennen polttoaineen latausta. Tässä yhteydessä voidaan myös tarvittaessa tehdä pieniä muutoksia rikastusjakautumaan.

Lataussuunnittelu

Toinen vaihe käytönsuunnittelutyössä on reaktorin latauksen suunnittelu. Tässä vaiheessa on käytettävissä se polttoaine, joka on suunniteltu edellä esitetyllä tavalla ja toimitettu laitokselle varastoon.

Lataussuunnittelun tärkein reunaehto on haluttu latausjakson pituus täydellä teholla. Reaktoriin ladataan tämän mukaan tarvittava määrä tuoreita polttoainepippuja ja poistetaan vastaavasti palaneimmat niput. Rajoituksena isoille jaksonpituudelta muutoksille on polttoaineen palavan myrkyä mitoitus.

Polttoainepippujen latauskaavio optimoidaan, kaikki muut rajoitukset huomioiden, siten, että vaaditulla jaksonpituudella tarvittava tuoreiden nippujen määrä on mahdollisimman pieni.

Lataussuunnittelun muut rajoitukset ja reunaehdot ovat:

- Pienin dryout-marginaali ja suurin polttoainesauvan lineaarikuormitus jakson aikana sekä muut turvallisuusanalyysien rajoitukset.
- Riittävä alikriittisyys eri osissa reaktoria kylmässä tilassa (sulkumarginaali).
- Jakson aikana käytettävälle säätösauvoille suunnitellaan positiot lataukseen. Muutenkin säätösauvojen käytön tulee sujua hankaluuksitta jakson aikana.
- Tehonmuutosten ja ylösajojen kannalta reaktorisydämen tulee toimia hyvin.

Latausjakson loppuun ennen seuraavaa polttoainenvaihtoseisokkia suunnitellaan yleensä n. 3 viikkoa ns. "venytysajoa", jolloin latauksen "ylijäämäenergia" on kulutettu ja teho laskee tasaisesti n. 90 %:iin. Tämä pienentää polttoainenkulutusta n. 4 %. Ennen venytysajan alkua nostetaan reaktorin pääkiertovirtaus 7200—8200 kg/s sekä lasketaan syöttöveden lämpötilaa. Näillä toimenpiteillä lisätään jaksonpituutta n. 20 pv. Kuvassa on esitetty esimerkki tuoreiden nippujen sijoituksesta latauskaaviossa.

Reaktorissa oleva polttoaine

Viimeisenä vaiheena käytönsuunnittelussa on lopullinen reaktorin toiminnan suunnittelu eli käytönsuunnittelutyö reaktorissa olevalle polttoaineelle. Tämä laaja tehtäväalue sisältää mm: yksityiskohtaisen vetojärjestyksen suunnittelun eri säätösauvoille (säätösauvasekvenssit), reaktorin palaman ja reaktiivisuuden seurannan, mitattujen ja laskettujen tehokautumien seurannan.

Kun tämä vaihe on saatettu loppuun, siirretään polttoaine altaaseen odottamaan koko polttoainekierron viimeisiä käsitteilyvaiheita.

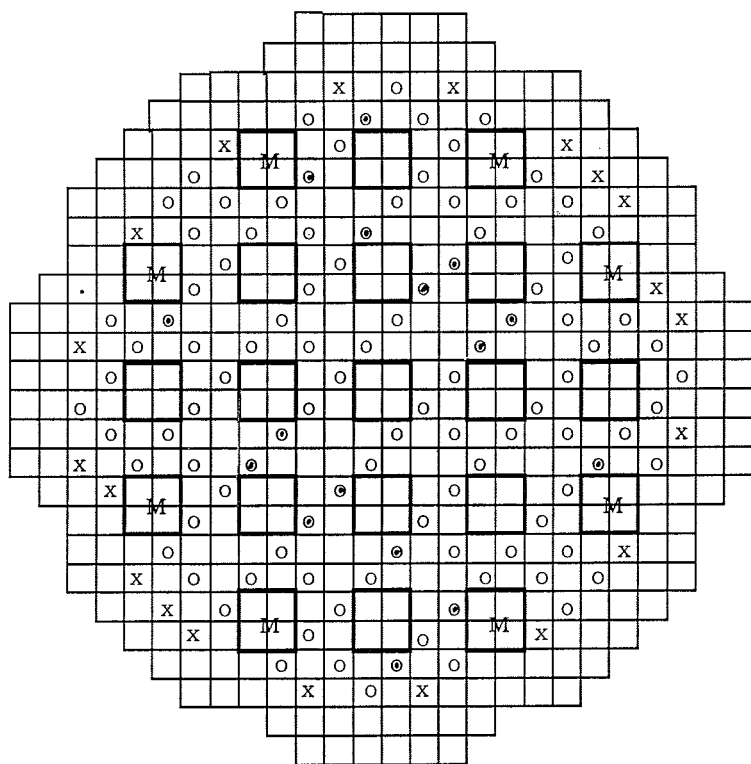
Edellä esitettyyn työhön osallistuvat polttoainetoimittajat, VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorio sekä TVO:n oma henkilökunta.

Suunnittelulaskuihin tarvitaan laajat tietokoneohjelmat ja tehokkaat laitteistoratkaisut. VTT:lla on käytössään polttoainepippua kuvaava CASMO-ohjelmisto ja TVO:lla koko reaktorin ja lataussuunnittelua käsittelevä ohjelmisto. □

TVO I, R187

LADATTAVAT NIPUT

J 18 21 23 26 28 31 33 36 38 41 43 46 48 51 53 56 58 61 63 66 68 71 73 76 78 81
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26



VP 1
VM 2
UP 3
UM 4
TP 5
TM 6
SP 7
SM 8
RP 9
RM 10
PP 11
PM 12
OP 13
OM 14
MP 15
MM 16
LP 17
LM 18
KP 19
KM 20
IP 21
IM 22
HP 23
HM 24
GP 25
GM 26



SÄÄTÖSAUVA-POSITIO
VALKOISET SAUVAT
6V

M: MATALA SÄÄTÖSAUVAPOSITIO



TVO II v1 5, 2,95 % (8x8) 20 kpl
BA: 5 x 3,15 %



TVO I v1 8, 9x9-1, 3,09 %
BA: 6 x 3,0 % + 1 x 4,0 %



TVO I v1 9, 9x9-1, 3,09 %
BA: 7 x 3,5 % + 1 x 4,5 %

(BA = PALAVA MYRKKY) YHTEENSÄ 126 kpl

Esimerkki tuoreiden nippujen sijoituksesta latauskaaviossa.

Polttoaine on sekä turvallisuuden että käyttötalouden kannalta ydinvoimalaitoksen tärkein komponentti. Siitä lähtee energia, siinä syntyvät mahdolliset saastuttajat; fissiotuotteet, kaasumaiset ja kiinteät, lyhytikäiset ja pitkäikäiset; vaarallimmat ydinjätteet. Polttoainekustannukset laitoksen eliniän aikana vastaavat suuruusluokaltaan laitoksen rakentamiskustannuksia.

Polttoainetutkimukseen on käytetty maailmalla paljon voimavaroja, ja käytetään jatkuvasti. Teknologia kehittyy, taloudellisuus- ja joustavuusvaatimukset kasvavat, materiaalit paranevat ja turvallisuusvaatimukset kiristyvät. Jokainen uusi polttoainekonstruktio on tutkittava, kokeiltava ja todistettava turvalliseksi.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus, teknilliset korkeakoulut, Helsingin yliopiston radiokemian laitos, Geologian tutkimuskeskus, Säteilyturvakeskus ja voimayhtiöt — kaikki nämä osallistuvat tai ovat osallistuneet polttoainekierron jonkin osan alueen tutkimukseen. Tutkimuksesta osa on julkisrahoitteista (KTM, VTT, STUK), osa voimayhtiöiden rahoittamaa.

Kansainvälistä yhteistyötä

Kotimaisen tutkimuksen rinnalle tarvitaan kansainvälistä yhteistyötäkin. Se on välttämätöntä, sillä meiltä puuttuvat polttoainetutkimuksen tärkeimmät välineet, tutkimusreaktorit ja kuumalaboratorio.

Oheisessa taulukossa on lueteltu tärkeimmät polttoaineen käyttäytymiseen liittyvät kansainväliset yhteistyöohjelmat, joihin Suomi osallistuu tällä hetkellä. Yhteydet pohjoismaisiin tutkimuslaitoksiin (Halden, Risö ja Studsvik) ovat olleet pitkäaikaisimpia ja myös hyödyllisimpiä. Yhteistyö Neuvostoliiton ja muiden SEV-maiden kanssa on tullut viime vuosina hyvin tärkeäksi, se antaa tutkijoillemme vaativia haasteita, joihin on pystyttävä vastaamaan. Kaiken kaikkiaan voidaan sanoa, että meillä on poikkeuksellisen laaja kontaktipinta polttoaineasioissa. Toivottavasti pystymme myös ylläpitämään sen tulevaisuudessa.

Henkilöresurssit rajoitetut

Volyymiltaan Suomen ydinpolttoainehuoltoon liittyvä tutkimus on vuosittain vajaa 20 henkilötyövuotta, joten aiheen laajuuden huomioon ottaen resurssit ovat varsin ohuet. Moni tärkeä alue on yhden tai kahden henkilön varassa. Huolestuttavaa on, että uusia alasta kiinnostuneita tutkijoita ei juuri löydy. Näillä näkymillä työtä kyllä riittäisi. □

Esa Vitikainen, Pertti Salminen, VTT

Kansainvälistä yhteistyötä ydinpolttoainetutkimuksessa

Taulukko. Julkisrahoitteinen (pääasiassa KTM ja VTT) ydinpolttoainehuollon tutkimus vuonna 1988.

Projekti	Organisaatio	Laajuus 1988	
		htv	1000 mk
Ydinpolttoaineen rakenne- ja käyttöominaisuudet	VTT	3,0	1270
Ydinaineiden valvonta-analyttinen projekti	HYRL	0,6	280
Ydinreaktorien turvallisuuden ja taloudellisen käytön reaktorifysiikkaaliset näkökohdat	VTT	1,1	590
Ydinpolttoainehuollon turvaamisen strategiat	VTT	0,5	220
Korkeapalamisen polttoaineen käyttäytyminen	VTT	1,8	930
Reaktorifysiikkaalisen laskentavalmiuden kehittäminen	VTT	1,3	550
Ydinreaktorin latauskaavion suunnittelu tekoälyn avulla	VTT	0,7	220
Yhteensä		9,0	4060

Taulukko. Tärkeimmät kansainväliset yhteistyöohjelmat.

Projekti	Isäntä-organisaatio	Kesto	Ohjelman sisältö (vastuuorganisaatio Suomessa)
OECD-Halden	Institut for Energiteknik Norja	1958—1990	Käynnissä kolmivuotiskausi 1988—90. Vain osa polttoainetekniikkaa. Suomalaisten osuus keskittynyt fissiokaasujen vapautumisen ja niiden vaikutusten sekä suoja-kuoren korroosiotutkimukseen. (VTT/MET ja YDI)
Super-Ramp II '9x9'	Studsvik Energiteknik Ruotsi	1987—1989	Keskialamisen (25 MWd/kgU) BWR-polttoaineen käyttäytyminen ja kestävyys nopeissa tehonnousuissa. (VTT/MET)
ROPE I	Studsvik Energiteknik Ruotsi	1987—1988	Tutkitaan instrumentoiduin sauvoin BWR-tyyppisen polttoaineen käyttäytymistä, kun sauvapaine on systeemipainetta suurempi (ns. lift-off-ilmion esiintyminen ja vaikutukset). (VTT/MET)
RISÖ III	Risö National Laboratory Tanska	1987—1990	Fissiokaasujen vapautuminen korkeapalamisesta polttoaineesta. Sauvan paineen ja polttoaineen lämpötilan yhtäaikaisten rekisteröinti uusilla instrumenteilla (VTT/YDI)
ELF	CEA, CEN, SEK, BN Belgia	1983—1988	Polttoaine-suojakuorivuorovaikutuksen ja muiden kuormanseurannan polttoaineilmiöiden dynamiikka. (VTT/YDI)
HBEP	BWL BATTELLE USA	1980—1989	Fissiokaasujen vapautuminen korkeilla palamalla (BWR < 40, PWR < 80 MWd/kg), pääpaino BR-3-reaktorisäteilytyksillä, myös TVO:n korkeapalamisen sauvojen tutkimuksia. (VTT/YDI)
MR	GKAE (SNTL) Kurchatov-instituutti	1982—1988	VVER-polttoaineen käyttäytyminen käyttötiloissa, säteilytykset MR-reaktorissa. (IVO)
MARIA	IAE Swierk Puola	1984—1990	VVER-polttoaineen käyttäytyminen onnettomuustilanteissa, säteilytykset MARIA-reaktorissa. (IVO)
BEFAST II	IAEA	1986—1991	Käytetty polttoaineen ja varastomateriaalien käyttäytyminen pitkäaikaisvarastoinnissa. (VTT/MET)

Seosoksidipolttoaineen käyttö kevytvesireaktoreissa

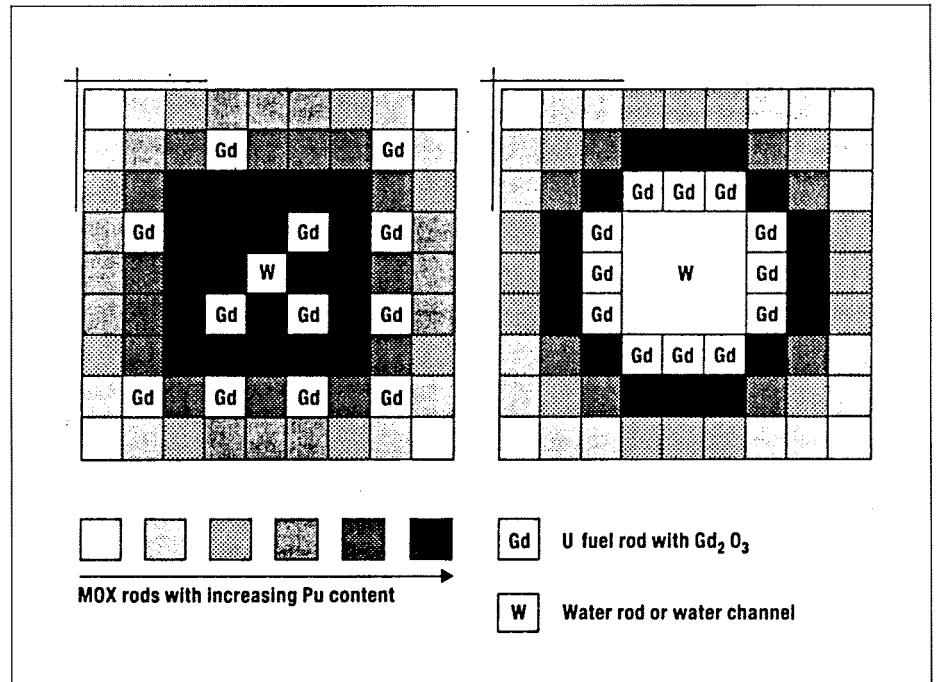
Aikoinaan käytetyn polttoaineen kaupallinen jälleenkäsittely aloitettiin, jotta saataisiin plutoniumia hyötöreaktori-ohjelmien käynnistämiseen. Hyötöreaktoreiden laajamittainen käyttöönotto on kuitenkin vuosi vuodelta siirtynyt yhä kauemmaksi tulevaisuuteen. Näin ollen plutoniumia tulee jatkossa kertymään huomattavia määriä yli hyötöreaktoriohjelmien tarpeen. Tässä tilanteessa plutoniumin uudelleen käyttö kevytvesireaktorien polttoaineena on noussut mielekkääksi vaihtoehdoksi ylimääräisen plutoniumin pitkäaikaiselle varastoinnille.

Jo 1960-luvulla aloitetut teoreettiset ja kokeelliset tutkimukset ovat osoittaneet, että plutonium on teknisesti käyttökelpoista kevytvesireaktorien polttoainetta. Plutoniumista valmistetaan seosoksidipolttoainetta, ns. mox-polttoainetta (mixed oxide fuel), jossa plutonium ja uraani ovat oksideina. Mox-polttoainetta tullaan valmistamaan ja käyttämään ainakin Saksan liittotasavallassa, Ranskassa, Belgiassa, Japanissa ja Isossa-Britanniassa.

Mox-polttoainetta suunniteltaessa tavoitteena on konstruoida nippu, jonka ominaisuudet poikkeavat mahdollisimman vähän vastaavasta uraanipolttoainepulverin mekaanisesta rakenteesta. Mox-nipun mekaaninen rakenne on käytännössä sama kuin tavallisella nipulla. Kuvassa 1 on esitetty KWU:n suunnittelema BWR:lle soveltuvia mox-nippujen rakenteita /1/.

DI Esa Vitikainen on VTT:n metallilaboratorion rakennetekniikan jaoston erikoistutkija, p. 90-456 5859.

TkL Jukka-Pekka Salo on Teollisuuden Voima Oy:n ydinjätetoimiston suunnitteluinsinööri, p. 90-605 022.



Kuva 1. KWU:n suunnittelemat BWR mox-niput: 9x9-1-tyyppi ja 9x9-90-tyyppi /1/.

Kierrättämällä kevytvesireaktoreissa jälleenkäsittelystä talteen saatavaa plutoniumia ja uraania voidaan parhaimmillaan säästää 30–40 % raakauraanin tarpeesta.

Nykyisillä uraanin ja jälleenkäsittelyn hinnoilla käytetyn polttoaineen jälleenkäsittely ei ole kuitenkaan taloudellisesti kannattavaa. Raakauraanin hinnan tulisi nousta 50 \$/lbU₃O₈ ja jälleenkäsittelykustannusten laskea 400–500 \$/kgHM ennenkuin plutoniumin erottaminen LWR:n mox-polttoainetta varten olisi taloudellisesti kannattavaa.

Mox-polttoaineen valmistusmenetelmät

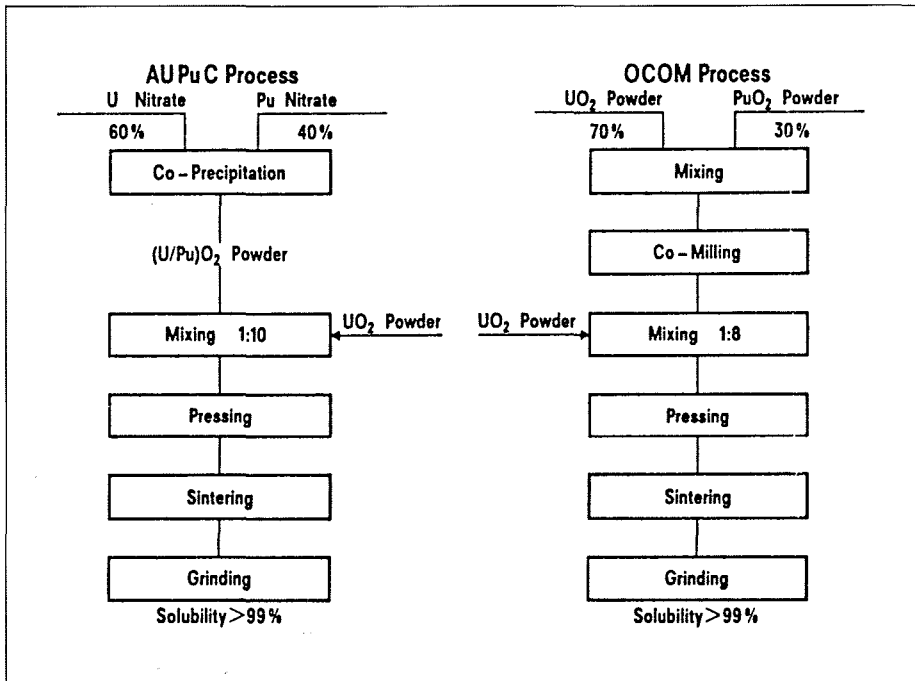
Perinteinen seosoksidipolttoaineen valmistusprosessi on ollut valmistaa polttoainetabletit plutonium- ja uraanioksidipulverien seoksesta. Menetelmä on periaatteeltaan sama kuin mitä käytetään uraanioksidipolttoaineen valmistamisessa.

Säteilysuojelunäkökohdat tulevat kuitenkin korostetummin esille seosoksidipolttoaineen valmistuksessa: plutoniumin säteilymyrkyllisyydestä (alfa-aktiivisuudesta) johtuen sitä käsitellään huoneilmasta eristetyissä tiloissa, ns. hanskabokseissa.

Jälleenkäsittelyssä erotettu plutonium on edullisinta käyttää polttoaineen valmistamiseen ilman pitkiä varastointiaikoja, koska plutoniumiin kertyy sitä varastottaessa Am-241:tä, joka on voimakas gamma-säteilijä.

Perinteisen mox-polttoaineen valmistusprosessin haittana on ollut, että plutoniumoksiidi ei sekoitu tasaisesti uraanioksiidiin, vaan esiintyy pieninä rakeina polttoainetableteissa.

