

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA-

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND r.y.

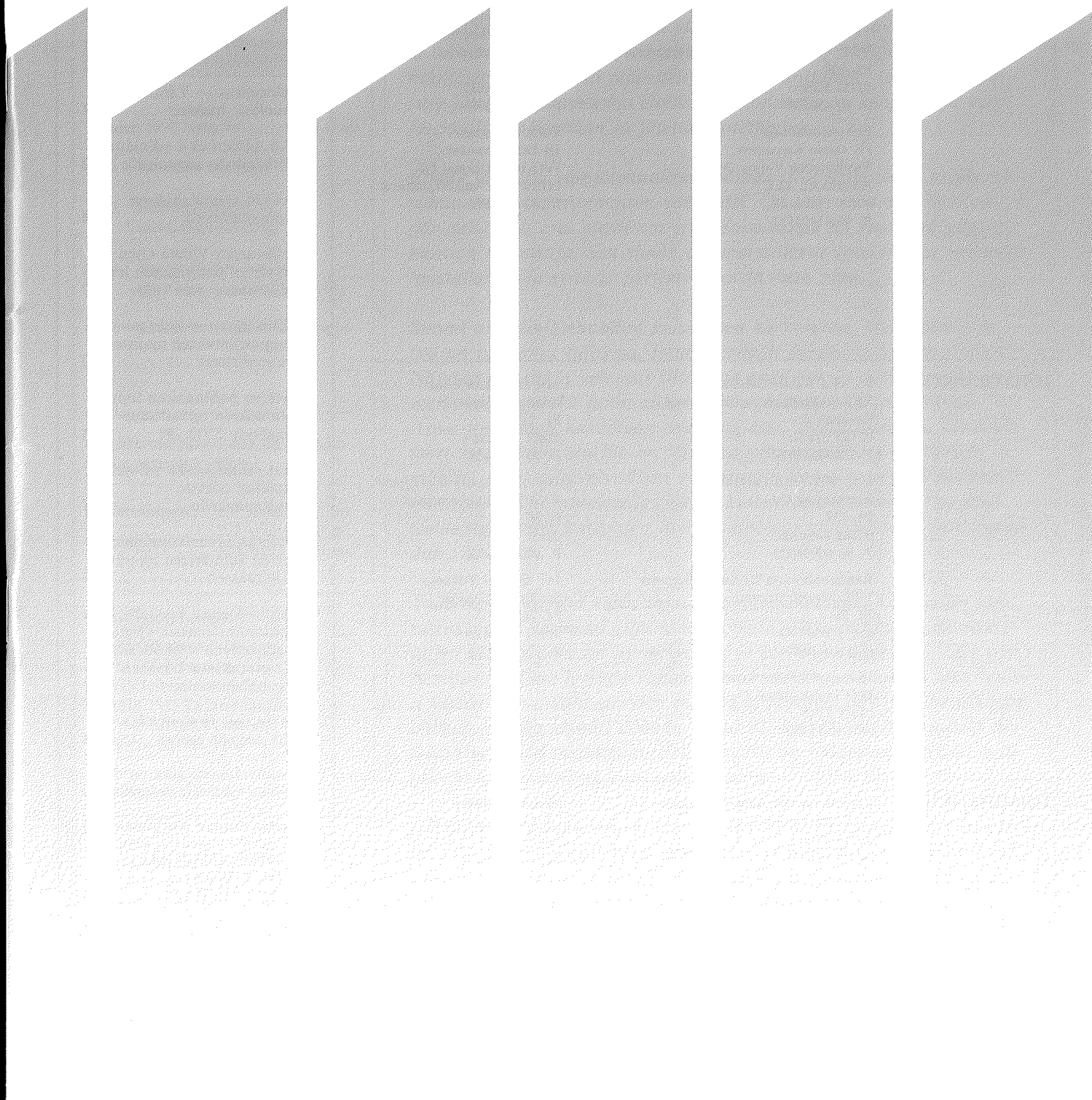


ATS

YDINTEKNIikka

1/93

vol. 22



ATS

YDINTEKNIikka

1/93, vol. 22

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland r.y.

TOIMITUS

Päätoimittaja
TkT Seppo Vuori
VTT/Ydinvoimatekniikan laboratorio
PL 208
02151 Espoo
P. 90-4565067

Erikoistoimittaja
FK Osmo Kaipainen
Teollisuuden Voima Oy
Annankatu 42 C
00100 Helsinki
P. 90-61802522

Erikoistoimittaja
FL Risto Paltemaa
Säteilyturvakeskus
PL 268
00101 Helsinki
P. 90-7082380

Toimitussihteeri
DI Olli Nevander
IVO International Oy
01019 IVO Rajatorpantie 8
P. 90-5082613

JOHTOKUNTA

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

Vpj. TkL Eero Patrakka
Perusvoima Oy
PL 138
00101 Helsinki
P. 90-60906022

Rahastonhoitaja DI Seija Hietanen
VTT/Metallilaboratorio
PL 26
02151 ESPOO
(90) 456 6897

