



ATS

YDINTEKNIikka

SISÄLTÖ

YDINJÄTEHUOLTO

Onko ydinjätehuolto teknisesti ratkaistu	1
Eron saaneen puheenjohtajan kiitospuhe	2
Uuden puheenjohtajan mietteitä vaalien varjossa	2
Ydinjätehuollon yleismaailmallinen tilanne	3
Ydinjätteet valvonnan ja varautumisen kohteena	5
TVO:n kenttätutkimusohjelman toteutus	6
Käytetyn polttoaineen loppusijoitusvalmistelut etenevät	8
Ydinvoimalaitosten käytöstäpoisto maksaa, mutta kuinka paljon?	10
Julkisrahoitteinen ydinjätetutkimus Suomessa	11
TVO:n käytetyn polttoaineen uusi kapselointitekniikka	13
Uusi kesiumin erotussysteemi puhdistamaan Loviisan nestemäisiä jätteitä	14
VLJ-luola	16
Ydinvoimaloiden käyttö 1990	18
Sihteerin sana	20
Ytimekkäät	20
Lyhyesti maailmalta	21
English abstracts	21
Special issue: Nuclear waste management	22

ATS

YDINTEKNIikka

1/91, vol. 20

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

TOIMITUS

Päätoimittaja
DI Heikki Raumolin
Perusvoima Oy
PL 138, Malminkatu 16
00101 Helsinki
P. 90-60906017

Erikoistoimittaja
FK Osmo Kaipainen
Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53
00100 Helsinki
P. 90-605022

Erikoistoimittaja
DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
PL 23
07901 Loviisa
P. 915-550576

Erikoistoimittaja
DI Kirsti Tossavainen
Säteilyturvakeskus
PL 268
00101 HELSINKI
P. 90-708 2388

Toimitussihteeri
DI Pertti Salminen
Teollisuuden Keskusliitto
PL 220, Eteläranta 10
00131 Helsinki
P. 90-180 9233

JOHTOKUNTA

Pj. TKT Rainer Salomaa
TKK/Teknillisen fysiikan laitos
Otakaari 2
02150 Espoo
P. 90-4513199

Vpj. DI Klaus Kilpi
VTT/Ydinvoimatekniikan laboratorio
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki
P. 90-648931

Rh DI Anna-Maija Kosonen
VTT/Metallilaboratorio
PL 26
02151 Espoo
P. 90-4566858

Siht. DI Jussi-Pekka Palmu
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5084562

Jäs. DI Leif Blomqvist
Säteilyturvakeskus
PL 268
00101 Helsinki
P. 90-70821

Jäs. DI Jorma Kotro
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5082416

Jäs. DI Eero Patrakka
Teollisuuden Voima Oy
27160 Oikiluoto
P. 938-3811

TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri
DI Petra Lundström
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5085422

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

Ekskursios sihteeri
DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
PL 23
07901 Loviisa
P. 915-550576

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

TkT Esko Peltonen on työskennellyt vuosina 1973—1990 ydinjätehuollon tutkimus-, kehitys- ja toimeenpanotehtävissä VTT:ssä ja TVO:ssa ja tehnyt diplomityön jätteen käsittelytekniikoista, lisensointityön kalliotutkimusohjelmista ja väitöskirjan loppusijoituksen turvallisuuden ja toimintakyvyn arvioinnista. Nykyisin hän toimii innovaatiojohtajana Teknologiateknologian keskus Tietotaajama Oy:ssä Jyväskylässä, puh. 941-650 100.

ATS YDINTEKNIikka (20) 1/91

YDINJÄTEHUOLTO

Vuoden 1991 numeroiden teemat ovat:

- No. 1 Ydinjätehuolto
dead-line 31.1.
- No. 2 Ydinvoiman
jatkorakentaminen
dead-line 30.4.
- No. 3 ATS 25 vuotta
dead-line 15.8.
- No. 4 Espanja

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin
ATS:n jäseniltä: 200 mk

Ilmoitushinnat: 1/1 sivua 1500 mk
1/2 sivua 1000 mk
1/3 sivua 700 mk

Toimituksen osoite:

ATS Ydintekniikka
c/o Pertti Salminen
Teollisuuden Keskusliitto
Eteläranta 10, PL 220
00131 Helsinki
p. 90-180 9233
telefax 90-180 9209

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

ISSN-0356-0473

Esko Peltonen, Tietotaajama Oy



Onko ydinjätehuolto teknisesti ratkaistu

Tärkeä ydinvoiman jatkorakentamiseen liittyvä tekijä on jätehuollon ratkaisusta. Uuden tieteellisen-tekniologisen hankkeen ”ratkaisulta” voidaan vaatia kolmea näyttöä: tieteellistä, teknologista ja kaupallista. Sopiiko tämä ydinjätehuoltoon? Esimerkit helpottanevat tarkastelua.

Miehitettyä kuultoa voitaneen pitää teknisesti ”ratkaistuna” kymmeniä vuosia sitten saadun tieteellisen näytön ja 21.7.1969 saadun teknologisen näytön perusteella. Kaupallista näyttöä ei ehkä odoteta. Fuusioenergian käyttöä sähköntuotantoon ei sen sijaan voi vielä pitää ”ratkaistuna”. Vain tieteellinen näyttö on hädän tuskin saavutettu. Teknologinen ja kaupallinen näyttö hämöttävät 20—50 vuoden päässä. Uutta teollista tuotetta pidetään ”ratkaistuna” silloin, kun yritys tekee päätöksen tuotannon aloittamisesta. Kaupallinen näyttö tarvitaan ja se on arvioitu etukäteen liikeloudellisin työkaluin.

On siis normaalia, että silloin kun tunteet ja pelot eivät sotke harkintaa, uutta teknologiaa pidetään ”ratkaistuna” tieteellisen ja teknologisen näytön jälkeen, edellyttäen että kaupallinen näyttö on esitetty arvioimalla kustannukset pätevästi ja varat ovat saatavilla. Miltä Olkiluodon tilanne näyttää näillä kriteereillä?

Käytetyn ydinpolttoaineen huollon tieteellinen näyttö eli loppusijoituksen pitkäaikaturvallisuuden osoittaminen on jo varsin vahva. Kattavia turvallisuusanalyyskejä — joissa on tarkasteltu koko loppusijoitusjärjestelmää — on suoritettu Suomessakin jo 70-luvulta asti, sekä yleisinä että käyttäen esimerkkipaikkana Olkiluotoa (1979, 1982 ja 1985). Realististen olosuhteiden lisäksi niissä on käytetty erilaisia mitä pessimistisimpiä skenaarioita. Tärkeä tulos on ollut, että turvallisuus ei ole vaarantunut hypoteettisissa tapauksissa. Vuoden 1992 loppuun mennessä valmistuu perusteellinen analyysi, joka pääosin perustuu toisaalta TVO:n paikkatutkimusohjelman tuottamiin tietoihin vuosilta 1987—92 ja toisaalta TVO:n tekniikan T&K-ohjelmaan vuosilta 1986—91.

Turvallisuusanalyysien lisäksi on suoritettu vaihtoehtoisten kokonaisjärjestelmien ja järjestelmän osien toimintakykyanalyyskejä. Kustannus-tehokkuus-arvioiden perusteella nykyinen kokonaisjärjestelmä on säteilyturvallisuuden kannalta jo ylimitoitettu. Perusteita kapselin tai sijoitustilojen parantamiseen on vain siinä tapauksessa, että sijoituspaikan pohjavesiolosuhteet osoittautuisivat merkittävästi huonommiksi kuin tähän asti on arvioitu. Perusteita nykyisiä tutkimuspaikkoja paremman kallioerän löytämiseksi on vain siinä tapauksessa, että niin kapselin kuin sijoitustilojenkin ominaisuudet osoittautuisivat merkittävästi huonommiksi kuin tähän asti on arvioitu. Mitään indikaatioita tällaisesta ei ole näkyviissä. Nykyistä edullisemmän ja turvallisuudeltaan hyvän loppusijoitusratkaisun kehittäminen on sen sijaan järkevää, kunhan T&K-kustannukset eivät syö säästöä.

Teknologisen näytön osalta varastoinnista ja siirroista on jo yli 10 vuoden kokeemukset ilman turvallisuuden vaarantumista. Loppusijoitustekniikka on suurelta osin testattu täyden skaalan kokein kalliolaboratorioissa mm. Ruotsin Stripassa. Käytettävissämme ovat tarkat tiedot myös Kanadan ja Sveitsin koetuloksista. Kalliotilojen rakentamistekniikasta Suomessa on runsaasti kokemusta. Kapseloinnissa tarvittava tekniikka on jo olemassa, kun yhdistetään osaaminen Ruotsissa ja Englannissa.

Kaupallinen näyttökin on vahva, kun Olkiluodon KPA-varaston rakentamis- ja käyttökustannukset ovat osoittautuneet arvion mukaisiksi. Loppusijoituksen kustannukset mahdollisine kuljetukseen ovat penni/kWh. Varoista, joita tarvitaan vuoden 2010 jälkeen, on puolet jo kerätty ja loputkin vuoteen 2005 mennessä.

Alhais- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen (VLJ) osalta epäselvyyttä ”ratkaisun” olemassaolosta ei pitäisi olla. Olkiluodon VLJ-luola ja sen ”lopullinen turvallisuusseloste” valmistuvat hyvää vauhtia laitoksen ottamiseksi käyttöön v. 1992. Loppusijoituksen kustannukset ovat alle 0,1 penniä/kWh. Jopa voimalaitoksen käytöstäpoiston jätehuollon näytöt ovat lähes yhtä vahvat kuin VLJ-tyypin, vaikka tarve loppusijoitukseen onkin vasta yli 50 vuoden päästä.

Sen lisäksi, että ydinjätehuoltoa on pidettävä teknisenä hankkeena ”ratkaistuna”, sähköntuottaminen uraanilla tulee olemaan esimerkkitekniologiaa, kun muillekin aloille leviää ”kehdestä hautaan” -kokonaisvastuu. Ennustan näin käyvän ennen vuosituhannen vaihdetta. □



Eron saaneen puheenjohtajan kiitospuhe

Kiitän Seuran jäseniä vilkkaasta ja tuloksekkaasta toiminnasta kuluneiden kahden vuoden aikana, jolloin teemoina olivat uraanin 200-vuotinen historia, reaktoriturvallisuus, uudet ydinvoimalaitokset, säteilyasiat sekä naapurimaayhteydet. Toimihenkilöiden nuorekas into, taito ja tarmo tekivät puheenjohtajakaudesta miellyttävän. Haluan kiittää erikseen tehokasta yleissihteeriämme Petra Lundströmiä sekä sihteeriä Jorma (Gourmet) Aurelaa ja (Tarkka-) Jussi Palmua.

Mieleenjääneistä toimintakuvioista mainitsen sen, että Klaus Kilpi hoiti (Retuperän rutiinilla) mm. European Nuclear Society'n "General Assemblyn" ja ("Tuomiorovasti") Juhani Santaholma paimensi väsymättömän diplomatian avulla ENS:n Informaatiokomiteaa ohjaten liikkeelle mm. NUCNETin sekä "Women and...". Kaikissa tilanteissa tyyliä säilyttävä Lena Hansson käynnisti vauhdilla tarpeellisen Energiakanavatoiminnan yhdessä Sirpa Vertasen, Käthe Sarparannan ym. kanssa, Antti (Housu) Hanelius veti lehdistökoulutusta Osmo Kaipaisen kanssa, Rainer Salomaa syysseminaarin jne. Pertti Salminen uurasti tärkeimmän toimintamuotomme, tämän lehden parissa ja Kirsti Tossavainen kirjeenvaihto meitä Euroopan kartalle. Monen seniorijäsenen panos oli tärkeä, mm. esitelmätilaisuuksissa, johtokunnassa, työryhmissä ja lehdessä.

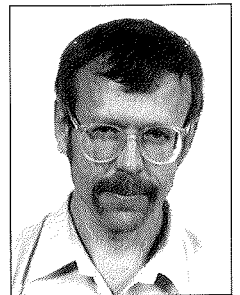
Toivotan menestystä uudelle puheenjohtajalle, prof. Salomaalle, samoin kuin uudelle johtokunnalle ja toimihenkilöille. Luokoon Seuran toiminta tieteen ja tekniikan parissa osaltaan edellytyksiä entistä turvallisemman ja puhtaamman energian tuotannolle ja muille alan sovellutuksille Suomessa.

ENS:n suuntaan katsoen voidaan toivoa esimerkiksi, että yhteistyö Euroopassa antaisi myös Itä-Euroopalle suuntaa turvallisuusasioissa, mallia USA:lle riippumattomuuteen Lähi-Idän "ruutiryntäystä" (öljystä) sekä meille kaikille mahdollisuutta rajoittaa hiilidioksidipäästöt ehkä jotenkin siedettävälle tasolle.

Ilkka Mikkola

DI Ilkka Mikkola on TVO:n polttoainetoimiston päällikkö, puh. 90-605 022.

Uuden puheenjohtajan mietteitä vaalien varjossa



ATS:n ruoriin astuu uusi johtokunta edessään sumea tulevaisuus. Hyväksi koettujen perinteisten toimintamuotojen ohella tarvitaan joustavuutta, joka tiukkojen talousraamien puitteissa on mahdollista aikaansaada vain talkoohengellä. Viime vuonna pystyi ATS nopeasti generoimaan julkilausumat maamme koereaktorin säilyttämisen puolesta sekä kasvihuoneilmiöstä ja ydinvoiman osuudesta sen torjumiseen. Alan informaatiokysyntää on pystytty tyydyttämään lyhyelläkin varoitusaajalla. Tällaisen dynaamisuuden säilyttäminen on elintärkeää myös vastaisuudessa. Erityisesti sitä tullaan tarvitsemaan vaalien jälkeen. Mikä tulee olemaan hallituksen energiapolitiikka ja mikä ydinvoimalaratkaisu? Seurankin on pystyttävä sopeutumaan kaikkiin kuviteltavissa oleviin vaihtoehtoihin.

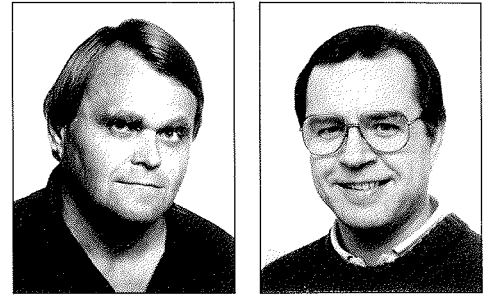
Kevään ja syksyn ohjelma on pääpiirteissään muotoutunut. Neuvostoliiton ydinteknisen seuran arvovaltainen delegaatio vierailee maassamme maaliskuun puolivälissä. Seura käväisee Ruotsin atomitekniikan seuran vieraana huhtikuussa. Syksyn kohokohtia ovat Espanjan ekskursion ja seuran 25-vuotisjuhla, joka vietetään syysseminaarin yhteydessä. Jäsenlehtemme ATS-Ydintekniikka pystyttäneen talousvaikeuksienkin keskellä säilyttämään toimituskunnan ja kirjoittajien ansiosta kiinnostavana ja tasokkaana. Seuran juhluvuosi on haaste myös lehdelle. Informaatiopuolella "energiakanava" on kukka, jota tulee vaalia. Nucnet sekä nuorten jäsenten aktivoiminen ovat työn alla. Kansainvälisyys ei ole uutta ATS:ssa; kokoonsa nähden seura on jo melko hyvin edustettu ENS:ssa. Vastaisuudessa maamme vaikutusmahdollisuudet ENS:n johdossa tehostunevat vielä entisestään.

ATS on tieteellinen seura, jonka toimiala on atomitekniikka. Ehkä neljännesvuosisata sitten pelikenttä oli selvempi — tänään aiheiden laajuus ja moni-ilmeisyys askarruttavat. Pinnalla on "vaarallinen ydinvoima" mutta myös monet "kelpo sovellukset" sädehoidosta palovaroittimiin kuuluvat seuran harrastuksiin. Ydinenergiatutkimuksessa on samankaltainen kahtiajako: fuusio nähdään tulevaisuuden toivona — kaikki fissioon viittaava on arveluttavaa. Tällainen mustavalkoinen asettelu on tietenkin väärä. On tärkeää, että seura säilyttää maineensa teknistieteellisenä asiantuntijafoorumina eikä leimaudu sudeksi tai lampaksi.

Rainer Salomaa

TkT Rainer Salomaa on professori TKK:n teknillisen fysiikan laitoksella, puh. 90-451 3199.

Ydinjätehuollon yleismaailmallinen tilanne



Viimeisimmän 10 vuoden aikana on suunnattu runsaasti voimavaroja ydinjätehuollon, varsinkin ydinjätteiden loppusijoituksen järjestämiseen. Useissa maissa ydinpolttoaineen jälleenkäsittelystä on luovuttu, mutta toisaalta suuret ydinenergiamaat tutkivat kehittyneempiä jälleenkäsittelymenetelmiä. Korkea-aktiiviset jätteet suunnitellaan sijoitettavan syvälle kiteiseen kallioon, suolamuodostumaan tai sedimenttikerrostumaan rakennettaviin tiloihin. Keski- ja matala-aktiiviset jätteet haudataan maan pintakerrokseen tai sijoitetaan syvemmälle kallioperään. Monissa maissa ydinjätehuolto-ohjelmat ovat pahasti viivästyneet muista kuin teknisistä syistä.

Useimmissa ydinenergiamaisissa ydinjätealan tutkimus- ja kehitysohjelmat käynnistyivät toden teolla 1970-luvun puolivälin jälkeen. Alkusesäyksen antoi useissa tapauksissa tieto siitä, että länsieurooppalaiset jälleenkäsittelijät aikovat palauttaa käytetystä polttoaineesta erotetut jätteet asiakkailleen. Samoihin aikoihin ydinjätteet nousivat myös julkisen mielenkiinnon kohteeksi ja joissakin maissa hyväksyttävien ydinjätehuoltosuunnitelmien esittäminen asetettiin ehdoksi ydinenergiatuotannon jatkamiselle tai laajentamiselle.

Ensimmäiset realistiset korkea-aktiivisten jätteiden loppusijoitus suunnitelmat esitettiin runsaat 10 vuotta sitten. Sen jälkeen jätehuoltosuunnitelmat eivät ole muuttaneet ratkaisevalla tavalla; kuitenkin joitakin kehityssuuntia on havaittavissa. Jälleenkäsittelyyn perustuva käytetyn ydinpolttoaineen huoltolinja on selvästi menettänyt suosiota suoran loppusijoituksen kustannuksella. Syynä tähän ovat voimakkaasti kohonneet jälleenkäsittelykustannukset, hyötöreaktoriohjelmien supistuminen ja jätteiden palautusehto.

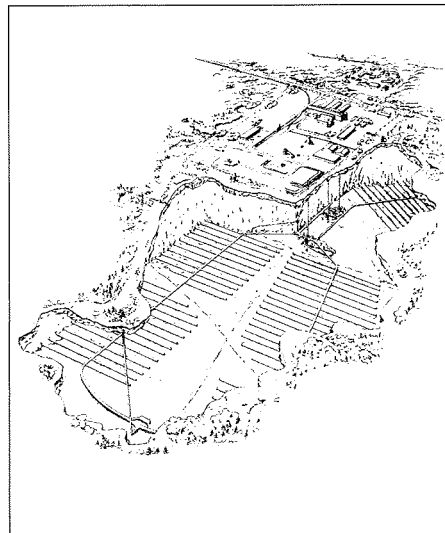
Viime aikoina jälleenkäsittelylle on ilmaantunut uusia houkuttimia. Tutkimusten kohteena on mm. Neuvostoliitossa, USA:ssa, Japanissa ja Ranskassa jälleenkäsittelyprosesseja, joissa jätteistä poistettaisiin uraanin ja plutoniumin lisäksi muutkin aktinoidit esim. transmutaation

avulla tuhottavaksi. Tällä tavoin voitaisiin merkittävästi vähentää jätteiden pitkäaikaista säteilyvaarallisuutta ja yksinkertaistaa niiden loppusijoitusta. On kuitenkin ennen aikaista arvioida tällaisen kehittyneen jälleenkäsittelytekniikan tuloa teolliseen käyttöön.

Eräänlaisena kehityssuuntana viime vuosien aikana voidaan pitää myös ydinjätehuolto-ohjelmien viivästyistä ja tavantakaisia uudelleenmuokkauksia yleisöreaktioiden tai juridis-poliittisten syiden vuoksi. Perimmäisenä syynä on väestöön juurtunut uskomus ydinjätteiden suuresta vaarallisuudesta, mikä aiheuttaa ns. NIMBY-ilmiön: kukaan ei halua ydinjätteitä takapihalleen.

Yhdysvalloissa luovuttiin jälleenkäsittelyhankkeista presidentti Carterin kaudella ydinaseiden leviämisen estämisyihin vedoten. Myöhemmät presidentit ovat olleet suopeampia jälleenkäsittelylle, mutta eivät ole luvanneet hankkeille liittovaltion rahoitusta. Puhtaasti kaupallinen jälleenkäsittely olisi nykysuhdanteilla liian riskialtista taloudellisessa mielessä, niinpä nykyiset suunnitelmat perustuvat käytetyn polttoaineen väliavarastointiin laitoksilla ja keskitetyssä varastossa (Monitored Retrievable Storage, MRS) sekä myöhemmän loppusijoitukseen.

Ydinvoimalaitosten käytetyn polttoaineen ja ydinasetuotannossa syntyneen korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituspaikaksi on valittu Nevadan Yucca Mountainilla sijaitseva tuhkakivimuodostuma. Paikan syrjäisestä sijainnista ja liittovaltion tarjoamista houkuttimista huolimatta Nevadan osavaltio ja monet muutkin ryhmit-



Suunnitelma korkea-aktiivisten jätteiden loppusijoituksesta kiteiseen kallioperään.

tymät vastustavat hanketta voimakkaasti. Sen seurauksena paikan soveltuvuuden varmistamiseen tähtäävät tutkimukset ovat viivästyneet jo vuosia ja loppusijoituksen aloituksen tavoiteajankohtaa on jouduttu myöhentämään vuoteen 2010. Myös MRS-hanke on viivästynyt, sillä sen eteneminen on lainsäädännöllisesti sidoksissa loppusijoituslaitoksen luvitukseen.