Tämän takia on kehitetty tehokkaampia uraani- ja plutoniumoksidien sekoitusprosesseja. Näitä ovat mm. ranskalainen Migra-prosessi sekä saksalainen OKOM-prosessi (optimized commingling process), kuva 2. Tulevaisuudessa saksalaiset käyttävät mox-polttoaineen valmistuksessa lähinnä ALKEMin kehittämää AuPuC-prosessia, kuva 2. Tällöin plutonium tuodaan jälleenkäsittelylaitokselta nitraatina. Menetelmää käytettäessä plutonium- ja uraaninitraateista muodostetaan liuos. Liuos saostetaan ja tuloksena on sekoisidijauhetta (U(Pu)O₂). Menetelmää käytettäessä voidaan varastoinnin kuluksa kertynyt Am-241 poistaa jälle plutoniumin konversion yhteydessä.



Kuva 2. Seosoksidipolttoaineen valmistusmenetelmiä /1/.

Mox-polttoaineen valmistamisen ja käytön näkymät

Taulukossa 1 on esitetty arvio kevytvesireaktorioiden mox-polttoaineen valmistuskapasiteetin tulevasta kehityksestä. Vuoteen 2000 mennessä valmistuskapasiteetti nousee vajaaseen 500 tHM/a.

Seuraavassa käydään yksityiskohtaisemmin lävitse maakohtaisia mox-näkymiä.

Saksan liittotasavalta

Saksan liittotasavallassa alkuperäisenä tavoitteena oli kierrättää jälleenkäsittelyssä erotettava plutonium hyötöreaktoreissa. Koska plutoniumia kertyi kuitenkin yli hyötöreaktoriohjelman tarpeen, päätettiin ylimääräinen plutonium kierrättää kevytvesireaktoreissa.

Saksan liittotasavallassa onkin 20 vuoden aikana kehitetty mox-polttoaineen käyttöön liittyvä tekniikka pitkälle. Tämän ohjelman ovat toteuttaneet voimayhtiöt ja polttoaineen valmistajat (KWU ja ALKEM) valtioavallan tukemina. Vuosina 1987–1995 mox-polttoainetta tullaankin lataamaan länsi-saksalaisiin reaktoreihin lähes 1300 nippua.

Saksan liittotasavallassa mox-polttoainetta valmistaa vuonna 1963 perustettu yhtiö ALKEM, jonka tämänhetkinen mox-polttoaineen valmistuskapasiteetti on noin 25 t/a. Vuoteen 1990 mennessä tuotantoteho on tarkoitus nostaa 40 t/a.

Ranska

Vuodesta 1962 lähtien Cadarachessa on ollut toiminnassa CEA:n ja COGEMAN

yhdessä omistama mox-tehdas, joka on valmistanut polttoainetta ranskalaisiin hyötöreaktoreihin. COGEMA ja Belgonucleaire ovat myös perustaneet Commox-nimisen yhtiön, jonka tavoitteena on rakentaa mox-tehdas (100–120 t/a) Marcouleen 1993 mennessä. Tehtaassa valmistettavan LWR mox-polttoaineen hinnaksi on arvioitu 500–550 \$/kg mox.

Ranskassa (Electricité de France, EdF) päätettiin kierrättää jälleenkäsittelyssä erotettavaa plutoniumia PWR:ssä pari vuotta sitten. Synnä tähän päätökseen oli plutoniumin ylituotanto. Tällä toiminnalla voidaan säästää Ranskassa noin 10 %:a luonnonuraanin ja väkeväintytön tarpeesta /2/.

Japani

Japanissa on valmistettu FBR:n mox-polttoainetta vuodesta 1965 lähtien. Mox-polttoaineen laajamittainen käyttö kevytvesireaktoreissa on tarkoitus aloittaa 1990-luvulla. Taulukossa 1 on esitetty arvio Japanin mox-polttoaineen valmistuskapasiteetin kehittymisestä.

Belgia

Belgonucleaire valmisti vuonna 1963 maailman ensimmäisen LWR:n mox-nipun, joka ladattiin BWR-reaktoriin. Yhtiö käynnisti mox-polttoaineen kaupallisen valmistuksen Desselin tehtaalla vuonna 1973. Hyötöreaktorioiden ja LWR-ien polttoainetta on toimitettu Belgiaan, Italiaan ja Saksan liittotasavaltaan. Desselin tehtaalla nimelliskapasiteetti on 35 t/a, joka on tarkoitus kaksinkertaistaa vuoteen 1995 mennessä.

Iso-Britannia

BNFL:lä on varastoituna tonneittain Magnox-reaktorioiden polttoaineesta erotettua plutoniumia, jota tultaneen käyttämään mox-polttoaineen raaka-aineena jatkossa. 1990-luvun puolivälissä on tarkoitus käynnistää Springfieldissä tehdas, joka valmistaa mox-polttoainetta LWR:ille ja AGR:ille. □

Taulukko 1. Arvio mox-polttoaineen tulevasta valmistuskapasiteetista tHM/a (tHM = tonnes of heavy metal). Esitetyt luvut ovat 90 % nimelliskapasiteetista.

	1987	1990	1995	2000
Ranska:				
CEA Cadarache	—	13	13	13
COGEMA MELOX*	—	—	108	108
Belgia:				
Belgonucleaire Dessel	14	32	64	64
Saksan liittotasavalta:				
ALKEM Hanau	27	50	90	90
Japani:				
PNC Tokai	9	36	36	126
Iso-Britannia:				
BNFL	—	—	54	90

*Commox-yhtiö (Cogeman ja Belgonucleairen yhteisomistus) rakennuttaa Melox-laitoksen.

Lähdeluettelo

/1/ Schlosser G. J., et al., Thermal Recycling of Plutonium and Uranium in the Federal Republic of Germany. Back End of the Nuclear Fuel Cycle: Strategies and Options. IAEA-SM-294/33. Vienna 1987.

/2/ Nuclear Fuel, 13.7.1987

Tiedottaminen — ydinenergian ydinkysymys

Teknis-taloudellisten ja turvallisuuteen liittyvien seikkojen lisäksi ydinenergia-alan keskeiseksi tavoitteeksi on noussut ydinenergian yleisen hyväksyttävyyden lisääminen. Tämän tavoitteen saavuttamisessa tärkeä keino on objektiivinen ja oikeanlainen tiedottaminen yleensä energiahuollosta ja erityisesti ydinenergiasta. Tiedottamiseen liittyviä kysymyksiä käsiteltiin tammikuussa ENS:n järjestämässä PIME'88 -kokouksessa Montreux'ssa, Sveitsissä.

Ydinoimalaitosten teknisessä toimivuudessa ja turvallisuudessa ei ole ongelmia, vaikkakin turvallisuutta ja käyttövarmuutta pyritään jatkuvasti parantamaan muun muassa panostamalla voimakkaasti laitosten käyttöön ja käyttöhenkilökunnan koulutukseen. Myös ydinjätteen lopussijoituksen toteuttamisen tämänhetkiset vaihtoehdot ovat toimivia ja edelleen kehitettyinä täyttävät varmasti kaikki niille asetetut tiukatkin kriteerit. Jopa fuusioenergian kaupallista tuotantoa pidetään vain ajan kysymyksenä. Ydinenergian tärkeimmäksi ja käytännössä ainoaksi todelliseksi ongelmaksi onkin noussut yleinen hyväksyttävyyden.

Tällä hetkellä useimmissa maissa, joissa gallupein mitataan yleistä mielipidettä, on ydinenergian vastustajia yli puolet väestöstä. Päätäjien kannanottoja ja päätöksentekoa tämä ohjaa selkeästi. Tosin vastustuksen seuraukset vaihtelevat maittain huomattavastikin aiheuttaen eritasoista taloudellista haittaa: USA:ssa monien rakenteilla olevien laitosten käyttöönotto on siirtynyt, Ruotsissa ollaan hyvin toimineita laitoksia pysäyttämässä ennenaikaisesti ja Ranskassa haittaa koituu maan kannalta hyvin merkittävälle ydinenergia-alan teollisuudelle. Näihin verrattuna Suomessa on selvitty varsin pienin seurauksin, kun suunnitelmassa ollut viides ydinvoimayksikkö siirtyi tulevaisuuteen ja kasvava sähkön tarve tyydytetään 1990-luvun alkupuolella pääosin perinteisellä hiilisähköllä, mikä ei ilmeisesti ole teollisuuden eikä luonnonsuojelijoiden mieleen.

Järkevää tiedottamista

Useimmissa teollistuneissa maissa asian tuntijat katsovat ydinenergian olevan niin olennainen edellytys yleiselle vauraudelle, energiansaannin varmuudelle ja teollisuuden kilpailukyvyllä, että sen hyväksyttävyyden saavuttamiseksi on tehtävä huomattavasti töitä. Nykyisten hyvin toimivien ydinvoimalaitosten rinnalla tärkein keino hyväksyttävyyden saavuttamiseksi on objektiivinen, kattava ja avoin tiedottaminen ydinenergiasta sekä asiallinen julkinen keskustelu.

Ydinalan tiedottamisen problematiikkaan paneuduttiin PIME'88 -kokouksessa (Public Information Materials Exchange) Montreux'ssa 24.—27.1.1988. Kokouksen järjesti ENS (European Nuclear Society) ja siihen osallistui edustajia kaikista ENS:n jäsenmaista sekä ANS:sta (American Nuclear Society). Kokouksen tarkoituksena oli ydinenergia-alan tiedottamiseen liittyvän kokemuksen, tiedon ja materiaalin vaihto. Suomen edustus kokouksessa oli laajapohjainen ja kokouksen valmistauduttiin etukäteen hyvin PEVOn Juhani Santaholman vetämässä työryhmässä, mikä osoittanee että meillä ehkä monia muita maita paremmin ymmärretään tiedotuksen merkitys. Koordinoitua osallistumisesta seurasi, että Suomen tiedotustilanteesta muodostui selkeä kokonaiskuva verrattuna muihin maihin, joista eri organisaatiot osallistuivat kokoukseen vain omilla nimissään.

Kokouksessa toimi sekä avaus- että päätöskeskustelun puheenjohtajana Anders Palmgren IVO:sta. Suomalaiset esittivät kaksi valmisteltua puheenvuoroa (case-studya):

- Taina Engros, TVO, "Information activities Before and During Bedrock Investigations" ja
- Antti Ruuskanen, IVO, "Public Opinion Surveys and Explaining Nuclear Power to the Public in Finland".

Lukuisten esitelmien lisäksi näytettiin runsaasti ydinenergiasta informoivia videoita ja filmejä, joista saimme monia mainioita ideoita myös Suomessa toteutettavaksi. Suomesta oli ainoastaan yksi video "TVO studies the Bedrock". Videoiden vähyys korvattiin kuitenkin kahdella diasarjalla sekä näyttävällä ja laajalla painetun materiaalin kokoelmalla, jotka olivat esillä kokouksen yhteydessä järjestetyssä näyttelyssä. Kokouksen anti oli

hyvä sekä luotujen yhteyksien että saadun tiedon ja materiaalin osalta.

Ydinvoima osana muuta energiatiedotusta

"Ydinenergia on vain osa kansallista energiahuoltoa", totesi Ruuskanen esityksessään. Tähän sisältyy ehkä enemmän viisautta kuin äkkipäätä huomataan. Ymmärtääkseni tämän lausahduksen tajuminen on avain ydinenergian yleiseen hyväksyttävyyteen.

Julkisuudessa olisi selvästi esitettävä ydinvoiman rooli maamme energiahuollossa ja erityisesti sähköntuotannossa. Nykyään asenne kaikkiin energiamuotoihin on enemmän tai vähemmän negatiivinen. Kasvavan energiantarpeen tyydyttämiseksi kysymyksen tulevista vaihtoehdoista (hiili, maakaasu, tuontisähkö ja ydinvoima) on valittava ne, jotka ovat taloudellisia, turvallisia ja ympäristöystävällisiä sekä hyötyjen ja haittojen punninnan jälkeen myös yleisesti hyväksyttävissä.

Pohjimmiltaan tilanne pitäisi olla se, että julkinen mielipide arvostaisi energiaa ja sen tuotantoa eräänä elinehtonamme ja vaurauden lähteenä nyky-yhteiskunnassa. Tällainen on esimerkiksi maatalouden asema ollut jo aikojen alusta. Tämä arvostus saavutetaan vain hyvin suunnitellulla ja suunnatulla tiedottamisella, jos ei haluta käyttää ns. bulgarialaismallia eli sähköä poikki tunnin ajaksi kerran vuorokaudessa. Menetelmä on sinänsä tehokas muistuttaja siitä, että energia ei ole mikään itsestäänselvyys.

Energian yleisen arvostuksen myötä myös ydinenergian hyväksyttävyyden lisääntyminen, kun se nähdään osana koko energiatuotantoamme. Tiedottamisessakin olisi ydinenergiaa käsiteltävä osana kokonaisuutta, eikä vain yksisilmäisesti tuotava esiin sen erinomaisuutta tai huonoutta. Nykyisin mottona voisi olla "älä heitä lasta pois pesuveiden mukana", kuten asian osuvasti PIMEssä ilmaisi Carl A. Goldstein USCEA:sta (U.S. Council for Energy Awareness). Tiedottamisella olisi pyrittävä osoittamaan, että lapsi on hiekan pirteämpi kuin muut ja pesuvesikin puhtaampaa.

Tunneasioita on turha perustella teknisin argumentein

Ydinvoiman suuri vastustus verrattuna muihin energialähteisiin perustuu pitkälti tunteeseen, ei tekniseen tietämykseen.

Tunteenomainen vastustaminen perustuu taas mitä ilmeisemmin mielleyhtymiin ydinaseiden kanssa ja radioaktiivisen säteilyn pelottavuuteen. Lisäksi on muistettava, että hyvinkin yksinkertainen pelotelu vaikuttaa paljon helpommin ihmisiin kuin moninkertainen määrä tosiasioita.

PIMEssä todettiin, että laajan teknisen informaation antaminen yleisölle on lähes kokonaan hukkaan heitettyä työtä. Sen sijaan pitäisi toimia suuren yleisön ehdoilla. Thomas A. Margerison NEIG:sta (Nuclear Electricity Information Group, Englanti) totesi hieman mukailtuna: "Ei yleensä tarvitse tietää, miten auto toimii; riittää kun se on hyvännäköinen ja kohtuuhintainen, jotta sitä voi ajaa."

Oikeastaan voitaisiin pohtia, onko virheellistä perustella tunneasioita teknisin argumentein. PIMEssä Irene Aegerter (Sulzer Brothers Ltd, Sveitsi) neuvoi: "Tiedota sydämellä, älä järjellä!" Ajatellaanpa vaikka henkilöä, joka todistelee rakkauttaan toiseen ihmiseen teknisin ja taloudellisin sekein. Entisaikaan tämä saattoi vielä tepsä, mutta nykyään on todennäköisempää, että saa kavionkuvan jonnekkin tai ainakin rukkaset.

Tiedottamisen keinot

Tiedottamista suunniteltaessa on syytä aluksi miettiä, mikä on kohderyhmä. Energia-tiedottamisen suhteen kohderyhmä on luonnollisesti kaikki kansalaiset. Tämä asettaa tiedottamiselle entistä suuremmat vaatimukset, mutta toisaalta se helpottaa pysymään objektiivisella ja totuudenmukaisella tiellä, kun ei tarvitse kumartaa toiseen ja kääntää selkää toiseen suuntaan.

Tiedotuskanavia ei ole syytä ainakaan alkuvaiheessa rajata, kun vain pidetään mielessä että liika informaatio tukahduttaa ja liian vähä jättää kylmäksi. Kuten mikä tahansa yleinen sivistäminen, olisi myös energiaan liittyvä kasvatus työ syytä aloittaa jo peruskoulussa. Tätä kautta päästään ajan kanssa yleensä hyviin tuloksiin. Nykyisen aikuisväestön tiedon lisääminen on ongelmallisempaa. Tunnettuja hyviä kanavia ovat lehdistö ja sähköiset tiedotusvälineet.

Erityisesti energiakysymyksiä käsittelevä painettu materiaali tavoittaa varsin huonosti tavallisen kansalaisen, jolle tieto lähinnä suunnataan. Hyvä tiedotuskanava on henkilökohtaisten kontaktien kautta tapahtuva tiedottaminen ja esimerkiksi voimailtovierailut erilaisille seuroille, kerhoille, jne. Nykyaikaisia keinoja ovat lisäksi videot ja filmit, jotka hyvin tehtyinä saavuttavat varmasti paremmin kuulijansa kuin painettu materiaali ja ovat parhaimmillaan nimenomaan kouluissa tuettuna painetulla opetusmateriaalilla.

PIMEen valmistautuminen osoitti, että meillä Suomessa on runsaasti hyvää kirjallista materiaalia ydinvoimasta, ydinjätehuollosta ja säteilystä. Tosin video- ja filmimateriaalia on liian vähän. PIMEssä sovittiin, että alan organisaatiot suunnittelevat ja käynnistävät yhteisvoimin ydininformaatiota koskevan materiaalin ylläpitämisen ja kehittämisen Suomessa. □

Juhani Santaholma, PEVO, WEC

Maailman energianäkymistä

Maailman energiakuva näyttää rauhalliselta. Suomi elelee halvan energian yltäkylläisyydessä — ainoa ongelma on valinta vaihtoehtojen välillä. Varakkailla mailla ei näytä olevan energiahuolia. Köyhillä mailla ei ole varaa energiaan, muttei muuhunkaan, mihin energiaa tarvittaisiin. Jos keskustelua pitkän aikavälin energiakysymyksistä yleensä käydään, se kohdistuu siihen, hoitavatko energiapolitiikka ja markkina-voimat energiatulevaisuuden itsestään, vai tikittääkö jossain aikapommi, joka laukeaa etsikkoajan mentyä ohi.

Maailman Energiakonferenssi WEC on selvittänyt energiantarvetta erittäin pitkällä aikavälillä vuoteen 2060 saakka ja eri energiamuotojen mahdollisuuksia tyydyttää tätä tarvetta. Tulokset on julkaistu vuoden 1986 lopulla WEC:n selvityksessä Long Term Evolution of the World Energy Demand and Resources Balance. Tämä kiisteltykin selvitys on täyttännyt tarkoituksensa jo herättämällä keskustelua oikeellisuudestaan niin energian kokonaiskulutuksen kuin eri energiamuotojen mahdollisuuksienkin osalta.

Kuvassa 1 on esitettyä WEC:n selvityksen yhteenvetokuva maailman energiahankinnan mahdollisesta kehityksestä kohtuullisen kasvun vallitessa. Siinä on esitetty myös eri energiamuotojen mahdollisuudet kattaa kysyntää.

Selvityksen perusteella näyttäisi maailman energian hankintatarve kasvavan 1980-luvun puolivälistä lukien lähes kaksinkertaiseksi vuoteen 2020 mennessä ja lähes kolminkertaiseksi vuoteen 2060 mennessä. Tähän vaikuttavat mm. yleinen pyrkimys taloudelliseen kasvuun sekä maailman väestön voimakas lisäys.

Varatuomari Juhani Santaholma on Perusvoima Oy:n varatoimitusjohtaja ja WEC:n Suomen osaston pääsihteerri, p. 90-694 4811.

Kuinka vastata kasvavaan energiantarpeeseen?