Sihteeri DI Petra Lundström
IVO International Oy
01019 IVO
(90) 508 5422

Jäs. DI Pekka Louko
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5082454

Jäs. TkL Rauno Rintamaa
VTT/Metallilaboratorio
Pl 26
02151 Espoo
P. 90-4566879

Jäs. DI Olli Vilkkamo
Säteilyturvakeskus
PL 268
00101 Helsinki
P. 90-7082372

TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri DI Aarno Keskinen
IVO International Oy
01019 IVO
(90) 5082535

Kans.väl.asioiden.siht.
DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
PL 23
07901 Loviisa
P. 915-5503040

Ekskursios sihteeri
DI Tapio Saarenpää
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
P. 938-3814312

SISÄLTÖ

Pääkirjoitus — Ydinjäte-
huollon haasteet 1

Mikä mittapuoksi ydinjätteen
pitkäaikaisvaikutuksille 2

Loviisan voimalaitoksen
ydinjätehuolto 4

Teollisuuden Voima Oy:n
käytetyn polttoaineen loppu-
sijoituksen uusi vaihe .. 7

TVO:n käytetyn polttoaineen
loppusijoituksen uudistetut
suunnitelmat 10

Käytetyn polttoaineen loppu-
sijoituksen turvallisuus-
analyysi TVO -92 14

Varat rahastoidaan ydinjäte-
huollon tuleviin
kustannuksiin 18

Palmotun uraaniesiintymästä
tietoa ydinjätteen loppu-
sijoitukseen 19

Mikrobiologinen keskiaktiivisen
ioninvaihtohartsin käsittely
yhdistettynä selektiiviseen
Cs-erotukseen Loviisan
voimalaitoksella 22

The nucleus in Finland —
the second report 24

Ei ydinvoimasta aina tarvitse
puhua vakavalla naamalla 26

Nuclear europe worldscan 28

**SUOMEN ENERGIA-
POLITIikASTA
PÄÄTTÄVILLE** 30

(mainos 31)

Lyhyesti maailmalta 32

English abstracts 35

TkL Ami Rastas on Teollisuuden
Voima Oy:n kehitysjohtaja,
p. 90-6090



Ami Rastas

YDINJÄTEHUOLLON HAASTEET

“Ratkaisematon” jätehuolto on päälimmäisenä ongelmana useitten ydinvoimaan kriittisesti suhtautuvien mielissä. Meistä alalla työskentelevistä tämä saattaa tuntua yllättävältä. Harvalla teollisuuden alalla on nimittäin esittää yhtä pitkälle vietyjä järjestelyjä: vastuu jätehuollosta on selkeästi määritelty jätteen tuottajalle, teknisiä ratkaisuja jätteen eristämiseksi elollisesta luonnosta on kehitetty ja varat jätehuoltoon kerätään jo jätettä tuottaessa.

Epäily ja pelko ydinjätehuoltoa kohtaan ovat tosiasioita, joihin on suhtauduttava äärimmäisen vakavasti. On tarpeetonta ja hyödytöntä päivitellä sitä, että maallikot eivät joko tunne tai ymmärrä ydinjätehuollon ratkaisuja. Sen sijaan on analysoitava epäilyjen ja pelkojen taustalla olevia syitä ja pyrittävä poistamaan niitä.

Suomi on ydinjätehuollon kehityksen kärkimaita. Määrätietoinen työ on tuottanut tuloksia, joita esitellään tämänkin lehden palstoilla. Näyttää kuitenkin vahvasti siltä, että epäilyjen ja pelkojen poistamiseen ei riitä pelkkä luonnontieteisiin pohjautuva argumentointi. Apua joudutaan hakemaan psykologiasta, sosiologiasta ja viestintäteorioista. Näille alueille on jatkossa suuntauduttava enenevässä määrin. Jätehuoltovelvollisen ei nimittäin kannata ylpeillä teknisesti moitteettomilla ratkaisuilla, jos ne kuitenkin esimerkiksi “periaatteellisista” syistä katsotaan luvitusvaiheessa yhteiskunnan kokonaisedun vastaisiksi.

Ydinvoiman käytön vastustajia tulee aina olemaan. Useilla on vastustukseensa varmasti vilpittömät syynsä. Vakaumuksellisten vastustajien olemassaolo on hyväksyttävä ja otettava huomioon. Osa vastustajista haluaa levittää vakaumustaan tukevaa sanomaa neutraalisti ydinvoimaan suhtautuvien piirissä. Ydinjätehuolto pitkin aikajännteineen tarjoaa kosolti aiheita, joista voi vaivattomasti kehitellä tunteisiin vetoavia mielikuvia. Valitettavasti on helpompaa kylvää epäilyjä ja lietsoa pelkoa kuin poistaa niitä.

Edellä oleva pohdiskelu ei ole tarkoitettu horjuttamaan sitä tosiasiaa, että ydinjätehuollon on perustuttava teknisesti ja luonnontieteellisesti hyväksyttäviin ratkaisuihin. Niiden kaikinpuolista varmentamista ja edelleenkehittämistä on määrätietoisesti jatkettava.