Uudessa Meksikossa sijaitsevaan suolamuodostumaan on hiljattain valmistunut koeloppusijoituslaitos transuraanipitoisille jätteille (Waste Isolation Pilot Plant). Keski- ja matala-aktiiviset jätteet on tähän asti viety kolmelle maahanhautauspaikalle. Perusteilla on toistakymmentä korkealuokkaisempaa maahanhautauspaikkaa, joista kukin on yhden osavaltion tai useamman muodostaman yhteistyön käytössä.

Saksassa käytetyn polttoaineen jälleenkäsittely on etusijalla, mutta suoraa loppusijoitustakin harkitaan, sillä Wackersdorfin jälleenkäsittelyhankkeesta luopumisen jälkeen se näyttää taloudellisesti edullisemmalta vaihtoehdolta. Saksassa on valmiina kaksi käytetyn polttoaineen väliavarastoa (Gorleben ja Ahaus) sekä keski- ja matala-aktiivisille jätteille tarkoitettu loppusijoituslaitos (Konradin rautakaivoksen yhteydessä), mutta niiden käyttöönotto on viivästynyt luvitushankaluuksien ja oikeudenkäyntien takia. Ainoa käytössä oleva loppusijoituslaitos on entisen Itä-Saksan puolella Morslebenin suolakaivoksessa sijaitseva, keski- ja matala-aktiivisille jätteille tarkoitettu laitost. Korkea-aktiiviset jätteet aiotaan sijoittaa Gorlebenin suolamuodostumaan rakennettaviin tiloihin. Nykyisin siellä louhitaan kahta lähes kilometrin syvyyteen ulottuvaa tutkimuskuilua. Tämäkin hanke on viivästynyt alkuperäisestä aikataulustaan ja nykyisin tähdätään laitoksen käyttöönottoon vuonna 2008.

Ranskassa on jälleenkäsittelyyn perustuva käytetyn polttoaineen huolto kehitetty pisimmälle. Käytettävissä on kaikki tarvittavat laitokset lukuunottamatta korkea-aktiivisten ja transuraanipitoisten jätteiden loppusijoitustiloja. Näiden jätteiden loppusijoitusta varten on käynnistetty tutkimusohjelma, jossa selvitetään neljän erilaisen geologisen muodostuman (graniitti, suola, savi ja liuskekiivi) soveltuvuutta. Tarkoituksena on ollut rakentaa kalliolaboratorio yhdelle alueista vuodesta 1991 alkaen ja, mikäli paikka osoittautuu soveltuvaksi, saada loppusijoituslaitokset valmiiksi vuosina 2005–2010.

Noin vuosi sitten Ranskan hallitus keskeytti kenttätyöt tutkimusalueilla ympä-

ristön väestön vastustuksen vuoksi ja ti-
lannetta selvittämään on asetettu kaksi
komiteaa. Ratkaisuja asiassa odotetaan
vuoden 1991 aikana.

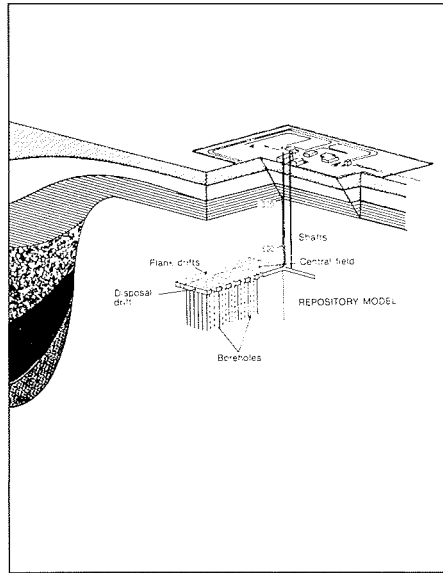
Iso-Britanniassa jälleenkäsittely on myös
etusijalla. Sellafieldissa on tarkoitus ottaa
kuluvalle vuosikymmenellä käyttöön ok-
sidipolttoaineen jälleenkäsittelylaitos sekä
korkea-aktiivisten jätteiden lasituslaitos
ja välivarasto. Korkea-aktiivisten jättei-
den loppusijoitus suunnitellaan aloitetta-
van vasta noin 50 vuoden kuluttua.

Radioaktiivisten jätteiden mereen upotuk-
sen väliaikaista kieltämistä koskevan kan-
sainvälisen suosituksen tultua voimaan
vuonna 1983 on Englannissa pyritty jär-
jestämään keski- ja matala-aktiivisten jät-
teiden loppusijoitusta, mutta toistaiseksi
huonoin tuloksin väestön vastustuksen
vuoksi. Uusimmat suunnitelmat tähtäävät
kaikkien tällaisten jätteiden loppusijoitta-
miseen syväälle kallioon rakennettaviin ti-
loihin noin vuodesta 2005 alkaen. Loppu-
sijoituspaikkoina ovat vahvimmin ehdolla
Dounreayn ja Sellafieldin ydinlaitosalue-
et, joiden lähistöllä on nykyisin matala-
aktiivisten jätteiden maahanhautauspai-
kat.

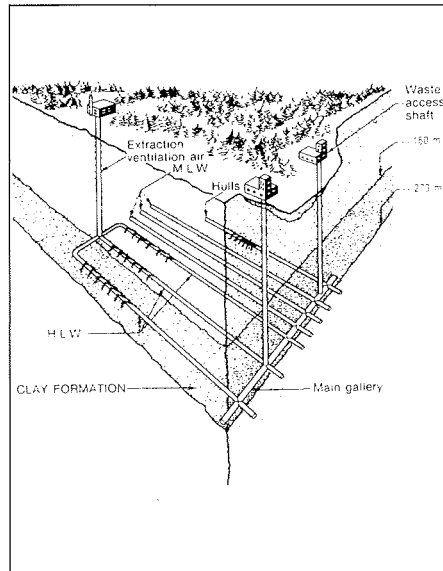
Japani etenee määrätietoisesti jälleenkä-
sittelylinjalla. Tokain pienehkön jälleenkä-
sittelylaitoksen rinnalle on Rokkasho-
Muraan määrä valmistua kuluva vuosikym-
menen jälkipuoliskolla suurempi lai-
tos, jolloin maa olisi likimain omavarai-
nen jälleenkäsittelypalvelujen suhteen.
Paikallisen väestön keskuudessa hanketta
vastustetaan voimakkaasti. Jälleenkäsitte-
lylaitosten yhteyteen tulevat tarvittavat
välivarastot ja jätteidenkäsittelylaitokset.
Rokkasho-Murassa otetaan vuonna 1992
käyttöön keski- ja matala-aktiivisten jät-
teiden keskitetty loppusijoitus, jossa jäte-
pakkaukset haudataan maan pintakerrok-
siin sijoitettuihin betonibunkkereihin.
Korkea-aktiivisten jätteiden loppusijoitus-
ta varten on nelivaiheinen tutkimusohjel-
ma, jonka tavoiteaikataulua ei ole ilmoit-
tettu. Parhaillaan ollaan siirtymässä kol-
manteen vaiheeseen, joka käsittää mm.
kahden kalliolaboratorion rakentamisen,
toisen kiteiseen kallioon ja toisen sedi-
menttikiveen.

Kanadan käytetyn polttoaineen huolto
perustuu suoraan loppusijoitukseen, sillä
väkevimättömän CANDU-polttoaineen
jälleenkäsittely ei ole kannattavaa. Tar-
koituksena on sijoittaa käytetty polttoai-
ne syväälle kiteiseen kalliopeeraan raken-
nettaviin tiloihin noin vuodesta 2015 al-
kaen. Loppusijoituksen turvallisuusselvi-
tykset valmistuvat kuluvana vuonna, jon-
ka jälkeen asiasta on tarkoitus käydä pe-
rusteellinen asiantuntijatasen ja yhteis-
kunnallinen keskustelu. Whiteshellin tut-
kimuslaitoksen lähellä on viitteen vuotta
ollut toiminnassa loppusijoitustutkimuk-
siin tarkoitettu kalliolaboratorio.

Keski- ja vähäaktiivisia jätteitä on toistai-
seksi välivarastoitu. Chalk River -tutki-
muslaitoksen yhteyteen on valmistumassa
näille jätteille loppusijoituslaitos, jossa
jätepakkaukset sijoitetaan maan pintaker-
roksiin upotettaviin betonibunkkereihin.



Suunnitelma korkea-aktiivisten jätteiden lop-
pusijoituksesta Gorlebenin suolamuodostu-
maan Saksassa.



Suunnitelma ydinjätteiden loppusijoituksesta
Mol'n savikerrostumaan Belgiassa.

Neuvostoliitolla on Tsheljabinskissa jäl-
leenkäsittelylaitos, jossa käsitellään kaik-
kien VVER-400 reaktoreiden ja joidenkin
pienempien reaktoreiden käytetty poltto-
aine. On kuitenkin epävarmaa, ottaako
laitos jatkossakin vastaan ulkomaista
VVER-440 -polttoainetta, sillä Venäjän
fедераation piirissä on tehty tällaisen
tuonnin kieltävä aloite. Lisäksi jälleenkä-
sittelystä ja jätehuollosta perittävä maksu
on joidenkin pienten SEV-maiden osalta
nostettu "länsimaiselle" tasolle.

Tsheljabinskissa on myös tarvittavat väli-
varastot ja jätteidenkäsittelylaitokset.
Korkea-aktiivisten jätteiden loppusijoitus-
ta mm. kiteiseen kalliopeeraan ja suola-
muodostumiin kerrotaan selvittävän,
mutta yksityiskohtia näistä tutkimusoh-
jelmista ei ole julkaistu.

Krasnojarskiin on määrä valmistua kulu-
va vuosikymmenen lopulla suuri jälleenkä-
sittelylaitos. Väestön vastustuksen
vuoksi sen rakentaminen on ollut keskey-
tyksissä. Vastustusta on herättänyt var-

sinkin suunnitelma injektoida nestemäistä
jälleenkäsittelyjätettä savikerrosten välissä
noin 700 metrin syvyydessä sijaitsevaan
huokoiseen maaperään.

Keski- ja vähäaktiiviset jätteet viedään
yleensä alueellisiin käsittely- ja maahan-
hautauslaitoksiin. Nämäkin laitokset ovat
herättäneet vastustusta väestössä, kuten
viimeaikaiset uutiset Sosnovyi Borista
osoittavat.

Ruotsin ydinjätepolitiikan lähtökohtana
on, että kaikki toimenpiteet tehdään
omassa maassa; niinpä käyttetty polttoai-
neen huoltosuunnitelmat perustuvat suo-
raan loppusijoitukseen Ruotsin kalliope-
raan. Tähän tähtäävä tutkimus- ja kehi-
tystyö käynnistyi laajamittaisena jo 1977
ja Ruotsi onkin monessa suhteessa edellä-
kävijä alalla. Tavoitteena on valita lop-
pusijoituspaikka noin vuonna 2000 ja
aloittaa loppusijoitus 20 vuotta myöhem-
min. Tosin tutkimusohjelman arvioinnis-
ta vastaava viranomaisorganisaatio (Sta-
tens kärnbränslenämnd) haluaisi edetä
selvästi varovaisemmin.

Oskarshamnin ydinvoimalaitoksen lähis-
töllä on käytetyn polttoaineen keskitetty
välivarasto (CLAB). Sinne on myös rak-
enteilla käytetyn polttoaineen loppusijoituk-
sen tutkimiseen tarkoitettu kalliolaba-
ratorio. Forsmarkin ydinvoimalaitok-
sen lähistöllä on keski- ja matala-aktiivi-
sille jätteille tarkoitettu, kalliopeeraan ra-
kennettu loppusijoituslaitos (SFR).

Suomessa käytetty polttoaine Loviisan
voimalaitoksesta viedään Neuvostoliit-
toon, kun taas Olkiluodon käytetyn polt-
toaine varaudutaan loppusijoittamaan
maamme kalliopeeraan. Tätä koskeva tut-
kimusohjelma perustuu samankaltaisiin
periaateratkaisuihin ja aikataulutavoittei-
siin kuin Ruotsissa. Olkiluodon laitoksen
keski- ja matala-aktiivisille jätteille on
valmistumassa tämän vuoden lopulla voi-
malaitosalueen kalliopeeraan tehty loppu-
sijoituslaitos (VLJ-luola). Vastaavanlaisen
laitoksen rakentamisesta Loviisan voima-
laitosalueen kalliopeeraan on valmiit suun-
nitelmat, mutta niiden toteuttamista ei
ole vielä katsottu ajankohtaiseksi.

Suomen ydinjätehuoltohankkeet ovat eden-
neet niiden aikataulutavoitteiden mukaisesti,
jotka valtioneuvosto vahvisti vuonna 1983.
Vastustavia kannanottoja on kuulunut
lähinnä eräiltä käytetyn polttoaineen
loppusijoitustutkimusten kohteiksi valitui-
ta alueilta adressien ja kunnanvaltuustojen
mielenilmaisujen muodossa. Siihen häm-
mennykseen ja pysäytyneisyyteen verrat-
tuna, mikä ydinjäteasioissa monissa
maissa vallitsee, voidaan alan saavutuksia
maassamme pitää hyvinä. □

Ins. Pekka Lehtinen on Säteilyturva-
keskuksen ydinturvallisuusosaston
tarkastaja, puh. 90-70821.

DI Esko Ruokola on Säteilyturvakes-
kuksen ydinturvallisuusosaston ydin-
jätejaoston päällikkö,
puh. 90-70 821.



Ydinjätteet valvonnan ja varautumisen kohteena

Ydinjätteet ovat koko ydinenergian käytön tavoin alusta alkaen olleet Suomessa tarkan valvonnan kohteena. Kaikkien syntyvien ydinjätteiden koostumus ja aktiivisuus kirjataan. Jätteet varastoidaan voimalaitosalueella kullekin jätetyypille soveltuviin tiloihin odottamaan jätehuollon loppuvaihetta. Samanaikaisesti voimayhtiöt tekevät tutkimus- ja suunnittelutyötä vielä toteutumattomia jätehuoltovaiheita varten.

Lähtökohtana ydinjätehuollon suunnittelulle on, että jätteet eristetään pitkiksi ajoiksi ihmisen ja muun elollisen luonnon läheisyydestä. Tämä periaate on perusteltu erityisesti siksi, että ydinjätteiden vaarallisuus, radioaktiivisuus, vähenee ajan kuluessa. Eristämisen on oltava sellainen, ettei ydinjätteistä aiheudu havaittavaa lisäystä luonnon normaalin tausta-säteilyn aiheuttamaan säteilyrasitukseen.

Vastuu ydinjätehuollosta on jätteentuottajalla. Ydinenergilaki määrää, että jätteentuottajilla eli jätehuoltovelvollisilla on oltava toimintansa alusta alkaen suunnitelmat jätehuollon toteuttamiseksi. Lisäksi jätteentuottajien on huolehdittava tarvittavasta tutkimustyöstä ja koko jätehuollon kustannuksista. Siten ns. aiheuttajaperiaate toteutuu juuri ydinjätteiden kohdalla ehkä täydellisimpänä Suomessa.

Ydinenergilain mukaan kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) päättää jätehuollon tavoitteista ja aikatauluista. KTM noudattaa toiminnassaan valtioneuvoston

Ydinjätehuoltoa valvotaan usealta eri kannalta; turvallisuusseikkojen lisäksi valvonnan kohteena ovat muun muassa jätehuollon oikea-aikainen toteutuminen ja varojen keräytyminen tulevaisuuden jätehuoltotoimia varten. Kaiken kaikkiaan ydinjätehuollon tutkimukset ja toteutukset ovat Suomessa edenneet suunnitelmallisesti. Ydinjätehuollon kustannuksia varten luotu varautumisjärjestelmä on yksityiskohtainen ja kattava. Kolme vuotta voimassa ollut nykyinen järjestelmä on kerännyt valtion ydinjätehuoltorahastoon noin 2,5 miljardia markkaa.

periaatepäätöksessä vuodelta 1983 määritettyjä jätehuollon periaatteita ja toteutus-aikataulua. Viimeksi KTM tarkensi toiminnassa olevien ydinvoimalaitosten jätehuollon periaatteita maaliskuussa tekemässään päätöksessä. Säteilyturvakeskus valvoo jätehuoltotoimintojen turvallisuutta ja tutkimusten toteuttamista sekä on keskeisin lausunnonantaja jätehuollon

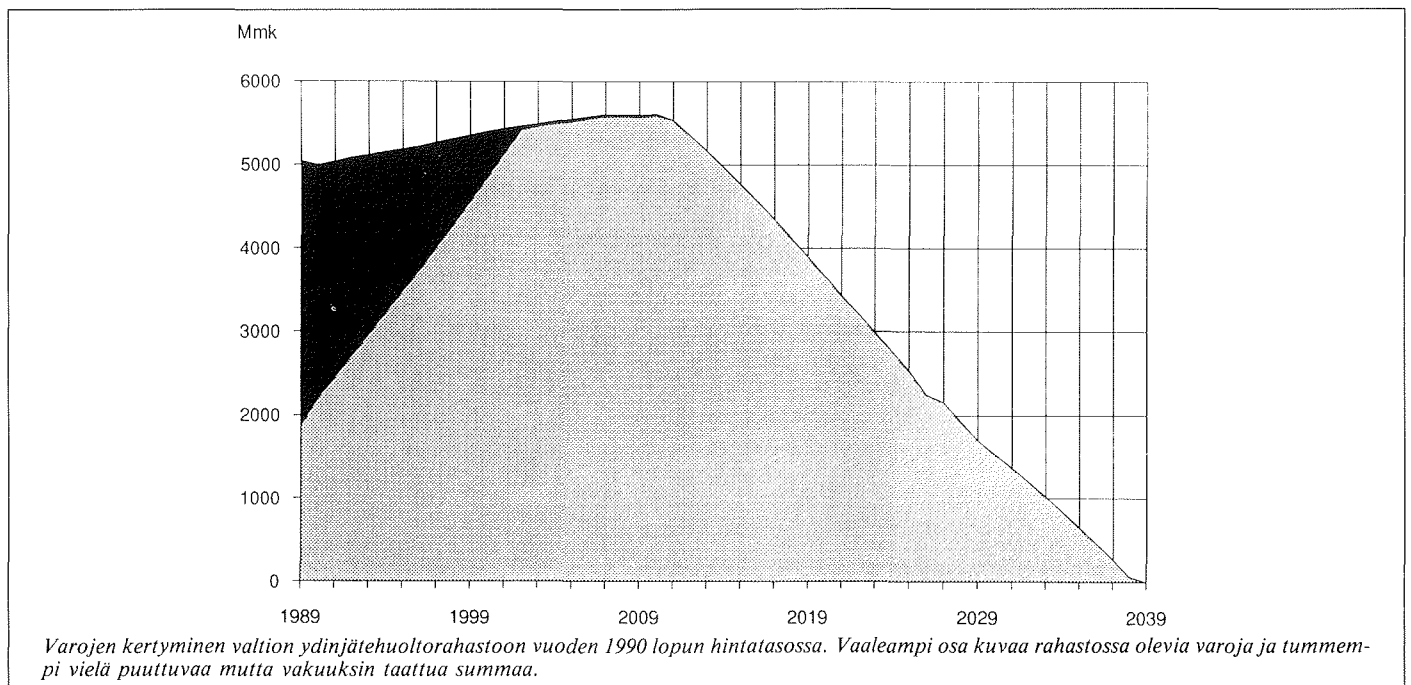
kysymyksissä kauppa- ja teollisuusministeriölle.

Jätehuollon valvonta toteutuu ensisijaisesti siten, että Imatran Voima Oy:n (IVO), Teollisuuden Voima Oy:n (TVO) ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) on esitettävä vuosittain jätehuolto-ohjelmat viranomaisten arvioitaviksi lain edellyttämällä tavalla. (VTT on jätehuoltovelvollinen hallinnassaan olevan tutkimusreaktorin vuoksi.) Ohjelmat sisältävät selvitykset, miten jätehuolto toteutetaan turvallisesti ja mitä tutkimus-, selvitys- ja suunnittelutyötä seuraavina vuosina aiotaan tehdä.

Jätehuoltosuunnitelmat

Ydinjätehuollosta osa (esim. jätteiden väli-varastointi) on jo toteutunut. Osa (esim. voimalaitosten purkaminen) taas tapahtuu vasta vuosikymmenien päästä. Ydinjätteissä itsessään ei ole sellaisia ominaisuuksia, jotka edellyttäisivät hyvin pikaisia toimenpiteitä. Toisaalta ei ole perusteltua ilman syytä työntää jätehuollon loppuunsaattamista kauaksi tulevaisuuteen. Kaikki jätehuoltotoimenpiteet on suunniteltu jo nyt jokseenkin tarkasti. Suunnitelmat muuttuvat ja tarkentuvat tietenkin teknisen tietämyksen lisääntymisen myötä.

Voimalaitosten käytön aikana syntyvä keski- ja alhaisaktiivinen voimalaitosjäte loppusijoitetaan noin 70–120 m syvyyteen ydinvoimalaitosalueen kalliooperään. Tämä loppusijoitustila on valmistumassa



kuluvan vuoden lopussa Olkiluodossa TVO:n voimalaitosten lähetyksillä. Loviisassa vastaavan tilan rakentamiseen ryhdytään vasta myöhemmin. Väliavarastotilaa Loviisassa on vielä riittämiin. Voimalaitosten sulkemisen jälkeen tapahtuvasta voimalaitosten purkamisesta kertyvää jäätettä varten on loppusijoitustilat suunniteltu samaan kallioperäalueeseen. Loviisan voimalaitoksen käytetty polttoaine viedään viiden vuoden väliavarastoinnin jälkeen polttoaineen valmistajamaahan Neuvostoliittoon. TVO:lla ei ole vastaavaanlaista mahdollisuutta turvautua ulkomaisiin jätehuoltopalveluihin. TVO aikoo loppusijoittaa käytetyn polttoaineen Suomen kallioperään. Loppusijoituspaikan löytämiseksi TVO tekee tällä hetkellä jätehuoltoaikataulunsa mukaisesti viidellä paikkakunnalla (Hyrynsalmi, Konginkangas, Kuhmo, Eurajoen Olkiluoto ja Sievi) alustavia sijoituspaikkatutkimuksia. Näitä paikkoja koskevat tutkimustulokset on käsiteltävä ja turvallisuus selvitykset laadittava vuoden 1992 loppuun mennessä. Vuonna 1990 kauppa- ja teollisuusministeriö edellytti TVO:n tutkivan myös ns. emäksisiä kivilajeja sijoituspaikkatutkimuksissaan. Noin kaksivuotinen tutkimusohjelma on juuri käynnistymässä. Emäksistä kivilajeja koskevat selvitykset saavat valmistua vuotta 1992 myöhemminkin.