Riippumatta siitä, onko todellinen kehitys WEC:n selvityksen mukainen vaiko ei, on kuvasta 1 luettavissa eräitä selkeitä viestejä:

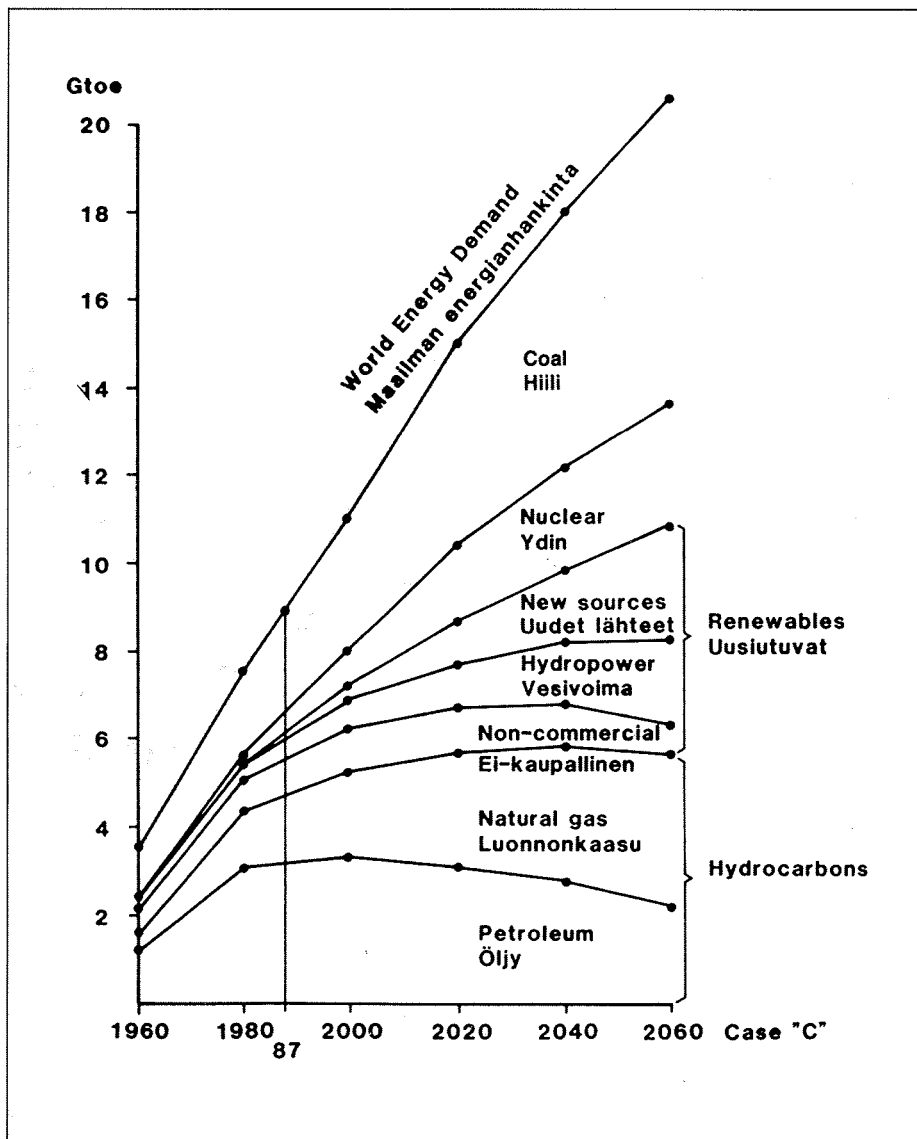
- Maailman energiantarve kasvaa pitkällä aikavälillä voimakkaasti.
- Energiansäästöä ja tehokkaampaa käyttöä on edistettävä.
- Kivihiilen energiakäyttö eri muodoissaan tulee kasvamaan voimakkaasti.
- Jos muita energialähteitä, kuten ydinvoima, suljetaan pois vaihtoehtojen joukosta, kasvaa kivihiilen osuus entisestään. Näin käy myös, elleivät uudet energialähteet, esim. fuusioenergia ja kova aurinkoteknologia, kehity eräiksi pääenergialähteiksi.
- Kaikki energiavaihtoehdot on siis pidettävä mukana energiahuollon päätöksiä tehtäessä.

Seuraavassa tarkastellaan eri energialähteiden mahdollisuuksia vastata kasvavaan kysyntään.

Öljy

WEC arvioi, että tunnetut konventionaalisen öljyn varat ovat lähes 100 Gtoe, lisävarat 36 Gtoe ja spekulatiiviset lisävarat n. 180 Gtoe. Tämän lisäksi tunnetut ei-konventionaaliset öljyvarat, esim. öljyhiekka ja -liuske ovat 13 Gtoe ja niiden arvioitua lisävarat 304 Gtoe. WEC:n mukaan öljyn kulutus saavuttaa huippunsa vuosituhatteen vaihteessa, jolloin sen käyttö on n. 3,5 Gtoe/a. Siitä eteenpäin kehitys on hiljalleen laskevaa. Öljyn suhteellinen osuus maailman energiahankinnasta laskee WEC:n mukaan niin, että kun se vuonna 1980 oli n. 40 %, se olisi vuosituhatteen vaihteessa n. 30 %, vuonna 2020 runsaat 20 % ja vuonna 2060 enää 10 % energiahankinnasta.

World Petroleum Congress, joka on maailmanlaajuinen öljyalan järjestö, näkee konventionaaliset luonnonöljyvarat osapuulleen samansuuruisiksi kuin WEC:kin. Kuitenkin öljyteollisuus arvioi, että ei-konventionaaliset öljyvarat tulevat jatkamaan öljyn käyttökäyrän huippua noin vuoteen 2050, jolloin öljyn käyttö olisi edelleen n. 3,5 Gtoe/a. Näin ollen käsitys siitä, että öljyä riittäisi vain kolmeksi vuosikymmeneksi eteenpäin, on öljyalan mukaan erheellinen. Eikonventionaaliisiin öljyvaroihin kuuluu myös synteettisen öljyn valmistaminen kivihiilestä, jota riittää. Öljyalan mukaan ei-konventionaalisen öljyn tuotantokus-



Kuva 1. Maailman energianhankinnan mahdollinen kehitys WEC:n selvityksen mukaan [1].

tannukset ovat jo tämän päivän teknikalla vuoden 1979 öljykriisin huippuhintojen rajoissa. Ensi vuosituhanen puolella öljyn tulevaa hintaa määrävät käyttöön otettavien ei-konventionaalisten öljyvarojen tuotantokustannukset. Hinta luonnollisesti vaikuttaa myös kysyntään ja siten myös öljyn osuuteen energiahuollossa.

Maakaasu

Maakaasu on eräs maailman pääenergiälähde. Tarkastelujaksolla vuoteen 2060 saakka se näyttää WEC:n mukaan vakiinnuttavan asemansa noin 17 %:iin maailman energianhankinnasta. Todetut maakaasuvarat ovat n. 75 Gtoe ja arvioidut lisävarat runsaat 150 Gtoe. Kaasuvarojen ehtymistä on odotettavissa vuosien 2040–2060 tienoilla monilla voimakkaan kulutuksen alueilla.

Ei-kaupalliset energialähteet

WEC:n mukaan ei-kaupallisiin energialähteisiin kuuluvat mm. kerätty poltto-puu, kotitalouksien jätteet, kuten karjanlanta, oljet, paikallinen aurinkoenergia ja tuulen hyväksikäyttö jne. Tämän energialähteen varassa on suurin osa kehitysmaiden väestöstä. Sen käyttö tarkastelujak-

solla on suurimmillaan n. 1 Gtoe/a, ja prosenttiosuus maailman energianhankinnasta n. 10 %:n luokkaa. Tämän energialähteen osuus on hitaasti aleneva. Siihen liittyy lisäksi voimakas ympäristörasitus mm. ilmansaastumisen ja eroosion johdosta. Tämä energiamuoto on myös voimakkaasti kytkeyksissä maailman väestöräjähdyksen mukanaan tuomiin ongelmiin.

Vesivoima

Vesivoimalla on WEC:n arvioissa kasvava osuus maailman energiahuollossa. Kasvu tapahtuu pääasiassa eteläisen pallonpuoliskon alueilla, ennen kaikkea Etelä-Amerikassa, koska teollistuneiden alueiden lähellä olevat vesivoimavarat on jo tehokkaasti hyödynnetty. WEC:n mukaan vesivoiman osuus kasvaisi nykyisistä 5 %:sta 9 %:iin maailman energianhankinnasta vuoteen 2060 mennessä. Öljyyn suhteutettuna vastavat luvut olisivat 1980-luvulla 0,4 Gtoe ja 2 Gtoe vuonna 2060.

Uudet energialähteet

WEC:n ryhmityksessä uusia energialähteitä ovat laajamittainen aurinkoenergian käyttö, geotermienergia, biomassan

uudet käyttömuodot ja pitkällä tähtäimellä vasta kehitysasteella olevat energiamuodot, kuten fuusioenergia. Maailmanlaajuisesti arvioiden niiden käyttö on vielä tänään hyvin vähäistä. Koska uusien energialähteen laajamittainen käyttö ja kohoaminen pääenergiälähteiksi on vaativan ja pitkäjänteisen kehitystyön takana, on uusille energialähteille vielä vuonna 2000 arvioitu niinkin pieni kuin 0,8 Gtoe:n tuotanto. Olettaen kehitystyön kuitenkin jatkuvan, on uusien energialähteen tuotannon vuonna 2060 arvioitu olevan jo 2,5 Gtoe. Ellei kehitystyö onnistu, merkitsee tämä entistä suurempaa painetta muita energialähteitä kohtaan. Nykyiset halvat energianhinnat eivät ole omiaan edistämään kalliiden, uusien energialähteen kehittämistä.

Ydinenergia

Nykyisentyypisissä reaktoreissa käytettynä maailman tunnetut uraanivarat ovat 26 Gtoe. WEC:n mukaan lisävarat ovat 32 Gtoe ja spekulatiiviset varat 105 Gtoe. Nykyisillä reaktoriohjelmilla, joissa vuoden 1987 lopulla oli käytössä lähes 410 reaktoria sekä rakenteilla ja tilattuina lähes 200 reaktorilaitosta, tiedossa olevat uraanivarat riittäisivät noin vuoteen 2015 sekä arvioidut lisävarat ja spekulatiiviset varat ainakin ensi vuosisadan puoliväliin saakka. Mikäli hyötöreaktoriohjelmat edistyvät tehokkaasti, on mahdollista, että uraanivarojen riittävyys voisi olla jopa 60-kertainen. Kuten fuusioenergiankin kohdalla, tämä edellyttäisi kuitenkin tehokasta ja kallista kehitystyötä.

Olettaen kehitystyön onnistuvan WEC on arvioinut, että ydinvoiman osuus maailman energianhankinnasta voisi kasvaa nykyisestä 4 %:sta, eli 0,3 Gtoe:n määrästä 11 %:iin vuonna 2020 ja 14 %:iin vuoteen 2060 mennessä. Viimeksi mainittu osuus merkitsisi n. 2,8 Gtoe vastaavaa energiamäärää. Tämä kehitys tapahtuisi pääasiassa pitkälle teollistuneissa maissa.

Uraanin kohdalla on lisäksi otettava huomioon, etteivät nykyiset reaktoriohjelmat ole omiaan aktivoimaan uusien uraaniesiintymien etsintää ja käyttöönottoa. Kysynnän kasvaessa kuva kuitenkin muuttuu. Koska polttoainekustannukset ovat pääomavaltaisessa ydinvoiman tuotannossa suhteellisen pieni osuus, voidaan varsin köyhiäkin uraaniesiintymiä hyödyntää kokonaistalouden kärsimättä.

Kivihiili

Kivihiilellä on suuri tulevaisuus edessään. Sitä tullaan käyttämään kasvavassa määrin sekä primäärienergiälähteenä että muuntoprosessin kautta mm. kaasun ja ei-konventionaalisen öljyn muodossa. Kysyntä alkaa todennäköisesti kasvaa hyvin voimakkaasti vuosisadan vaihteen jälkeen. Tunnetut hiilivarat ovat 650 Gtoe ja arvioidut lisävarat 2700 Gtoe. Hiilen nykyinen käyttö on 2 Gtoe/a. Käytön arvioidaan kasvavan 4 Gtoe:iin vuonna 2020 ja 7 Gtoe:iin vuonna 2060. Hiilen suhteellinen osuus näyttää kasvavan nykyisistä yli 20 %:sta lähes 35 %:iin maailman energianhankinnasta vuoteen 2060 mennessä.

Maailman hiilivarojen arvioidaan riittävän useiksi sadoiksi vuosiksi. Hiilen osalta ongelmaksi muodostuvat ennen kaikkea ympäristölliset kysymykset.

Mikäli uusia energialähteitä ei onnistuta kehittämään tai nykyisiä energialähteitä, kuten ydinenergia, suljetaan pois vaihtoehtojen joukosta, merkitsee tämä entistään kasvavaa kivihiilen käyttöä.

Energian säästö ja tehokkaampi käyttö

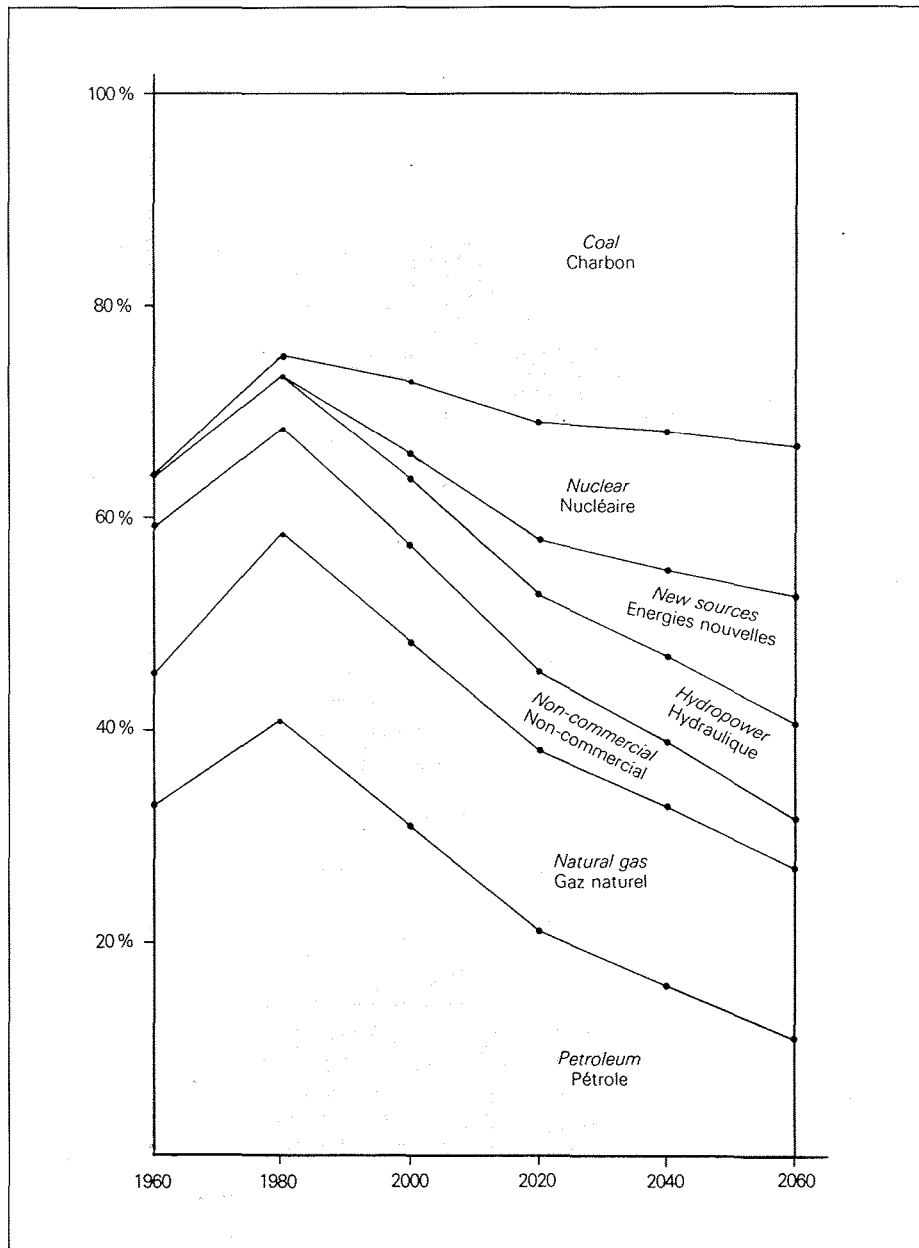
WEC:n edellä viitatuissa arvioissa on otettu huomioon myös tehostettu panostus energian säästöön ja tehokkaampaan käyttöön. Verrattuna vuoteen 1973 (ensimmäinen öljykriisi) on arvioitu, että vuoteen 1985 mennessä oli päästy 13 %:n säästöön energianhankinnasta, mikä vastaa 1,2 Gtoe/a. Kehitys jatkuisi niin, että vuoteen 1973 suhteutettu säästön osuus olisi 24 % vuonna 2020 ja 37 % vuonna 2060. Vastaava energiamäärä olisi 12 Gtoe.

Edellä mainittuja suurempiin säästölukuihin lienee vaikeata päästä, koska teollistuneessa maailmassa on jo nyt toteutettu huomattavia energiankäytön tehostamisohjelmia. Teollistuvissa ja köyhissä maissa pääomia kysyvät laajat investoinnit energian säästöön kohtaavat lisäksi huomattavia vaikeuksia.

Energiatutkimus- ja kehitystyö

Maailman energiankulutus on siis jatkuvassa voimakkaassa kasvussa. Samaan aikaan on jo nyt näköpiirissä, että yksinkertaisesti hyödynnettävän halvan energian aika on rajallinen. Energiantarpeen kattaminen edellyttää entistä vaativamman teknologian kehittämistä ja käyttöönottoa. Tämä koskee kaikkia energiamuotoja öljystä ydinvoimaan ja uusiin energialähteisiin, ajateltakoon vain esimerkkinä fuusioenergiaa. Kasvavan energiankäytön ympäristörasitusten pienentäminen on vasta alullaan. Teknologia ei ole polttamiseen liittyvissä ratkaisuissa lähelläkään täydellistä. Myös energian säästö ja tehokkaampi käyttö vaatii huomattavaa tutkimus- ja kehityspanosta, ei ainoastaan energia-alalla vaan kaikkialla missä energiaa käytetään: lämmittämisesä ja jäähdyttämisesä, teollisissa prosesseissa, liikenteessä jne.

Energia-alan tutkimukseen ja kehittämiseen käytetyt varat kasvoivat esimerkiksi OECD:n International Energy Agency'n (IEA) jäsenmaissa voimakkaasti ensimmäisen ja toisen öljykriisin jälkeen niin, että ne olivat vuosina 1980–81 10 miljardin USD:n luokkaa vuodessa. Tämän jälkeen tutkimus- ja kehitystyöhön käytetyt varat ovat kuitenkin vähentyneet tasaisesti IEA:n jäsenmaissa niin, että ne olivat vuonna 1986 öljyn hinnan romahdettua enää runsaat 7 miljardia USD. Reaalisesti varat ovat pienentyneet vielä huomattavasti enemmän. Tähän huoles



tuttavaan kehitykseen kiinnitti huomionsa Kansainvälisen kauppakamarin energia-komission puheenjohtaja, Sveitsiä edustaja Michael Kohn esityksessään, jonka hän piti Kansainvälisen kauppakamarin Suomen osaston järjestämässä esitelmälaisuudessa kesäkuussa 1987. Vähennystä ei ole tapahtunut ainoastaan julkisella sektorilla, vaan myös yritysten piirissä niin, että joissakin yrityksissä pudotus on ollut jopa 40 %:n luokkaa.

Suomessa energiatutkimukseen ja -kehitykseen käytetyt varat nousivat 1979 öljykriisin jälkeen nopeasti 0,5 promilleen bruttokansantuotteesta vuonna 1981. Sen jälkeen tämä suhde on ollut jokseenkin vakio, joten tutkimus- ja kehitystyöhön vuosittain käytettyjen varojen reaaliarvo on säilynyt. Vaikka varojen määrä Suomessa ei olekaan laskenut, on täälläkin kiinnitettävä huomio mieluummin panostuksen lisäämiseen. Ainakaan sitä ei ole päästettävä alenemaan.

Tikittäkö aikapommi?

Onnistuneen energiapolitiikan turvaaminen edellyttää, ettei jatkossakaan suljeta mitään energiamuotoa vaihtoehtojen ulkopuolelle. Ydinenergiaohjelmiakin tulee jatkaa sähköntuotannon alalla. Hyvän energiatulevaisuuden takaamiseksi on myös energia-alan tutkimus- ja kehitystyöhön panostettava tulevaisuudessa entistä enemmän, jotta päästään uusien pääenergiälähteiden hyödyntämiseen.

Vain näin menetellen voidaan edetä tasapainoisesti ja hallitusti kohti uusia energiajärjestelmiä, jotka takaavat riittävän energiansaannin ympäristön kannalta siedettävien rasituksin. Tikittävää aikapommiä ei välttämättä vielä ole. Meidän ei tule myöskään sallia sellaisen syntymistä. □

Lähdekirjallisuutta

1 Long Term Evolution of the World Energy; Balance and Demand (Blue Book). WEC, Cannes 1986.

Suomen roolista kansainvälistyvässä fuusioenergiatutkimuksessa

Kansainvälinen yhteistyö fuusioenergian rauhanomaisen käytön tutkimuksessa lisääntyy tulevaisuudessa entisestään. Seuraavan polven kooreaktorit kuten NET (Next European Torus) tai ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) ovat yhteistyöhankkeita, joilla pyritään mahdollisimman pitkään askeleeseen kohti kaupallista fuusioenergian tuottoa. Myös Suomen tulisi harkita vakavasti liittymistä kansainväliseen fuusioyhteistyöhön. Se on ainoa menetelmä hankkia laajemmin korkeatasoista tietämystä ja osaamista fuusioteknologiasta, joka pitkällä aikavälillä voi tarjota lopullisen ratkaisun energiakysymykseen.

Kansainvälinen fuusioenergiatutkimus on jatkunut intensiivisenä aina 50-luvulta lähtien. Alun optimismi hälveni nopeasti, kun koko ongelmakentän vaikeus ja laajuus paljastui. Perusongelmana on kuumen (100 milj. astetta) polttoaineplasman koossapito, jotta energiaa tuottavia fuusioreaktioita ehtii tapahtua riittävästi. Koossapitotekniikassa tapahtui merkittävä edistysaskel 60-luvun lopulla, jolloin Neuvostoliitossa kehitettiin nk. tokamak-laitte. Se osoittautui ylivoimaiseksi muihin magneettiseen koossapitoon perustuviin laitteisiin nähden. Tokamak-keksimistä lähtien on edistys ollut ripeää, sillä plasman koossapito on parantunut n. tekijällä kymmenen aina viiden vuoden välein laitteisiin koon kasvaessa. Tällä hetkellä ollaan aivan nk. "breakeven"-tason tuntumassa, missä vapautuvan fuusioenergian määrä ylittää plasman kuumenemisen ja koossapitoon kuluvan energian määrän.