Monipuolisia haasteita riittää.

ATS YDINTEKNIikka (22) 1/93

JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Vuoden 1993 numeroiden teemat ovat:

- 1/93 Jätteiden käsittely
- 2/93 Ihminen käytön turvallisuustekijänä
- 3/93 Varautuminen onnettomuuteen — pelastuspalvelu
- 4/93 Ekskursio — Keski-Eurooppa

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin
ATS:n jäseniltä: 200 mk

Ilmoitushinnat: 1/1 sivua 2000 mk
1/2 sivua 1400 mk
1/3 sivua 1000 mk

Toimituksen osoite:

ATS Ydintekniikka
c/o Olli Nevander
IVO International Oy
01019 IVO Rajatorpantie 8
p. 90-508 2613 (suora)
telefax 90-508 3404

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

ISSN-0356-0473

MIKÄ MITTAPUUKSI YDINJÄTTEIDEN PITKÄAIKAISVAIKUTUKSILLE

(Tämä kirjoitus on julkaistu myös Säteilyturvakeskuksen ALARA-lehden numerossa 1/93)

Ydinjätteiden säteilyriskit saattavat ulottua hyvin pitkälle tulevaisuuteen. Perinteiset säteilysuojeluperiaatteet eivät sinällään sovellu näiden riskien hyväksyttävyyden arvioimiseen. Pohjoismainen viranomaistiryhmä on hiljattain esittänyt suosituksensa runsasaktiivisten ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusperiaatteista.

**Runsasaktiivisista ydinjätteistä aiheutuvia pitkäaikaisriskkejä voidaan tarkastella eri näkökulmista; ajatellaan vaikkapa seuraavia kahta väitettä: Runsasaktiivisista jätteistä aiheutuu tulevaisuudessa kymmeniä tuhansia kuolemantapauksia
Yksilölle runsasaktiivisista jätteistä aiheutuva riski on alle tuhannesosa salamaniskun riskistä.**

Useimmat varmaankin pitäisivät edellä olevista ensimmäisen väitteen mukaista riskiä liian suurena mutta jälkimmäistä varsin siedettävänä. Kuitenkin molemmat väitteet perustuvat samaan laskelmaan. Vaikka yksilölle keskimäärin aiheutuva säteilyannos on hyvin pieni, ovat suurille ihmismäärille miljoonien vuosien kuluessa kertyvät kollektiiviset annokset varsin suuret. Jälkimmäinen väite voitaisiin kyseenalaistaa sen vuoksi, etteivät säteilyannokset jakaudu tasan, vaan loppusijoituspaikkojen lähellä aikanaan elävät ihmiset altistuvat huomattavasti keskimääräistä enemmän. Toisaalta kymmenien tuhansien vuoden päästä loppusijoituspaikoilla elävät ihmiset valikoituvat täysin satunnaisesti; heidän yhteyksiään nykyisin eläviin ihmisiin ei voi mitenkään ennustaa. Siksi kaikkien voitaisiin katsoa olevan alttiina yhtäläiselle riskille. Tilanne on samankaltainen kuin ydinsatelliitin maahan- syöksyssä. Satelliitin maahan- syöksy-

misen seurauksena pieni joukko ihmisiä voi saada huomattavan säteilyannoksen. Mutta niin kauan kun satelliitti on vielä avaruudessa, sen maahan- syösymispaikkaa ei voi lainkaan ennustaa. Silloin miljardit ihmiset ovat alttiina hyvin vähäiselle riskille. Pitäisikö satelliitti suunnitella ja suojautumistoimet mitoittaa ennen maahan- syöksyä koetun riskin vai sen seurauksena aiheutuvien säteilyannosten mukaan?