Vuoteen 2000 mennessä TVO:n on asetettuna aikataulun mukaisesti tehtävä yksityiskohtaisia paikkatutkimuksia muutamalla alueella ja valittava loppusijoituspaikka. Loppusijoitustilan on oltava tarpeen vaatiessa valmiina vuoteen 2020 mennessä. Nimetyt sijoituspaikkakunnat ja eduskunnan myönteinen kannanotto tarvitaan ennenkuin loppusijoitustilan toteuttaminen on mahdollista. Luvat jätehuoltolaitoksille antaa valtioneuvosto.

Jätehuollon kustannukset ja varautuminen niihin

Ydinenergialaki määrittelee yksityiskohdaisen varautumisjärjestelmän tulevaisuudessa muodostuvia jätehuollon kustannuksia varten. Suomen ja Ruotsin varautumisjärjestelmät ovat hyvin kattavia ja todennäköisesti kehittyneimpiä maailmassa. Varautumisjärjestelmä on käytännössä se asia, joka edellyttää jätehuolto suunnitelmilta sen seikkaperäisyyden, jolla ne jo nyt ovat.

Jätehuollon kustannuksista huolehtimiseksi jätteentuottajat eli jätehuoltovelvolliset lähettävät vuosittain kauppa- ja teollisuusministeriölle jätehuoltokaavion ja siihen perustuvat laskelmat siitä, kuinka paljon nykyhetkellä jo olemassa olevan jätteen huolto tulee tulevaisuudessa maksamaan. Jätehuoltokaavio sisältää selostuksen siitä, mihin toimenpiteisiin ja millä aikataululla ryhdyttäisiin jätehuollon toteuttamiseen, jos ydinvoimalaitosten toiminta loppuisi kyseisen vuoden lopussa ja hoidettavaa jätettä on juuri se määrä, mitä todellisuudessa on olemassa. Jätehuoltokaavio poikkeaa siten niistä jätehuoltosuunnitelmista, jotka on tehty olettaen voimalaitosten toimivan koko käyttöiän 30–40 vuotta.

Kustannuksiin on laskettava kaikkien ydinjätelajien eli käytetyn polttoaineen, käytön aikana syntyvän voimalaitosjätteen ja käytön jälkeisen laitosten purkujätteen hoitamisen kustannukset samoin kuin käytännön toimintaa edeltävät tutkimus-, hallinto- ja viranomaiskustannukset. Jätehuoltotoimenpiteiden on oltava toteutettavissa turvallisesti tämän hetken tekniikalla ja tietämyksellä. Viranomaiset arvioivat, voidaanko laskelmia ja niiden lähtökohtia pitää oikeana. Arvioinnin tuloksena KTM määrää vuosittain vastuumäärän, jolla tarkoitetaan sen hetkisen jätehuollon kokonaiskustannuksia, ja vastuumäärästä lasketun rahastotavoitteen eli sen summan, joka pitää olla kerättyinä jätehuoltovelvolliselta samana vuonna valtion ydinjätehuoltorahastoon. Tarkoitus on, että 25 vuoden aikana voimalaitosten käynnistämistä rahastoon kertyneet varat vastaavat sen hetkisiä jätehuollon kustannuksia. Sille summalle, jota ei ole vielä kerätty rahastoon, on oltava vakuudet. Jätehuoltovelvollisilla on oikeus lainata 75 % rahastossa olevista omista rahoistaan ja valtiolla on vastaava oikeus loppuun 25 %:iin. Mikäli em. oikeuksia ei käytetä täysimääräisinä rahasto sijoittaa loput varat yleisille rahamarkkinoille. Valtion ydinjätehuoltorahasto toimii itsenäisenä organisaationa kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuudessa. Rahastoidut varat palautuvat voimayhtiöille sitä mukaa kuin jätehuollon eri vaiheita toteutetaan vastuumäärän samalla pienentyessä. Jätehuollon osuus on noin 5–15 % ydinenergian tuotantokustannuksista.

Jätehuollon kustannukset jakautuvat eri jätelajien kesken TVO:lla seuraavasti:

Käytetty polttoaine	70 %
Voimalaitosjätteet	2 %
Käytöstäpoisto-jätteet	28%

Vuoden 1990 lopputilanteessa jäljellä olevat kustannukset olivat yhteensä noin 3 830 milj. mmk, josta rahastoon on kerätty noin 1 900 milj. mk. TVO:n jätehuolto vaikuttaa n. 1,7 p/kWh tuotetun sähkön hintaan.

IVO:lla käytetyn polttoaineen huolto on huomattavasti halvempaa kuin TVO:lla, joten käytöstäpoisto hallitsee kustannuksia seuraavasti:

Käytetty polttoaine	2 %
Voimalaitosjätteet	12 %
Käytöstäpoisto-jätteet	86 %

Jätehuollon jäljellä olevat kustannukset olivat vuoden 1990 lopussa noin 1 100 milj. mk, josta rahastossa on noin 590 milj. mk. IVO:lla jätehuolto vaikuttaa n. 0,75 p tuotettua kWh kohti.

VTT:n tutkimusreaktorin jätehuolto tulee maksamaan noin 17 milj. mk. □

DI Sirkka Vilkkamo on KTM:n ydinenergiatoimiston erikoistutkija, puh. 90-160 5226.

Timo Äikäs, TVO

TVO:n kenttätut

Valtaosa kenttätutkimuksesta on jo saatu päätökseen. Työt ovat edenneet laadittujen suunnitelmien mukaisesti. Jäljellä olevat tutkimukset Konginkankaalla, Sievissä ja Olkiluodossa käsittävät lähinnä pitkäaikaisia pohjaveden tarkkailumittauksia ja näytteenottoja.

TVO:n rooli tutkimusten suorittajana on verrattavissa rakennuttajan rooliin talonrakentamisessa. TVO siis laatii yleiset suunnitelmat toteutusta varten, hankkii luvat, osoittaa tutkimuspaikat, vastaa työkokonaisuuden laadusta sekä tulosten toimittamisesta edelleen valvoville viranomaisille. "Rakennuttajan" rooli siis on, että ohjelman puitteissa tehdään "oikeita" asioita. Ohjelman laatimisen lähtökohtana on taas kytkä yhteen kallioperän ominaisuudet ja loppusijoituksesta mahdollisesti aiheutuvien riskien arviointi. Toisin sanoen pääasiallinen työ on koota aineistoa turvallisuusarvioiden lähtötiedoiksi.

Varsinainen tutkimustyö tilataan tutkimukseen erikoistuneilta koti- ja ulkomaisilta urakoitsijoilta. Näiden rooliin kuuluu tehdä sovitut asiat "oikein". Tällöin eri menetelmillä hankitut tiedot ovat sisällön puolesta riittävän luotettavia ja ne on aikaansaatu hyväksytyä menettelytapoja noudattaen. Jokaisen urakoitsijan lopputuote on raportti, ei siis kairanreikä, mittauslinja tms.

Valmista 1992 mennessä

Koska tutkimusten aikataulu on ennalta määrätty, alustavien paikkatutkimusten tulee olla valmiit v. 1992 lopulla, on tutkimusten suunnittelussa ja toteutuksessa ollut pakko optimoida kenttätutkimukset. Tieteellinen optimointi on sellaisenaan ehkä mahdotonta, mutta ohjelman vaiheistuksella ja osatavoitteiden asettamisella on pyritty riittävän nopeaan tavoitteiden tarkistamiseen sekä uusien painopisteiden määrittelyyn. Alustavien paikkatutkimusten ohjelmalla ei pyritä tutkimaan kaikkea valmiiksi saakka vaan toteamaan riittävien edellytysten olemassaolo loppusijoitukselle ja alueiden jatkovalinnalle.

Teknis-taloudelliseen optimointiin on kiinnitetty huomiota kuitenkin tulosten edustavuudesta tinkimättä. Suurin etu tässä on saavutettu kehittämällä mm. kairanreiat sellaisiksi, että niissä voidaan tehdä usean tieteenalan kokeet merkittävästi toisiaan häiritsemättä ja mittauksissa voidaan käyttää korkealaatuisia, luotettavaksi koettuja laitteita. Itse reikien



kimusohjelman toteutus

TVO aloitti alustavien sijoituspaikkatutkimuksien kenttätyöt keväällä 1987 Kuhmon Romuvaarassa ja Hyrynsalmen Veitsivaarassa. Seuraavana vuonna työt maastossa alkoivat myös Konginkankaalla ja Sievissä. Olkiluodossa työt aloitettiin viimeisenä, keväällä 1989. Alueita varten laadittiin tutkimusohjelma, joka on jokaisen kohdalla varsin samankaltainen. Monivuotisessa tutkimusohjelmassa sitoudutaan alustavien tiettyihin menetelmiin ja tiedon virtoihin, joita ei tutkimusten kuluessa ole syytä voimakkaasti muuttaa. Tästä kärsii erityisesti aikaisempien ja uudempien tulosten vertailukelpoisuus ja näin muodoin tutkimusalueiden keskinäinen arviointi muuttuu olennaisesti hankalammaksi.

kairaus on tulosten edustavuuteen eniten vaikuttava tekijä ja yksittäisenä tutkimustoimenpiteenä myös kallein. Kairaustutkimuksen edustavuuteen on vaikutettu:

- suunnittelemalla käytettävä teknikka huolellisesti etukäteen

- suuntaamalla urakkaohjelma palvelemaan edustavuuden säilyttämistä mm. veloitusperusteiden avulla
- laatimalla tilaajan valvontamenettelyä työtä ohjaavaksi eikä pelkää ”tilintarkastustyypiseksi”.

Kenttätutkimustoimintaan on kehitetty useita urakkamuotoja. Tavallisin sekoitus käsittää kokonais-, yksikkö- ja aikapalkkiomuotoja. Periaatteena on, että kokonaispalkkioperustetta käytetään ainoastaan töissä, joissa tieteellisyden vaatimukset eivät ole kovin suuret. Yksikköpalkkioperustetta käytetään pääperiaatteissa laitteistoille. Keskeisin kustannusten muodostaja on henkilötöiden aikapalkkio. Aikapalkkion käytössä on T&K-työssä mm. seuraavia etuja:

- se tarjoaa paremman mahdollisuuden työn valvontaan, kun työ joudutaan jakamaan pienempiin osiin
- tekijän intressi korkeaan laatuun on parempi kuin kiinteähintaisessa urakassa
- uusien, kehittyvien tehtävien kohdalla voidaan paremmin sopia muutoksista
- taloudelliset riskit molemmin puolin on minimoitu
- oikeudenmukaisuus, maksetaan vain tehdystä työstä
- voidaan paikallistaa työn vastuut selkeästi.

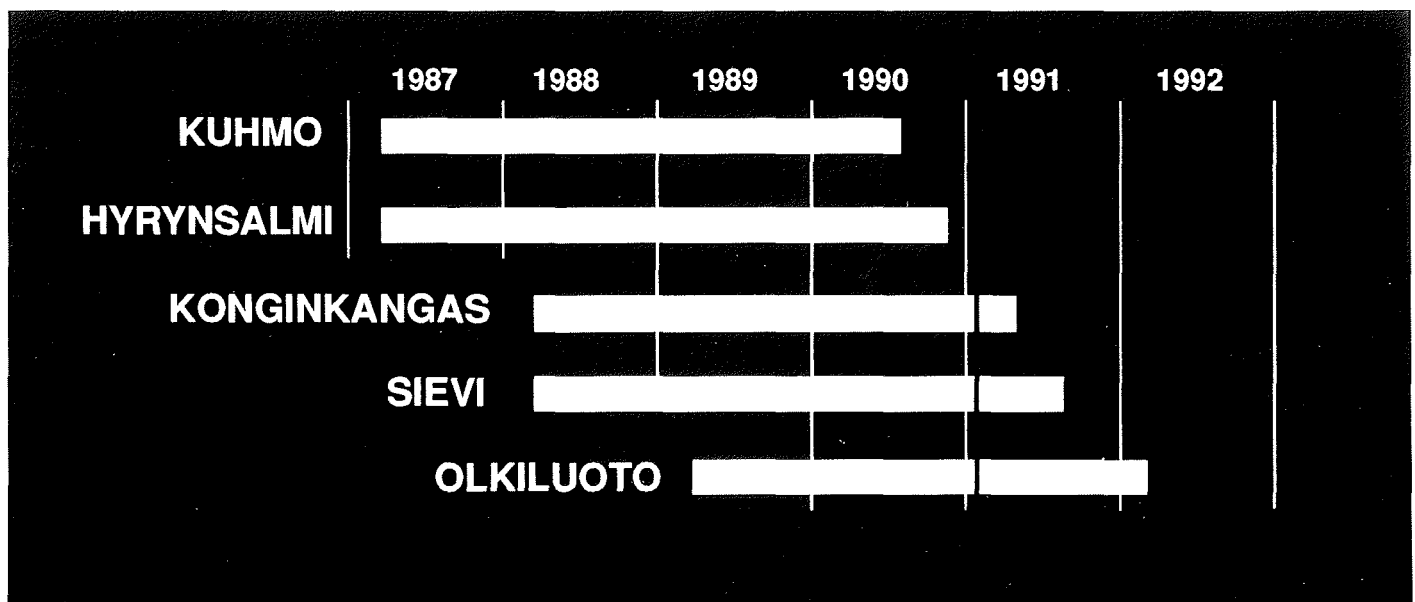
Päätavoitteena on ollut käyttää tehokkaasti hyödyksi Suomen lämmin ja valoisa kenttätyökausi ja paneutua talvella tulosten tulkintaan sekä suunnitteluun. Kesä kautena työtä on valoisuuden vuoksi voitu teettää jopa kolmivuorotyönä.

Työ tehdään projektina

Alustavat paikkatutkimukset hoidetaan TVO:ssa projektina. TVO käyttää ulkopuolisia asiantuntijoita projektiryhmässä insinööri-toimisto Saanio & Riekkola Oy:stä. Kenttätöiden toteutuksen kannalta keskeisiä ovat myös olleet tutkimuskuntiin perustetut paikallistoimistot. Paikallistoimistot ovat vastanneet alueiden kulkuyhteyksistä, töiden paikallisvalvonnasta ja seurantamittauksista sekä näytteenotoista. Tällä hetkellä toimistot ovat avoimia Konginkankaalla ja Sievissä. Kuhmossa ja Hyrynsalmella toimistot suljettiin keväällä 1990 kenttätöiden tultua kalkkiviivoille. Olkiluodossa paikkatutkimusten käytännön järjestelyihin osallistuvat rakennustoimisto ja tekninen valvontatoimisto.

Tällä hetkellä alustavissa paikkatutkimuksissa on suoritettu tai käynnissä yli 300 toimeksiantoa. Syviä kairanreikiä on kairattu 25 kpl ja muita reikiä noin 200 kpl. Kallionäytteitä on kertynyt yli 17 km. Näytteet on toimitettu Lopelle valtakunnalliseen kairannäytearkistoon. Tulokset on saatu v. 1990 loppuun mennessä 244 työraporttia. Raportit on toimitettu viranomaisien lisäksi tutkimuskuntiin (kunta, paikallistoimisto), korkeakouluun, yliopistoihin sekä tutkimuslaitoksiin. Raporttiluettelot ja englanninkieliset lyhennelmät on toimitettu TVO:n ulkomaisille yhteistyökumppaneille. □

FM Timo Äikäs on TVO:n päägeologi, puh. 90-605 022.





Käytetyn polttoaineen loppusijoitusvalmistelut etenevät

Käytetty polttoaine muodostaa ydinvoimalaitoksen tuottamista jätteistä tilavuudeltaan pienimmän, mutta aktiivisuudeltaan tärkeimmän ryhmän. Käytetyn polttoaineen edellyttämä jätehuolto voidaan järjestää kahdella eri tavalla: joko loppusijoittamalla polttoaineniput sellaisenaan kallioperään tai jälleenkäsittelmällä polttoaine ja loppusijoittamalla uraanista erotetut korkeaaktiiviset jätteet ja prosessijätteet. 1970-luvun lopulla kävi selväksi, että TVO:n on välttämätöntä valmistautua siihen, että Olkiluodon polttoaineniput voidaan tarvittaessa loppusijoittaa kallioperään Suomessa. Käytetyn polttoaineen kotimaisen loppusijoitusratkaisun valmistelut ovat nyt edenneet niin pitkälle, että teknisesti toteutuskelpoiset ratkaisut on kehitetty, turvallisuutta on perusteellisesti selvitetty ja loppusijoituspaikan valintaan tähtäävät tutkimukset ovat täydessä käynnissä. Imatran Voima Oy:n Loviisan voimalaitoksen polttoainehuolto perustuu pitkäaikaiseen sopimukseen neuvostoliittolaisten toimittajan kanssa. Tuoreen polttoaineen toimittajan kanssa on myös sovittu käytetyn polttoaineen palauttamisesta pysyvästi Neuvostoliittoon.

Ensimmäisen käyttövuosikymmenen aikana Olkiluodon kahdelta yksiköltä on kertynyt käytettyä polttoainetta 2500 nippua, joissa on 450 tonnia käytettyä uraania. 40 käyttövuoden aikana on laskettu yksiköiltä kertyvän kaikkiaan runsaat 1800 tonnia polttoainetta.

Käytetyt polttoaineniput säilytetään Olkiluodossa aluksi reaktorirakennusten vesialtaissa. Muutaman vuoden jäähtymisen jälkeen ne siirretään laitosalueelle rakennettuun, vuonna 1987 valmistuneeseen erilliseen välivarastoon, KPA-varastoon.

Siinä on kolme varastointiallasta, joihin mahtuu noin 1200 tonnia polttoainetta. Varastoa voidaan tarvittaessa laajentaa uusilla altailla.

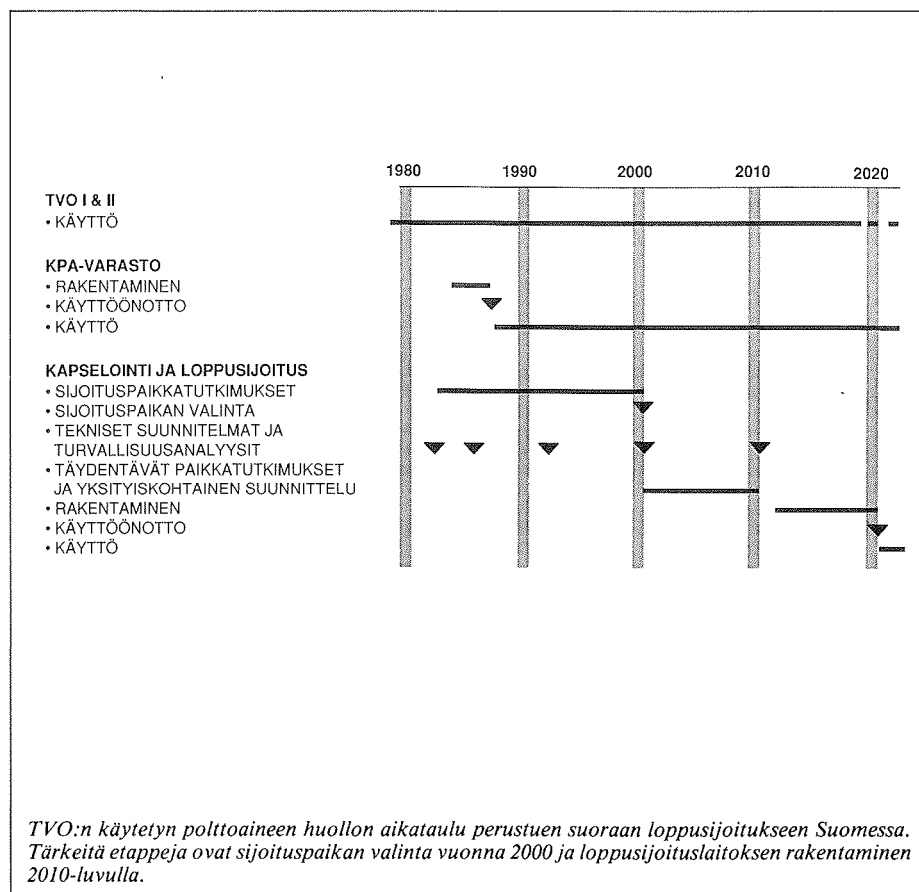
Jatkotoimenpiteiden kannalta KPA-varaston merkitys TVO:n käytetyn polttoaineen huollossa on hyvin tärkeä. Käytävissä oleva varastointikapasiteetti antaa toisaalta aikaa tehdä perusteelliset tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöt kotimaista loppusijoitusratkaisua varten. Toisaalta on mahdollista pitkäjänteisesti seurata ulkomaisten palvelujen mahdollista kehittymistä menemättä hätäkohtoihin ratkaisuihin.

Loviisassa käytettyä polttoainetta varastoidaan reaktorirakennuksen varastoal- taissa vuoden ajan reaktorista poistamisen jälkeen. Reaktorirakennuksesta käytetty polttoaine siirretään käytetyn polttoaineen varastoihin, joissa sitä varastoidaan pääsääntöisesti neljä vuotta. Reaktorirakennuksissa ja varastoissa on tilaa yhteensä noin kymmenen vuoden aikana syntyvälle käytetylle polttoaineelle. Tällä hetkellä varastoituna on 1032 nippua eli vajaan 5 vuoden vaihtolatauksia vastaava määrä.

Viiden vuoden varastoinnin jälkeen käytetty polttoaine palautetaan Neuvostoliittoon. Niput siirretään voimalaitoksella kuljetussäiliöihin, jotka kuljetetaan Loviisan rautatieasemalle maanteitse. Loviisassa säiliöt siirretään erikoisjunaan. Yhteen kuljetussäiliöön mahtuu 30 polttoainenippua, joten tyypillinen 210—240 nippun kuljetus vaatii 7—8 säiliötä. Loviisasta käytetty polttoaine kuljetetaan Etelä-Uralilla sijaitsevaan Tsheljabinskin jälleenkäsittelylaitokseen. Loviisan polttoainehuolto ja Tsheljabinskin jälleenkäsittelylaitos on esitelty laajemmin ATS Ydintekniikan numerossa 4/90. Seuravassa keskitytäänkin TVO:n käytetyn polttoaineen loppusijoitusvalmisteluiden käsittelyyn.