Suuria tokamak-laitteita on toiminnassa kolme: Yhdysvaltojen TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor), Euratom- NET (Joint European Torus) ja Japanin JT-60. Lisäksi valmistumisvaiheessa on kaksi suprajohdattavaa magneeteilla varustettua tokamakia Neuvostoliiton T-15 ja Ranskan Tore Supra. Näistä JET on yhteishanke, jossa mukana ovat EC-maiden

lisäksi Ruotsi ja Sveitsi. Rakennuskustannuksiltaan em. laitteet ovat 1—2 miljardin markan luokkaa.

Kansallisten hankkeiden lisäksi on suunnitteilla kaksi kansainvälistä yhteislaitetta Euratom- NET (Next European Torus) sekä INTOR (International Tokamak Reactor), jota on valmisteltu IAEA:n suojissa. INTOR-suunnittelussa ovat mukana Euratom, Japani, Neuvostoliitto ja Yhdysvallat. Suurvallat ovat sopineet INTOR-työn jatkamisesta IAEA:ssa. Jatkoprojekti kulkee nimellä ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). NET ja INTOR (tai ITER) sisältävät kaikki täysimittaisen fuusio-reaktorin oleelliset toiminnot ja ovat termiseltä teholtaan luokkaa 600 MW. Rakennuskustannuksiksi voidaan arvioida 5—10 miljardia markkaa ja valmistusjankkohta olisi vuosituhatvaihteessa. Rakentamispäätös tehtäen vuosikymmenen vaihteessa, jolloin olemassa olevista tokamakeista saatu tietopohja on riittävä.

Perustelut tutkimuksen laajentamiselle

Pitkällä aikavälillä fuusio on lupaava vaihtoehto keskitettyyn energiantuotantoon. Erittäin pienissä kehittyneissä maissa fuusioenergian osuus voi nousta merkittäväksi jo kaupallisen tuotannon ensivuosisyntyinä. Tämä edellyttää kuitenkin monipuolista teknologista valmiutta, joka voidaan saavuttaa ainoastaan pitkäjänteisellä panostuksella fuusiofysiikan ja -teknologian tutkimukseen. Aihepiiriin laajuus merkitsee luonnollisesti tiivistä kansainvälistä yhteistyötä eli käytännössä osallistumista johonkin suureen yhteishankkeeseen. Suomen kannalta mielenkiintoisimpia ovat eurooppalainen NET-tokamak tai ITER-tyyppinen koko maailman kattava yhteisprojekti.

JET-polven jälkeen tulevat fuusiokeoreaktorit ovat jo sellaisenaan mittavia teollisuushankkeita, joiden rakennuskustannukset ovat 10 miljardin markan luokkaa. Suomen osallistuminen tutkimusyhteistyöhön avaisi ovet myös kotimaisille huipputeknologian yrityksille laite- ja palvelu- ja tutkimusmuodossa. Jalansijan saanti kooreaktorivaiheessa antaisi hyvät lähtöasetat myös kaupallisiin fuusiovoimaloihin siirryttäessä, jolloin markkinoiden laajuus tulisi kertalukuja suuremmaksi. Fuusioteknologian osa-alueita, joilla Suomella on valmiuksia tai ne on hankittavissa, ovat ainakin suprajohdattavat magneettijärjestelmät (koossapitomagneetit ja suprajohdattavat energiavarastot), instrumentointi ja automaatio, vakuumi- ja kryotekniikka, uudet materiaalit, vahvavirtakomponentit ja robotiikka. Näiden osalta Suomella on hyvät edellytykset toimituksiin, joiden arvo voisi selvästi ylittää NET-jäsenyydestä aiheutuvat kustannukset.

Itse tutkimustyön kannalta kansainväliset suurhankkeet tarjoavat fuusio- ja plasmafysiikan lisäksi haastavia tutkimuskohteita eri fysiikan ja tekniikan alueilta. Näistä Suomea voisivat kiinnostaa materiaalitutkimus, neutroniikka, suprajohdattavat, turvallisuus- ja luotettavuusanalyysi sekä diagnostiikkamenetelmät. Näin NET-tyyppinen suurprojekti tarjoaisi sekä tieteelliselle tutkimustyölle että suomalaiselle teollisuudelle erittäin monipuoliset mahdollisuudet.

Itse tutkimustyön kannalta kansainväliset suurhankkeet tarjoavat fuusio- ja plasmafysiikan lisäksi haastavia tutkimuskohteita eri fysiikan ja tekniikan alueilta. Näistä Suomea voisivat kiinnostaa materiaalitutkimus, neutroniikka, suprajohdattavat, turvallisuus- ja luotettavuusanalyysi sekä diagnostiikkamenetelmät. Näin NET-tyyppinen suurprojekti tarjoaisi sekä tieteelliselle tutkimustyölle että suomalaiselle teollisuudelle erittäin monipuoliset mahdollisuudet.

NET-tokamak

Euratom- NET-tokamak-ohjelmassa seuraavana askeleena JET-projektin jälkeen on NET-tokamak, jonka alustava suunnittelu ja tavoitteiden määrittely alkoi vuonna 1983. Päätös NET:n rakentamisesta tehdään aikaisintaan 1990, jolloin tietopohja JET-polven laitteista on tarpeeksi laaja. Päätökseen vaikuttaa luonnollisesti IAEA:n ITER-hankkeen eteneminen. Mikäli ITER-reaktori tullaan rakentamaan, NET-hankkeesta luovuttaneen Euratom- NET:n suuntaan ITER:n asemasta on myös mahdollista, sillä JET-projektin kokemukset ovat olleet myönteisiä. JET-organisaatio toimii joustavasti ja tehokkaasti ja on pystynyt pitämään kustannukset suunnitelluissa rajoissaan.

Dimensioiltaan NET on lähes kaksinkertainen JET-tokamakiin verrattuna. NET:n termiseksi fuusiotehoksi arvioidaan 600 MW, mikä on yli kymmenkertainen JET-laitteeseen verrattuna. NET-tokamak- fuusiofysiikkaaliset tavoitteet ovat:

- tasapaino-olosuhteiden saavuttaminen palojakson aikana
- plasman tiheyden ja lämpötilan hallinta fuusiopalon aikana
- uuden DT-polttoaineen syöttö ja He-tuhkan poisto palon aikana

TkT Seppo Karttunen on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion teknismatemaattisen jaoston erikoistutkija, p. 90-694 4811.

Tärkeimpinä fuusioteknologisina tavoitteina mainittakoon:

- erilaisten vaippakonstruktioiden testaus mm. tritiumin hyötöä ajatellen (testimodulit)
- pääkomponenttien (esim. suprajohtavat magneetit) luotettavuuden arviointi
- fuusioplasman ja ensiseinämän vuorovaikutukset

Yllä mainittujen tavoitteiden saavuttaminen tapahtuu vaiheittain. Ensimmäisenä vaiheena on plasman käyttäytymisen hallinta fuusiopaloa vastaavissa olosuhteissa deuterium(D)-plasmassa, minkä jälkeen siirrytään fuusioenergiaa tuottavaan deuterium-tritium(T)-plasmaan.

NET—tokamakin rakennuskustannusten tarkka arviointi ei tässä vaiheessa ole mahdollista, koska laitteen yksityiskohdista suunnittelua ei ole vielä saatu päätökseen. Karkeasti arvioiden hinta voisi olla 5—10 miljardia markkaa, mikä on n. viisinkertainen JET-polven tokamakihin verrattuna.

Tutkimusalueet

NET- tai ITER-tyyppinen suurhanke pitää sisällään laajan spektrin plasma- ja sovellettua fysiikkaa sekä erilaisia uuden tekniikan sovellutuksia (taulukko). Seuraavassa käydään läpi lyhyesti Suomen kannalta kiinnostavimmat alueet.

Plasma- ja fuusiofysiikka

Suomessa tehty plasma- ja fuusiofysikaalinen tutkimustyö on keskittynyt intensiivisen sähkömagneettisen säteilyn ja plasman välisiin vuorovaikutuksiin. Erityisesti on tutkittu laservalon ja plasman epälineaarisia kytkentämekanismeja, jotka ovat keskeisiä laser-fuusion toteuttavuutta ajatellen sekä tokamak-plasman radiotaaajuus-kuumennusta. Tutkimustyö on osin tehty yhteistyönä ulkomaisten laboratoriodien kanssa (mm. Rutherford Appleton laboratorio Englannissa ja Ecole Polytechnique Ranskassa).

Radiotaaajuus (rf)-kuumennus on noussut tokamakien tärkeimmäksi kuumennusmenetelmäksi reaktoritasolla, joten rf-kuumennusta ja -virtagenerointia koskevan tutkimustyön jatkaminen on hyvin perusteltua. Rf-aalloilla on myös mahdollista ylläpitää plasmavirtaa, mikä tekisi tokamakista jatkuvatoimisen. Reaktorin ajatellen tämä olisi ratkaiseva etu pulssimaiseen toimintaan verrattuna. Toinen haastava ja edelleen heikosti ymmärretty alue on energian kuljetus ja plasman stabiilisuus, jotka määräävät tokamak-plasman koossapito-ominaisuudet ja toimintaparametrit.

Uutena ja mielenkiintoisena tutkimuskohteena voidaan mainita α -kuumennus, mikä on eräs tärkeimmistä alueista juuri NET-luokan laitteissa. Plasman syttyminen ja korkean lämpötilan ylläpito perustuu LT-fuusiosta vapautuviin 3,5 MeV α -hiukkasiin (^4He -ytimet), joiden relaxoituminen ja kuljetus tokamak-plasmassa on keskeisin kysymys fuusion toteuttavuutta ajatellen. ET-polven tokamakit tulevat lähivuosina antamaan ensimmäistä kertaa kokeellista tietoa α -hiukkasten käyttäytymisestä magneettisesti koossapidetystä plasmassa.

Taulukko. Suomea kiinnostavia tutkimus- ja sovellutusalueita NET- tai ITER-projektissa.

Fysiikka	Teknologia
<p>Plasmafysiikka</p> <ul style="list-style-type: none"> • rf-kuumennus ja -virranajo • aalto-partikkelivuorovaikutus • α-kuumennus ja -kuljetus • aalto-aaltovuorovaikutus • mikroepästabiilisuudet <p>Atomifysiikka</p> <ul style="list-style-type: none"> • plasma-materiaivuorovaikutus • epäpuhtaudet • emissiodiagnostiikka • divertori <p>Neutroniikka</p> <ul style="list-style-type: none"> • tritiumin hyötö • neutronimonistus • aktivoituminen • neutronivauriot • neutronispektroskopia <p>Optiikka</p> <ul style="list-style-type: none"> • laserdiagnostiikka 	<p>Suprajohteet</p> <ul style="list-style-type: none"> • magneettijärjestelmät • energiavarastot • kryogeniikka <p>Materiaalit</p> <ul style="list-style-type: none"> • ensiseinämä • vaippa/säteilysuojus <p>Instrumentointi/automaatio</p> <ul style="list-style-type: none"> • tietojenkäsittely <p>Robotiikka ja kauko-ohj.järjestelmät</p> <p>Turvallisuus- ja luotettavuusanalyysi</p> <p>Rakenneanalyysi</p> <p>Vahvavirtatekniikka</p> <p>Vakuumitekniikka</p>

Muu fysiikan tutkimus

Itse plasma- ja fuusiofysiikan lisäksi NET-projekti tulee tarjoamaan runsaasti sovellutuksia muilta fysiikan alueilta. Plasman reunan ja ensiseinämän välinen vuorovaikutus on atomifysikaalisesti monikapas ja tärkeä, koska tätä kautta plasman kulkeutuu raskaita epäpuhtauksia. Nämä voivat lisätä tuntuvasti plasman säteilyhäviötä ja vaikeuttaa sitä kautta fuusion sytyttämistä tai johtaa fuusiopalon enneaikaiseen sammumiseen.

Fuusioneutroniikka on uusi tutkimusalue, josta tullaan saamaan kokeellista tietoa vasta NET-luokan laitteista. DT-reaktioista vapautuvasta fuusioenergiasta on 80 % (14,1 MeV) neutronien muodossa. Neutronit hidastetaan plasmaa ympäröivään vaippaan, jonne ne luovuttavat energiansa. Vaipassa tapahtuu myös toisen polttoainekomponentin tritiumin hyötö fuusioneutronien ja litiumin välisissä reaktioissa. Siten neutroniekonomia ja T-hyötön optimointi ovat avainkysymyksiä DT-fuusiosta. Ensiseinämän neutronivauriot ja aktivoituminen muodostavat myös tärkeän ongelmaryhmän, sillä ensiseinämän kestoikä neutronikuormituksen alaisena määrää käytännössä ylärajan plasman tehokkuudelle. Neutronispektroskopian käyttö fuusioplasman ja fuusiopalon diagnostiikassa tarjoaa myös mielenkiintoisia tutkimusmahdollisuuksia.

Edellä mainittujen alueiden lisäksi voidaan vielä mainita optiset ja magneettiset diagnostiikkamenetelmät, suurtaajuiset ja -tehoiset radiotaaajuuslähteet sekä kuumennukseen käytettävät neutraalisuihkujinjektorit.

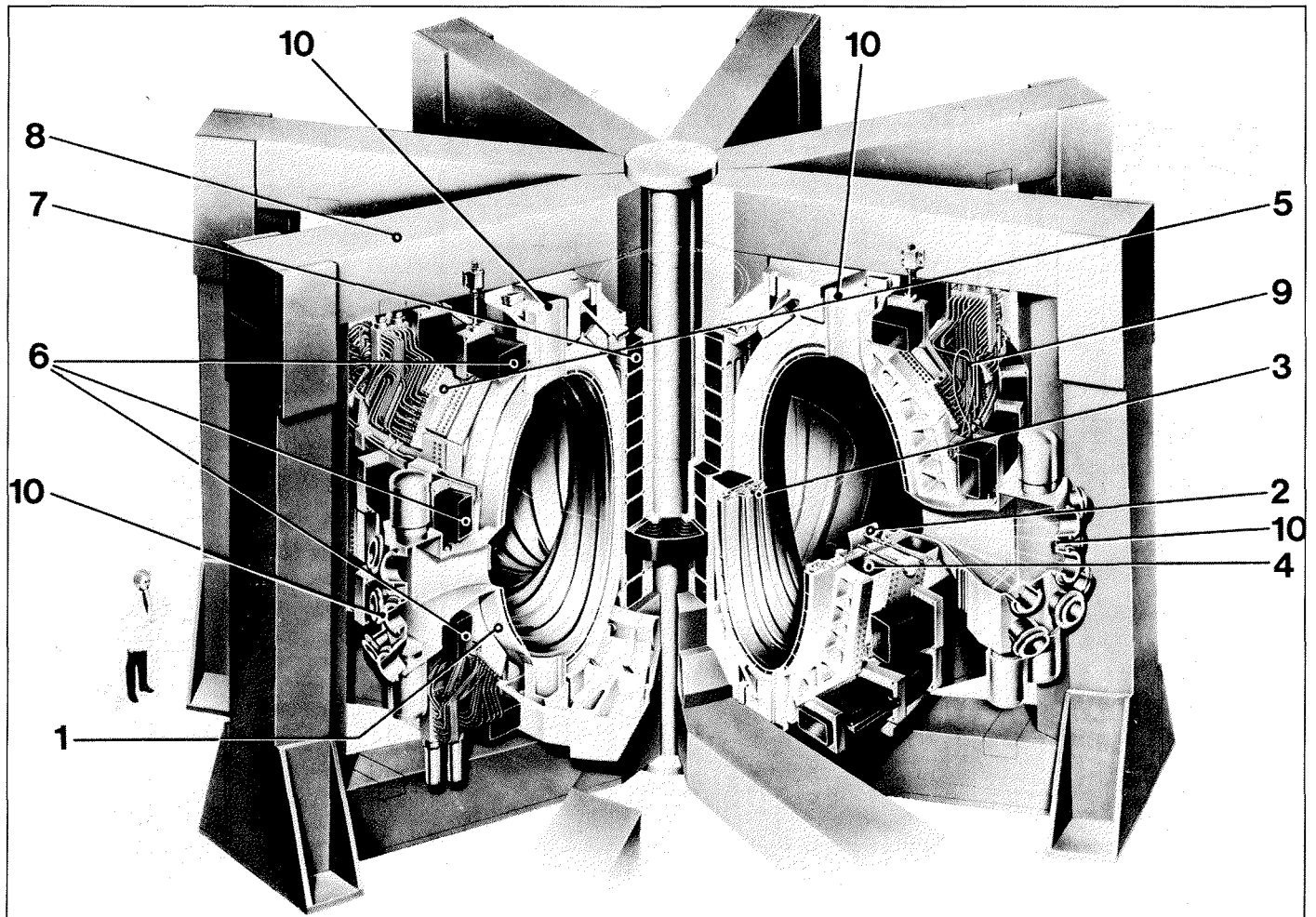
Fuusioteknologia

Jo koereaktorivaiheessa tullaan tarvitsemaan uusia tietämystä useilta huipputeknologian osa-alueilta. Tämä merkitsee tutkimustyötä ja tuotekehittelyä koereak-

torin komponentti- ja laitehankintojen suhteen sekä koereaktorin käyttöä teknologiatutkimukseen ja menetelmien testauksiin kaupallisia fuusiovoimaloita silmällä pitäen.

Tärkein fuusioreaktorin komponenttiryhmä on suprajohtava magneettijärjestelmä, joka koostuu useista toroidaalimagneeteista ja plasmavirran indusointiin käytettävistä poloidaalimagneeteista. Esim. NET-tokamakissa D-muotoisten toroidaalimagneettien korkeus on yli 10 m ja uloimpien poloidaalimagneettien halkaisija on n. 20 m. Näin suurten suprajohtomagneettien valmistamisesta ei ole kokemusta. Tehtävä tulee olemaan erittäin vaativa, sillä magneettien tulee toimia ehdottoman luotettavasti koko NET-tokamakin käyttöä. Mikäli suprajohtomateriaaliksi valitaan niobi-tina, jolla päästään suurempiin magneettikentän arvoihin kuin niobi-titaanilla, tehtävä vaikeutuu entisestään, koska Nb₃Sn käytöstä suurissa magneeteissa on kertynyt vähän kokemusta NbTi-magneetteihin verrattuna. Suomella on hyvät valmiudet osallistua suurten suprajohtomagneettien kehitystyöhön, sillä Outokumpu Oy toimittaa lähiaikoina suuren NbTi-magneetin neuvostoliittolaiseen MHD-generaattoriin. Fuusiolaitteen komponenteista suprajohtomagneetit ovat selvästi kalleimmat, joten jo osatoimituksetkin tulevat olemaan taloudellisesti merkittäviä.

Materiaalikysymykset ovat ratkaisevassa asemassa fuusioenergian kaupallistumista ajatellen. Tässä suhteessa NET-projekti edustaa tärkeää askelta, koska siinä voidaan testata eri materiaaleja ensimmäisen kerran todellisissa reaktoriolosuhteissa. Erityisesti plasmalla lähinnä oleva ensiseinämä joutuu alttiiksi neutroni- ja plasmapartikkelipommitukselle. Optimaalisen materiaalin tulisi kestää 2—5 MW/m² neutronirasitusta vuosia ja ihannetapauk-



Kuva. JET-tokamakin kaaviokuva. 1) vakuuikammio, 2) plasman rajoitin, 3) vakuuikammion sisäsuoja, 4) D-muotoinen toroidaalimagneetti (32 kpl), 5) kammion tukirakenteet, 6) uloimmat poloidaalikelat plasmavirran indusointiin, 7) sisemmät poloidaalikelat, 8) tuet ja rautasydän, 9) sähkö- ja jäähdytysvesiliitännät, 10) vaaka- ja pystyläpiviennit plasmatilaan plasmadiagnostiikkaa ja neutraalisuihkua varten.

sessä aktivoitua mahdollisimman vähän. Edelleen ainakin NET toimii pulssimaisesti, mikä vaikeuttaa tilannetta materiaalien osalta.

Pitkälle viety robotiikka on välttämätön jo NET-luokan koereaktoreissa. Reaktorin sisäosat aktivoituvat voimakkaasti fuusioneutronien pommituksessa, joten huolto-, korjaus- ja muutostöidenpiteitä ei voi suorittaa ihmisvoimin. Koska tokamakin geometria on erityisen hankala, reaktorin on koostuttava sektoreista, jotka ovat irroitettavissa ja uudelleen liitettävissä suhteellisen helposti. Koereaktoreissa tämä korostuu, sillä laitteiston on oltava erittäin joustava erilaisten vaippa- ja ensiseinämäkonstruktioiden kokeiluissa ja testauksissa. Ennalta suunniteltujen huolto- ja muutostöiden lisäksi kauko-ohjattavien robottien tulee suoriutua myös odottamattomista korjaustöidenpiteistä, mikä asettaa niiden monipuolisuudelle tiukat vaatimukset. Robotiikasta fuusiolaitteissa saadaan ensimmäiset käyttökokemukset lähivuosina, jolloin JET- ja TFTR-tokamakeissa siirrytään fuusiokokeisiin DT-plasmalla.