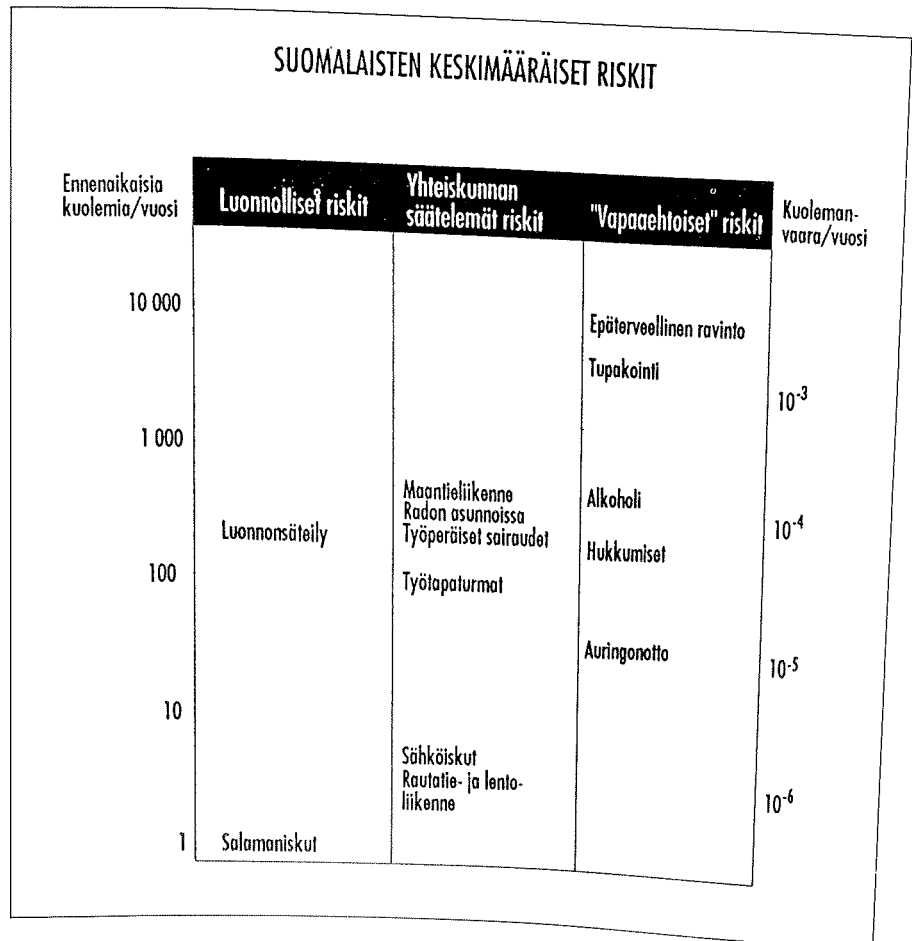
Yhteiskunnallinen kokonaisuus vai yksilön etu

Toinen kysymys on, pitäisikö ydinjätteiden pitkäaikaisvaikutuksia arvioitaessa painottaa yksilön vai yhteiskunnan etua. Yhteiskuntahan pyrkii ensisijaisesti kokonaisuuden minimoimiseen periaatteella "useiden pelastamiseksi voidaan harvoja uhrata". Nykyinen säteilysuojelujärjestelmä edustaa kompromissia yksilön intressien (yksilönsuojaperiaate) ja kokonaisuuden minimoimisen (oikeutus- ja optimointiperiaatteet) välillä.

Oikeutus- ja optimointiperiaatteet merkitsevät sitä, että toiminnasta saatavat hyödyt ja aiheutuvat haitat ovat järkevässä suhteessa toisiinsa. Ydinjätteiden pitkäaikaisvaikutuksia arvioitaessa näiden periaatteiden soveltuvuus voidaan kuitenkin kyseenalaistaa siksi, että hyödynsaajat ja pitkäaikaisvaikutuksista kärsijät kuuluvat tyystin eri sukupolviin, ilman mitään käytännön yhteyttä toisiinsa.

Perintö jälkipolville

Oikeutus- ja optimointiperiaatteiden soveltamista vaikeuttaa myös etäällä tulevaisuudessa aiheutuvien säteilyhaittojen arvioinnin epävarmuudet, joita tarkastellaan jäljempänä. Oikeutus- ja optimointiperiaatteiden suurelta osin mitätöityessä saattaisi käydä niin, että ydinjätteiden pitkäaikaisvaikutusten hyväksyttävyyden arviointi jäisi pelkästään yksilönsuojaperiaatteen varaan. Mutta koska eniten altistuvia yksilöitä ei ole vielä olemassa vaatimassa suojaa itselleen, eikö olisi syy-



tä painottaa pikemminkin koko ihmiskunnan etua eli kokonaishaittojen rajoittamista?

Tulevaisuuden elinympäristö

Pitkien aikojen kuluessa elinympäristöme kokee suuria muutoksia. Ilmastonmuutokset tuhoavat kasvi- ja eläinlajeja ja synnyttävät uusia. Merien pinnankorkeudet vaihtelevat huomattavasti ja paikalliset vesistöt kokevat suuria muutoksia. Muutaman tuhannen vuoden aikajännteellä nämä muutokset ovat vielä kohutuullisia, mutta 5000 - 10 000 vuoden kuluu alkava jääkausi hävittää lähes kaiken elämän leveysasteiltamme kymmeniksi tuhansiksi vuosiksi.

Luonnon biologisen evoluution ei voi odottaa aiheuttavan kovin dramaattisia muutoksia edes miljoonan vuoden kuluessa. Tuleva geeniteknikka saattaa kuitenkin synnyttää aivan uusia kasvi- ja eläinlajeja esim. ihmisravinnoksi käytäväksi. Ihmisen kulttuurievoluutio saattaa muuttaa elintapojamme ennalta aavistamattomalla tavalla.