Suomen kallioperään vai ulkomaille

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen tekniikkaa ja turvallisuutta koskevat selvitykset saatetaan määrääjain ajan tasalle, viimeksi vuonna 1985. Viranomaiset hyväksyivät silloin esitetyt suunnitelmat perustaksi jatko-ohjelmalle. Valtioneuvoston vahvistaman aikataulun mukainen



seuraava etappi on vuoden 1992 lopussa, jolloin uusitut suunnitelmat turvallisuus-selvityksineen on raportoitava kauppa- ja teollisuusministeriölle ja säteilyturvakeskukselle. Silloin tehdään myös välitilin-päätös paikkatutkimusohjelman tuloksista.

1970-luvulla tuotiin valtiovallan puolelta korostetusti esille velvoite pyrkiä toimitamaan Olkiluodon käytetty polttoaine ulkomaille. Taustana tälle pyrkimykselle ovat arvattavasti olleet Loviisan voimalaitoksen käytetyn polttoaineen huollon järjestelyt sekä jätehuoltojärjestelmän kokoon liittyvä kustannusajattelu: käytetyn polttoaineen huollon yksikkökustannusten pitäisi ainakin periaatteessa olla sitä edullisemmat mitä isommasta järjestelmästä on kysymys. Jotta mahdollista ulkomaisista ratkaisuvaihtoehtoa voitaisiin luotettavasti arvioida, on kuitenkin välttämätöntä tietää, miten vastaava toiminta voitaisiin järjestää kotimaassa ja mitä se maksaisi.

Kauppa- ja teollisuusministeriön huhtikuussa 1989 tekemässä päätöksessä TVO velvoitetaan edelleen pyrkimään kansainvälisiin, keskitettyihin loppusijoitusratkaisuihin ja lisäksi varautumaan Suomessa tapahtuvaan, turvallisuus- ja ympäristönsuojeluvaatimukset täyttävään loppusijoittamiseen. Tällä hetkellä ei ole näköpiirissä eikä kehitteillä realistisia kansainvälisiä loppusijoitushankkeita eikä muutaakaan kaupallisia loppusijoituspalveluja. Päinvastaisista odotuksista huolimatta poliittinen varovaisuus ja ”jokainen hoitakoon omat jätteensä” — ajattelu tuntuu viime vuosina entisestään vahvistuneen. Näin ollen TVO:n käytetyn polttoaineen kotimaista loppusijoitusratkaisua on edelleen syytä huolella valmistella. Arvokasta kokemusta loppusijoitushankkeen toteuttamisesta on saatu Olkiluodossa VLJ-luolan (matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustila) rakentamisesta.

Uusi kapselointitekniikka

Ydinjätehuollon tuleviin kustannuksiin varautuminen rahastointijärjestelyineen edellyttää, että kustannusten määrä tunnetaan. On myös välttämätöntä jo hyvin varhaisessa vaiheessa selvittää tulevienkin ydinjätehuoltohankkeiden turvallisuus, ennenkuin voidaan perustellusti todeta, että toteutuskelpoiset ratkaisut on kehitetty ja ydinjätehuolto ratkaistu. Niin kustannus- kuin turvallisuusnäkökohdat edellyttävät, että tekniikka on kehitetty ja suunniteltu varsin yksityiskohtaiselle tasolle ja nimenomaan nykytekniikkaan perustuen. Tämä periaate koskee niitäkin ydinjätehuollon vaiheita, jotka tulevat ajankohtaisiksi vasta vuosikymmenien päästä tulevaisuudessa. Lopullisesti tekniikasta päätetään luonnollisesti vasta sitten, kun rakentaminen on alkamassa.

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen periaate, nippujen sijoittaminen metallisäiliöissä syväälle kallioperään rakennettuun tunnelistoon, esitettiin meillä jo kymmenen vuotta sitten ruotsalaisen KBS-mallin sovelluksena. Viime vuosina

tekniikkaa on lähdetty määrätietoisesti kehittämään taloudellisempaan suuntaan tarvitsematta kuitenkaan tinkiä turvallisuudesta. Erityinen edistysaskel on ollut huoneen lämpötilassa toteutettavan kapselointitekniikan ja siihen soveltuvan kapselityypin kehittäminen aiemmin suunnitelmassa olleen korkean lämpötilan vaatiman prosessin tilalle. Kehitystyötä jatketaan siten, että myös sellaisten teknisten loppusijoitusvaihtoehtojen soveltuvuutta ja mahdollisia etuja selvitetään, jotka merkittävästi poikkeavat nykyisestä perusratkaisusta.

Kansainvälistä yhteistyötä

Ydinjätehuoltoalan tutkimus- ja kehitystyöhön on vakiintunut tiivis kansainvälinen yhteistyö ja tiedonvaihto. TVO:n käytetyn polttoaineen huollon suunnittelun kannalta on tärkein yhteistyökumppani ollut Ruotsin ydinjätehuolto-yhtiö SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB). Yhteistyön skaala on ulottunut raporttien vaihdosta konkreettisiin tutkimus- ja kehitystyöhankkeisiin. Tiedonvaihto on sopimuksin varmistettu myös sveitsiläisten ja kanadalaisten kanssa. Näissä maissa on tutkimuksen kohteena kova kallioperä kuten meilläkin.

Kansainvälinen tiedonvaihto antaa laajan teknis-tieteellisen tutkimusaineiston käyttömme. Lisäksi se tarjoaa mahdollisuuden arvioida oman työmmen ja tutkimuksen tasoa kansainvälisen mittapuun mukaan. Perustellusti voidaan todeta, että tutkimuslaitosten ja konsulttiyritysten myötävaikutuksella kehitetty käytetyn polttoaineen suomalainen loppusijoitusratkaisu kestää hyvin kansainvälisen vertailun, mitataanpa sitä teknisten suunnitelmien tason, paikkatutkimusten menetelmien tai vaikkapa kustannusarvioiden tarkkuuden mukaan.

Ydinjätehuollon suomalaisen työn arvostusta osoittanee myös ulkomaisten ydinjäte-eksperttien viime vuosina voimakkaasti lisääntynyt kiinnostus Olkiluotoa kohtaan ja sinne suuntautuneet lukuisat vierailut. Olkiluodossa on yhdellä alueella mahdollisuus tutustua edustavaan otokseen ydinvoimalaitoksen jätehuoltoon: matala- ja keskiaktiivisen jätteen käsitteilyyn ja loppusijoitustiloihin, käytetyn polttoaineen välivarastoon sekä käytetyn polttoaineen loppusijoitustutkimuksiin.

Viranomaisluvut ja kunnan sananvalta

Käytetyn polttoaineen loppusijoitustilan viranomaisluvitusta edellyttää, että sijoitus-tilan käyttäytyminen voidaan riittävällä varmuudella ennustaa myös pitkällä aikavälillä. Tämä taas edellyttää suunnitelmallista ja pitkäjänteistä turvallisuuskysymysten tutkimusohjelmaa. Turvallisuusvaatimuksia konkretisoi loppusijoitukseen sovellettavien kriteerien kehittäminen. Suomen ja Ruotsin viranomaisten valmistelemia kriteerejä käsittelevä dokumentti julkaistiin viime vuonna, minkä jälkeen se on ollut kansainvälisellä lausuntokierroksella. Kriteeristön kehittyminen on

tärkeää myös jätehuoltovelvolliselle, koska se antaa entistä paremman perustan suunnitella ja arvioida sitä työtä, joka vielä vaaditaan tarvittavan turvallisuustason osoittamiseen.

Viranomaisten hyväksynnän lisäksi loppusijoituslaitoksen rakentamisen edellytyksenä on sijaintikunnan valtuuston hyväksyntä. Käytännössä valtioneuvosto tulee kysymään kunnan kantaa siinä vaiheessa, kun paikkatutkimusohjelma on edennyt sijoituspaikan valintavaiheeseen, eli vuoden 2000 jälkeen. Kunnan myönteinen kanta edellyttää riittävää yleistä ja paikallista hyväksyntää hankkeelle.

Maallikot ovat ydinjätehuollon ratkaisuja kohtaan edelleenkin varsin epäileviä. Tämä käy ilmi esimerkiksi Tampereen yliopiston mielipidetutkimuksista, joita on tehty jo lähes 10 vuoden ajan. Vain lievä positiivinen kehitys turvallisen loppusijoituksen uskottavuudessa on tänä aikana havaittavissa. Viime vuosina epäilevä asenne on selvimmin tullut ilmi sijoituspaikkatutkimusten yhteydessä. Useiden paikkatutkimuskuntien valtuustot ovat kiirehtineet — ilmeisesti kunnan sisäisen kinastelun rauhoittamiseksi — ilmoittamaan kielteisen suhtautumisensa mahdolliseen loppusijoitukseen.

Hyväksyttävyyttä ja luottamusta lisittävä

Loppusijoituksen hyväksyttävyyden lisääminen ja sijoituspaikan valintaedellytysten turvaaminen vaativat määrätietoista paikallista ja valtakunnallista tiedotustointia ydinjätehuollon ratkaisusta. Uusia mahdollisuuksia luottamukseen kasvatamiseen tarjoavat ainakin VLJ-luolan valmistuminen sekä loppusijoituksen luonnonanalogiat (Oklon luonnonreaktori, Cigar Laken uraaniesiintymä ym.). Rohkaiseva esimerkki on Ruotsin mielipidemastossa tapahtunut myönteinen kehitys loppusijoitukseen suhtautumisessa.

Tärkeänä hyväksyttävyyteen ja luottamuksen rakentamiseen vaikuttavana tekijänä on pidettävä myös sitä, että TVO:n käytetyn polttoaineen loppusijoitushanketta voitaisiin jatkossakin viedä suunnitelmallisesti ja aikataulun mukaisesti eteenpäin. Varottavia esimerkkejä löytyy ulkomailta yllin kyllin siitä, miten ydinjätehuolto-ohjelma voi jumiutua suunnitelmien muuttamisesta ja aikataulujen lykkäämisestä. Etenemisedellytysten ylläpitäminen vaatii voimayhtiön ja tutkijoiden ponnistelua, toimivaa viranomaisvalvontaa sekä vastuullista poliittista suhtautumista niinäkin aikoina, jolloin vaalit ovat lähestymässä. □

DI Veijo Ryhänen on TVO:n ydinjätetoimiston päällikkö, puh. 90-605 022.



Ydinvoimalaitosten käytöstäpoisto maksaa, mutta kuinka paljon?

OECD:n ydinenergiatoimiston (NEA) vuonna 1986 julkaisemassa raportissa todettiin ydinvoimalan käytöstäpoiston aiheuttavan ydinsähkön tuotantokustannuksiin ylimmillään vajaan viiden prosentin lisäyksen, useimmissa tarkastelluissa tapauksissa vaikutus oli alle yhden prosentin. Suomessakin sähkön hinnassa kerätyn muutaman pennin kymmenesosan kilowattituntia kohden lasketaan tuottavan voimalan käyttöaikana kokoon kylliksi rahaa käytöstäpoistotoimien maksamiseen.

Ydinvoimalaitoksen käytöstäpoistossa ei ole kysymys pienistä kokonaissummista. Suuren ydinvoimalan purkukustannukset saattavat nykyisten arvioiden mukaan olla joissakin tapauksissa miljardien markkojen luokkaa. Käytännön rahoitusjärjestelyissä lieneekin ensisijainen syy siihen kohojuun, joka Englannissa syntyi vanhojen voimaloiden käytöstäpoistosta ydinvoiman tuotannon yksityistämisuunnitelmien yhteydessä. Kysymys oli paljolti siitä, millainen kustannusvastuu käytöstäpoistosta siirrettäisiin uudelle yksityiselle yhtiölle. Toisaalta sikäläisten Magnox-voimalaitosten käytöstäpoistolle esitetyt kustannusarviot herättävät kyllä huomiota suuruudellaan: arviot näyttävät moninkertaisilta suomalaisiin arvioihin verrattuna ja kun huomioon otetaan purettavien laitojen koko, ero on hämmentävä.

USA:ssa kiistely käytöstäpoiston kustannusarvioista on ollut äkkiä ajatellen hieman oudonsuuntaista. Siellä voimayhtiöt ovat väittäneet valvontaviranomaisten (NRC) teettämän yleisluonteisen arvion olevan aivan liian alhaisen. Taustalla on jälleen kysymys varautumisesta. Yhdysvalloissa sähkön kuluttajahintoja sääntelevät viranomaiset voivat myös määrätä, paljonko voimayhtiöt saavat kerätä kuluttajilta tulevaisuuden käytöstäpoistotoimia varten. Voimayhtiöt pelkäävät, että NRC:n yleisestä arviosta tulee referenssi, jota sovelletaan erityisolosuhteista riippumatta, ja monissa tapauksissa sen katsotaan johtavan riittämättömään varautumiseen.

Mitä kustannuksista oikeastaan tiedetään?

Käytöstäpoistolle esitettyjen kovin erilais-

ten kustannusarvioiden on julkisuudessa katsottu osoittavan, että itse asiassa asiasta ei tiedetä paljonkaan. Totta onkin, että yhtäkään suurta kaupallista ydinvoimalaa ei ole vielä purettu. Kokemusta käytöstäpoistoon tarvittavasta tekniikasta kuitenkin on jo runsaasti: Pienehköjä laitoksia on purettu tai parhaillaan puretaan eri puolilla maailmaa — näistä USA:n Shippingportin noin 70 MW:n laitoksen käytöstäpoisto jokseenkin ennakkosuunnitelmien mukaisesti on antanut runsaasti tietoa ja kokemuksia tällaisen projektin toteutuksesta. Kokemus ei kuitenkaan rajoitu varsinaisiin käytöstäpoistoprojekteihin. Samaa tekniikkaa sovelletaan myös toiminnassa olevien laitojen korjaus-, huolto- ja ylläpitotöissä. Purkutöiden tekninen toteuttaminen onkin täysin mahdollista nykyisin käytettävissä olevin keinoin ja kun keinot tiedetään, kustannuksetkin voidaan arvioida.

Kustannusarviot ovat syystäkin erilaisia

Käytöstäpoistolle esitettyjen kustannusarvioiden erilaisuus on ollut yhtenä syynä NEAn vuoden 1989 lopulla käynnistämään kansainväliseen selvitystyöhön. Alkuperäisenä työn tavoitteena oli aikaansaada yhtenäistetty menettelytapa kustannusarvioiden laatimiselle ja tätä kautta käypä pohja arvioiden vertailemiseen. Tavoitteesta luovuttiin kuitenkin jo ensimmäisten työryhmäkeskustelujen perusteella. Käytöstäpoistovaatimusten, käytöstäpoiston suunnitelmien ja itse laitojen katsottiin olevan niin erilaisia, että "standardoiduilla" kustannusarvioilla ei lopulta olisi kohdetta todellisuudessa. Niinpä ryhmä päätti keskittyä mainittujen erojen analysointiin.

Kansainvälisissä vertailuissa on aina ensimmäiseksi otettava huomioon valuuttamuunnosten epämääräisyys. NEAn vuoden 1986 raportissa kustannusvertailut oli tehty vuoden 1984 alun USA:n dollareissa. Tällöin esimerkiksi dollarin arvo Saksan markkaan nähden oli noin 2,70. Tällä hetkellä suhde on noin 1,50. Suomen markkaan nähden vastaavat luvut ovat 5,80 (tammikuussa 1984) ja 3,70 (tammikuussa 1991). Kun vuoden 1986 NEAn raportissa Olkiluodon voimalan käytöstäpoiston kustannuksiksi ilmoitetaan 133 miljoonaa dollaria, tämä vastasi siis Suomen rahassa silloin noin 780 miljoonaa markkaa. Vuoden 1991 arvio Olkiluodon käytöstäpoistokustannuksille on noin 790 miljoonaa markkaa, mutta nyt tämä vastaa noin 215 miljoonaa dollaria. Dollareissa ilmaistu kustannusarvio on siis kasvanut yli 60 prosenttia vaikka Suomen rahassa arvio on kuta kuinkin ennallaan.

On selvää, että erityisesti amerikkalaisten ja eurooppalaisten kustannusarvioiden vertailu yksinkertaisesti valuuttakursseihin perustuvilla muunnoksilla on jokseenkin epämääräistä kurssien heilahdellessa näinkin tolkuttomasti. Silti käytöstäpoiston kustannusarvioiden eroissa on kysymys muustakin. Ensinnäkin laitokset ovat erilaisia sekä fyysiseltä kooltaan että teknisiltä ratkaisuiltaan. Sähköteho ei sinänsä ole ratkaiseva. Syntyvät purkujätämäärät kuvaavat eroja paremmin: Berkeleyn 2×138 MW:n Magnox-laitoksen purkamisesta on arvioitu syntyvän jätettä lähes nelinkertainen määrä nyky-aikaiseen 1200 MW:n painevesilaitokseen verrattuna. Syntyvä jätämäärä kuvaa myös purkutyön laajuutta.

Toiseksi käytöstäpoiston suunnitelmat ovat erilaisia. Japanilaisten suunnitelmien mukaan laitokset puretaan kokonaisuudessaan pian käytön päättymisen jälkeen. Englantilaiset suunnitelmat taas perustuvat laitojen vähittäiseen purkamiseen yli sadan vuoden ajanjaksolla. Tällöin suurin osa laitoksesta itse paineestaa ja suojarakennusta lukuunottamatta puretaan ensimmäisen kymmenen vuoden aikana. Osalle puretuista komponenteista rakennetaan tilapäinen varasto. Tämän jälkeen laitojen annetaan odottaa lopullista purkamista noin sata vuotta. Strategiaan on perustellut, Magnox-reaktorin erityispiirteistä johtuvat tekniset syyt, mutta tilapäisten varastojen rakentaminen ja pitkä varastointiaika aiheuttavat epäilemättä ylimääräisiä kustannuksia. Toisaalta purkamisen viivästämisestä saadaan korkeuksia, jotka korvaavat yhtiölle ainakin osan kustannusten kohoamisesta. Nämä korkeudet eivät näy silloin kun verrataan diskonttaamattomia kustannuksia.

Purkusuunnitelmien laajuus vaihtelee. USA:ssa NRC:n suunnitelma kattaa vain radioaktiivisten osien purkamisen — kuten Suomenkin voimaloiden kustannusarviot — kun taas sikäläisten voimayhtiöiden arvioihin sisältyy laitojen purku kokonaisuudessaan. Amerikkalaisten arvioiden mukaan ei-radioaktiivisten osien purkamisen saattaa muodostaa noin kolmanneksen kokonaiskustannuksista.

Osa suunnitelmien eroista johtuu säännösten erilaisuudesta ja yleisistä poliittisista ja energiapolitiittisista näkökohdista. Esimerkiksi Japanissa purkamisen rajoittaminen radioaktiivisiin osiin ei tule kyseeseen, mikäli suunnitelmissa on rakentaa uusia ydinlaitoksia, sillä kerran luvitut paikat halutaan käyttää tehokkaasti hyväksi. Laitosten radioaktiivisen osan määrittelyssä on myös edelleen eroja. Useissa maissa, myös Suomessa, on edel-

leenkin yksityiskohtaisesti määrittelemättä, minkälainen materiaali tai esine katsotaan riittävän puhtaaksi, jotta se voidaan vapauttaa valvonnasta eikä se jätteenäkään vaadi erillistä loppusijoitusta. Myös käytöstäpoistossa syntyvien radioaktiivisten jätteiden loppusijoitukselle asetetut turvallisuus- ja tekniset vaatimukset ovat monissa maissa vielä ainakin osittain avoimina.

Luonnollisesti osa käytöstäpoistoarvioiden eroista aiheutuu eri maiden kesken vallitsevista yleisistä kustannuseroista, esimerkiksi työvoimakustannusten eroista ja suhtautumisesta tulevaisuuden epävarmuuksiin. Selviä eroja näyttää olevan jätteen käsittelyn ja loppusijoituksen arvioituissa kustannuksissa. Erityisesti USA:ssa voimayhtiöiden keskenkin on huomattavia eroja siinä, minkälaisiksi ne arvioivat loppusijoituksen kustannusten muodostuvan. USA:ssa osavaltiot vastavat loppusijoitustilojen rakentamisesta ja rahastavat voimayhtiöiltä jätemäärään perustuvan hinnan. Viime vuosina jätteiden loppusijoituksesta perityt hinnat ovat moninkertaistuneet. Arvioiden erot riippuvatkin paljolti siitä miten voimayhtiö on arvioinut hintojen tulevaisuudessa kehittyvän.

Arvioita tarkasteltaessa on vielä otettava huomioon, mitä ne oikeastaan sisältävät.

Erityisesti Magnox-laitosten käytöstäpoistolle lehdissä esitetyt luvut ovat joskus olleet keskenään ristiriitaisia. Syitä on useita. Joskus käytöstäpoistokustannuksiin on sisällytetty polttoaineen purku reaktorista, joskus ei; joskus arvioissa on mukana ollut myös purettavan polttoaineen jälleenkäsittely. Ero on tehtävä myös diskonttaamattomien kustannusten ja kustannusten nykyarvon välille: kun kyseessä on sadan vuoden projekti, jo eräissä tarkasteluissa sovelletulla kahden prosentin reaalkorolla on huomattava merkitys kokonaisarvion suuruuteen.

Suomessa yksityiskohtaiset suunnitelmat

Eri voimayhtiöiden kustannusarviot perustuvat yksityiskohtaisuudeltaan usein varsin erilaisiin suunnitelmiin. Eräissä maissa, kuten Ranskassa ja Belgiassa, katsotaan kaupallisten voimaloiden käytöstäpoiston olevan niin kaukana tulevaisuudessa, että yksityiskohtaisten suunnitelmien tekeminen ei vielä ole aiheellista. Monissa maissa kuitenkin varautumisjärjestelyjen vuoksi jo nyt on laadittu laitoskohtaisiin inventaareihin perustuvat urakkoittaiset suunnitelmat vaadittavalle työlle. Tällaiset suunnitelmat on olemassa sekä Loviisan että Olkiluodon voimaloille. Niiden perusteella Loviisan laitoksen

käytöstäpoiston on arvioitu maksavan noin 900 miljoonaa markkaa, Olkiluodon laitoksen noin 800 miljoonaa markkaa; molemmat arviot ovat tämän päivän rahassa.