Fuusioreaktorien turvallisuustutkimus on alue, jossa fissioreaktoreista kertynyttä tietämystä sekä niissä käytettyjä menetelmiä voidaan käyttää hyväksi. Keskeisin turvallisuuskysymys fuusiovoimaloissa on radioaktiivinen tritium ja sen käsittely.

Tritium on β -aktiivinen ja sen puoliintumisaika on n. 12 vuotta. Se luokitellaan radiomyrkyllisyydeltään lieväksi. Reaktorin aktivoituneet sisäosat eivät ole käytön aikana ongelma, koska sitä kautta vapautuva radioaktiivisuus on vähäistä (ensiseinästä plasmajaan joutuvat epäpuhtaudet).

Resurssitarve ja koulutus

Arvioitaessa suomalaista tutkimuspanosta NET-hankkeessa voidaan perustana käyttää käynnissä olevaa JET-projektia. JET:n henkilöstön kokonaislukumäärä on n. 600 (tutkijat, insinöörit ja hallinto), joista tieteellisen henkilöstön määrä yli 300. Ruotsalaisia tutkijoita JET:ssä on kymmenkunta, mikä voisi olla karkeasti arvioiden suomalaisten osuus NET-projektissa, jonka tieteellisen henkilöstön määrä saattaa kohota 500–600 tutkijaan.

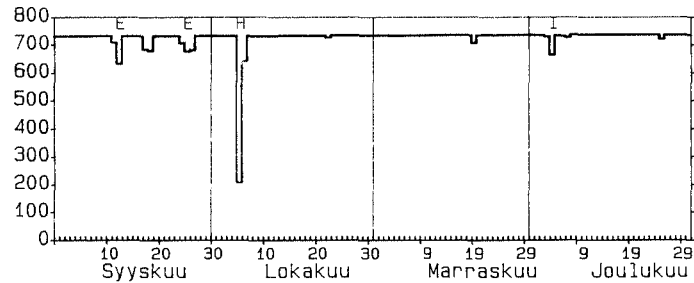
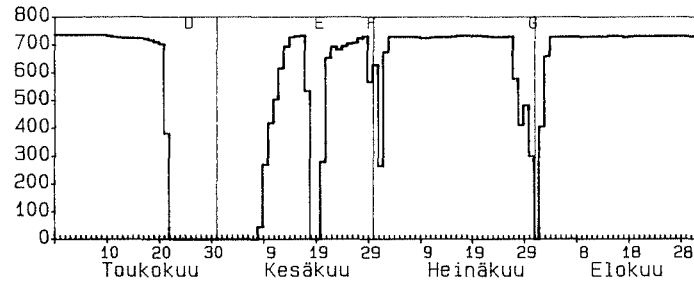
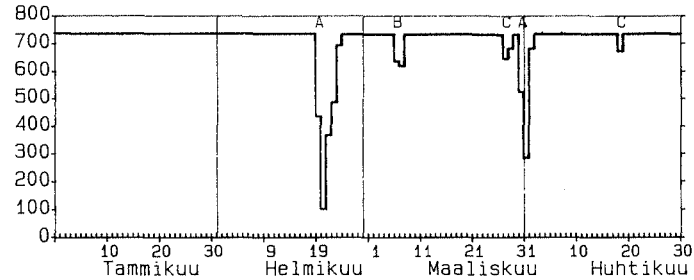
Suomen tutkimuspanoksesta ehkä puolet voisi keskittyä plasma- ja fuusiofysiikkaan, jolloin loput jakaantuisivat fuusioteknologian ja muun fysiikan osalle. Ylläoleviin lukuihin ei ole sisällytetty mahdollista hallinto henkilöstöä eikä teollisuuden tutkimus- ja kehitystyötä koskien NET-tokamakin laite- ja palvelutoimituksia. Itse NET-projektissa työskentelevien tutkijoiden lisäksi tulisi varata useamman henkilötötyvuoden panos Suomessa tehtävään NET-tutkimukseen.

JET-projektin kokonaiskustannukset 12 vuoden aikana ovat luokkaa 4,8 miljardia mk (£ 600 milj.) Jos NET-hankkeen kokonaiskustannuksiksi arvioidaan 15 miljardia mk, tulee Suomen osuudeksi n. 270 milj. mk (Suomen BKT osuus n. 1,8 % Länsi-Euroopan BKT:sta), mikä vastaa 23 milj. mk vuotuista panosta 12 vuoden aikana. Summa on huomattavasti pienempi kuin esim. CERN-jäsenyyden kustannukset 50 milj. mk/vuosi. Myös liitännäis- tai ulkojäsenyyden mahdollisuudet on tutkittava, jolloin ylläolevista jäsenkustannuksista saatettaisiin jonkin verran tinkiä.

Suomen liittyminen NET-yhteistyöhön merkitsisi koulutustarpeen lisääntymistä. Koska Suomessa ei ole kokeellista fuusio- ja plasmatutkimusta, erityisesti jatko-opintojen suorittaminen ulkomaisissa yliopistoissa tai tutkimuslaitoksissa olisi suositeltavaa. Tämä takaisi myös kokeellisen fuusiofysiikan asiantuntemuksen, mikä on välttämätöntä NET-projektiin osallistumiselle. JET-projekti tulee jatkuamaan vielä 90-luvulla ja se tarjoaa erinomaisen koulutusperustan NET-tutkimukselle. Virallista JET-jäsenyyttä ei Suomen kannata enää tässä vaiheessa harkita, sillä muutaman suomalaistutkijan osallistuminen JET-projektiin on mahdollista, mikäli rahoitus voidaan järjestää kotimaasta käsin. □

TVO 1 KÄYTTÖ 1987

Teho (MW) Brutto

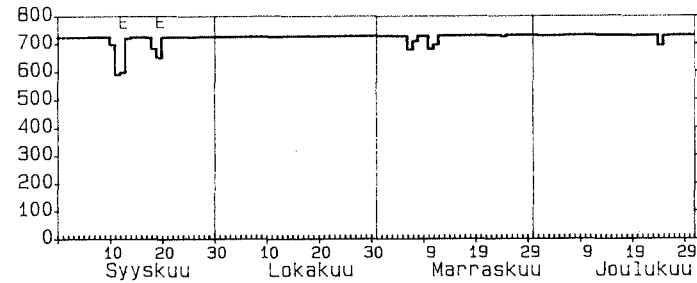
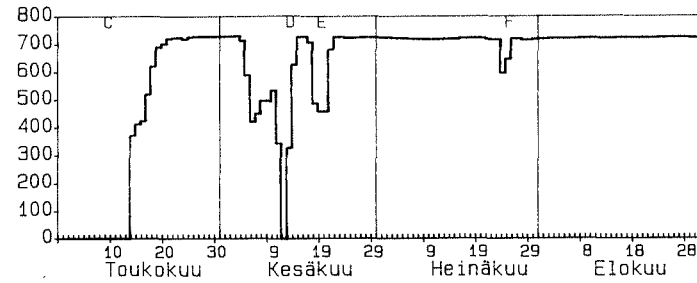
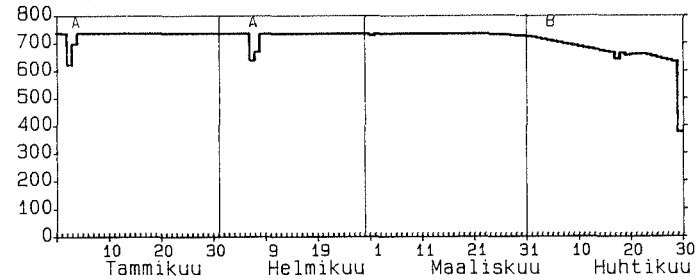


ENERGIATUOTANTO ENERGIÄKÄYTTÖKERTOIN TUOTANTOKESKEYTYKSET

	(MWh) Brutto	(%)	
Tammikuu	547729.1	100.2	A=GENERAATTORIN JÄÄHOYTYKSEN KORJAUS
Helmikuu	456406.7	92.4	B=KOHINAMITTAUS JA MA-KOE
Maaliskuu	532221.3	97.5	C=POLTTOAINEVUODON ETSINTÄ
Huhtikuu	516323.3	97.6	D=POLTTOAINEENVAIHTO
Toukokuu	376118.9	68.8	E=PIENI SÄHKÖNTARVE
Kesäkuu	281602.5	53.2	F=TURPIININ PIKASULKU
Heinäkuu	500709.9	91.6	G=HÄIRIÖITÄ SÄÄTÖ-ÖLJY-JÄRJESTELMÄSSÄ
Elokuu	517083.4	94.6	H=REAKTORINPIKASULKU
Syyskuu	519645.3	98.1	I=412V20 KORJAUS
Lokakuu	531507.6	97.2	
Marraskuu	529724.9	100.1	
Joulukuu	546178.4	99.9	
Vuosi	5855251.3	90.9	

TVO 2 KÄYTTÖ 1987

Teho (MW) Brutto

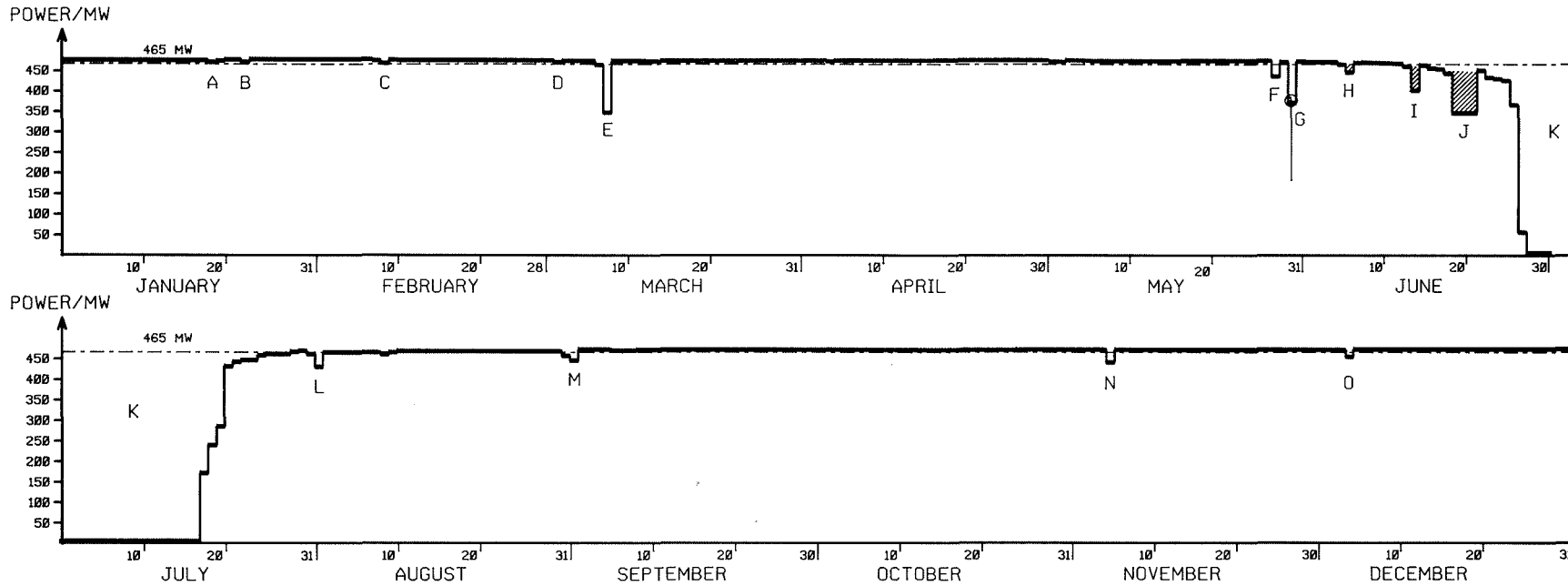


ENERGIATUOTANTO ENERGIÄKÄYTTÖKERTOIN TUOTANTOKESKEYTYKSET

	(MWh) Brutto	(%)	
Tammikuu	543762.1	99.4	A=VÄLITULISTIMEN VESITYSPUTKEN KORJAUS
Helmikuu	490155.3	99.2	B=COAST-DOWN
Maaliskuu	545105.4	99.8	C=POLTTOAINEENVAIHTO
Huhtikuu	480201.9	90.7	D=SYÖTTÖVESIVENTTIILIJEN KORJAUS
Toukokuu	264037.2	48.3	E=PIENI SÄHKÖNTARVE
Kesäkuu	431015.8	81.4	F=VÄLIOTON VENTTIILIJEN KORJAUS
Heinäkuu	530860.8	97.1	
Elokuu	537936.1	98.4	
Syyskuu	513183.0	96.8	
Lokakuu	541900.3	99.1	
Marraskuu	522276.3	98.7	
Joulukuu	543180.4	99.3	
Vuosi	5943614.6	92.3	

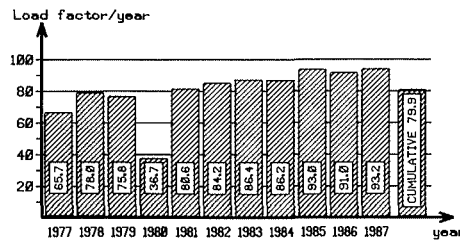
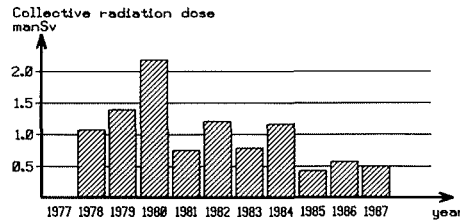
Ydinvoimalaitosten käyttö 1987

LOVIISA 1 OPERATION HISTORY 1987



ENERGY GENERATION STATISTICS ASSUMING 465MW = 100%

	MWh	Load factor/ month
January	347 548	100,5
February	313 622	100,4
March	343 223	99,3
April	336 677	100,6
May	343 663	99,3
June	270 713	80,9
July	135 535	39,2
August	341 509	98,7
September	334 952	99,9
October	346 703	100,2
November	336 105	100,4
December	347 736	100,5



EXPLANATIONS

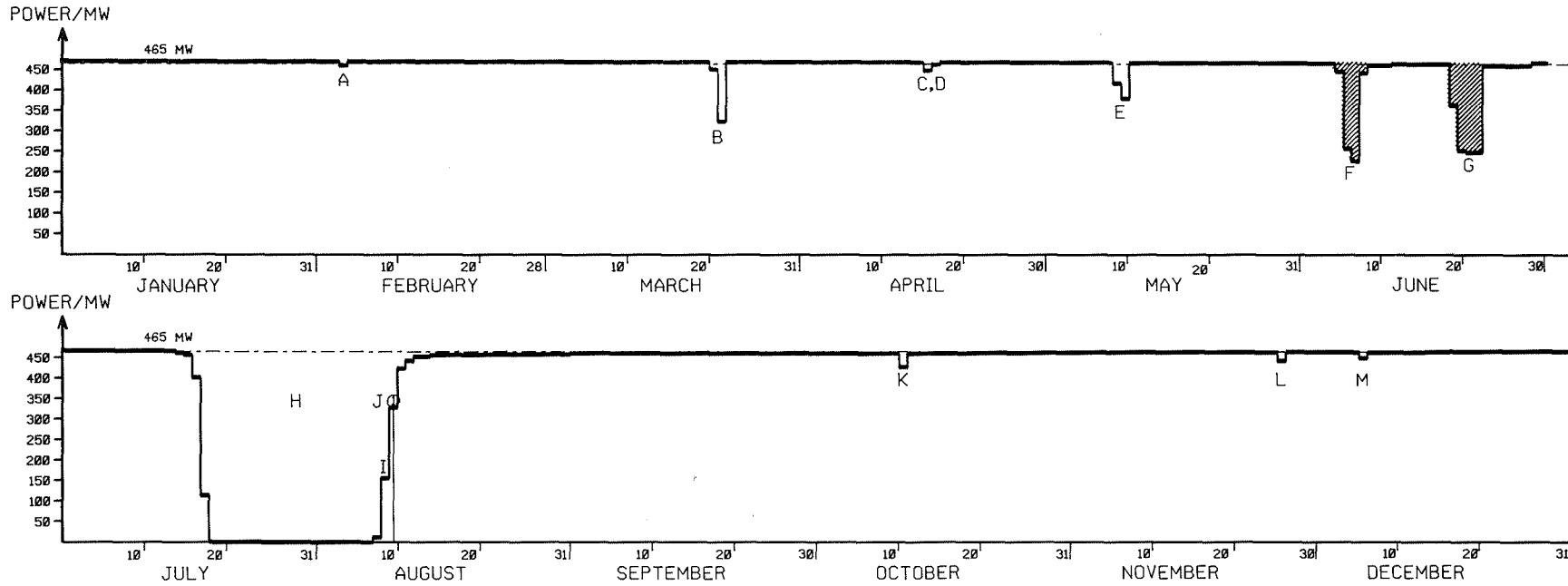
- Power given as daily average
- Turbine trip to zero load
- Trip of one TG
The other one on line
- Reactor trip
- Reactor trip (test or low power)
- Load following

- A Repair of high pressure preheater
- B Repair of condenser leakage
- C High pressure preheater out of operation
- D Disturbance in the reactor power limiter system
- E Maintenance of auxiliary condensate transfer line
- F Repair of the main steam valve
- G TG2 trip and repair of generator breaker
- H,I,J Load following
- K Refuelling outage (21 days)
- L,M Repair of condenser cleaning ball system
- N Checking of PCP-motor oil leakage
- O Stop of 1 PCP to check the parameters of the shaft sealing

Total 1987= 3 797 986 MWh 93,2%
 Time availability = 94,3%
 Losses due to load following about 11 230 MWh
 Load factor without load following 93.5 %
 Refuelling period collective radiation dose 0.46 manSv
 Total 1987 collective radiation dose 0.50 manSv

IMATRAN VOIMA OY						A.1.1988 PELA	
LOVIISA NPS						LOVIISA 1	
LOVIISA 1 OPERATION HISTORY						1.1-31.12.1987	
Tilastusno	3	Osasto	K	Luokitus	L01	Määrä	866
Numero		Luokka		Numero		Luokka	

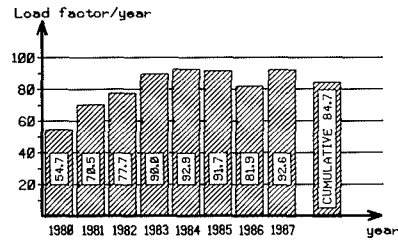
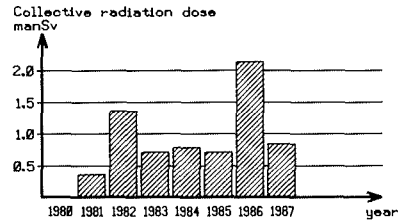
LOVIISA 2 OPERATION HISTORY 1987



ENERGY GENERATION STATISTICS ASSUMING 465MW = 100%

Month	MWh	Load factor/ month
January	347 249	100,4
February	312 538	100,0
March	342 349	99,1
April	334 903	100,0
May	342 775	99,1
June	308 110	92,0
July	190 756	55,1
August	240 159	69,4
September	331 492	98,9
October	342 254	98,9
November	333 675	99,7
December	346 171	100,1

Total 1987= 3 772 431 92,6 %
 Time availability = 94,1 %



EXPLANATIONS

- Power given as daily average
- Turbine trip to zero load
- Trip of one TG
The other one on line
- Reactor trip
- Reactor trip (test or low power)
- Load following

- A,C,D,L,M Repair of condenser leakage
- B Repair of superheater steam line
- E Leakage in auxiliary condensate line
- F,G Load following
- H Refuelling outage (21 days)
- I Hydrogen leakage from the generator
- J Erroneous turbine trip and manual reactor power reduction
- K Disturbance in instrumentation and erroneous steam side isolation of one steam generator

IMATRAN VOIMA OY				Numero: A.1.1988 PELA	
LOVIISA NPS				PETAH	
LOVIISA 2 OPERATION HISTORY				Mittaus	
1.1-31.12.1987				Lasku	
Tietokanta	Koko	Mittausmenetelmä	Laitteisto	Ohjelma / Mittausohjelma	Mittausarvo
3			K	LO2	866 008 A
Nimi				Merkki	

Refuelling period collective radiation dose 0.79 manSv
 Total 1987 collective radiation dose 0.84 manSv

Uusi ydinenergialaki voimaan 1.3.1988

Uusi ydinenergialaki tulee voimaan 1.3.1988. Laki hyväksyttiin yksimielisesti Eduskunnassa marraskuussa 1987 yli kymmenen vuotta kestäneen valmistelutyön jälkeen. Ydinenergia-alan lainsäädäntö ja muut määräykset ovat yhä voimakkaan modernisointityön kohteena.