Edellä tarkastellut muutokset vaikuttanevat merkittävästi siihen, miten ihmiset tulevaisuudessa altistuvat elinympäristöönsä joutuville radioaktiivisille aineille. Jo nykyisin säteilyannokset ihmisen elinympäristöön pääsystä aktiivisuussyksikköä kohti vaihtelevat vähintään tuhatkertaisesti maapallon eri alueilla. Tulevien biosfäärimuutosten vaikutusten suuruutta tai edes suuntaa ei voi ennustaa. Niinpä ydinjätteiden loppusijoituksesta hyvin pitkällä aikajännteellä aiheutuvien säteilyannosten arvioimista on - ainakin absoluutisessa mielessä - pidettävä hyödyttömänä. Mikä siis mittapuuksi ydinjätteiden pitkäaikashaittoille?

POHJOISMAISET SUOSITUKSET

Muun muassa edellä käsitellyt turvallisuusfilosofisia kysymyksiä on jouduttu pohtimaan pohjoismaisten säteily- ja ydinturvallisuusviranomaisten muodostamassa työryhmässä, jonka tehtävänä on ollut laatia suositus runsasaktiivisten ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusperiaatteista. Työryhmä on hiljattain saanut valmiiksi raporttinsa, joka tullaan julkaisemaan kyseisten viranomaisten yhteisessä ns. lippukirjasarjassa.

Hyväksyttävä taso

Ydinjätteiden pitkäaikaisvaikutusten hyväksyttävyyden lähtökohtana työryhmän raportissa on seuraava suorastaan raamallinen periaate: ”ydinjätteistä tulevaisuudessa aiheutuvat terveyshaitat ja muut ympäristövaikutukset eivät saa olla aina-

kaan suuremmat kuin nykyisin hyväksyttäisiin”. Tästä luonnollisestikin herää kysymys, mikä on nykyisin hyväksyttävänä pidettävä haittataso.

Vastausta voidaan etsiä vaikkapa oheisesta taulukosta, jossa on esitetty karkea arvio suomalaisille keskimäärin aiheutuvista, ennenaikaisen kuoleman aiheuttavista riskeistä. Havaitaan, että suurimmat ”vapaehtoiset” eli yksilön ensisijaisesti itse säätelemät riskit asettuvat tason 10-3 kuolemaa/vuosi yläpuolelle. Suurimmat ensisijaisesti yhteiskunnan säätelemät riskit puolestaan ovat tasolla 10-4 kuolemaa/vuosi. Myös luonnonsäteilystä aiheutuvat riskit (asuntojen radon poistutuna) ovat tämän tason tuntumassa. Riskien hyväksyttävyyden Hyväksyttävyyteen vaikuttaa se, onko riski vapaaehtoinen, onko se hallittavissa ja saako sen kohde hyötyä tai nautintoa riskin aiheuttavasta toiminnasta. Ydinjätteiden pitkäaikaisvaikutuksia tarkasteltaessa mikään näistä ehdoista ei täyty, joten riskin hyväksyttävyyteen on suhtauduttava erityisen ankaraasti. Pohjoismainen työryhmä onkin lähentynyt siitä, että eniten altistuvien yksilöiden riski saisi olla enintään tasolla 10-6 kuolemaa/vuosi ja suurille ihmisjoukoille aiheutuva keskimääräinen yksilörisi vielä kertaluokkia pienempi. Tällöin ydinjätteiden pitkäaikashaitat olisivat häviävän pienet esim. luonnon radioaktiivisista aineista aiheutuviin verrattuna.

TYÖRYHMÄN TYÖN TULOKSET

Pohjoismaisen työryhmän mielestä ydinjätteiden pitkäaikaisvaikutusten hyväksyttävyyden arviointi voidaan pohjata säteilyannos ja -riskilaskelmiin, kun tarkastellaan kohtuullisesti ennustettavissa olevaa ajanjaksoa eli muutamaa tuhatta vuotta.

Suhteellinen mittari - aktiivisuusvirta

Tätä pitemmälle ulottuviin tarkasteluihin työryhmä suosittelee käytettävän ensisijaisena turvallisuusindikaattorina loppusijoitustiloista elinympäristöön aikayksikköä vapautuvaa aktiivisuutta, ns. aktiivisuusvirtaa. Tämän indikaattorin etuna on, että se on riippumaton tulevasta biosfäärimuutoksista ja että se kuvaa kokonaisvaikutuksia eikä paikallisia enimmäisvaikutuksia.

Työryhmä ei päätenyt suositteluun tarkkoja aktiivisuusvirran raja-arvoja, vaan esittää tässä vaiheessa ”haarukan” 10 - 1000 kBq/a kutakin luonnonuraanionnia kohti, joka on käytetty ydinpoltoaineena kyseisen jätemäärän tuottamiseksi. Lopulliset raja-arvot olisivat nuklidikohtaisia ja määrättäisiin vasta, kun olisi käytettävissä nykyistä enemmän laskelmia eri aktiivisuusvirtojen vaikutuksista biosfääriin.