NEAn selvitys valmistunee tämän vuoden aikana. Suomalaiset kustannusarviot eivät järin olennaisesti eroa tarkastelussa mukana olevien samantyyppisten laitosten kustannusarvioista. Eri arvioiden väliset erot ovat kohtalaisen helposti ymmärrettävissä mm. teknisten suunnitelmien välisten erojen perusteella. Myös viimeaikaiset USA:ssa tehdyt selvitykset ovat sellittäneet sikäläisten arvioiden eroja /2/. NEAn selvityksen perusteella jopa Magnox-reaktorien käytöstäpoiston äkkiseläällä yllättäville kustannusarvioille näyttää löytyvän selityksiä. □

Lähteet

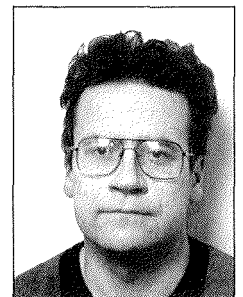
/1/ Decommissioning of nuclear facilities; feasibility, needs and cost. Report by an Expert Group. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris 1986.

/2/ Outlook on decommissioning costs. Nucleonics Week, Sept. 27, 1990.

TkT Juhani Vira työskentelee TVO:n ydinjätetoimistossa, puh. 90-605 022.

Seppo Vuori, VTT

Julkisrahoitteinen ydinjätetutkimus Suomessa



Kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittama ydinenergiatutkimus toteutetaan pääosin kolmeen tutkimusohjelmaan kuuluvissa hankkeissa. Ensimmäisenä näistä ydinenergia-alan tutkimusohjelmista käynnistyi vuoden 1989 alusta Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT). Tutkimusohjelma toteutetaan ajanjaksolla 1989—1993. JYT-ohjelman koordinaatio on annettu valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tehtäväksi. VTT:sta tutkimusohjelmaan osallistuvat ydinvoimatekniikan, reaktori-, metalli- sekä tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratoriot.

Ydinenergialaki ja -asetus antavat selkeät puitteet ydinjätehuollon toteutukselle ja tutkimukselle Suomessa. Lain mukaan ydinjätteiden tuottajat ovat vastuussa kaikista jätteiden huoltoon tarvittavista toimenpiteistä ja niiden kustannuksista. Valtiovalta valvoo ydinjätehuoltoa ja antaa sitä koskevia määräyksiä. Ydinjätehuollon toteutuksen ja siihen liittyvän tutkimus- ja suunnittelutyön tavoitteet ja aikataulut on määritelly valtionneuvoston periaatepäätöksessä vuodelta 1983 sekä KTM:n vuonna 1989 tekemässä päätöksessä koskien periaatteita, joihin nojautuen voimayhtiöiden on jätteistä huolehtimisvelvollisuutensa toteutettava. Valtiovallan valvovaan rooliin kuuluvat ydinjätehuollon toimenpiteiden turvallisuusvaatimusten asettaminen ja voimayhtiöiden esittämien suunnitelmien arviointi asetettuihin tavoitteisiin ja turvallisuusvaatimuksiin nähden sekä voimayhtiöiden esittämien kustannusarvioiden tarkastus taloudellisen varautumisen riittävyden varmistamiseksi. Näiden tehtävien hoitaminen edellyttää voimayhtiöiden tavoitteista riippumatonta julkisrahoitteista ydinjätetutkimusta. Myös kansainvälisiin yhteishankkeisiin osallistuminen edellyt-

tää korkeatasoista omaa tutkimuspanosta. Varsinaisen tutkimustoiminnan lisäksi valtiovaltan rahoitusta tarvitaan ydinjätehuollon yleisten edellytysten luomiseen. Näitä edellytyksiä ovat muun muassa alan tutkijoiden korkeatasoinen asiantuntemus, laaja kotimainen ja kansainvälinen yhteistyö sekä tieteelliseen tutkimukseen pohjautuvan tiedon välittäminen päätöksentekijöille ja suurelle yleisölle.

Vuonna 1989 käynnistyneen *Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelman (JYT)* keskeinen kohde on ydinjätteiden, varsinkin käytetyn polttoaineen loppusijoitus. Tutkimusohjelmassa merkittävimmällä sijalla ovat selvitykset, joiden *perimmäisenä tavoitteena on vähentää yleisiä epävarmuuksia. Loppusijoituksen turvallisuuden kannalta merkityksellisiä ilmiöitä, tapahtumia ja vuorovaikutuksia pyritään mallintamaan aiempaa todennuokaisemmin.* Toisena päätavoitteena julkisrahoitteisissa tutkimuksissa on uusien tutkimus- ja analysointimenetelmien kehittäminen ja käyttöönotto. Tutkimusohjelma on viisivuotinen ja kattaa ajanjakson 1989—1993.

Vuoden 1992 loppu muodostaa merkittävän etapin voimayhtiöiden ydinjäteohjelmassa, jolloin useita selvityksiä luovutetaan viranomaisten arvioitavaksi. Viranomaisten valvontatehtävien kannalta on olennaista, että JYT-tutkimusohjelmassa saavutettavia tutkimustuloksia voidaan hyödyntää varsinkin vuonna 1993 arvioitaessa edellä mainittuja selvityksiä.

Ydinjätetutkimus kattaa kaikkiaan varsin laajan alueen ulottuen jätteiden ominaisuuksista kallioperän ja biosfäärin olosuhteiden selvittämiseen. Ydinjätehuollon tutkimusohjelman osat voidaan ryhmitellä seuraaviin laajempiin pääkohteisiin:

- Kallioperä, pohjavesi ja loppusijoitus-tilat
- Radionuklidien vapautuminen ja kulkeutuminen
- Loppusijoitusratkaisujen toiminnan ja turvallisuuden arviointi
- Ydinjätehuollon tekniikka ja kustannukset

Kallioperä, pohjavesi ja loppusijoitus-tilat

Geotieteellisten tutkimusten alueella varsinkin kallioperän liikunnot, pohjaveden virtaus ja geokemia ovat tärkeitä selvityskohteita. Näiden selvitysten voidaan myös odottaa antavan viitteitä erityyppisten geologisten muodostumien ja ympäristöjen soveltuvuudesta loppusijoituspaikaksi. Tutkimuksen osakohteita tällä alueella ovat:

- Kallioperän rakenne ja liikunnot
- Kalliopohjaveden ominaisuudet ja liike
- Kallioperän tutkimusmenetelmät
- Loppusijoitus-tilat

Radionuklidien vapautuminen ja kulkeutuminen

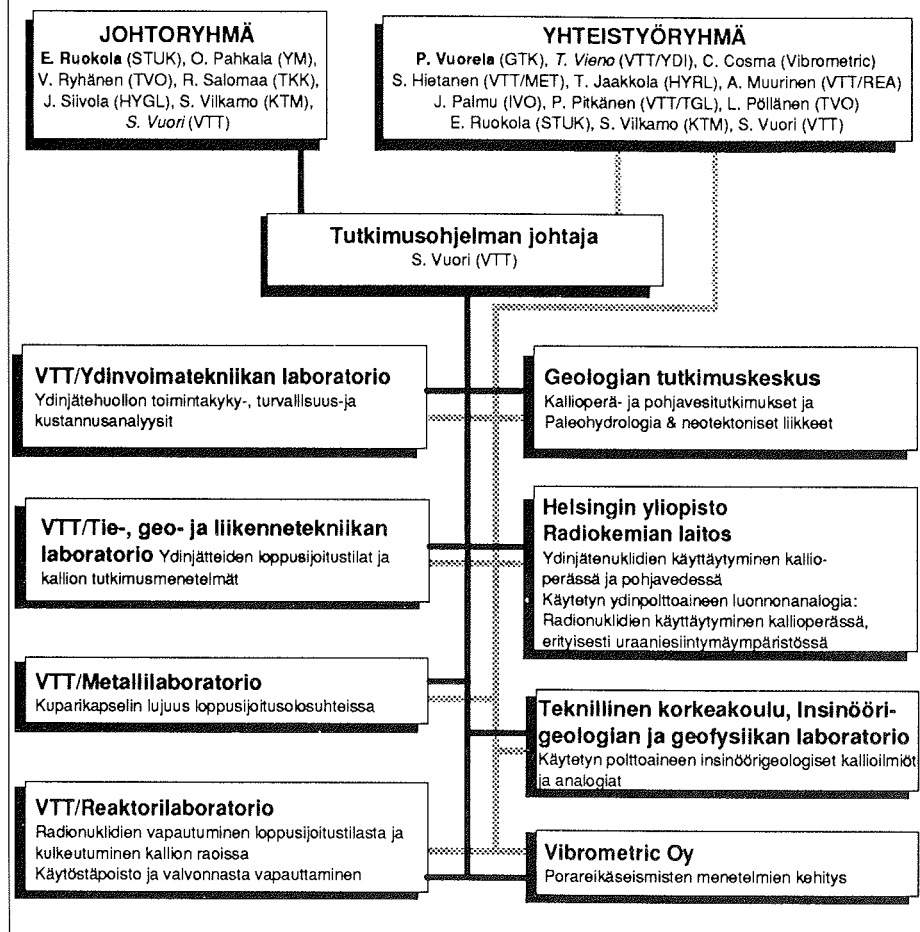
Radionuklidien vapautumista ja kulkeutumista säätelevät lukuisat fysikaalis-kemialliset ilmiöt ja vuorovaikutukset, joiden tuntemuksessa on vielä puutteita. Siksi tähänastisissa turvallisuusanalyyseissä on usein jouduttu tyytymään yksinkertaistettuihin malleihin. Realistisempaan mallinnukseen pyrkiminen edellyttää keollisten tutkimusten tekijöiltä aiempaa monipuolisempia kokeita, huolellista tulosten tulkintaa ja johdonmukaisen luonnontieteellisen käsityksen muodostamista tutkimuskohteesta. Luonnonanalogiattutkimukset tuovat tässä suhteessa esiin uusia mahdollisuuksia ja kotimaisessa luonnonanalogiattutkimuksessa (Palmottu) selvitetään kiteisen kallioperän geologista ympäristöä. Seuraavia kohteita tutkitaan tällä alueella:

- Lähialueen ilmiöt
- Radionuklidien kulkeutuminen kallioperässä
- Luonnonanalogiattutkimus

Loppusijoitusratkaisujen toiminnan ja turvallisuuden arviointi

Julkisin tutkimusvaroin ei ole mahdollista

Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT) Organisaatio ja tutkimushankkeet vuonna 1991



ainakaan nyt meneillään olevaan tutkimusohjelmaan liittyen tehdä laajoja kokonaisvaltaisia turvallisuus- tai toimintakykyanalyysejä. Sen sijaan voidaan tehdä suppeampia herkkyystarkasteluja ja käytössä olevien mallien kelpoistamiseen tähtäviä analyysejä. Myös uusien analyysimenetelmien ja laskentamallien — esimerkiksi todennäköisyyspohjaisten menetelmien ja rakoverkkomallien — kehittäminen on tarpeen pyrittäessä kuvaamaan yhä todenmukaisemmin loppusijoituksen turvallisuuteen vaikuttavia ilmiöitä. Turvallisuusanalyysejä koskevan tutkimuksen osa-alueita ovat:

- Ilmiöiden, tapahtumien ja niiden todennäköisyyksien arviointi
- Toimintakyky- ja turvallisuusanalyysin menetelmät
- Epävarmuus- ja herkkyyshanalyysit

Ydinjätehuollon tekniikka ja kustannukset

Ydinjätehuollon tekniikkaa ja kustannuksia koskevien selvitysten teko kuuluu ensisijaisesti voimayhtiöille, mutta riippumattoman asiantuntemuksen varmistamiseksi niihinkin suunnataan rajoitetusti julkisia tutkimusvaroja. Ydinjätehuollon vaihtoehtoja käsitteleviä selvityksiä tarvitaan, jotta voitaisiin arvioida voimayhtiöiden esittämiä suunnitelmia. Samoin

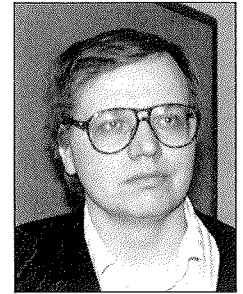
varmistautuminen, että ydinjätehuollon kustannuksiin varaudutaan riittävästi, edellyttää aika ajoin tarkistus selvityksiä. Tutkimusohjelman tämän alueen osakohteita ovat:

- Ydinjätteiden käsittely, kuljetus ja kapselointi
- Ydinlaitosten käytöstäpoisto
- Ydinjätehuollon kustannukset
- Vaihtoehtoiset loppusijoitusmenetelmät

JYT-tutkimusohjelma kattaa kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittaman ydinjätetutkimuksen, joka pääosin toteutetaan valtion tutkimuslaitoksissa ja korkeakouluissa. JYT-ohjelman koordinoituvastuu on annettu valtion teknilliselle tutkimuskeskukselle.

Vuodelle 1991 KTM:n tutkimusohjelmalle myöntämä kokonaisrahoitus on kaikkiaan noin 6,5 miljoonaa markkaa. Tutkimusohjelman vuoden 1991 suunnitelmaan kuuluvat hankkeet ja niiden toteuttajalaitokset on esitetty oheisessa kaaviossa. □

Tkt Seppo Vuori on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion turvallisuusmekaniikan jaoston päällikkö, puh. 90-648 931.



TVO:n käytetyn polttoaineen uusi kapselointitekniikka

Vuodesta 1985 lähtien Teollisuuden Voiman suunnitelma käytetyn polttoaineen kapselointitekniseksi on ollut ns. KBS-3 ratkaisun mukainen: käytetty polttoaine sijoitetaan kuparikapseliin, jossa täytteenä käytetään valettua lyijyä. Vuosina 1986—1990 on kuitenkin jatkettu vaihtoehtoisen käytetyn polttoaineen kapselointimennetelmän kehittämistä. Tavoitteena oli kehittää kapselointiprosessi, joka on yksinkertaisempi, käyttöturvallisuudeltaan parempi ja kustannuksiltaan edullisempi kuin aikaisempi ratkaisu. Vuoden 1990 aikana tutkimukset olivat edenneet niin pitkälle, että TVO:n perusratkaisuksi voitiin valita kylmäprosessitekniikka ja ACP-kapseli (Advanced Cold Process Canister).

Kylmäprosessin kehittäminen perustuu TVO:n ja IVO:n yhteistoiminnassa syntyneeseen ajatukseen kapseloida TVO:n käytetty polttoaine huoneen lämpötilassa.

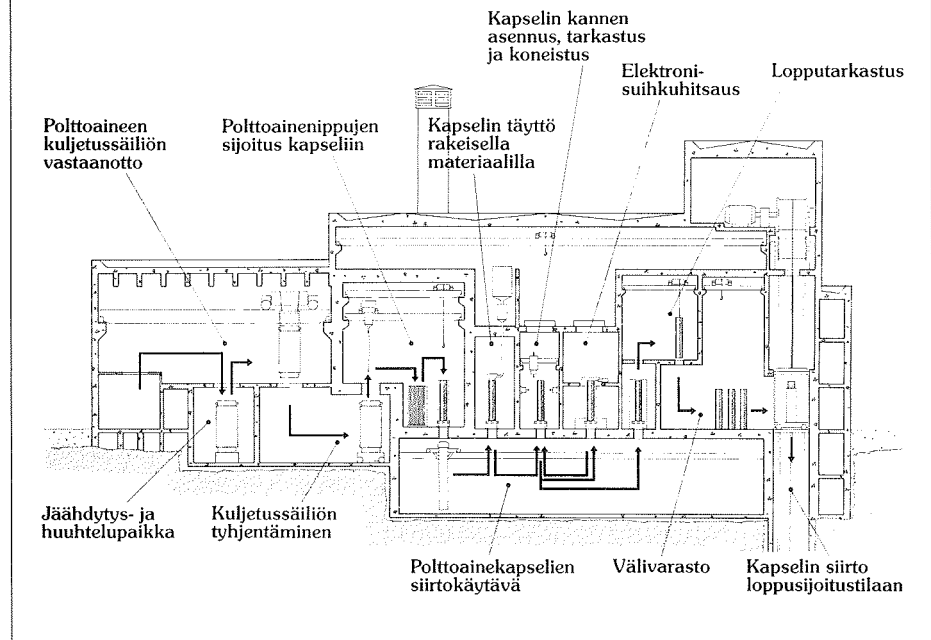
Valmistunut kapselointilaitoksen alustava suunnitelma osoitti, että tällainen laitos voidaan toteuttaa tämän päivän tekniikalla ja että sitä voidaan käyttää turvallisesti. Kapselointitekniikkaa voidaan myös joustavasti soveltaa erilaisille kapselointimateriaali- ja kapselitäyteratkaisuille.

TVO:n suunnitelmassa tyhjät ACP-kapselit kansineen tuodaan valmiina kapselointilaitokselle, jossa polttoaineput siirretään niiden sisälle. Kapselin ja polttoainepuun välinen tila täytetään sulan lyijyn (n. 400 astetta) asemesta kiinteillä rakeilla, jotka voivat olla lyijyä, kvartsihiekkaa tai lasia. Teräskapselin kansi suljetaan paikoilleen pulteilla. Tämän jälkeen kuparikansi kiinnitetään elektronisuihkuhitsauksella.

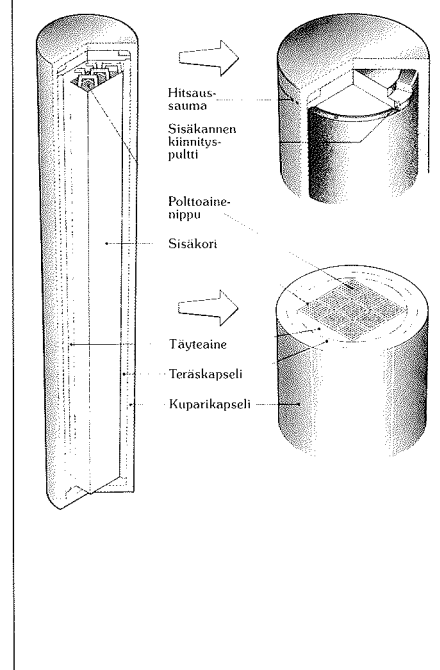
ACP-kapseli

Tässä kupari-teräs-kapselissa päällimmäisenä oleva kuparivaippa toimii korroosiosuojana ja sisällä oleva terässylinteri takaa mekaanisen lujuuden.

KÄYTETYN POLTTOAINEEN KAPSELOINTI



KÄYTETYN POLTTOAINEEN KAPSELI



Kapselin mitat on pidetty lähellä KBS-3 ratkaisua. Yhteen kapseliin voidaan sijoittaa 9 polttoainepuuta eli noin 1,6 tU. Kapselin korkeus on 4,5 m ja ulkohalkaisija 80 cm. Kupariseinämän paksuus on 6 cm ja teräseinämän 5,5 cm. Yhteen kapseliin tarvitaan kuparia 6,4 t ja terästä 4,1 t. Riippuen kapselin täyteaineesta kokonaispaino on 14—19 t.

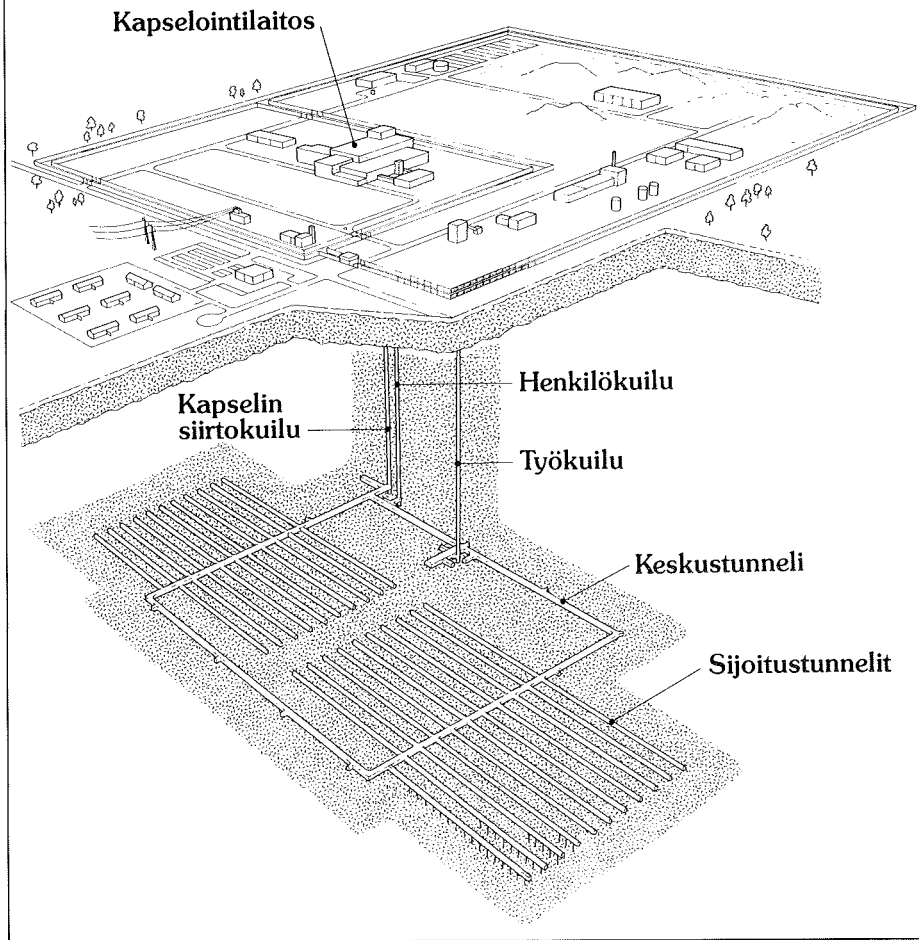
TVO:n lisäksi ACP-kapselin mitoittamiseen osallistivat kotimaasta VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorio ja IVO. Ulkomailta mukana olivat SKB (Ruotsin ydinjätehuolto-yhtiö) ja Welding Institute.

Loppusijoituksen turvallisuusarvio

Valmiit ACP-kapselit sijoitetaan KBS-3 ratkaisun mukaisesti syväälle peruskallioon rakennettuihin tiloihin. Kapselit ympäröidään bentoniittitiilillä. Tunnelit ja maanpinnalle johtavat kuulut täytetään ja suljetaan. Loppusijoituksen turvallisuuden perustana ovat sekä luonnolliset että tekniset esteet, jotka varmistavat toisiaan.