Ydinenergialain hyväksyminen ja voimaantulo (säädöskok. n:o 990/87)

Uusi ydinenergialaki (YEL) hyväksyttiin eduskunnassa 20.11.1987. Lakiehdotus käsiteltiin perustuslain säätämisyjärjestyksessä mm. siitä syystä, että eduskunta kytketään mukaan yksittäisen ydinvoimalaitospäätöksen tekoon. Maaliskuussa 1987 valittu uusi eduskunta ei säätämisyjärjestyksen mukaan enää saanut tehdä lakiin sisällöllisiä muutoksia, vaan se oli joko hyväksyttävä tai hylättävä sellaisenaan kahden kolmasosan enemmistöllä. Tästä ilmeisesti johtui, että hyväksyminen oli yksimielinen. Lain asiasisällön Eduskunta hyväksyi kesäkuussa 1986. Sitä edeltäneessä eduskuntakäsittelyssä tuli vuonna 1985 tehtyyn hallituksen esitykseen vain pienehköjä muutoksia. Lain sisällön tärkeimpiä kohtia on esitelty ATS Ydintekniikan numeroihin 1 ja 2/1985 laatimissani artikkeleissa.

YEL:n lopullisen hyväksymisen yhteydessä 20.11.1987 hylättiin lain loppukäsittelyn yhteydessä tarjotut opposition ponsilauselmat, joissa vaadittiin mm. ydinvoiman vähittäistä korvaamista muilla energiamuodoilla.

Uusi YEL tulee voimaan 1.3.1988. Sillä kumotaan samalla vuoden 1957 Atomienergialaki sekä sen nojalla annetut säännökset ja määräykset.

Samassa yhteydessä YEL:n lopullisen hyväksymisen kanssa hyväksyttiin myös laki sähkölain muuttamisesta (n:o 991/87). Tällä muutoksella kumottiin sähkölain 24 §, jossa edellytettiin valtioneuvoston lupaa ydinvoimalaitoksen rakentamiselle. YEL:n lupajärjestelmä korvaa tämän säännöksen. Muutetun sähkölain 26 §:n 1 momentin uuden 3 kohdan mukaan kauppa- ja teollisuusministeriö myöntää ydinvoimalaitokselle sähkölaissa edellytetyn luvan, jos valtioneuvosto on myöntänyt sille periaatepäätöksen jälkeen rakentamisluvan.

Ydinenergia-asetus ja muut alemmanasteiset säännökset

YEL:iin liittyvät alemmanasteiset säännökset ovat valmistelun loppuvaiheissa. Näitä ovat

- ydinenergia-asetus (YEA)
- valtioneuvoston päätös varautumisesta ydinjätehuollon kustannuksiin
- valtioneuvoston päätös valtion ydinjätehuoltorahaston varoista annettavien lainojen yleisistä ehdoista
- asetus valtion ydinjätehuoltorahastosta ja
- asetus ydinenergian käytön valvonnasta suoritettavista maksuista.

Lisäksi on odotettavissa asetukset ydinenergian käyttöön liittyvien asioiden valmistavaa käsittelyä varten KTM:n yhteyteen perustettavasta neuvottelukunnasta sekä ydinenergian käytön turvallisuutta koskevien asioiden valmistavaa käsittelyä varten säteilyturvakeskuksen yhteyteen perustettavasta neuvottelukunnasta.

Muita lainsäädännön muutoksia

Elinkeinotulon verottamisesta annettuun lakiin (EVL) lisättiin helmikuussa 1983 väliaikaisesti uusi 46 b § (222/83), jonka perusteella ydinvoimaa tuottavat yhtiöt ovat voineet verotuksellisesti hoitaa ydinjätehuoltovarojensa vuoden 1987 loppuun saakka. Vuonna 1988 on tarkoitus muuttaa EVL:ia pysyvästi niin, että uuden YEL:n ydinjätehuollon varautumisjärjestelmä maksuineen ydinjätehuoltorahastolle toimii myös verotuksen puolesta.

Atomivastuulain (484/72) tarkistaminen on valmisteilla KTM:n energiaosastolla. Keskeinen tarkistuksen kohde on laitoksenhaltijan vastuumäärien uudelleenarviointi.

Säteilysuojuslain (174/57) kokonaisuudistus on myös vireillä. Sosiaali- ja terveysministeriön asettama toimikunta saanee mietintönsä valmiiksi helmikuussa 1988.

Uuden YEL:n voimaantulon ensimmäiset vaikutukset

Uuden YEL:n siirtymäsäännökset ovat sen 84 §:ssä.

Sanotun lainkohdan mukaan uuden lain voimaantullessa vireillä oleviin lupahakemuksiin sovelletaan uutta lakia. Tämä tarkoittaa sitä, että Perusvoima Oy:n maaliskuussa 1986 valtioneuvostolle

jättämään, käsittelyn osalta keskeytetyyn periaatepäätöshakemukseen sovellettaisiin uutta YEL:ia. Tältä osin todettakoon, että hakemus oli laadittukin uuden lain lupajärjestelmää vastaavaksi, koska lain sisältö oli tiedossa.

84 §:n 2 momentin mukaan vanhan atomienergialain nojalla annettu rakentamislupa katsotaan annetuksi uuden lain nojalla. Tällaisia rakentamishankkeita ei tietyvästi kuitenkaan ole vireillä.

Samana lainkohdan mukaan muut vanhan lain nojalla annetut luvat katsotaan annetuiksi uuden lain mukaisesti. Tämä tarkoittaa mm. Loviisan ja Olkiluodon laitosten käyttöluvia. Ne lakkaavat ko. lainkohdan mukaan kuitenkin olemassa voimassa viimeistään viiden vuoden kuluessa uuden lain voimaantulosta. Tämän johdosta ja koska Loviisa 2:n sekä TVO I:n ja II:n määräaikaikaiset käyttöluvut menevät umpeen vuoden 1988 lopussa, ovat IVO ja TVO hakeneet kaikkien laitossyksiköidensä osalta niiden käytön jatkamiseen oikeuttavia, uuden lain mukaisia käyttö- ja polttoainelupia. Jatkolupahakemusten käsittelyyn sovelletaan uuden YEL:n määräyksiä. Valtioneuvoston periaatepäätöstä ei näille olemassa oleville laitossyksiköille siirtymäsäännösten mukaan tarvita, ei myöskään niiden aikaisemmissa luissa mainituille käytetyn ydinpolttoaineen ja laitosjätteen erilaisille varastolaitoksille. □

AEN selvitti ydinenergiatutkimuksen tuloksellisuutta

KTM:n energiaosaston raportina on ilmestynyt atomienergianeuvottelukunnan (AEN) selvitys "Ydinenergiatutkimuksen tuloksellisuus". Tehty arviointi pyrkii kuvaamaan, millä tavoin ja miten hyvin tutkimus on palvellut Suomen ydinenergiaohjelman käytännön tarpeita. Lisäksi esitetään suuri määrä havaintoja ja suosituksia, joita voidaan käyttää hyväksi tulevan tutkimustoiminnan ohjauksessa.

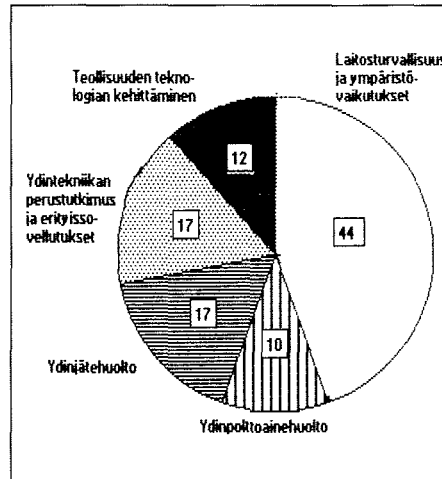
Tuloksellisuusarvio laadittiin antamaan taustatietoa KTM:n energiaturkimustoimikunnalle, joka on juuri julkaissut mietintönsä energiaturkimustoiminnan suuntaviivoista vuosille 1990—1995. Yksityiskohtaisemmin arviointia käytettiin lähtökohtana vasta ilmestyneessä AEN:n ydinenergiatutkimuksen tarveselvityksessä, joka omalla sektorillaan täydentää ja syventää energiaturkimustoimikunnan mietintöä.

Tuloksellisuusarvion laati AEN:n asettama johtoryhmä, johon kuuluivat TkT Lasse Mattila (puheenjohtaja), TkL Jukka Laaksonen (työn alkuvaiheessa), FM Hannu Koponen (työn loppuvaiheessa), TkL Ami Rastas, TkT Seppo Vuori ja TkL Heikki Väyrynen. Sihteerinä toimi TkL Risto Sairanen.

Tutkimuksen päätavoitteet

Julkisesti rahoitetun tutkimuksen päätavoitteina ovat olleet päätöksenteossa tarvittavan tietopohjan hankkiminen, ydinenergian käytön turvallisuuden edistäminen, turvallisuusvalvonnan perustaminen omakohtaiseen asiantuntemukseen ja teknologisen perustiedon hankkiminen. Julkisesti ja muulla tavoin rahoitettua toimintaa ei ole ollut mahdollista erotella tarkasti, koska ydinenergiatutkimus on Suomessa suurelta osalta tapahtunut eri tahojen yhteistyönä.

TkT Lasse Mattila työskentelee VTT:n ydinvoimatekniikan laboratoriossa ja on Atomienergianeuvottelukunnan ydinturvallisuustoimikunnan puheenjohtaja.
TkL Risto Sairanen on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion ydinvoimaloiden prosessitekniikan jaoston erikoistutkija, p. 90-648 931.



Julkisesti rahoitetun ydinenergiatutkimuksen suuntautuminen 1980-luvun alkupuoliskolla.

Julkinen tutkimusrahoitus pitkän alamäen jälkeen kasvussa

Ydinenergiatutkimuksen laajuus on 1980-luvun alkupuoliskolla ollut noin 200 htv/v, josta noin puolet on rahoitettu julkisin varoin. Julkisin varoin rahoitetun tutkimuksen suuntautuminen ilmenee oheisesta kuvasta.

Ydinenergiatutkimuksen julkinen rahoitus alentui 1970-luvun puolivälin huipusta 1980-luvun alkuvuosiin mennessä noin 40 %. Aivan viime vuosina julkisen rahoituksen reaaliarvo on kuitenkin säilynyt ja kasvanutkin. 1980-luvun alkupuoliskolla julkinen tutkimusrahoitus oli reaaliarvoltaan 25—30 Mmk vuodessa. KTM:n energiaturkimusrahoitus on ollut siitä noin puolet VTT:n oman rahoituksen ollessa toinen pääkomponentti.

Tutkimusprojektien tuloksia on voitu hyödyntää tehokkaasti

Tuloksellisuusarviointi laadittiin tarkastelemalla seuraavia osa-alueita:

1. Ydinvoimalaitosten suunnittelu- ja rakentamisvaiheen toteutus
2. Ydinvoimalaitosten turvallisuus ja ympäristövaikutukset
3. Ydinvoimalaitosten käyttöturvallisuus ja taloudellisuus
4. Ydinpoltoainehuolto
5. Ydinjätehuolto
6. Energiatuotannon monipuolistaminen ja varmistaminen
7. Asiantuntijaresurssien kehittäminen
8. Ydinteknisen erityisosaamisen hyödyntäminen muissa tarkoituksissa

Tutkimuksella oli laitosten suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa merkittävä osuus infrastruktuurin luomisessa ja kotimaisuusasteen nostamisessa. Suomalaisen ydinvoimalaitosten käyttövarmuus on ollut maailman kärkitasoa. Säteilyannokset työntekijöille sekä päästöt ympäristöön on pystytty jatkuvasti pitämään erittäin vähäisinä. Useimmat tuotekehitysprojektit ovat johtaneet tekniseen onnistumiseen ja toimituksiin suomalaisille laitoksille. Esiintyneisiin ongelmatilanteisiin on pystytty reagoimaan nopeasti. Tutkimustoiminnassa on kouliintunut jatkuvasti asiantuntijoita myös turvallisuusvalvonnan sekä laitosten suunnittelun ja käytön tehtäviin.

Kansainvälistä yhteistyötä on käytetty laajasti hyväksi

Suomeen ei useimmista muista teollisuusmaista poiketen perustettu aikanaan erityistä ydintekniikan suurtutkimuslaitosta eikä tänne myöskään ole juuri rakennettu omia suuria kokeellisia laitteistoja. Kokeellinen perustieto sekä suunnittelussa ja turvallisuusarvioinneissa tarvittavat suuret tietokoneohjelmat on hankittu osallistumalla monin eri tavoin kansainväliseen yhteistyöhön. Kansainvälinen yhteistyö on sisältänyt alan kansainvälisten järjestöjen koordinoimien tietojenvaihtotyyppeiden hankkeiden ohella lukuisia "tutkimusyhtymiä", osanottajien suoraan rahoittamia ja johtamia, keskitetysti toteutettuja projekteja. Tiedonsiirtoa Suomeen on monesti tehostettu lähettämällä suomalaisia tutkijoita pitkäaikaisesti projektiryhmiin. Työpanoksella on useissa tapauksissa samalla voitu suorittaa osa Suomen osallistumismaksuosuudesta.

On ilmeistä, että tulevaisuudessa osallistumemme kansainväliseen tutkimusyhteistyöhön vaatii suurempia panoksia. Tähän vaikuttaa osaltaan alan teknologisesti kypsymisestä aiheutuva toimintojen kaupallistuminen. Tärkein tekijä on kuitenkin julkisesti rahoitetun ja tähän asti suurelta osalta avoimesti raportoidun turvallisuuspainotteisen tutkimuksen supistaminen useimmissa johtavissa ydinenergiamaissa, erityisesti USA:ssa ja Saksan liittotasavallassa.

Tiedonsiirtoa Suomeen voitaisiin parantaa myös houkuttelemalla tänne työhön ulkomaalaisia tutkijoita. Tässä suhteessa on oltu hyvin passiivisia. Myös pieni panostuksemme kärkitason koe- ja tietokonelaitteistoihin rajoittaa mahdollisuuksia.

Henkilöresurssien osuus on yleinen ongelma

Nojautumalla voimakkaasti kansainväliseen yhteistyöhön on saavutettu varsin hyvä tarvittavan tietämyksen kattavuus, mutta perusteellisten syventymismahdollisuuksien puute ja henkilöresurssien ohuus ovat jatkuva ongelma. Useat erityisaiheet ovat yhden tai parin asiantuntijan varassa, jolloin mm. asiantuntemuksen saannin varmuus ja toimintamahdollisuudet poikkeuksellisen tarpeen esiintyessä ovat ongelmana.

Pitkäjänteisillä julkisesti rahoitetuilla tutkimusprojekteilla on ollut keskeinen asema siinä, että monilla alueilla on pystytty kouluttamaan ja ylläpitämään edes yksi asiantuntija. Julkisesti rahoitetuissa projekteissa on myös voitu ennakoita tulevaisuudessa esiintyviä tarpeita.

Resurssien ohuudesta aiheutuvia ongelmia voidaan tulevaisuudessa joillakin alueilla lievittää käynnistämällä kasvavasti tutkimushankkeita, joiden tulokset ovat käyttökelpoisia muihinkin kuin ydinenergiasovellutuksiin. Jo nykytilanteessakin oheissovellutuksien merkitys on olennainen asiantuntija- ja laitteistoresurssien ylläpidolle mm. materiaali-, tarkastustekniikka-, automaatio- ja luotettavuustutkimuksessa.

Osapuolten yhteistyöllä on saavutettu hyvä kohdistuvuus

Erityispiirre ydinenergiatutkimuksessa on tulosten keskeisten loppukäyttäjien harvalukuisuus: voimayhtiöt IVO ja TVO, säteilyturvakeskus sekä joillakin osaluilla KTM. Tämän ansiosta kaikki hyödyntäjät ovat yleensä voitu saada suoraan mukaan tutkimuksen ohjaukseen, kuten osallistumaan pitkän aikavälin tutkimussuunnitelmien laadintaan sekä vuotuisen tutkimusprojektiyhdyntämisen priorisointiin.

Yksittäisissä tutkimusprojekteissa hyödyntäjät ovat osallistuvat ohjaukseen projektien johto- ja tukiryhmissä, joissa usein ovat edustettuina myös tutkimusyhteistyötahot. Johto- ja tukiryhmät palvelevat myös välitöntä tiedonsiirtoa tutkimusprojekteista hyödyntäjille.

Tieteellinen taso on ylläpidettävä

Tutkimuksen voidaan päätellä suurelta osalta yltyneen kansainvälisesti huomion arvoiselle tasolle, sillä tutkimusprojekteista on kirjoitettu runsaasti artikkeleita arvostettuja asiantuntija-arvioijia käyttäviin kansainvälisiin lehtiin. Myönteisenä tieteellisen tason ilmentäjänä voidaan pitää myös vilkasta väitöskirjojen tuotantoa, keskimäärin pari vuodessa.

Tutkimuksen tieteellisen tason ylläpitäminen on välttämätöntä, jotta uusinta tie-

toa pystytään tehokkaasti hyödyntämään ja jotta olemme jatkossakin tervetulleita kansainvälisiin yhteistyöhankkeisiin. Osaamisemme taso vaikuttaa muiden halun solmia kanssamme yhteistyösopimuksia ja sopimusehtojen edullisuuteen.

Tutkimuksen tieteellisen tason varmistaminen edellyttää jatkuvaa huomiota, sillä ydinenergiatutkimuksen resurssien osuus, voimakkaasti soveltava luonne ja muuttuvat painopisteet vaikeuttavat perusteellista syventymistä.

Tutkimustulosten laaja tiedottaminen on ollut puutteellista

Ydinenergiatutkimuksen tulokset on raportoitu lähinnä kansainvälisissä lehtiartikkeleissa ja konferensseissa sekä pienileikkisissä teknisissä työraporteina, jotka ovat hyvin riittäneet välittämään tiedon suppealle ensisijaisten hyödyntäjien joukolle Suomessa.

Laaja raportointi esim. helposti ymmärrettävänä lehtiartikkeleina on selvästi ollut liian suppeaa. Erityisesti reaktoriturvallisuuden ja ydinjätehuollon tutkimuksesta tulisi tuottaa aineistoa, joka palvelisi erilaisia tiedottamistarpeita yleisölle ja päättäjille. □

Raportti Ydinenergiatutkimuksen tulokset, KTM/Energiasasto Sarja C:16, Helsinki 1987, on saatavissa kirjoittajilta ja KTM:n energiasaston toimituksesta sekä tilattavissa Valtion painatuskeskuksesta (puh. 90-566 0266).

Sihteerin sana — tiedotuksen merkityksestä

Sihteerin työhön kuuluu tiedottamista ja näin on myös ATS:ssa. Konkreettisesti edellä todettu ilmenee miltei samanlaisina toistuvissa kutsuissa seuramme kokouksiin. Kysymys on tällöin tiukasta asiasta, jossa muuttujina ovat kokousten paikat, alustusten pitäjien nimet ja muu asiaan kuuluva, sinänsä tarpeellinen informaatio toimintamme hoitamiseen.

Mutta kun aikansa tekee jotain rutiinina, tulee halu poiketa siitä. Niinpä kun esitettiin ajatus tämän palstan kirjoittamisesta lehteen, otin tarjouksen vastaan mielelläni. Tilaisuutta voisi nimittäin käyttää rutiinitiedotuksesta poikkeamiseen. Lisäksi voi kehottaa myös muita tekemään samalla tavalla, koska ajatusten vaihtoon on tulevaisuudessa varmasti tarvetta ATS:n sisällä ja ehkäpä myös seurastamme ulospäin suuntautuva informaatio lisääntyy.

Tähän tulee antamaan aihetta edelleen suuri tarve faktoista energiakeskustelussa, joka on viime vuosina kohonnut keskeiseen asemaan niin kahvikupin ääressä ruopattelienvien ennustajaukkokojen kuin myös vaalitaistelua käyvien poliitikkojen paneleissa. Ja tällöin on ATS:n ja sen yksittäisten jäsentenkin hyvä olla keskustelusu-

sa mukana. Ei kai mikään yksittäinen yhteisö tai yhtiö Suomessa sisällä niin paljoa asiatietoa ydintekniikasta kuin seuramme?

ATS:n informaatiotoimikunta on tiedottamisen keskeisin foorumi; sen ja sanastotyöryhmän toimesta tuleekin jäsenillemme pian tilaisuus tutustua kahteen merkittävään uutuuteen. Kevätalven aikana nimittäin ilmestyvät sekä kirjanen ”Radioaktiiviset aineet ja säteily” että uusittu ”Ydintekniikan sanasto”. Nämä ovat merkittäviä saavutuksia etenkin, koska ne ovat suurelta osaltaan vapaaehtoisella talokootyöllä toteutettuja.

Tärkeä ajankohtainen tapahtuma oli myös tammikuun lopussa Sveitsissä ENS:n toimesta pidetty PIME-kokous (Public Information Materials Exchange), jossa ATS:lla oli suomalaista osanottoa koordinoiva rooli. Koska tapahtumaa on selostettu toisaalla tässä numerossa, en puutu siihen enempää.