Sopivan mittapuun tarjoaa se aktiivisuusvirta, joka syntyy luonnon pitkäikäisten alfasäteilijöiden (uraani, radium ja torium) vapautuessa kallioperän rapautumisen seurauksena, kulkeutuessa elinympäristöön ja sieltä edelleen jokien kautta meriin. Globaalisesti tämä aktiivisuusvirta on osapuulleen 1000 TBq/a. Maailman tähänastisessa ydinenergiatuotannossa on kertynyt noin puolta miljoonaa luonnonuraanionnia vastaava määrä runsasaktiivisia ydinjätteitä. Tätä vastaava aktiivisuusvirta olisi 0,005 - 0,5 TBq/a, jos raja-arvo valitaan edellä mainitun vaihtelalueen mukaisesti.

Ydinjätteet - vain pieni lisä

Globaalisesti ydinjätteistä aiheutuva lisä luonnon aktiivisuusvirtoihin verrattuna olisi siis häviävän pieni. Raja-arvoja valittaessa on lisäksi pidettävä huoli siitä, että yksilöiden enimmäisaltistus on epäsuotuisimmisakin oloissa riittävän rajoitettua, vähintäänkin selvästi alle välittömiä terveysvaikutuksia aiheuttavan tason. Aiemmin tarkasteltujen biosfääriepävarmuuksien takia asiasta on mahdotonta saada tarkkaa kuvaa, mutta erilaisiin referenssibiosfääriin pohjautuvien laskelmien avulla voidaan aktiivisuusvirran raja-arvot ”kalibroida” siten, että niitä voidaan pitää hyväksyttävänä myös yksilön enimmäisaltistuksen kannalta.

Lippukirja ydinjätteistä - yhteispohjoismainen suositus

Pohjoismaisten säteily- ja ydinturvallisuusviranomaisten muodostamalle työryhmälle annettiin vuonna 1987 tehtäväksi tehdä ehdotus runsasaktiivisten ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusperiaatteiksi. Työryhmä julkaisi vuonna 1989 väliraporttinsa, josta hankittiin kannanotot lukuisilta asiantuntijahoilta Pohjoismaista ja sen ulkopuolelta. Tältä pohjalta raportista laadittiin laadittiin uusi versio, jonka pohjoismaisten säteily- ja ydinturvallisuusviranomaisten johtajat hyväksyivät julkaistavaksi näiden viranomaisten suosituksia käsittävässä ns. lippukirjasarjassa.

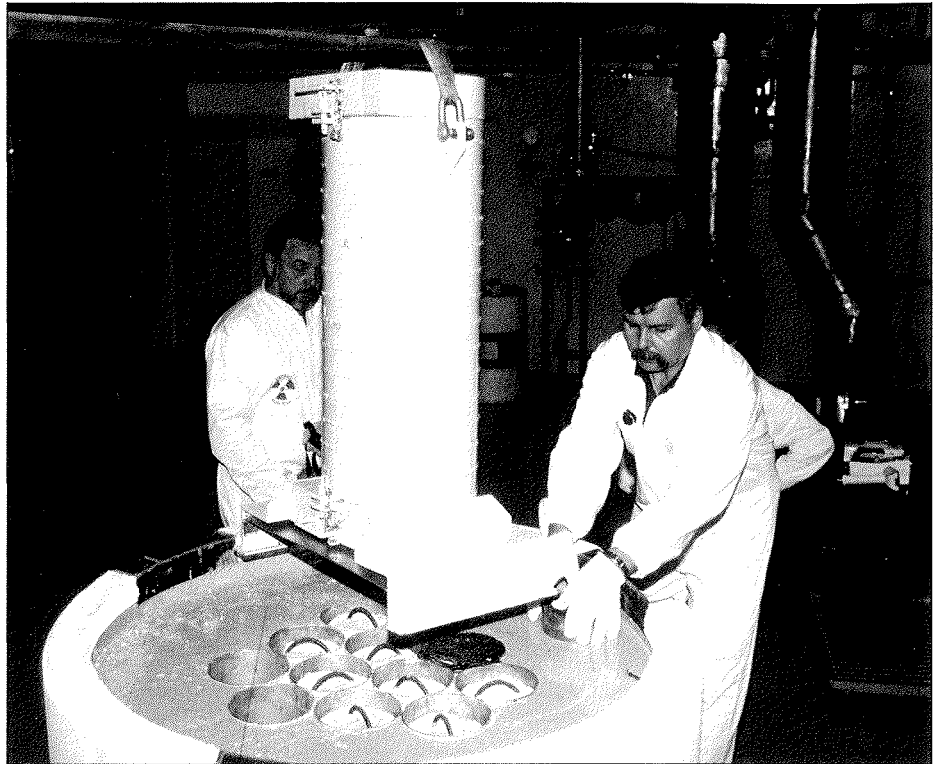
Raportti sisältää suositukset runsasaktiivisten ydinjätteiden loppusijoituksen yleiseksi turvallisuustavoitteiksi, säteilyturvallisuusperiaatteiksi sekä turvallisuudesta varmistautumisen periaatteiksi. Lisäksi raportissa esitetään geologisia ja teknisiä kriteereitä loppusijoitusratkaisun ja -paikan valintaa varten.

DI Esko Ruokola on Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosaston ydinjätejaoston päällikkö, p. 90-7082 379.