Vuonna 1990 valmistui alustava turvallisuusarvio ACP-kapselin soveltuvuudesta käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen. Työhön osallistui useita kotimaisia ja ulkomaisia tutkimuslaitoksia. Tutkimuksis-

KÄYTETYN POLTTOAINEEN KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSTILAT



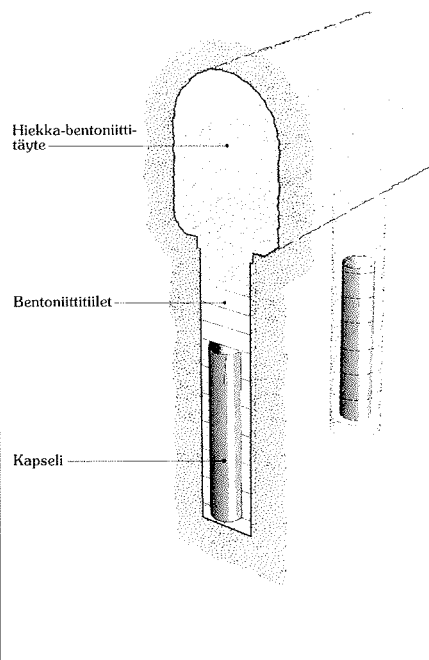
sa selvitettiin kapselin mekaanista lujuutta, säteilysuojauskykyä, hitsattavuutta, kriittisyysturvallisuutta, lämmönsiirtoa, korroosiota, kaasujen muodostumista ja kulkeutumista, bentoniitin tunkeutumista kapseliin sekä radioaktiivisten aineiden vapautumista ja kulkeutumista.

Alustava turvallisuusarvio osoitti, että ACP-kapselin pitkäaikaisominaisuudet ovat vähintään yhtä hyvät kuin aiemman kapseliratkaisun. Kapseli kestää todennäköisissä loppusijoitusolosuhteissa miljoonia vuosia. Kuparikapselin rikkoontunut raudan korroosio luo kapselin sisään pelkistävät olosuhteet. Tämän ansiosta uraanimatriisin ja eräiden muiden radioaktiivisten aineiden liukoisuus saattaa vähetä siten, että niiden vapautuminen kapselista viivästyy kymmeniä tuhansia vuosia.

TVO:n tavoitteena on saattaa valmiiksi täydellinen turvallisuusarvio käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta vuonna 1992. Tämän selvityksen perustana tulee olemaan käytetyn polttoaineen kapselointi kylmäprosessilla ja ACP-kapseli. □

TkL Jukka-Pekka Salo työskentelee Teollisuuden Voima Oy:n ydinjäte-toimistossa, puh. 90-605 022.

POLTTOAINEKAPSELI LOPPUSIJOITUSTILASSA



DI Esko Tusa, IVO

Uusi kesiumin e Loviisan nestem

Imatran Voima Oy on vuodesta 1986 lähtien kehittänyt selektiivistä kesiumin erotussysteemiä yhdessä Helsingin yliopiston radiokemian laitoksen kanssa. Menetelmässä käytetään ioninvaihtimena raemaista kaliumkobolttiheksasyanoferraattia. Materiaali on erittäin selektiivinen kesiumille. Laboratorio- ja pilot-kokeiden mukaan dekontaminaatiokertoimen ollessa 10 000 saadaan haihdutusjätteen tilavuus pieneneväksi tekijälle 5000–8000. Laitteisto on rakenteilla Loviisassa ja arvion mukaan se otetaan käyttöön toukuussa 1991

Kesium on merkittävin pitkäikäinen radionuklidi Loviisan haihdutusjätteiden varastosäiliöissä. Taulukko 1 kertoo haihdutusjätteiden nuklidisisällön ja määrät viime vuoden joulukuun lopussa. Kokonaisaktiivisuus oli 213 GBq. Tästä 89,6 GBq oli kahdessa kesiumin isotoopissa tankissa TW10B01.

Vuonna 1991 toteutettavassa kesiumin erotusmenetelmän käytössä tavoitteena on erottaa kesium tankin TW10B01 nesteestä. Vuosina 1989–90 on suoritettu tutkimuksia, joissa on selvitetty nuklidien jakautumista tankissa. Haihdutusjätteestä otetuissa näytteissä koboltti on ollut 80–100 %:sesti sakkassa. Kesium sen sijaan on kokonaan nesteessä.

Tankissa koboltti on pääosin hydroksidisakan muodossa tankin pohjaosassa. Tutkimuksessa arvioitiin, että sakan paksuus on noin 10 cm. Mittauksilla todennettiin, että kesium on tasaisesti jakautunut eri syvyyksille. Kobolttista noin 80 % on 7 vuorokauden seisonta-ajan jälkeen pohjalla 20 cm:n alapuolella. Näin ollen 6 m korkuisen tankin sisällöstä voidaan yli 95 % laskea kesiumin erotuksen jälkeen ulos valvottuna päästönä. Arvion mukaan aiheutuva päästö on alle 4 GBq. Päästö olisi alle 0,5 % sallitusta vuosipäästörajasta, joka on 890 GBq. Kesiumin erotuksen jälkeen kobolttista 17 GBq olisi noin 10 m³:n määrässä höytymäisenä sakkana odottamassa ioninvaihdinmassaa.

Ioninvaihtimen menestyksekkäas kehitys

Helsingin yliopiston radiokemian laitos (HYRL) tutki aikaisempina vuosina mui-

rotussysteemi puhdistamaan räjäisiä jätteitä



Taulukko 1. Loviisan haihdutusjätteiden sisältämät radionuklidit

Säiliö	jätämäärä m ³	nuklidi	puol.aika a	sisältö GBq
TW10B01	300	Cs-134	2,1	6,1
		Cs-137	30	83,5
		Co-60	5,3	21,0
TW10B02	80	Sb-124	0,16	4,4
		Co-60	5,3	16,6
		Ag-110m	0,69	25,8
TW10B03	87	Cs-137	30	2,6
		Sb-124	0,16	5,5
		Ag-110m	0,69	6,0
		Co-60	5,3	15,4
TW10B04	50	Ag-110m	0,69	4,7
		Cs-137	30	5,9
		Co-60	5,3	6,2

ta nuklidien erotusmahdollisuuksia. Vuonna 1985 tuli esiin kaliumkobolttiheksasyanoferraatti. Sillä todettiin olevan erinomainen selektiivisyys. Tällöin aloitettiin pilot-kokeet Loviisan voimalaitoksella. Kaliumkobolttiheksasyanoferraattia käytetään useissa maissa jauhemaisena kesiumin saostimena. HYRL kehitti olemassa olevien artikkelien antamien tietojen pohjalta menetelmän aineen saamiseksi raemaiseen, ja siten ioninvaihdinpatruunassa käytettävään muotoon.

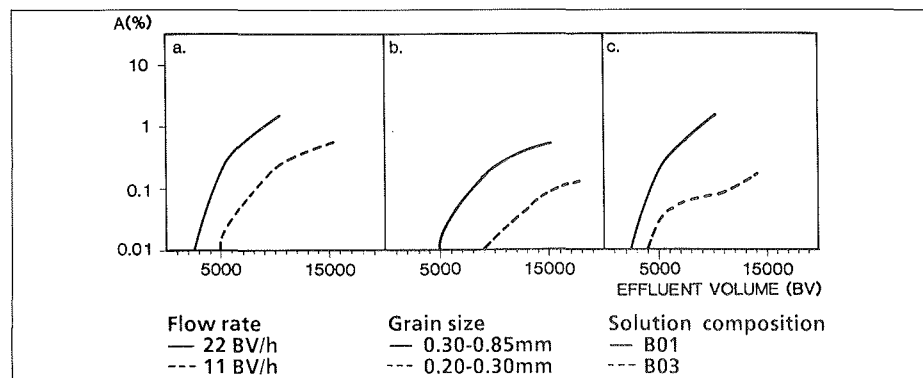
Ensimmäiset kokeet osoittivat, että edessä on ongelmia ennenkuin menetelmää voidaan hyödyntää. Ioninvaihtopaikat tukkeutuivat ja virtaus pysähtyi. Kuitenkin jo vuonna 1987 saavutettiin pilot-kokeissa tuloksia, jotka enteivät 2500—8300-kertaista tilavuuden pienennystä.

Ennen varsinaista kesiumin erotusta jäte-nesteen pH säädetään sopivaksi ja suodatetaan partikkelimaiset epäpuhtaudet pois tukkeutumien estämiseksi. Tämän jälkeen neste virtaa ioninvaihtopatruunan läpi säädetyllä nopeudella.

Kokeiden aikana selvitettiin perusteellisesti liuoksen koostumuksen, vaihtimen rae-

koon ja virtausnopeuden vaikutus vaihtimen kapasiteettiin. Kuva esittää Cs-137:n kumulatiivista läpimurtoa eri tekijöiden funktiona. Kuvasta havaitaan, että dekontaminaatikerroksella 10 000 (0,01 %) pienemmällä virtausnopeudella ja isommalla raekoolla päästään jo 5000 BV:n (Bead Volume) virtaamaan. Pienentämällä raekokoa päästään virtaamaan noin 9000 BV. Kuvasta c havaitaan, että tankin B03 nesteelle saadaan parempi erottuminen kuin B01:n nesteelle. Tämä on seurausta tankkien erilaisesta kaliumkonsentraatiosta.

Täyden mittakaavan erotuslaitteessa tullaan käyttämään patruunoita, joissa on kussakin noin 8 litraa vaihdinmassaa. Massan raekoko tulee olemaan välillä 0,15—0,85 mm. Virtausnopeudella 80 l/h voidaan odottaa, että kullakin patruunal-la käsitellään 40—60 m³ haihdutusjätettä. Patruunoiden kapasiteetin nostamista, kytkemällä kaksi patruunaa sarjaan, tutkitaan menetelmän käyttöönottovaiheessa. Tankin TW10B01 käsittelyyn tarvitaan täten maksimissaan 8 patruunaa. Patruunoiden säilyttämiseksi ja loppusi-joitamiseksi on rakennettu betoniastia.



Cs-137:n kumulatiivinen läpimurto kaliumkobolttiheksasyanoferraatti-vaihtimen läpi.

Se on ulkomitoiltaan samanlainen kuin Loviisaan suunnitellun betonointilaitoksen kiinteytysastia. Ulkohalkaisija on 1,3 m ja korkeus 1,3 m. Astian keskiosaan on varattu reiät 12 patruunalle, jotka ovat noin 14 cm halkaisijaltaan ja noin 70 cm pitkiä. Muu osa astiasta on betonia. 12 patruunan tultua sijoitetuksi astiaan se suljetaan betonikannella. Kesium pysyy vaihtimesta erittäin hyvin. Se eluoittuu ulos vaihtimesta vain väkevällä hopeasuolaliuoksella tai kuumalla väkevällä hapolla. Vaihdinmateriaali hajoaa myös korkeissa lämpötiloissa. Ensimmäisenä materiaali menettää rakenteestaan veden 170 °C:ssa, ja ensimmäiset hajoamisilmiöt alkavat 230 °C:n yläpuolella. Täydelliseen hajoamiseen tarvitaan lämpötiloja aina 900 °C:een saakka. Loppusijoituksen olo-suhteissa tämän tyyppisiä kesumia vapaut-tavia ilmiöitä ei ole odotettavissa.

Säteilyn kestoa tutkittaessa 5 MGy:n annok-sella materiaalissa ei havaittu minkäänlaisia muutoksia, ja on olettavissa, että kestoraja epäorgaanisella aineella on paljonkin korkeammalla. Jos yhdellä patruunalla käsitel-lään 40 m³ jätettä, sen sisältämästä kesiumista tulee vaihdinmateriaalille noin 0,5 MGy:n kumulatiivinen annos.

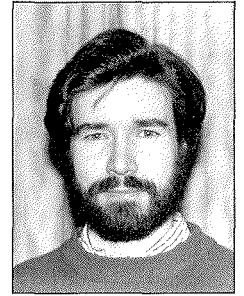
Ioninvaihtomassa valmistettiin

IVOn tiloihin rakennettiin viime vuonna laitteisto, jolla voidaan valmistaa tarvitta-vaa ioninvaihtomassaa riittävän suurii määriä. Ensimmäinen valmistuserä val-mistui helmikuun alussa. Yhdellä kerralla pystytään valmistamaan noin kolmen pa-truunan tarvitsema määrä, ja sen valmistukseen kuluu noin 3 viikkoa.

Laboratoriossa todettiin, että materiaalin hävikki valmistuksessa on noin 30—50 %. Hävikki syntyy kun aine rakeistetaan ja osa siitä hajoaa liian hienoksi. Ison mittakaavan valmistuksessa todettiin päästävän parem-paan tulokseen. Kun materiaali oli valmiina, mitattiin, että raekokojen 0,15 ja 0,85 mm välille saatiin noin 80 % materiaalista, eli hävikki oli vain 20 %.

Ensimmäinen erä materiaalia on jo valmiina. Seuraavan erän valmistukseen päästään helmikuun lopulla. Kun laitteisto Lovii-sassa on toukokuussa asennettuna, koko tarvittava määrä ioninvaihdinta on odotta-massa. Sillä odotetaan pienennettävän merkittävästi varastoitavien haihdutusjätteiden määrää. Käsittelyn jälkeen haihdutusjätteiden tankkivaraston kapasiteetista on käytössä todennäköisesti vain noin 20 % □

DI Esko Tusa toimii Imatran Voima Oy:n ympäristöliiketoiminnassa ydin-jätetekniikan tuotepäällikkönä, puh. 90-5081.



VLJ-luola

TVO rakentaa Olkiluotoon keski- ja matala-aktiivisten voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitosta, VLJ-luolaa. Asennustöiden vaihe on alkanut, ja luolan pitäisi valmistua tämän vuoden puolella.

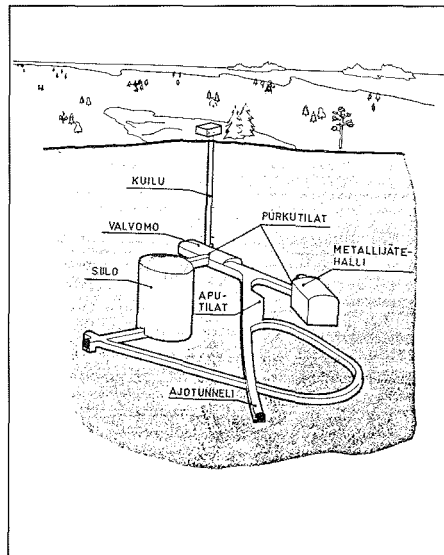
Käyttölupahakemus ja lopullisen turvallisuusselosteen pääosa jätettiin viranomaisille tammikuussa 1991. Turvallisuusanalyysin sisältävä lopullisen turvallisuusselosteen loppuosa luovutetaan toukokuussa 1991.

1970-luvun lopussa arvioitiin tarkoituksenmukaiseksi toteuttaa erilliset voimalaitosjätteen loppusijoituslaitokset Olkiluotoon ja Hästholmenille. TVO alkoi tutkia Olkiluodon Ulkopään niemen soveltuvuutta voimalaitosjätteen loppusijoitukseen vuonna 1980, jolloin ensimmäinen kalliokairaus osui vain noin 15 m:n päähän nykyisestä VLJ-luolan matala-aktiivisen jätteen siilosta. Jo ensimmäisenä paikkatutkimusvuotena löydettiin yhtenäinen tonalittikallion alue, joka todettiin pienehköksi mutta kalliolaadultaan hyväksi. Alue sijaitsee noin 700 m:n päässä voimalaitosyksiköistä.

Olkiluodon sijoituspaikkaraportissa vuodelta 1982 tarkasteltiin loppusijoituslaitoksen toteutusta Ulkopään niemen tonalittiin. Tuolloiseen lay-out -ratkaisuun sisältyi siilo, koska sitä pidettiin edullisena sekä kalliomekaanisesti että pienehkön vaippapinnan takia myös nuklidien vapautumisen kannalta. Valvomo esitettiin maanlaiseksi, ja raportin mukaan "valvomon lyijylasi-ikkunasta operaattori saa yleiskuvan kuorman purkutilanteesta".

Valtioneuvosto teki 10.11.83 periaatepäätöksen, jonka mukaan voimayhtiöt veloitettiin mm. rakentamaan voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitokset siten että ne voidaan tarvittaessa ottaa käyttöön vuoden 1992 aikana. "Tuotekehitystyö" jatkui voimayhtiöissä ja tulokset toimitettiin alustavien turvallisuusanalyysiraporttien (PSAR) muodossa viranomaisille joulukuussa 1986. TVO:n loppusijoituslaitoksen muoto oli muuttunut neljän vuoden aikana oleellisesti.

Olkiluodon loppusijoituslaitos nimettiin tammikuussa 1988 VLJ-luolaksi. Säteilyturvakeskus totesi tiedotteessaan 3.3.88 hyväksyneensä VLJ-luolan rakentamisen,

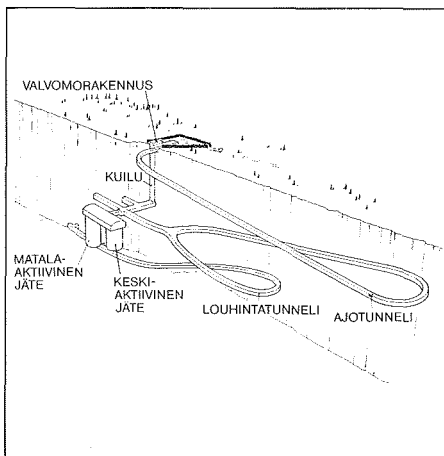


TVO:n voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitossuunnitelma vuonna 1982.

ja louhinta käynnistyi noin kuukautta myöhemmin. Lay-out oli silloin jo lähes sama kuin lopullisessa ratkaisussa. Pohjantervejaisia päästiin viettämään Griegin "Vuorenpaikkojen tanssin" tahdissa elokuussa 1989. Harjannostajaisia vietettiin valvomorakennuksen saavutettua harjatorkeutensa lokakuussa 1990.

Tammikuussa 1991 VLJ-luola oli kokonaan louhittu, rakennustekniset työt yli puolivälissä ja asennustyöt hyvässä vauhdissa. Käyttölupahakemus valtioneuvostolle jätettiin 22.1.91, ja lopullisen turvallisuusselosteen, FSAR:n, viimeinen osa luovutettiin toukokuun lopussa.

VLJ-luolaprojektin organisaation purkaminen tulee ajankohtaiseksi vuonna 1992, kun laitos otetaan käyttöön.



Laitoksen lay-out alustavassa turvallisuusselosteessa 1986.

VLJ-luolassa tilaa 40 vuoden jätteille

VLJ-luolaan mahtuu TVO I/II:n käytöstä 40 vuoden aikana kertyväksi arvioitu jätemäärä. Alueen kallioperä mahdollistaa tilojen laajentamisen. TVO I/II:n käytöstäpoistosuunnitelmaan sisältyy VLJ-luolan laajentaminen länteen päin purkujätteille.

Jätteet sijoitetaan laitosyksiköillä ja voimalaitosjätteen väliavarastoissa betonilaatikoihin, jotka viedään erikoisajoneuvon kuljetussuojassa VLJ-luolan ajotunnelin kautta nosturihalliin. Hallin nosturia ohjataan maanpäällisestä valvomorakennuksesta käsin. Alhaisaktiivista jätettä sisältävät betonilaatikat nostetaan matala-aktiivisen jätteen siiloon, MAJ-siiloon, ja keskiaktiivista jätettä sisältävät keskiaktiivisen jätteen siiloon, KAJ-siiloon. Käytännössä bitumoidut ioninvaihtohartsit ovat keskiaktiivisia ja muut jätteet matala-aktiivisia.

Betonilaatikat on mitoitettu siten, että niitä voidaan pinota päällekkäin siilojen koko korkeudelta. Siilojen betoniset kansilaatat toimivat käytön aikaisina säteilysuojina. KAJ-siilossa betonilaatikoita ympäröi erillinen teräsbetonisiilo, joka tulee aikanaan toimimaan jätenuklidien vapautumisesteenä.

VLJ-luola suljetaan käytön päättyessä

Käyttövaiheen jälkeen, suunnitelmien mukaan 2050-luvulla, VLJ-luola suljetaan lopullisesti siten, ettei hyvän pitkäaikais- ja turvallisuuden saavuttaminen edellytä sulkemisen jälkeistä valvontaa. Turvallisuus perustuu toisiaan varmentaviin luonnollisiin ja teknisiin vapautumisesteisiin.

Sulkemisen yhteydessä osa tiloista täytetään kivimurskeella ja sementtipitoisilla täyteaineilla. Tunnelleihin ja kuiluun rakennetaan betonitulppia vähentämään vesivirtauksia siilojen tuntumassa. Sulke-misrakenteiden tehtävänä on myös estää ihmisten tahaton tunkeutuminen tiloihin.

Jätepakkaukset, betonirakenteet ja täytteet muodostavat VLJ-luolan tekniset vapautumisestteet. Kallioperä ja maaperä ovat luonnollisia vapautumisestteitä.

Viranomaisvaatimukset

Loppusijoituslaitoksen luvitus on pääpiirteissään kolmivaiheinen. 1) Alustavalla turvallisuusselosteella, PSAR:illa, haetaan rakentamislupaa, 2) lopullisella turvalli-

suuslupaa, FSAR:lla, haetaan käyttö- ja 3) sulkemissuunnitelmalla haetaan sulkemislupaa. Vasta sulkemisluvan myöntäminen johtaa toimiin, joiden jälkeen jätepakkauksia ei enää saa poistettua tiloista. Jätteiden sijoitus VLJ-luolaan ei siis ole vielä käytön aikana täysin peruuttamatonta toimintaa, vaikka jätteiden poisto tuleekin sillojen täytyessä yhä vaikeammaksi.

Uuden ydinenergialain ja -asetuksen määräykset koskevat jo VLJ-luolan käyttöluvan viranomaiskäsitteilyä, vaikka rakentaminen aloitettiinkin uuden asetuksen siirtymäsäännösten nojalla vanhan lain mukaan.

Valtioneuvostolla on käsiteltävänä päättöluonnos voimalaitosjätteiden turvallisuutta koskevista yleisistä määräyksistä. Päätös koskee loppusijoitusta ydinvoimalaitosalueiden kallioperään. Valtioneuvoston periaatepäätöksistä on juttu toisaalla tässä lehdessä.

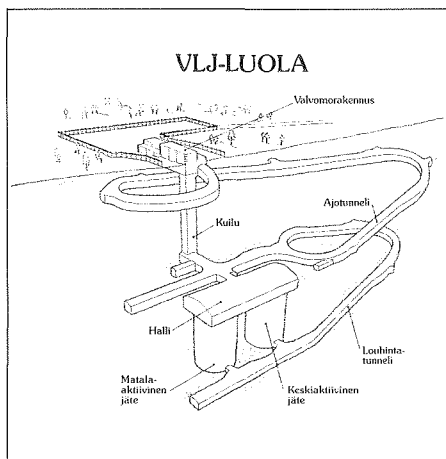
Valtioneuvoston päätöstä täsmentävät määräykset löytyvät säteilyturvakeskuksen luonnosvaiheessa olevasta, voimalaitosjätteiden loppusijoituksen turvallisuutta koskevasta YVL-ohjeesta.