Tuollaisten suurten, mutta myös suurta työmäärää edellyttävien saavutusten lisäksi voivat ATS:n ”pienet rattaat” pyöriä eteenpäin myös muilla keinoin. Viime syksyn ekskursion kohdemaassa Ranskas-

sa sisarseurallamme on eräs mielenkiintoinen piirre: sen jäsenistöön on otettu myös tiedotusalan tai muun ammattitautan omaavia henkilöitä, jotka ovat kiinnostuneita ydintekniikasta.

Meilläkin on tähän suuntaan otettu askel, sillä johtokunta suositteli tammikuun kokouksessaan seuralle uudeksi jäsenekseen tällaista henkilöä, joka tosin työskentelee voimayhtiön palveluksessa. Ja jo seuramme säännötkin tavallaan edellyttävät tällaista jäsenpohjan laajennusta todetaan, että seuran tarkoituksena on ”toimia yhdyskseenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi ottaen huomioon kaikki ne ammattikunnat, jotka joutuvat tekemisiin atomitekniikan kanssa”.

Seuran uusia jäseniä ovat:

DI Ari Ipatti, Imatran Voima Oy
FK Osmo Kaipainen, Teollisuuden Voima Oy
DI Aki Pakkala, Imatran Voima Oy
DI Jussi Palmu, Imatran Voima Oy
DI Juha Rantanen, VTT/Reaktorilaboratorio
FK Pentti Salonen, VTT/Reaktorilaboratorio

Jorma Aurela

Ydinvoimatekniikka IVO Engineeringin uudessa organisaatiossa

Imatran Voima Oy:ssä astui vuoden 1988 alussa voimaan organisaatiomuutos, joka koskee suunnittelevia ja rakentavia osastoja. Ydinvoimatekniikan erityisiantuntemus on IVO Engineering-ryhmässä koottu ydinvoimatekniikan osastoksi. Kuitenkin ydinvoimatekniikkaan liittyvää toimintaa on myös muilla osastoilla sekä T&K-yksikössä.

Organisaatiomuutoksessa johtokunnan yleispiirteistä työnjakoa on täsmennetty seuraavasti:

Konsernijohto

- Yleisjohto, toimitusjohtaja K Numminen
- Talousjohto, varatoimitusjohtaja K Ahlstedt

Energialiiketoiminta

- Tuotanto, johtaja A Palmgren
- Markkinointi, johtaja K Nurmimäki

Engineeringliiketoiminta

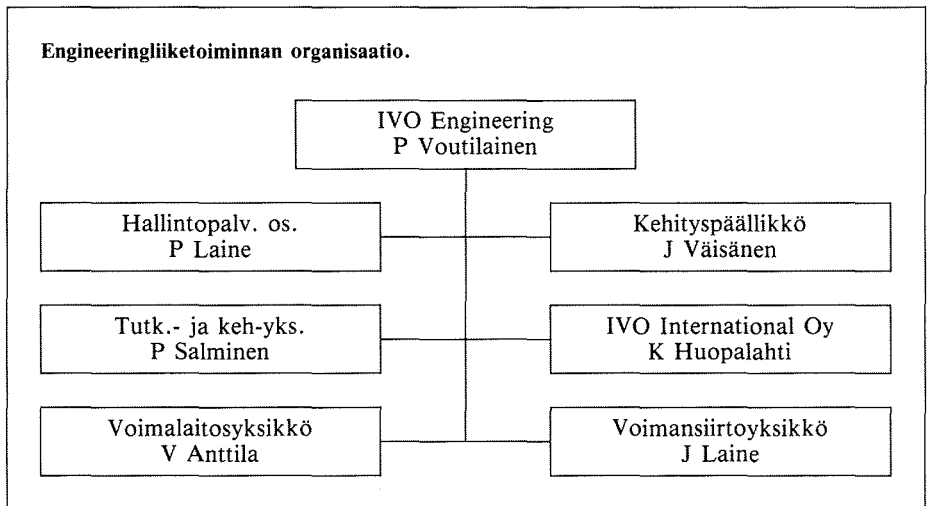
- Tuotanto, johtaja P Voutilainen
- Markkinointi, johtaja K Huopalahti

Energian tuotanto ja siirto ovat Energiaryhmään kuuluvan käyttöosaston vastuulla. Käyttöosasto on IVO Engineeringin tärkein asiakas.

Perusteluna organisaatiomuutokselle on toiminnan kehittäminen omien investointihankkeiden toteuttamisesta myös enenevässä määrin yhtiön ulkopuolelle ulkomaisiin ja kotimaisiin hankkeisiin. Samalla yhtiössä ja IVO Engineeringissä kiinnitetään erityistä huomiota käytölle annettavaan tukeen sekä tutkimus- ja kehitystyöhön.

Linjaorganisaatiossa toimii joukko erillisiä asiantuntijoita, jotka raportoivat suoraan joko yksikön tai osaston johtajalle. Ydinvoimatekniikkaan liittyviä asiantuntijavakansseja Voimalaitosyksikössä, T&K-yksikössä, Ydinvoimatekniikan osastolla ja Rakennusosastolla.

TkL Heikki Väyrynen on Imatran Voima Oy:n voimalaitosyksikön ydinvoimatekniikan osaston johtaja, p. 90-508 2408.



Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti niitä IVO Engineeringin organisaatioyksiköitä, joiden toiminnassa ydinvoima-asiat ovat keskeisiä.

Voimalaitosyksikkö

Yksikkö huolehtii ydinteknillisen, konventionaalisen sekä vesivoiman tuotealueella yhtiön projektien toteuttamisesta, tarvittavien insinööripalvelujen ja käytön tuen hoidosta sekä myy tuotealueellaan projekteja ja insinööripalveluja IVO Internationalin kautta koti- ja ulkomaisille asiakkaille.

Voimalaitosyksikössä on neljä osastoa:

Rakennusosaston (A Savola) tehtävänä on voimalaitosten rakennussuunnittelu ja rakennuttaminen.

Sähköosaston (K Koskinen) tehtävänä on voimalaitosten sähkösuunnittelu.

Lämpövoimatekniikan osaston (S Koskinen) tehtävänä on konventionaalisten voimalaitosten suunnittelu ja käytön tuki.

Ydinvoimatekniikan osaston (H Väyrynen) tehtävänä on ydinvoimalaitosten suunnittelu ja käytön tuki.

Voimalaitosten rakentamisesta vastaavat erilliset projektiorganisaatiot.

Lisäksi suoraan yksikön johdon alaisuudessa ovat: Projektivalmistelu- ja hallintotoimisto, Laatutekniikan toimisto, Ydinturvallisuustekniikan asiantuntija (B Regnell)

Ydinvoimatekniikan osasto

Tehtävänsä mukaisesti osasto vastaa Loviisan voimalaitoksen IVO Engineeringil-

tä tilaamasta teknisestä tuesta (perusparannukset, suunnittelutehtävät, analyysit, polttoainehuolto, lupa-asiat yms) sekä muista ydinlaitostekniikan suunnittelu- ja selvitystehtävistä. Se käyttää työssään ensisijaisesti omia resurssejaan tai tilaa palveluja voimalaitosyksikön tai IVO Engineeringin muilta osastoilta (rakennustekniikka, sähkötekniikka ym). Lisäksi osastolle on sijoitettu eräitä sellaisia koko yhtiötä palvelevia asiantuntija- ja suunnittelusektoreita, joilla ydinlaitoksiin liittyvät työt ovat keskeisessä asemassa.

Ydinvoimatekniikan osaston sisäinen organisaatio ja tehtävänjako ovat seuraavat:

Osaston asiantuntijat toimivat mm oman alansa asiantuntijoina ja konsultteina yhtiössä sekä suorittavat alansa tutkimus- ja selvitystyötä. Vuonna 1988 ko. asiantuntijoita on kolme alueinaan ydinlaitostekniikka (E Aalto), lujuustekniikka (P Rajamäki) ja reaktorifysiikka (P Silta-

Laitoskehitystoimisto (H Malinen) vastaa ydinlaitosten esi- ja yleissuunnittelusta.

Prosessijärjestelmätoimisto (A Laukia) vastaa ydinlaitosten prosessisuunnittelusta, automaatio-suunnittelusta sekä luotettavuus- ja käyttövarmuussuunnittelun kehittämisestä koko yhtiön tarpeisiin.

Turvallisuus- ja polttoainetoimisto (M Koms) vastaa yleisistä ydinturvallisuusasioista, turvallisuusanalyysistä, ydinpoltoainetekniikasta ja reaktorifysiikasta.

Materiaali- ja rakennetekniikan toimisto (R Ahlstrand) vastaa koko yhtiön toimialueella konetekniikan materiaalteknisiä ja lujuusteknisistä kysymyksistä.

Lyhyesti maailmalta

Aihevalinnat Pekka Lehtinen, puh. 708 2385. Palstalla julkaistaan uutismaisesti tietoja ydinvoima-alan yleisistä ja turvallisuuteen liittyvistä tapahtumista.

Intia suunnittelee kahden VVER 440 -yksikön hankintaa. Kyseessä olisi "avaimet käteen" toimitus, johon Neuvostoliitto on tarjonnut edullisen 2,5 prosentin korolla olevan rahoituksen. Ennen mahdollista kauppaa Intia haluaa selvittää perinpohjin reaktorin turvallisuuden. Nucleonics Week 21.1.1988

Neuvostoliitto on käynnistänyt VVER 1800 -laitostyyppin suunnittelun. Laitoksessa on neljä pääkiertopiiriä ja reaktoripaineastian suunnittelueliniäksi on valittu 70 vuotta. Turvallisuutta parantavat mm.

Prosessinvalvontatoimisto (E Rintilä) vastaa sekä ydin- että konventionaalien voimalaitosten prosessitietokonejärjestelmien, valvontajärjestelmien ja simulaattoreiden suunnittelusta.

T&K-yksikkö

Yksikkö ohjaa, valvoo ja toteuttaa yhtiön T&K-toimintaa sekä avustaa yhtiön muita yksiköitä niiden T&K-toiminnassa. Yksikköön kuuluvat

- laboratorio-osasto (R Kauppi),
- tutkimusosasto (Y Laiho),
- ympäristönsuojelutoimisto (H Niininen),
- ydinvoimatekniikan asiantuntija (P Simola).

Ympäristönsuojelutoimiston toiminta-alueena ydinvoimatekniikan osalta ovat mm päästölaskenta, ympäristövaikutusten arvioiminen, ympäristön tarkkailu- ja mittausohjelmien suunnittelu sekä vetovastuu ydinjätehuollon suunnittelussa.

Uudet toimitilat

IVO Engineering muutti lähinnä eräitä Vanhaankaupunkiin jääneitä laboratorioita lukuunottamatta kokonaisuudessaan uusiin toimitiloihin Vantaan Myyrmäkeen kuluneiden joulu- ja tammikuun aikana. Samalla muutti myös engineering-toimintaan keskeisesti liittyvä yhtiön hankintaosasto. Siirtymisen Helsingin keskustassa hajallaan sijainneista toimitiloista saman katon alle uskotaan tehokkaamman sisäisen yhteydenpidon, palvelutoimintojen keskittämisen ym. kautta luovan edellytykset uuden organisaation tehokkaalle toiminnalle. □

sydämen tehopiikkitaipumuksen minimoimintaa sekä polttoainepienien ja suoja-kuoren välisen lämmönjohtavuuden parantaminen. Sydämen suunnittelua optimoidaan, jotta päästäisiin neljänneksen vuosivaihdettavuuteen. Zirconiumia käytetään polttoainepinnoitukseen sijaan. Polttoainevuotoja vähennetään. Säätö- ja turvajärjestelmien luotettavuutta kasvatetaan. Näitä parannuksia voidaan soveltaa myös VVER 440 ja VVER 1000 -tyyppisiin. Lisäksi VVER 1800 -tyypissä tulee olemaan nopea pikasulkujärjestelmä, joka perustuu nestemäisen myrkyä pumppaamiseen sydämeen. Häätäjähdystysvettä ei tarvitse lämmitellä. Nucleonics Week 12.11.1987

Neuvostoliiton kommunistisen puolueen politbyro ilmoittaa Tshernobylin onnettomuuden revidoiduksi kokonaiskustannukseksi 8 miljardia ruplaa. Summa sisältää myös korvaussähkön hankinnan. Nucleonics Week 21.1.1988

Neuvostoliitto ja Ruotsi allekirjoittivat 14.1.1988 sopimuksen ydinlaitosonnettomuuden nopeasta ilmoittamisesta ja tiedonvaihdosta. Sopimuksen tiedonvaihtosa kattaa kaikki Ruotsin 12 yksikköä ja Neuvostoliiton läntisimmät yksiköt. Nucleonics Week 28.1.1988

Ranska. Natrium-vuoto Superphenix 1240 MW hyötöreaktorin polttoainerummussa korjattaneen vasta keväällä 1988. Vuotokohtia on löytynyt useiden hitsien vierestä. Ensimmäisenä paikallistetun hiushalkeaman pituus on 15 cm. Voimayhtiö on anonut alasajetulle laitokselle tilapäistä käyttöluopua marraskuun puolesta välistä lähtien korjausseinokkiin asti. Korjaamisen viivästyminen johtuu sen vaatimista laajoista turvallisuus- ja työtapeselvityksistä. Nucleonics Week 5.11.1987

Saksan liittotasavallan ydinturvallisuusviranomaiselle (GRS) raportoitiin vuonna 1986 334 huomionarvoista ydinvoimalaitostapahtumaa. Tapahtumia oli keskimäärin 17 laitossyksikköä kohti. Nucleonics Week 12.11.1987

Saksan liittotasavallan ydinvoimalaitoksissa ryhdytään käyttämään korkeampaa ydinpoltoaineen palamaa ja vähentämään uraanin kulutusta seosoksidin moksipoltoainetta käyttämällä. PWR-yksikköjen polttoainekulut vähenevät 10 prosentilla, kun palama nostetaan 35 MWD/kgU:sta 50 MWD/kgU:een. La-

tausjaksoja aiotaan myös pidentää, kuten esim. Brokdorf PWR-yksiköllä 20 kuukauteen.

Nuclear Fuel 19.10.1987

SEV-maiden ydinturvallisuusviranomaiset ovat allekirjoittaneet sopimuksen huomionarvoisten ydinvoimalaitostapahtumien vaihtojärjestelmästä. ICI-Nadzor -järjestelmä on yhdistelmä NEA-IRS ja Uniped USERS järjestelmien hyvistä ominaisuuksista, kuten tiedonvälityksen nopeus ja tapahtumien analysoinnin sisältyminen raportteihin.

Nucleonics Week 12.11.1987

USA:n Vermont Yankee BWR -yksikkö on eräs maan suorituskykyisimmistä laitoksista. Se saavutti 95 prosentin energiakäyttökertoimen heinäkuussa 1987 päättyneellä latausjaksolla. Yksiköllä ryhdytään soveltamaan 20 kuukauden latausjaksoa kahden seuraavan latausjakson aikana tehtävien sydänmuutosten jälkeen.

USA. North Anna PWR-W-yksikön höyrystimen kylmän puolen tuubikatkoksen seurauksena NRC on kiinnittänyt huomiota siihen, että pyörrevirtatarkastuksilla ei pystytä löytämään kaikkia mahdollisia tulevia tuubikatkoskohtia, koska mittausjaka ei ole riittävä herkkä. Nucleonics Week 12.11.1987

USA. Nevadan Yucca Mountain valittaneen korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituspaikaksi USA:ssa, mikäli tutkimuksissa ei tule esiin sitä estäviä seikkoja. Radwaste News 18.12.1987

USA. Three Mile Island 2 onnettomuusreaktorin vaurioitunut polttoaine on saatua poistettua reaktoripaineastian sydänvyöhykkeeltä. Seuraavassa vaiheessa leikataan sydämen kannatusrakenteet irti, jotta paineastian pohjalle pudonneet polttoainejätteet voidaan poistaa. Radwaste News 18.12.1987

USA:n Browns Ferry 2 BWR 1098MW GE -yksiköllä tapahtui tulipalo drywellissä 80 kaapelin syttyttyä tuntemattomasta syyistä. Laitos oli alasajettuna palon sattuessa. Kaapelit olivat olleet jännitteettöminä puoli tuntia. Palo epäillään tahallaan sytytettyksi, koska merkkejä bensiiniin käytöstä on löytynyt. Palo saatiin sammutetuksi puolessa tunnissa. Suojarakennuksessa ei ollut riittävää sammutusvalmiutta, koska se on käytön aikana tyypellä inertoitu. Kaikki Browns Ferry:n ydinvoimalaitoksen kolme yksikköä ovat seisseet vuodesta 1985 lähtien käyttöorganisaatioissa havaittujen puutteellisuuden vuoksi.

KSU meddelande 23.12.1987

Ytimekkäät

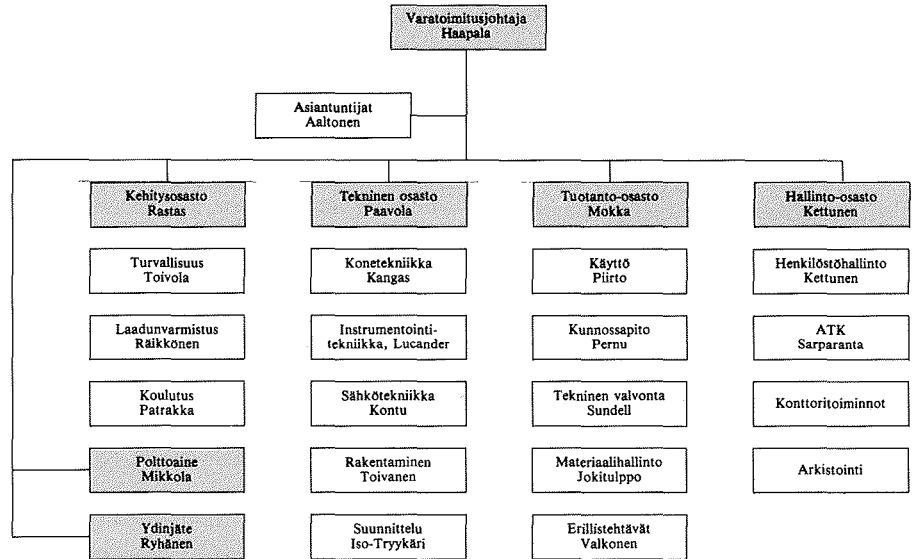
Teollisuuden Voima Oy:n operatiivisen toiminnan organisaatio 1.1.1988

TVO:N OPERATIIVISEN TOIMINNAN ORGANISAATIO MUUTUI 1.1.1988

TVO:n operatiivisen toiminnan organisaatio on säilynyt lähes muuttumattomana viimeiset viisi vuotta. Tänä aikana se on toiminut vähintään tyydyttävästi. Organisaatiota on kuitenkin päätetty muuttaa ja kehittää, jotta se vielä paremmin vastaisi tulevan toiminnan tarpeita.

TVO:n operatiivisen toiminnan organisaatiossa toteutetaan 1.1.1988 seuraavat muutokset ja nimitykset:

- Varatoimitusjohtajan alaiseksi asiantuntijaksi on nimitetty Raimo Aaltonen.
- Voimalaitososaston nimi muuttui tuotanto-osastoksi. Sen osastopäälliköksi on nimitetty Rauno Mokka. Hän toimii myös ydinenergiailain tarkoituksena vastuullisena johtajana TVO:n Olkiluodon ydinlaitoksilla.
- Tuotanto-osaston käyttötoimiston päälliköksi on nimitetty Antti Piirto. Hän toimii ydinenergiailain tarkoittaman vastuullisemman johtajan varamiehenä TVO:n Olkiluodon ydinlaitoksilla.
- Tuotanto-osaston teknisen valvontatoimiston päälliköksi on nimitetty Reijo Sundell.



- Materiaalihallintotoimisto siirtyi hallinto-osastolta tuotanto-osastolle.
- Turvallisuus- ja laadunvarmistusosaston nimi muuttui kehitysosastoksi.
- Kehitysosaston turvallisuustoimiston päälliköksi on nimitetty Ahti Toivola.
- Kehitysosastolle perustettiin koulutustoimisto, joka huolehtii koulutusasioista koko yhtiön osalta. Koulutustoimiston päälliköksi on nimitetty Eero Patrakka.
- Teknisen osaston päälliköksi on nimitetty Mauno Paavola.
- Teknisen osaston voimalaitostekniikan toimiston nimi muuttui konetekniikan toimistoksi. Sen päälliköksi on nimitetty Jukka Kangas.
- Konetekniikan toimiston prosessijaoksen päälliköksi on nimitetty Juha Kilpi.