LOVIISAN VOIMALAITOKSEN YDINJÄTEHUOLTO

Loviisan voimalaitoksen ydinjätehuolto perustuu käytetyn polttoaineen osalta palautukseen tuoreen polttoaineen toimittajalle Venäjälle. Voimalaitosjätteet käsitellään ja välivarastoidaan voimalaitoksella ja loppusijoitetaan voimalaitosalueen kallioperään rakennettavaan loppusijoitustilaan. Voimalaitokselle on tehty myös käytöstäpoistosuunnitelma, jonka mukaan 30 vuoden käytön jälkeen radioaktiiviksi tulleet komponentit ja rakenteet puretaan ja loppusijoitetaan voimalaitosjätteiden loppusijoitustilan yhteyteen rakennettaviin kalliotiloihin. Kaikkiin ydinjätehuollon tulevien toimenpiteiden kustannuksiin on varauduttu rahastoimalla varoja valtion ydinjätehuolto-rahastoon.



Käytetyt cesiuminerotuskolonnit pakataan betoniseen välivarastointi- ja loppusijoituspakkaukseen. Yhdellä kolonnilla käsitelty haihdutusjättemäärä vaatisi kiinteytettynä noin 160 kuvan pakkauksen kokoista pakkauksia.

Loviisan voimalaitoksen toimituspakettiin sisältyi sopimus käytetyn polttoaineen palautuksesta Neuvostoliittoon. Sopimus on tehty erikseen kummallekin laitosesikölle ja se koskee laitosesikön koko käyttöaikaa. Loviisa 1:n sopimus solmittiin vuonna 1987 (vanha sopimus vuonna 1981) ja Loviisa 2:n sopimus vuonna 1986. Sopimuksia tarkistettiin vuoden 1992 lopussa. Venäläinen sopimusosapuoli on V/O Technabexport (TSE). Käytettyä polttoainetta on palautettu Loviisa 1:lta 9 kertaa ja Loviisa 2:lta 5 kertaa.

Loviisan voimalaitoksella syntyy noin 25 tonnia käytettyä polttoainetta vuodessa. Käytön jälkeen polttoainetta varastoidaan laitosesiköiden latausaltaiissa noin vuosi. Tämän jälkeen polttoaineeniput siirretään voimalaitoksen yhteyteen rakennettuihin käytetyn polttoaineen varastoihin odotta-

maan palautuskuljetusta. Varastotilaa Loviisan voimalaitoksella on yhteensä noin 2500 käytetylle polttoaineenipulle. Pääsääntöisesti viiden vuoden varastoinnin jälkeen käytetty polttoaine palautetaan Tseljabinskin jälleenkäsittelylaitokselle yhdistettynä maantie- ja rautatiekuljetuksena. Käytetty polttoaine pakataan voimalaitoksella venäläisten toimittamiin kuljetussäiliöihin. Yhteen säiliöön mahtuu 30 polttoaineenippua, noin 3,6 tonnia uraania, ja se painaa täytettynä noin 90 tonnia. Säiliöt kuljetetaan voimalaitoksesta IVO:n raskaskuljetuskalustolla Loviisan ratapihalle, jossa ne siirretään venäläiseen erikoisjunaan. Normaalisissa kuljetuksissa on 7–8 kuljetussäiliötä, joka vastaa Loviisan reaktoreista yhteensä vuodessa poistettavaa polttoainemäärää.

Juna kulkee Vainikkalan kautta Viipuriin, jossa se luovutetaan TSE:lle. Kuljetukseen liittyvät vastuut siirtyvät IVO:lta TSE:lle Suomen ja Venäjän rajalla.

Tseljabinskissä käytetystä polttoaineesta erotetaan energiantuotantoon kelpaavat uraani ja plutonium. Jäljelle jäävä korkea-aktiivinen nestemäinen jälleenkäsittelyjäte kiinteytetään lasimassaan ja väli-

varastoidaan ilmajäähdytteiseen välivarastoon odottamaan loppusijoitusta. Jätettä ei palauteta Suomeen.

Voimalaitosjätteet varastoidaan voimalaitoksella

Voimalaitosjätteet IVO käsittelee ja välivarastoi voimalaitoksella ja aikanaan loppusijoittaa ne voimalaitosalueen kallioperään rakennettavaan loppusijoitustilaan. Loviisan voimalaitoksella on suuret varastosäiliöt märille jätteille — käytetyille ioninvaihtohartseille ja haihdutusjätteelle. Ioninvaihtohartseja varten on kolme 300 m³ säiliötä ja haihdutusjätettä varten neljä 300 m³ säiliötä. Ioninvaihtohartseja kertyy noin 18 m³ vuodessa ja niiden osalta säiliökapasiteetista on käytössä vajaa neljännes. Haihdutusjätteiden keskimääräinen vuosikertymä on ollut noin 35 m³. Haihdutusjätteen säiliökapasiteetista on käytössä noin 40 prosenttia.