Tärkein voimalaitosjätteen loppusijoitukselle luonnostelluissa vaatimuksissa esitetty turvallisuusmääräys on väestön yksilölliselle aiheutuvan vuotuisen efektiivisen annoskiväntä odotusarvon yläraja 0,1 mSv. Muut määräykset rajaavat sitä, miten annosrajan allittuminen varmistetaan ja miten allittumisesta varmistetaan.

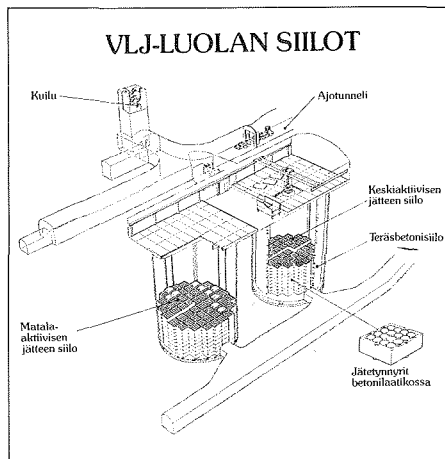
Turvallisuuden arviointi on kvantitatiivista

Turvallisuusvaatimus on siis asetettu määrällisesti. Näin ollen ainoa tapa arvioida vaatimuksen toteutumista on tehdä kvantitatiivinen turvallisuusarvio.

VLJ-luolan turvallisuusanalyysin lähtötehtöjen hankinta on kohdistunut Ulkopään niemen kallioperään sekä luolan täyteainneiden, betonin ja jätetuotteiden ominaisuuksiin — kattain siis kaikki loppusijoitukseen liittyvät päämateriaalit.



VLJ-luolan toteutettu lay-out.



Lähikuva jätetiloista.

Olkiluodon ja erityisesti Ulkopään niemen kallioperä on Suomen tarkimmin tutkittu. Kallioperätutkimuksin on selvitetty paikoin 200 metrin syvyydeltä ominaisuuksia, jotka liittyvät kalliopohjaveden muodostumiseen ja liikkumiseen, pohjavesikemiaan ja kallion muodonmuutoksiin. Pohjaveden liikkumiseen vaikuttavat kallion rakoilugeometria ja vedenjohtavuudet. Näkyvältä pituudeltaan vähintään metrin mittaisia kalliorakoja VLJ-luolassa on keskimäärin metrin välein; kallio on luokituksestaan pääosin harvarakoista. Louhinnan jälkeen tiloihin on tihunut pohjavettä noin 45 l/min, josta noin 35 l/min vuotaa ajotunnelin kauimpana siiloista olevasta kaarteesta. Kalliomekaanisten tutkimusten mukaan jätetilojen lähikallio on hyvin stabiili, millä on merkitystä lähinnä tilojen pysyvyydelle käytön aikana.

Nuklidien liikkeiden mallintamisessa tarvittavat diffuusio- ja pidätyskertoimet on valittu sekä koti- että ulkomaisten kokeiden tuloksista. Betonin pitkäaikaiskestoa on selvitetty sekä käytännön kokemusten että mallintamisen avulla. Selvitysten mukaan VLJ-luolassa tulee sulkemisen jälkeen olemaan erinomaiset olosuhteet betonin säilyvyydelle.

TVO:n bitumointituotteen ominaisuuksista lähinnä veden absorptiota tuotteeseen ja nuklidien eluutiota ulos tuotteesta on tutkittu monivuotisin kokein. Jätetuotteet pakkauksineen kehittyvät kaasuja, joiden muodostumisnopeus on suurimmillaan matala-aktiivisen roinan sisältämien selluloosapitoisten aineiden hajotessa mikrobiologisesti.

Turvallisuusanalyysin ensimmäinen laskentavaihe on pohjavesivirtausten mallinnus. Seuraavaksi lasketaan nuklidien va-

pautumisnopeudet jätteestä lähialueen kallioperään. Kallioperässä kulkeutumisen mallinnus ja biosfäärimallinnus muuntavat lähialueen vapautumisnopeudet mm. kriittisen henkilön annosnopeudeksi.

Viranomaisen asettamaa kriittisen yksilön annosnopeusrajaa 0,1 mSv/a verrataan niihin turvallisuusanalyysin tuloksiin, jotka saadaan annosnopeuksia suurella varmuudella yliarvioivalla tavalla laskien.

VLJ-luolan FSAR:n turvallisuusanalyysin alustavien tulosten mukaan dominoivia nuklideja ovat C-14, I-129 ja Pu-239 tärkeimmässä laskentaskenaariossa, joka on lähelle jätetiloja tehtävän porakaivon käyttö talousveden hankintaan. Pohjavesinäytteissä havaittu rikkivedyn haju tosin saattaa hillitä veden käyttöä sisäisesti.

Tutkimuksissa on osoittautunut, että aikoinaan painotettiin tarpeettomasti luolan sijoittamista tonaliittikallion alueelle. Tonaliitti on louhinnan kannalta hyvää kiveä, mutta pitkäaikaisturvallisuuden puolesta tilat olisi hyvin voitu sijoittaa osittain tai kokonaan ympäröivän kiillegneessin puolelle — huolimatta siitä, että kiillegneissi on hieman tiheämpirakoista. Tämä seikka on merkittävä etu pohdit- taessa aikanaan tilojen laajentamista. □

VLJ-luola pähkinänkuoressa

Mitat:

Louhintatilavuus	87 000 m ³
Ajotunnelin pituus	665 m
Louhintatunnelin pituus	400 m
MAJ-siilo:	
Halkaisija	23,6 m
Korkeus	33,6 m
KAJ-siilo	
Kalliosiiilon halkaisija	23,6 m
Kalliosiiilon korkeus	34,5 m
Betonsiiilon sisähalkaisija	19,9 m
Betonsiiilon sisäkorkeus	32,3 m
Betoneinämien paksuus	≥ 0,6 m
Korkeustasot merenpinnasta:	
Ajotunnelin yläpään lattia	+1,00 m
Nosturihallin katto	-50,00 m
Nosturihallin lattia	-60,80 m
Siilojen betonilattiat	-94,15 m

Sijoituskapasiteetti 200 litran tynnyreinä:

KAJ-siilo	17 360 kpl
	3 500 m ³
MAJ-siilo	24 800 kpl
	5 000 m ³

Jätteen aktiivisuuden yläraja-arvio eräille nuklideille vuonna 2055:

C-14	2·10 ¹¹ Bq
Co-60	1·10 ¹² Bq
I-129	2·10 ⁸ Bq
Cs-137	2·10 ¹⁴ Bq
Pu-239/240	6·10 ⁹ Bq

Rakentamisen kustannusarvio 3/1990 kustannustasossa

5 Mmk

DI Mikko Nykyri on TVO:n ydinjätetoimiston suunnitteluinsinööri, puh. 90-605 022.

Ydinvoimaloiden käyttö 1990

TVO SÄTEILYANNOKSET

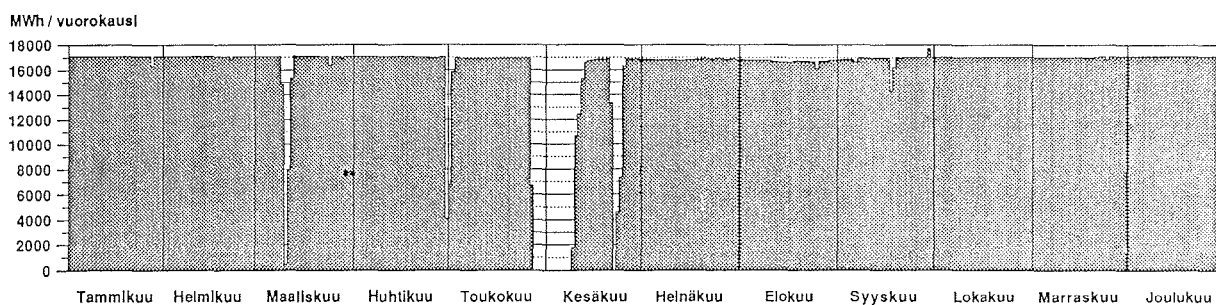
Kaikkien Olkiluodossa työskennelleiden henkilöiden säteilyannosten summa oli 1,58 mansievertiä (manSv). Henkilöä kohti laskettu keskimääräinen säteilyannos oli 1,47 millisievertiä (mSv) ja suurin henkilökohtainen annos 13,4 millisievertiä (mSv).

Radioaktiivisten aineiden päästöt laitokselta ympäristöön pysyivät edelleen vähäisinä. Kaasumaiset päästöt olivat noin 0,05 prosenttia ja nestemäiset päästöt noin 10 prosenttia vuosittain sallituista arvoista. Laitosyksiköillä ei sattunut yhtään sellaista tapahtumaa, joka Säteilyturvakeskuksen luokituksen mukaan olisi olennaisesti vähentänyt niiden turvallisuutta tai aiheuttanut säteilyvaaraa henkilökunnalle tai ympäristölle.

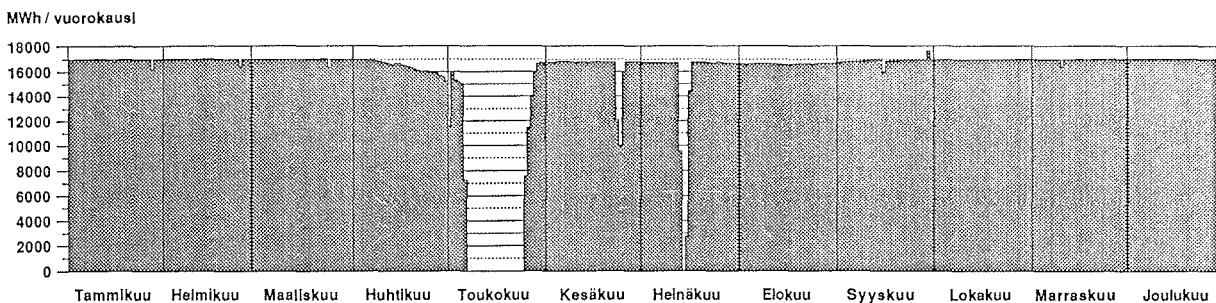
TEOLLISUUDEN VOIMA OY • OLKILUODON YDINVOIMALAITOKSEN KÄYTTÖ 1990

YHTEENSA NETTOTUOTANTO 11607 GWh NETTOKÄYTTÖKERROIN 93,6 %

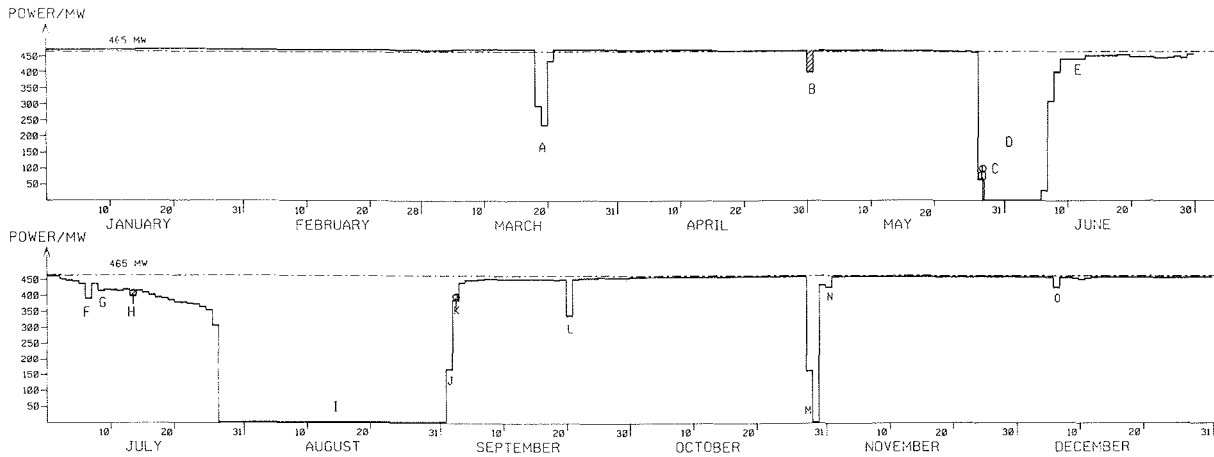
TVO I NETTOTUOTANTO 5857 GWh NETTOKÄYTTÖKERROIN 94,4 %



TVO II NETTOTUOTANTO 5750 GWh NETTOKÄYTTÖKERROIN 92,7 %



LOVIISA 1 OPERATION HISTORY 1990



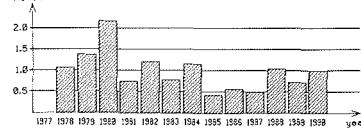
ENERGY GENERATION STATISTICS

ASSUMING 465MW = 100%

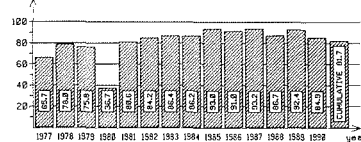
Month	MWh	Load factor/month
January	351 498	101.6
February	317 727	101.7
March	339 660	98.3
April	337 925	100.9
May	303 899	87.8
June	244 255	73.0
July	262 288	75.8
August	239	0.1
September	304 110	90.7
October	324 736	93.9
November	329 672	96.5
December	340 561	98.4

TOTAL 3 456 570 84.9 %
Time availability = 86.8 %

Collective radiation dose



Load factor/year



Losses due to load following about 1 134 MWh
Load factor without load following 84.9 %
Total 1990 collective radiation dose 1.02 manSv
(Refueling period collective radiation dose 0.97 manSv)

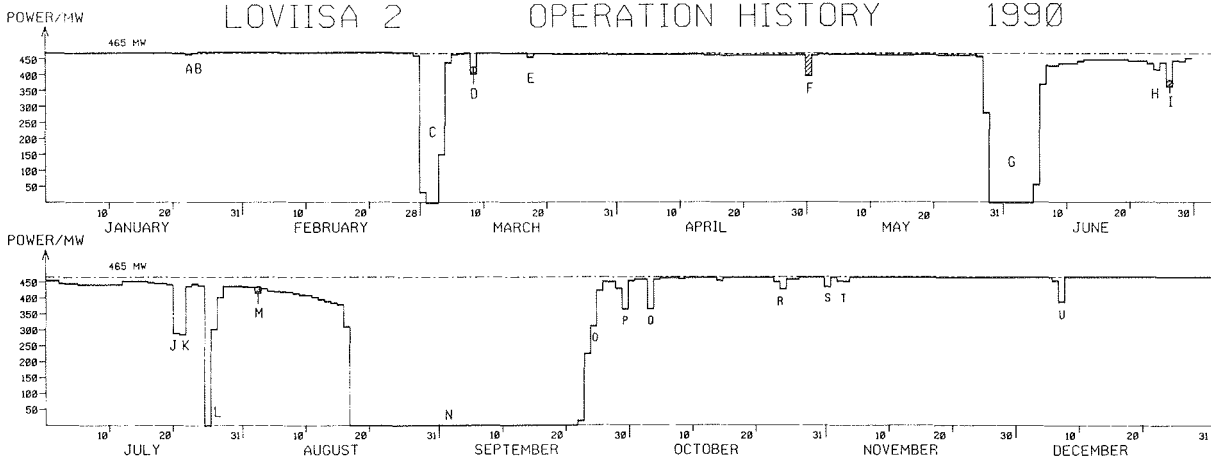
EXPLANATIONS

- Turbine trip to zero load
- Trip of one TG
- Reactor trip
- Reactor trip (test or low power)
- Load following

- A Change of main transformer AT01
- B Load following
- C Reactor trip, rupture of main feed water-line
- D Cold shutdown due to checking and repairing feed water lines
- E Trip of one PCP
- F Annual testings of main steam safety valves
- G Trip of one feed water pump (without reserve pump)
- H Turbine trip, leakage in pneumatic control air system
- I Annual maintenance and refuelling
- J Repair of leakage of turbine endoscope flange
- K Turbine trip due to high level in condensate-tank
- L Repair of superheater-leakage
- M Hot standby because of valve actuator faults
- N Repair of flange-sealing in condensate-line
- O Repair of flange-sealing in condensate-line

LOVIISA NPS		LOVIISA 1 OPERATION HISTORY		1.1-31.12.1990	
Page	3	Page	L01	Page	866
Rev.		Rev.		Rev.	
Author		Author		Author	
Check		Check		Check	
Drawn		Drawn		Drawn	
Scale		Scale		Scale	
Material		Material		Material	
Notes		Notes		Notes	

LOVIISA 2 OPERATION HISTORY 1990



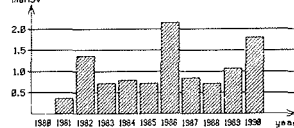
ENERGY GENERATION STATISTICS

ASSUMING 465MW = 100%

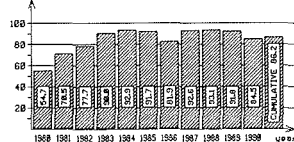
Month	MWh	Load factor/month
January	358 896	101.4
February	317 047	101.5
March	305 312	88.4
April	335 557	100.2
May	317 780	91.9
June	252 826	75.5
July	313 615	90.7
August	165 610	47.9
September	64 571	19.3
October	340 987	98.5
November	333 434	95.6
December	345 018	99.7

TOTAL 3 442 573 84.5 %
Time availability = 86.6 %

Collective radiation dose



Load factor/year



Losses due to load following about 1 538 MWh
Load factor without load following 84.6 %
Total 1990 collective radiation dose 1.80 manSv
(Refueling period collective radiation dose 1.71 manSv)

EXPLANATIONS

- Turbine trip to zero load
- Trip of one TG
- Reactor trip
- Reactor trip (test or low power)
- Load following

- A Drop of one control rod
- B Bypassing of high pressure preheaters
- C Cold shutdown due to leakage in control rod flange sealings
- D Generator trip due to short-circuit (faulty)
- E Repair of condenser leakage
- F Load following
- G Cold shutdown due to checking and repairing feed water lines
- H Repair of condenser cleaning ball system
- I Turbine trip (faulty generator relay)
- J Annual testings of main steam safety valves
- K Repair of superheater leakage
- L Hot standby, leakage elimination in steam generator area
- M Generator trip due to exciting disturbance
- N Annual maintenance and refuelling
- O Repair of superheater leakage
- P Change of condensate control valve
- Q,R,S,T Trip of one PCP
- U Repair of superheater leakage

LOVIISA NPS		LOVIISA 2 OPERATION HISTORY		1.1-31.12.1990	
Page	3	Page	L02	Page	866
Rev.		Rev.		Rev.	
Author		Author		Author	
Check		Check		Check	
Drawn		Drawn		Drawn	
Scale		Scale		Scale	
Material		Material		Material	
Notes		Notes		Notes	

Sihteerin sana

Seuran vuosikokous on nyt pidetty ja puheenjohtaja vaihtunut. Kiitokset entiselle puheenjohtajalle Ikka Mikkolalle ansiokkaasta kaudesta, jonka aikana seura oli hyvin toimielias sekä kotimaassa että kansainvälisesti: 'Uraani 200 vuotta' -tilaisuus aloitti toivottavasti jatkuvan syysseminaarien sarjan, seura loi suhteet Neuvostoliiton ydintekniseen seuraan, ENS:n yleiskokous järjestettiin Suomessa, ATS esitti kannanottonsa ympäristö- ja energia-

politiikan yhteensovittamisesta vain muutamia merkkitapauksia mainitakseni.

Uudella puheenjohtajalla Rainer Salomaalla on edessään vaativa tehtävä saavutetun toiminnan tason säilyttämisessä niin laadullisesti kuin määrällisestikin. Tässä häntä voivat auttaa kaikki seuran jäsenet tuomalla esille uusia ajatuksia toiminnan kehittämiseksi ja osallistumalla aktiivisesti seuran tilaisuuksiin.

Seuran jäseniksi on vuodenvaihteen kokouksissa hyväksytty

Pekka Anttila	IVO
Pertti Auerkari	VTT/MET
Marketta Heininen-Ojanperä	IVO
Henry Huovinen	IVO
Sirkka-Liisa Karonen	HYKS
Marja Keinonen	IVO
Kirsti-Liisa Sjöblom	STUK
Asko Tavi	IVO
Arvi Vaittinen	IVO
Arja Valli	IVO
Sirpa Vertanen	PEVO
Timo Äikäs	TVO

Ytimekkäät

ERÄIDEN MAIDEN SÄHKÖN- TUOTANTO ENERGIALÄHTEITTÄIN (ATOM, JAN. 1991)

	Uusiutuvat energia- lähteet	Ydin- voima	Fossiiliset poltto- aineet
Australia	11	—	89
Itävalta	74	—	26
Belgia	2	61	37
Kanada	59	16	25
Tanska	1	—	98
Suomi	36	35	29
Ranska	13	75	12
Saksa	5	34	61
Kreikka	6	—	94
Islanti	100	—	—
Irlanti	22	—	78
Italia	20	—	80
Japani	14	24	62
Luxemburg	67	—	33
Hollanti	1	5	93
Uusi-Seelanti	80	—	20
Norja	100	—	—
Espanja	14	38	48
Ruotsi	51	46	3
Sveitsi	57	42	1
Turkki	35	—	65
Iso-Britannia	2	23	75
Yhdysvallat	9	19	72

VALTIONEUVOSTO TEKI PÄÄTÖKSET YDINENERGIAN KÄYTTÖÄ KOSKEVISTA TURVALLISUUSMÄÄRÄYKSISTÄ

Valtioneuvosto päätti 14.2.1991 niistä yleisistä määräyksistä, joita on noudatettava ydinvoimalaitosten turvallisuuden, turva- ja valmiusjärjestelyjen sekä voimalaitosjätteiden loppusijoitusten turvallisuuden osalta.

Yleinen turvallisuusvaatimus, jonka mukaan ydinenergian käytön on oltava turvallista eikä siitä saa aiheutua vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle, on esitetty ydinenergiailaissa.

Nyt annettujen määräysten antaminen perustuu ydinenergialakiin ja niillä korva-

taan ja täydennetään niitä määräyksiä, jotka aikaisemmin on sisällytetty mm. ydinlaitosten rakentamisesta ja käyttämisestä annettuihin lupiin tai annettu säteilyturvakeskuksen ns. YVL-ohjeissa. Uutena asiana on päätösten joukkoon otettu yleiset määräykset ydinvoimalaitosten käytöstä syntyvien ns. voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitoksen turvallisuudesta. Näiden määräysten antaminen on tullut ajankohtaiseksi, koska voimalaitosjätteiden loppusijoitus on maassamme edennyt jo toteutusvaiheeseen.