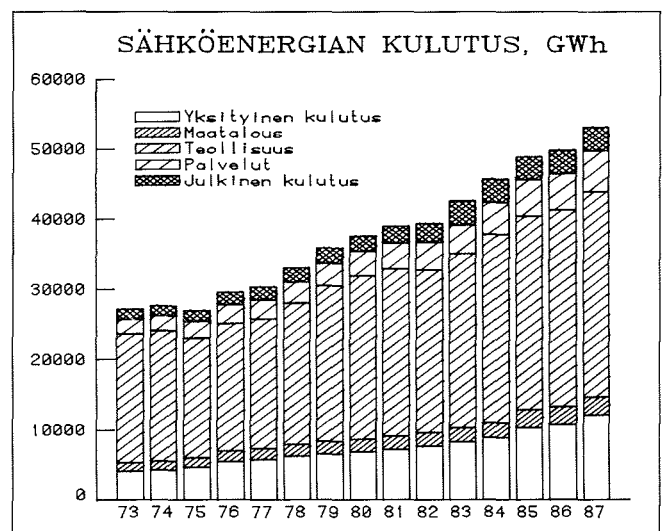
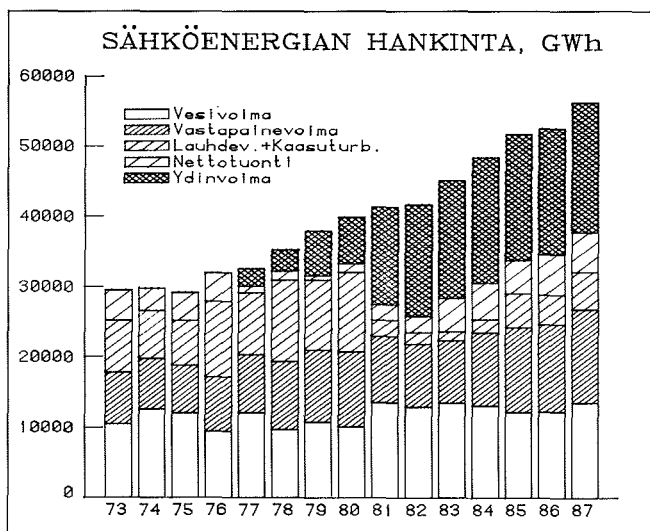
Esko Haapala, TVO

SÄHKÖNKULUTUS KASVOI ENNÄTYKSELLISESTI

Suomen sähkönkulutus oli vuonna 1987 56,3 terawattituntia. Nousua edellisvuodesta oli 6,8 % eli 3,59 terawattituntia. Ydinsähköntuotanto oli ennätyselliset 18,5 terawattituntia. Ydinsähkön osuus kokonaiskulutuksesta oli 33 %.

Sähkön hinta on pysynyt viime vuodet vakaana. Valtakunnallinen pienkuluttajien keskihinta laski vuoden aikana 0,1 penniä kilowattitunnilta ollen tämän vuoden alussa 37 penniä.

	1986 GWh	1987 GWh	Osuus 1987 %
Vesivoimala	12 266	13 518	24
Vastapainevoima, kaukolämpö	12 407	13 287	24
Ydinvoima	17 998	18 549	33
Lauhdevoima, kaasuturbiinit	4 245	5 343	9
TUOTANTO	46 916	50 697	90
Nettotuonti	5 807	5 619	10
KOKONAIS- HANKINTA	52 723	56 316	100



YHDISTYKSEN ESITTELY: SOCIETY OF RELIABILITY ENGINEERS

Society of Reliability Engineers -järjestön pohjoismainen jäsenyhdistys SRE — SCANDINAVIA perustettiin vuonna 1980. Yhdistykseen kuuluu yli 300 henkilöjäsentä Norjassa, Ruotsissa, Suomessa ja Tanskassa.

Toiminta-alueena luotettavuustekniikka Luotettavuustekniikka (Reliability Engineering) on tekniikan alue, jossa on tavoitteena tuotantolinjojen, laitteiden ja yleensä teknisten järjestelmien käyttövarmuuden ja turvallisuuden järjestelmällinen analysointi ja parantaminen. Luotettavuustekniikan menetelmiä sovelletaan myös kunnossapidon suunnittelussa ja riskien hallinnassa. Luotettavuustekniikan lähestymistavan johtavana ajatuksena on pyrkimys elinjakson kustannusten (LCC) ja muiden suorituskykyvaatimusten kannalta tasapainoiseen suunnitteluun ja päätöksentekoon. Luotettavuusteknisiä menetelmiä ja tunnuslukuja on perinteisesti sovellettu energia- ja sotilastekniikan sekä elektroniikan alueilla, mutta sovellukset ovat viime aikoina laajentuneet mm. prosessi-, kone- ja automaatiotekniikkaan.

SRE — SCANDINAVIAN tavoitteena on edistää tietämyksen vaihtoa luotettavuustekniikan käytännön menetelmistä ja teoriasta. Erityisesti edistetään menetelmien soveltamista ja luotettavuustekniikan kokonaisnäkömyksen kehittymistä tekniikan eri alueilla henkilöiden välisen kokemuksen vaihdon avulla.

Toimintamuodot

Keskeisellä sijalla yhdistyksen toiminnassa ovat seminaarit ja konferenssit. Vuo-

sittaisessa SRE-symposiossa käsitellään luotettavuustekniikan menetelmiä, teoriaa ja käytännön sovelluksia. Luennoitsijat edustavat alan parasta asiantuntemusta. Keskusteluissa on mahdollisuus hyödylliseen kokemusten vaihtoon ja uusien yhteistyösuhteiden luomiseen.

Viime symposiot on järjestetty yritysten ja laitosten piirissä, jolloin on voitu toteuttaa myös mielenkiintoinen teollisuuskäynti. Symposioaineisto julkaistaan. Jäsenet voivat osallistua symposioihin alennettuun hintaan. Seuraavassa on lueteltu pidetyt ja suunnitellut symposiot:

Aika	Paikka
1980	Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Ruotsi
1981	Kungliga Tekniska Högskola, Stockholm, Ruotsi
1982	Bofors AB, Karlskoga, Ruotsi
1983	FFV Underhåll, Arboga, Ruotsi
1984	FFV Elektronik, Växjö, Ruotsi
1985	SINTEF, Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, Norja
1986	VTT, Otaniemi, Suomi
1987	Forskningscenter Risø, Tanska
1988	Asea, Statens Vattenfallsverk, Västerås, Ruotsi
1989	Statoil, Stavanger, Norja

SRE — Newsletter

Yhdistyksen sisäinen tiedotuslehti SCANNER toimitetaan neljännesvuosittain. Lehdessä tiedotetaan alan ajankohtaisista tapahtumista kuten kurseista, seminaareista ja konferensseista, vasta ilmestyneistä alan julkaisuista, opinnäytteistä, uusista menetelmistä ja apuneuvoista sekä yhdistyksen toiminnasta ja jäsenasioista.

Jäsenet

Yhdistykseen kuuluu vain henkilöjäseniä. Jäseneksi pääsee suorittamalla kaudelta 1987/1988 jäsenmaksun 50 SEK ruotsalaiselle postisiirtotilille 45 14 32-9 (SRE-Scandinavia). Maksu on käytännöllisintä suorittaa Suomessa posteissa ja Postipankin konttoreissa 8 markan toimitusmaksulla yhdistyksen oman postisiirtolomakkeen avulla.

Lisätietoja saa allekirjoittaneelta (p. 456 6465).

Kari Laakso, VTT/Sähkötekniikan laboratorio

IVO:N JA TVO:N KÄYTTÖSTÄPOISTOSUUNNITELMAT 1987

IVO ja TVO ovat toimittaneet käyttöluopauksensa mukaisesti viranomaisten tarkastettavaksi Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitosten käyttöstäpoistosuunnitelmat. Loviisan laitoksen purkamisen esitetään alkavaksi vuonna 2007 ja se kestää 13 vuotta purkujätteen loppusijoituksineen. Käytöstäpoistokustannus on tämän päivän rahassa 800 miljoonaa markkaa. Olkiluodon laitoksen purkamisen esitetään aloitettavaksi vuonna 2040, kun laitosta on ensin seisotettu 30 vuotta. Purkutoimenpiteet kestäisivät noin 15 vuotta purkujätteen loppusijoituksineen. Käytöstäpoistokustannus on vastaavasti 808 miljoonaa markkaa. Aloitusajankohdan lisäksi suunnitelmat eroavat siinä, että Loviisan yksiköiden reaktoripaineastiat aiotaan irrottaa ja loppusijoittaa kokonaisuina, kun Olkiluodossa paineastiat irrotetaan ja loppusijoitetaan palasina. Reaktoripaineastian käsittely on ydinvoimalaitoksen purkamisessa keskeisin osatehtävä.

Pekka Lehtinen, STUK

English Abstracts

Special issue: nuclear fuel

Editorial: Finland with free ticket into the international research cooperation

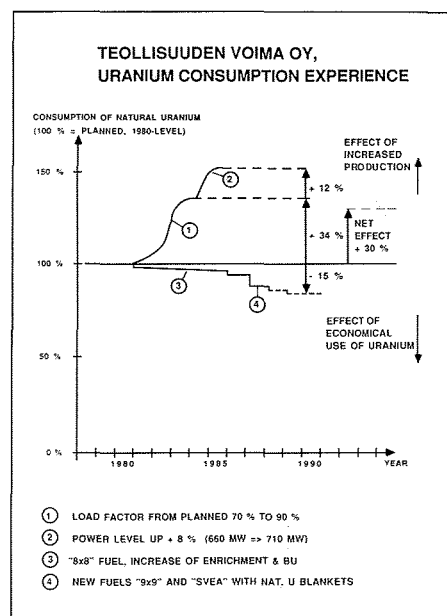
Pertti Salminen (page 1)

Finland has been participating in the international research cooperation at CERN (European Laboratory for Particle Physics) for years. Finnish research scientists are working there and Finland has a full benefit of the results. But Finland is not a member nation and doesn't take care of its share of the costs of CERN. All kinds of explanations have been produced, but now it is time for Finland to acquire the membership and to take the responsibility for its share of the costs.

Consumption of natural uranium — what does it depend on?

Ilkka Mikkola (pages 2—3)

Reaching of 90 %-level load factor instead of the anticipated 70 % as well as the raise of nominal power by 8 % from 660 MW to 710 MW has caused a marked increase of demand of natural uranium in the Industrial Power Company's nuclear generation units. Simultaneously, great effort has been made to make the use of uranium more effective. Methods used include new types of fuel, increased burn-up, spectral shift operation and changes affecting the reactor core power distribution. Effects on natural uranium consumption are shown in the attached diagram.



Running short of uranium?

Juhani Vira (pages 3—6)

With current trends of uranium consumption, the present low-cost **reasonably assured resources (RAR)** of uranium in the countries of market economies will be exhausted during the first decades of the 2000's. However, there is high probability that at least a considerable part of the currently **estimated additional resources (EAR)** can be discovered and the uranium subsequently recovered. Moreover, evidence exists that with continued explorations the low-cost resource base can be extended far beyond the amounts in the RAR and EAR categories. In any case, the world short- and medium-term uranium requirements are expected to be met without difficulty; in the longer-term the requirements can be substantially decreased by more efficient utilization of the fuel. Breeders and advanced converters can multiply the amount of energy available from the uranium resources.

BWR — in-core fuel management (ICFM)

Esa Mannola (pages 6—7)

The Industrial Power Company Ltd (TVO) takes care of the fuel cycle design using the assistance from the Technical Research Centre of Finland (VTT). Design process starts 2.5 years before the loading of fuel by fixing the enrichment distribution of the reload fuel pins. Possible changes in fuel design must be planned in advance as TVO has done in changing from the standard 8×8 fuel to 9×9 and water-cross type fuels. In the fuel cycle duration design the fuel costs are balanced against the loss of production in the end of cycle which typically leads to a 3-week coastdown period and a decline of power to 90 % of the nominal before shutdown for refuelling.

International cooperation in nuclear fuel research

Esa Vitikainen, Pertti Salminen (page 8)

Short summary is given of nuclear fuel related research in Finland. Research work is going on at many organizations. However, due to the restricted domestic resources on the area, the importance of the international cooperation is pronounced.

Use of mixed oxide fuel element (mox) in LWRs

Jukka-Pekka Salo (pages 9—10)

Originally the main purpose of the countries planning commercial reprocessing activities, has been obtaining plutonium for the initial loads of fast breeder reactors. Because fast breeder programmes have been delayed, there will be plutonium over the need of these programmes. As a consequence interest has arisen to recycle plutonium in LWRs. In this way, the need for storing plutonium could be avoided.

Theoretical and experimental studies have shown that plutonium is technically speaking suitable fuel (mixed oxide fuel, mox) for LWRs. Moreover, the different phases of mox-fuel cycle have been tested in practice in several countries, for example in West Germany. By recycling plutonium and uranium acquired from reprocessing 30—40 % of the natural uranium need can be covered.

In this article a brief survey of using mox in a LWR has been presented including fabrication aspects and the future outlook of using mox in different countries.

Public information — question of nuclear power's future

Pertti Salminen (pages 11—12)

In addition to the technical, economical and safety matters, attaining of public acceptance has been agreed as the central objective in the field of nuclear energy. To achieve this aim, objective and right information about energy management and especially about nuclear energy has an important role. Matters concerning information were dealt with in the PIME'88 meeting organized by ENS in January, in Montreux, Switzerland.

View of world energy future

Juhani Santaholma (pages 12—14)

The WEC-study on Long Term Evolution of the World Energy; Demand and Balance 1986 analyses the trends of world energy future: demand, resources and energy supply. Energy research and development is an important sector. No energy alternatives should be excluded outside the options. Environmental aspects are essential in future energy decisions.

Finland's role in the international fusion energy research

Seppo Karttunen (pages 15—17)

International collaboration in fusion energy research is expected to increase considerably in future. Next generation of large fusion devices like Next European Torus (NET) or International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) are collaborative projects striving for a major step towards commercial production of fusion energy. Should also Finland consider participating in these international efforts? Various aspects of this question are discussed in the article.

Operation history 1987 in Finland

Pertti Salminen (pages 18—20)

In Finland total electricity consumption increased by 6,8 % in 1987, which is more than ever before. The electricity supply by energy sources was:

	GWh	%
Nuclear power	18 549	33
Hydropower	13 518	24
Back-pressure power	13 287	24
Condensing, gas turbs	5 343	9
Net import	5 619	10
Total supply	56 316	100

Finland's four nuclear power units generated 33 % of the total national electricity supply, and 37 % of the electricity produced in the country. Capacity factor averaged 92.1 % (Loviisa-1 93.2, Loviisa-2 92.6, Olkiluoto-2 92.3 and Olkiluoto-1 90.0 %).

Furthermore, radioactivity levels in the environment of the power plants and the radiation dose of personnel were very low. Occupational dose averaged 1,3 manSv/GWe (Loviisa 1.3 and Olkiluoto 1.7 manSv).

According to Nucleonics Week, Feb. 4, 1988, our average capacity factor is the highest in the world just above Hungary (88.6 %) and Switzerland (84.66 %), and all our units belong to the "Top 25 Units by Capacity Factor" -list in 1987.

New Law on Nuclear Energy into force on March 1, 1988

Juhani Santaholma (page 21)

In Finland new Law on Nuclear Energy enters into force on March 1, 1988 after ten years' preparation work. The Parliament approved the new law, compensating the old law on atomic energy on 1957, unanimously in November 1987. The new law provides the decisions on new nuclear power plants to be made by the Government and finally ratified by the Parliament.

The Finnish Atomic Energy Commission evaluated the role of the national nuclear energy research

Lasse Mattila, Risto Sairanen (pages 22—23)

The Finnish Atomic Energy Commission published an assessment "Role of the national nuclear energy research in the Finnish nuclear power program". The assessment describes the methods and results of the Finnish nuclear energy research in fulfilling the requirements set by the nuclear power program. Several recommendations are also presented, which can be used in planning and supervision of future research.

Nuclear engineering and IVO's new organization

Heikki Väyrynen (pages 24—25)

At the beginning of 1988 Imatran Voima Oy (IVO) changed its organization. The engineering, R & D and laboratory activities were grouped to form IVO Engineering. The Nuclear Power Department was established within this organization. All power plants, nuclear and conventional, remain under IVO's Operating Department.

IVO ENGINEERING MUUTTAA MYYRMÄKEEN

Yhteystiedot 1.2.1988 alkaen:

KESKUSTA, HELSINKI

Voimatalo,

Malminkatu 16

postiosoite: PL 138, 00101 Helsinki

puhelin (M-vaihde): (90) 694 4811

''Kampintalo''

Annankatu 34-36

puhelin (K-vaihde): (90) 694 2211

puhelin (M-vaihde): (90) 694 4811

VANHAKAUPUNKI, HELSINKI

Viikintie 3, 00560 Helsinki

puhelin: (90) 790 500

OTANIEMI, ESPOO

Otaniemen teknologiakylä

Tekniikantie 17, 02150 Espoo

puhelin: (90) 437 51

MYYRMÄKI, VANTAA

Rajatorpantie 8, Myyrmäki

postiosoite : PL 112, 01601 Vantaa

puhelin (A-talo) : (90) 5081

puhelin (C- ja

D-talot) : (90) 53011

telefax : (90) 566 6235

telex : 124608 voima sf

teletex : 100 0953=IVOMY

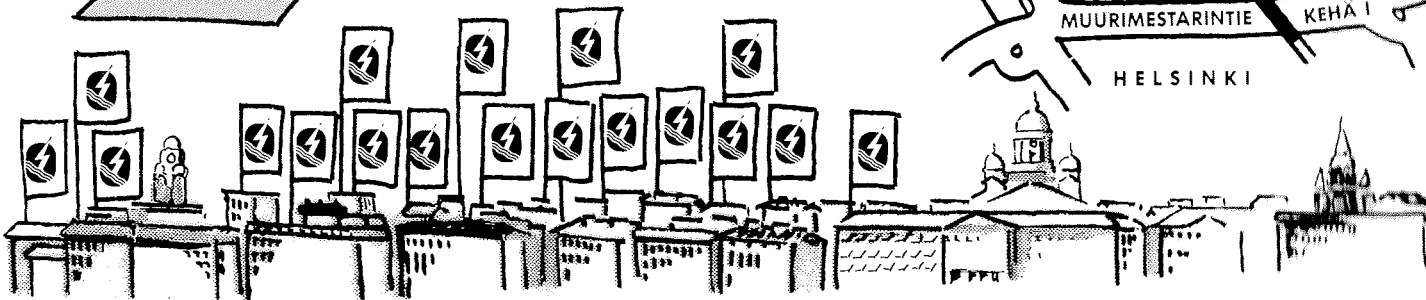
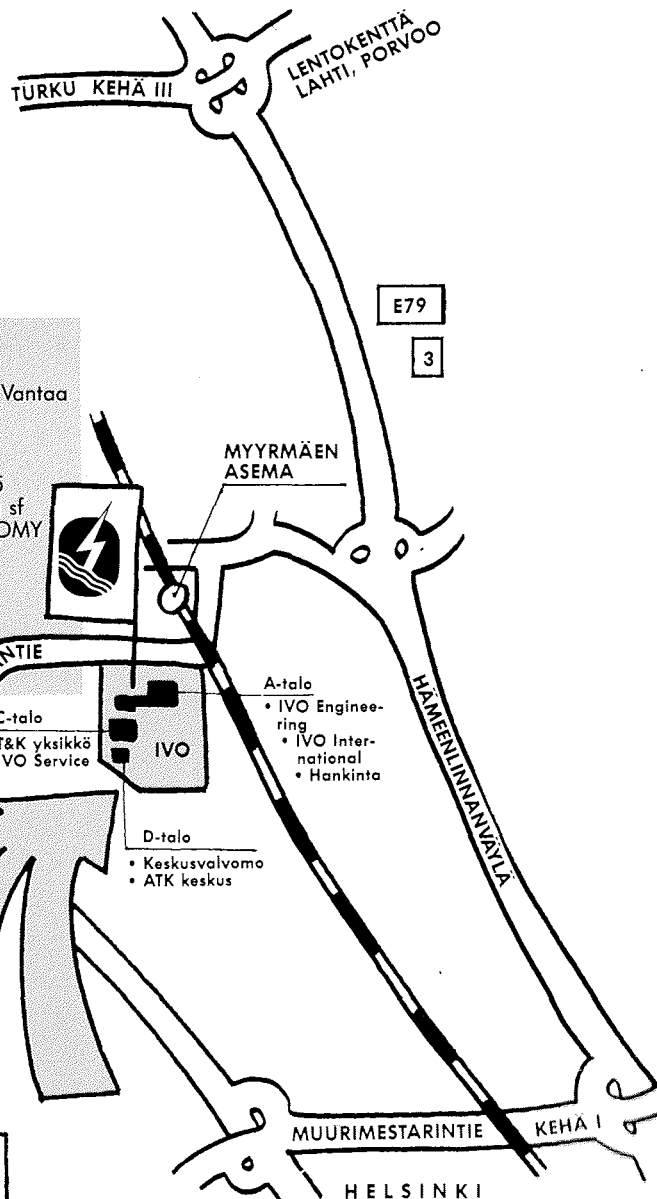
IVO International Oy

Osoite,

telex ja teletex kuten yllä

puhelin: (90) 5081

telefax : (90) 508 3408



IMATRAN VOIMA OY