Ydinenergiailain mukaan ehdotukset päätöksiksi on tehnyt säteilyturvakeskus.

Lyhyesti maailmalta

Itävallan käyttämätön ja osittain jo purettu Zwentendorf-ydinvoimalaitos aiotaan muuttaa maakaasuvoimalaksi. Suunnitelmalle haetaan maan hallituksen hyväksyntää vuoden 1991 aikana ja laitoksen suunnitellaan valmistuvan vuonna 1994. Kaasuvoimalan teho olisi 700 MW tai 900 MW. Entinen turpiinilaitos soveltuisi käytettäväksi vähin muutoksin, sillä höyryn arvot sovitetaan likimain samoiksi kuin BWR-käytössä.

Nucleonics Week, 24.1.1991

Japanin voimalaitosjätteen loppusijoituslaitoksen rakentaminen aloitetaan Rokkashossa joulukuussa 1990 ja tilat valmistunevat vuoden 1992 aikana. Jätteet loppusijoitetaan maan pintakerrokseen rakennettaviin teräsbetonirakennelmiin, jotka peitetään lopuksi 4 metrin vahvuisella maakerroksella. Tiloihin sopii noin miljoona 200 litran jätetyynyä.

Nucleonics Week, 29.11.1990

Kanadan Bubble Technology of Chalk River on aloittanut 50 dollarin hintaisen halvan säteilymittarin tuotannon. Mittari on tarkoitettu suuren yleisen käyttöön ja sen mittausalue rajoittuu noin viisinkerlaiseen taustasäteilyyn. Laitteen toiminta perustuu elastiseen polymeriin, jossa muodostuu kaasua säteilyn voimakkuuden suhteessa.

Nucleonics Week, 10.1.1991

Neuvostoliiton Tsheljabinskin kaupungin asukkaat äänestävät helmikuussa 1991 lähistölle rakennettavien keskeneräisten kolmen BN 800 -hyötöreaktorin kohtalosta. Yksiköiden rakentaminen alkoi vuonna 1984 ja keskeytettiin kolmen vuoden päästä asukkaiden vastustuksen takia.

Nucleonics Week, 24.1.1991

Ranskan Superphenix 1200 MW hyötöreaktorin turpiinirakennuksen kattoa luhistui lumikuorman alla joulukuussa 1990. Kaksi katolla lumitöissä ollutta henkilöä loukkaantui ja toinen laitoksen 400 kV-linjoista vaurioitui. Tapahtumalla ei ollut merkittävää turvallisuusvaikutusta laitoksen käyttöön.

Nucleonics Week, 20.12.1990

Ranskan ydinlaitosten turvamääräyksiä on tiukennettu Persianlahden sodan aiheuttaman kasvaneen sabotaasiuhan vuoksi. Ulkopuolisten pääsy laitoksiin

vaatii EdF:n pääkonttorin luvan. Laitosten poliisivartiointia on lisätty, pysäköinti on rajattu tietyille alueille, joista on busikuljetus rakennuksiin, tavaratoimitukset tarkastetaan valvotussa huoneessa, laitoksiin johtavien ovien määrää on vähennetty, henkilöstön on aina käytettävä rintamerkkiä ja kulku laitoksessa on rajattu vain tarpeellisille alueille.

Nucleonics Week, 24.1.1991

Ranskan Blayais-ydinvoimalaitoksen seitsemän työntekijää kontaminoitui käytetyn polttoaineen kuljetussäiliön tiivistevuodon korjauksen yhteydessä. Säiliön vesitäytöletku katkesi päästäten radioaktiivista kaasua säiliöstä huonetilaan. Suurimmat säteilyannokset olivat 5 mSv:n luokkaa.

Nuclear Fuel, 24.12.1990

Ranskan vuonna 1989 käyttöönotettu Colfech-ydinvoimalaitos on joutunut sabotoinnin kohteeksi. Tuotantosähkölinjan 52 metrin korkuinen kannatintorni räjäytettiin kappaleiksi joulukuussa 1990 ja puoli vuotta aikaisemmin räjäytettiin 27 panosta laitoksen jäähdytysveden sisäänottokanavassa. Sabotoijien arvellaan olevan paikallisia ydinvoiman vastustajia. Colfech on maan lounaisosan ensimmäinen ydinvoimalaitos.

Nucleonics Week, 10.1.1991

Ruotsin ABB Atom suunnittelee Italian tarpeisiin soveltuvia PIUS-reaktorin versioita yhdessä paikallisten yhtiöiden kanssa. PIUS on passiivisesti turvallinen reaktorityyppi. Kyseessä olisi tehoalue 300–640 MW.

Nucleonics Week, 20.12.1990

Ruotsin valtion voimayhtiö Vattenfall protestoi Ranskan Framatomen saavuttamaa höyrystinvaihdon 70 päivän maailmanennätystä vastaan. Mikäli Dampierre-yksikön vaihto aika laskettaisiin kuten Ringhals 2 -yksikön Siemens KWU:n saavuttama 72 päivän tulos, niin ranskalaisen suorittama höyrystinvaihto kesti 100 päivää.

Nucleonics Week, 10.1.1991

Saksan Grohnde 1394MW PWR KWU -yksikkö oli vuonna 1990 maailman suurin ydinsähköntuottaja. Yksikön energiankäyttökerroin oli 87,9 % ja tuotanto

10,69 teravattituntia. Kyseessä on Grohnden viides kärkisija, USA:n Palo Verde 3 valtasi kärkisijan vuonna 1988.

ATW News 2, 1991

Saksan Siemensin ydinpolttoainetehtaalla Hanaussa tapahtui räjähdys 12. joulukuuta 1990 aiheuttaen kahden työntekijän loukkaantumisen. Onnettomuus oli vakavin tehtaan historiassa. Räjähdys tapahtui polttoainenaappien valmistuslinjan kaasunpesurissa, jolla poistetaan mm. tyyppikaasuyhdisteitä. Viranomaisten määräyksestä tehdas on pysäytettyinä kunnes räjähdysten syy on selvitetty.

Nuclear Fuel, 24.12.1990

Sveitsin Leibstadt-ydinvoimalaitoksen hukkalämpöä suunnitellaan käytettäväksi kaukolämmitykseen Sveitsin ja Saksan lähialueilla. "Warheno"-nimiseen hankkeeseen otettaisiin lämpötehoa 1045 MW, mikä säästäisi ympäristöä raskaan öljyn polttamisen huomattavilta haitoilta.

Nucleonics Week, 20.12.1990

Sveitsin viisi ydinvoimalaitosyksikköä saavuttivat vuonna 1990 87 % käyttökerroin ja uuden tuotantoennätyksen 22,3 teravattituntia. Gösengin laitokselta johdettiin lisäksi höyryä 0,15 teravattitunnin verran läheiseen pahlilaattotehtaaseen ja Beznaun laitokselta 0,11 teravattituntia lämpöenergiaa alueen Refuna-kaukolämpöverkkoon.

Nucleonics Week, 24.1.1991

Tsekkoslovakiain Dukovany 4 x VVER 440 -ydinvoimalaitoksella tapahtui joulukuussa 1990 oikosulku 440 kV kytkinaseamalla katkaisten kaiken ulkoisen sähkön (440 kV ja 110 kV) saannin jokaiselta neljältä yksiköltä. Yksiköt selvisivät tilanteesta lähes suunnitellulla tavalla. Tapaus kuuluu vakavuusluokkaan 2, koska yksi vika aiheutti kaikkien yksiköiden alasajon.

IAEA/INES event rating

USA:n öljykenttien ympäristön radioaktiivinen kontaminoituminen huolestuttaa New York Times -lehteä, joka kertoo, että öljyn mukana maaperästä pumpataan radium-pitoista pohjavettä, jota johdetaan lähistön lampiin ja soihin. Louisianan ja eräiden muiden valtioiden alueita on kontaminoitunut siinä määrin, että

English abstracts

Special issue: Nuclear waste management

soilla asustaneiden alligaattorien nahasta valmistetut kengät saattaisivat hehkua radioaktiivisuuden johdosta. Eräistä lam-mista otettujen näyttöjen aktiivisuus ylittää 5—30 kertaisesti ydinvoimalaitosten päästöjen aktiivisuusrajat. Kontaminoitu-neita öljynpumppausputkia on lisäksi käytetty lasten leikkipuistojen laitteisiin, jotka ovat voineet altistaa lapsia säteilylle. Nucleonics Week, 20.12.1990

USA:n Millstone 3 -yksikön sekundääri-piirissä murtui kaksi 6 tuuman putkea joulukuussa 1990. Tapaus ei aiheuttanut henkilövahinkoja. Maan ydinturvallisuusviranomainen NRC vaatii selvitystä, kuinka ko. välitulistinten tyhjennyslinjat ovat välttyneet määräämääräistarkastuksilta, joita määrättiin vuoden 1986 Surry 2 -ta-pauksen jälkeen. Tällöin neljä työnteki-jää sai surmansa putkikatkoksen yhtey-dessä. Nucleonics Week, 10.1.1991

USA:n presidentti George Bush myönsi joulukuussa 1990 viiden miljoonan dolla-rin tutkimusrahan Hanfordin plutonium-tuotantolaitoksen aiheuttamien säteilyvai-kutusten selvittämiseksi. Vuosina 1944—1972 säteilyä saaneiden henkilöiden terveydentilaa ryhdytään seuraamaan. Yhdysvaltain energiaministeriön omistama plutoniumtuotantoreaktori N poistettiin käytöstä vuonna 1988 turvallisuussyistä. Nucleonics Week, 29.11.1990

USA:n ydinturvallisuusviranomainen Nuclear Regulatory Commission (NRC) on paljastanut texasilaisen yhtiön suunnitelman matala-aktiivisen ydinjätteen vien-nistä Afrikan Guineaan loppusijoitetta-vaksi. Jättemäärät olisivat olleet yli 2 mil-joonaa tonnia, mikä vastaa satojen ydinvoimalaitosten elinikäisiä jättemääriä. NRC:n mukaan näyttää siltä, että jätteitä ei olisi koskaan rahdattu Afrikkaan asti ja että hyväksytyksi väitettyä maahan-hautausaluetta ei olisi olemassakaan. Guinealla ei ole ydinjättesopimusta USA:n eikä minkään muunkaan valtion kanssa. Teksasilainen yhtiö olisi laskuttanut jät-teentuottaja-asiakkaitaan palveluistaan 1 500 dollaria jätetonnilta. Nucleonics Week, 13.12.1990

Ins. Pekka Lehtinen on Säteilyturva-keskuksen ydinturvallisuusosaston tarkastaja, p. 90-7082 385.

Nuclear waste management solved?

Esko Peltonen (page 1)

If rational assessment is not interfered with fears and emotions a new technology is regarded as "solved" after three breakthroughs: scientific, technical and commercial. Normally commercial evidence is given by due cost estimation and having money available. If the principle is applied to nuclear waste management and specially to spent fuel, the most demanding waste type, how does it look like?

Scientific evidence concerns mainly safety of the final disposal. According to several comprehensive assessments carried out since late 70's safety is not endangered, even in the most pessimistic scenario. In fact, performance assessments of alternative disposal systems indicate that the present multiple barrier solution is already beyond optimized from the radiation protection point of view. Consequently, there are sound reasons to develop a less sophisticated disposal system.

Technical evidence is already given during more than 10 years of safe interim storage and transfers. Technology for repository construction and sealing, waste packaging and emplacement is tested and available, if needed.

The nuclear waste management is more than solved — it will be pioneering technology.

Worldwide status in nuclear waste management

Pekka Lehtinen, Esko Ruokola (page 3)

During the past 10 years, significant resources have been allocated to research and development related to nuclear waste disposal. Some countries have rejected the reprocessing option while the countries having extensive nuclear energy programme are studying advanced reprocessing methods. High-level wastes are planned to be disposed of in deep repositories in crystalline rock, salt formation or sedimentary layer. Low- and intermediate level wastes are disposed of at shallow depth or in rock cavities. In many countries the waste management programmes have been substantially delayed due to non-technical reasons. In Finland no such delays have so far occurred.

Nuclear waste management funding system

Sirkka Vilkamo (page 5)

Nuclear waste management is subject to various regulatory control measures; apart from safety aspects the surveillance concerns e.g. the timetable of implementation and the system of the financing of future waste management operations. The nuclear power utilities have been obligated to set aside a certain amount of money each year to the State Nuclear Waste Management Fund. The Fund falls within the authority of the Ministry of Trade and Industry. The contribution paid into the Fund is now about 2500 million FIM. Estimated total costs will be about 5000 million FIM. Influence to the price of electricity is 0,75 pennies/kWh at Loviisa NPP and 1,7 pennies/kWh at Olkiluoto NPP. For the outstanding liabilities the utilities must furnish securities as a precaution against insolvency.

Completion of TVO's field investigation

Timo Äikäs (page 6)

A site for the final repository of TVO's spent fuel will be selected by the year 2000. As the first stage of site investigations, an analysis was made during 1983—1985 in order to locate possible field investigation areas. The research material was reviewed by authorities in 1986.

TVO selected in April 1987 five areas for field investigations. These are located in the Kuhmo, Hyrynsalmi, Konginkangas, Sievi and Eurajoki communities. The programme consists of airborne surveys, deep and shallow drillings as well as measurements and sampling from the surface and in boreholes. Field work is followed by laboratory studies as well as modelling and evaluation activities.

Geological mapping and geophysical surveys (airborne, surficial) have been carried out at all five areas. Deep drillings with a diameter of 56 mm have been completed.

Geophysical loggings have been made in the boreholes. These comprise fluid log, resistivity, radiometric, acoustic and tube wave logs, borehole radar and VSP measurements.

Hydraulic conductivity has been measured in cored boreholes. Measurements are carried out using TVO's multihose equipment and constant head injection test. Groundwater table is being measured in shallow standpipes drilled in the bedrock through the soil layer. Near the surface, head distribution is being measured at four levels in multilevel piezometers from surface to a depth of 100 m.

The suitability of the site candidates for the final disposal of spent fuel will preliminarily be evaluated in 1992, after which 2—3 most suitable sites will be investigated and assessed in detail during 1993—2000. The site is to be selected by the end of 2000. Complementary investigations will be made between 2001—2010.

TVO's spent fuel — progress in the preparations of final disposal

Veijo Ryhänen (page 8)

TVO has made preparations for final disposal of spent fuel in the Finnish crystalline bedrock since the end of 1970's. Up to the present, the work has proceeded so far that feasible technical plans have been developed, safety has been thoroughly analysed and the field studies aiming at the selection of repository site are underway at five candidate areas. The next reporting stage will be at the end of 1992. By then, the updated technical plans and safety studies as well as the results of site investigations will be delivered to the authorities for their review. According to the schedule, the site is selected in 2000 and the repository is constructed by 2000. International cooperation and exchange of information form an important part in the R & D programme. It seems that public acceptance and confidence in the safety of final disposal have to be increased before all the necessary licences for the construction, e.g. the permit of the location community, will be granted.

Decommissioning requires money but how much?

Juhani Vira (page 10)

Variations in the published estimates for decommissioning costs are large but not so astonishing if one accepts the fact that the plants are different, as are the policies and strategies for decommissioning as well. Considerable experience already exists on the technical methods needed and can be used for detailed planning and cost estimation. Even allowing for uncertainties and variations in economic circumstances, decommissioning costs will not be decisive for the economics of nuclear electricity in general.

Publicly financed nuclear waste management research in Finland

Seppo Vuori (page 11)

The waste management research in Finland is funded both by the state (mainly the Ministry of Trade and Industry) and the utilities (represented in cooperation by the Nuclear Waste Commission of the Finnish power companies). A new coordinated research programme (JYT) comprising the publicly financed studies was started in 1989 and continues until 1993. The utilities continue to carry out a parallel research programme according to their main financial and operational responsibility for nuclear waste management. The utilities perform a considerable part of the design and research work by themselves. The rest of the research to the utilities is mainly performed in various state research institutes. In the national programme of publicly funded waste management research the coordinating responsibility has been given to the Technical Research Centre of Finland (VTT). The programme consists of several projects most of which are carried out at various laboratories of VTT. Other main research institutes participating in the programme are the Geological Survey of Finland and laboratories at the Helsinki University and the Helsinki University of Technology.

TVO's new encapsulation method for spent nuclear fuel

Jukka-Pekka Salo (page 13)

Teollisuuden Voima Oy has developed a new encapsulation method for spent nuclear fuel s.c. cold process. Instead of casting (400° C) molten lead the new canister is filled with cold granulated material like quartz sand, lead shots or glassa beads.

The new canister concept ACPC (Advanced Cold Process Canister) consists of the outer oxygen free copper canister and of the inner steel canister. The function of the steel canister is merely to give mechanical strength. The copper canister acts as corrosion protection guaranteeing practically lifetime of millions of years for the ACPC concept.

A new system has been developed to minimize volumes of liquid wastes at the Loviisa NPS

Esko Tusa (page 14)

Since 1986 a new system has been developed jointly by Imatran Voima Oy, operator of the Loviisa NPS, and Radiochemical department of Helsinki University. The system is based on selective removal of cesium from evaporator concentrates. The inorganic ion exchanger is made of potassium cobalt hexacyanoferrate and used in granular form with grain size from 0,15 mm to 0,85 mm. According to the laboratory and pilot-plant experiments, volume of waste will be decreased by the factor which is between 5000 and 8000, the decontamination factor being 10 000. The ion exchange mass for the first three columns has been fabricated. The system on Loviisa is under construction and it is estimated to be taken into use in May 1991.

Construction of TVO's repository for low- and medium-level waste nears its completion

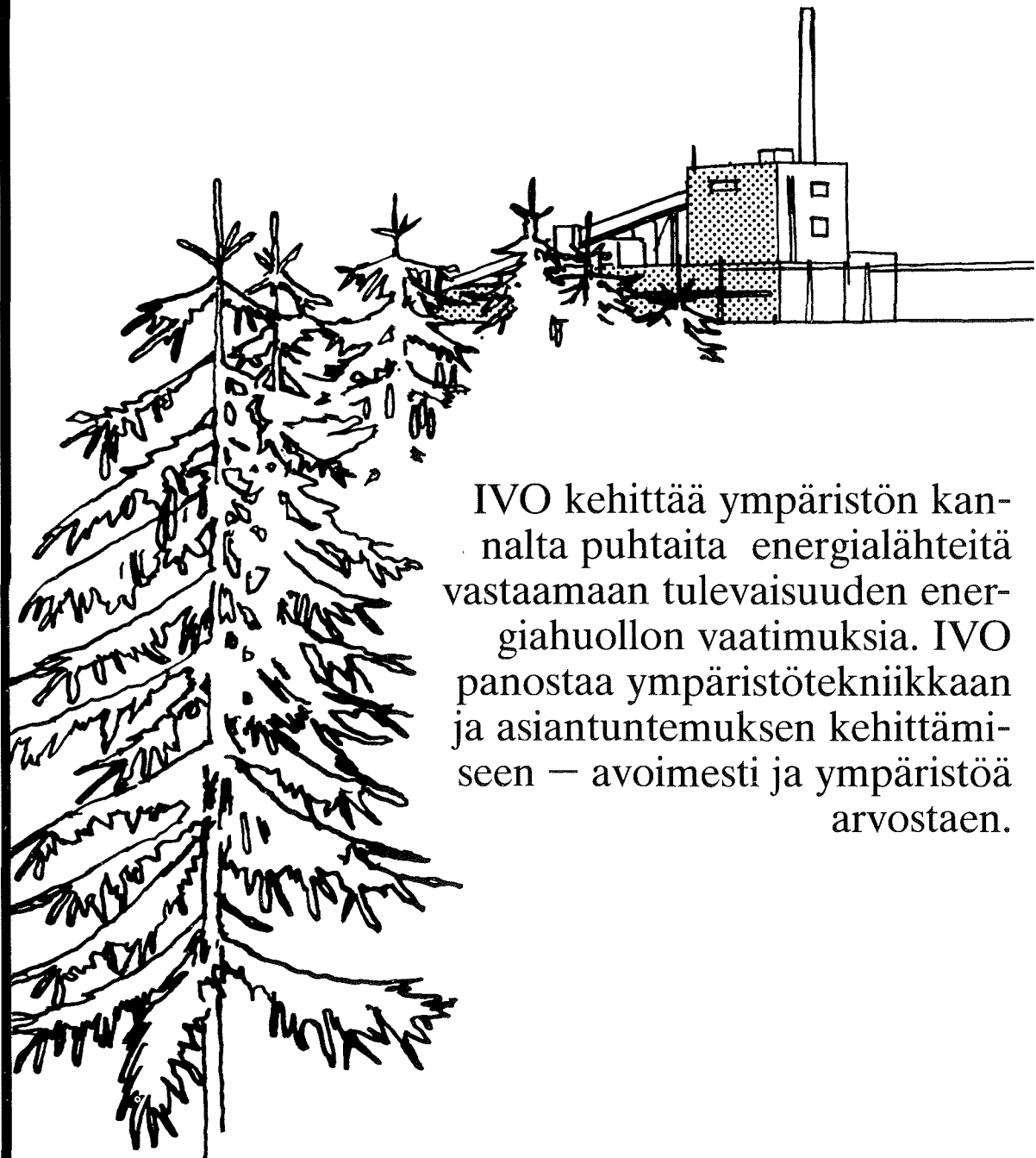
Mikko Nykyri (pages 16)

Teollisuuden Voima Oy (TVO) is constructing the VLJ repository for the final disposal of TVO's low- and medium-level operating wastes. The excavation started in April 1988, and the construction will be completed by the end of 1991. The approval for the operation licence was submitted to the authorities in January 1991, and the repository will be commissioned in 1992.

The repository facilities lie at a depth of 70—100 metres in crystalline bedrock. The packed waste in large concrete boxes will be emplaced in separate silos for low- and medium-level wastes.

IVO

Ympäristöä arvostaen



IVO kehittää ympäristön kannalta puhtaita energialähteitä vastaamaan tulevaisuuden energihuollon vaatimuksia. IVO panostaa ympäristötekniikkaan ja asiantuntemuksen kehittämiseen – avoimesti ja ympäristöä arvostaen.



IMATRAN VOIMA OY