Huoltojätteet pakataan 200 litran terästyynyreihin, pehmeä materiaali puristetaan hydraulisella puristimella noin neljäsoosaan alkuperäisestä tilavuudestaan ja kova materiaali pakataan sellaisenaan.

Tynnyrit luokitellaan niiden sisältämän aktiivisuuden ja tynnyrin pinnasta mitatun annosnopeuden mukaan vihreisiin, oransseihin ja punaisiin. Oranssit ja punaiset tynnyrit varastoidaan laitosyksiköillä olevissa tiloissa ja vihreät laitosalueella olevassa varastohallissa. Huoltojätteitä kertyy vuosittain noin 80 m³, varastoituna niitä on noin 1000 m³. Huoltojätteiden varastotilat riittävät nykyisin järjestelyin vielä muutamiksi vuosiksi, mutta eivät laitosyksiköiden teknisen käyttöiän loppuun kuten märkien jätteiden varastot. Säteilyturvakokeskuksen keväällä 1992 uusima radioaktiivisten jätteiden valvonnasta vapauttamista koskeva YVL-ohje antaa mahdollisuuden luokitella suurin osa tällä hetkellä varastohallissa olevista vihreistä huoltojätetyynyistä valvonnasta vapautettavissa olevien jätteiden luokkaan. IVO on ryhtynyt vapauttamisen edellyttämiin toimenpiteisiin ja todennäköisesti vielä kuluvan vuoden aikana osa vihreiden jätetyynyrien sisällöstä voidaan käsitellä muun teollisuusjätteen tapaan.

IVO suunnitteli 1981 sementointiin perustuvan kiinteytyslaitoksen ja hankki laitokselle sekä säteilyturvakokeskuksen hyväksynnän että Loviisan kaupungin rakennusluvan. Suunnittelussa laitoksessa käytetyt ioninvaihtohartsit ja haihdutusjäte annostellaan sementin ja lisäaineiden kanssa sisältävuudeltaan 1 m³ betoniseen loppusijoituspakkaukseen. Sekoittamisen jälkeen kiinteytystuotteen annetaan kovettua 1–3 vuorokautta, jonka jälkeen pakkaukseen valetaan betonikansi. Hyvän varastotilanteen vuoksi kiinteytyslaitosta ei kuitenkaan ole tarvinnut rakentaa.

Jätteiden käsittelymenetelmiä kehitetään

Hyvä varastotilanne on antanut mahdollisuuden kehittää jätteiden tilavuuden pienentämiseen tähtäviä käsittelymenetelmiä sekä optimoida sementtikiinteytyksen seossuhteita tilavuuden kasvun minimoimiseksi. Merkittävimmät tilavuuden pienennysmenetelmähankkeet ovat olleet orgaanisten jätteiden mikrobiologiseen hajoitamiseen tähtäävä hanke sekä cesiumin erotus haihdutusjätteestä.

Mikrobiologisen käsittelymenetelmän kehittäminen lähti liikkeelle tutkimuksista, joilla selvitettiin orgaanisen materiaalin hajoamisen aiheuttaman kaasunkehityksen vaikutusta loppusijoituksen turvallisuuteen. Menetelmää tutkittiin ensin orgaanisten huoltojätteiden hajoitamiseen ja edelleen käytettyjen ioninvaihtohartsien hajoitamiseen. Prosessissa jäte käsitellään ensin mekaanisesti ja kemiallisesti

ja johdetaan sitten bioreaktoriin, jossa erityisesti tähän tarkoitukseen jalostettu anaerobinen bakteerikanta hajottaa jätteen. Jätteelle voidaan tehdä myös välikäsitteilyä hajoitustuloksen parantamiseksi. Prosessin lopputuotteina ovat metaani ja hiilidioksidi sekä jätteen radionuklidit sisältävä liete. Bioreaktorista poistettu liete voidaan joko kuivata tai kiinteyttää loppusijoitusta varten. Loppusijoitettava jätetilavuus pienenee mikrobiologisella käsittelyllä huoltojätteiden osalta 1/10—1/20 osaan ja ioninvaihtohartsien osalta 1/30—1/60 osaan käsittelemättömään jätetilavuuteen verrattuna.

Haihdutusjätteen nestefaasissa cesiumin isotoopit ovat ainoat merkittävät radionuklidit, joiden puoliintumisaika on yli vuoden. Cesiuminerotusmenetelmän tarkoituksena on poistaa cesium haihdutusjätteestä, jonka jälkeen jäännösluos voidaan lyhyen viivästämisen jälkeen vapauttaa. Menetelmän perustana on epäorgaaninen, cesium selektiivinen ioninvaihdin. Cesiuminerotusjärjestelmä rakennettiin Loviisan voimalaitokselle ja otettiin koekäyttöön vuonna 1991. Koekäytössä 253 m³ haihdutusjättemäärän sisältämä cesium sidottiin kolmeen 8 litran ioninvaihtokolonniin. Menetelmällä saadaan käsitellyn jätteen osalta loppusijoitettavaa tilavuutta pienennettyä noin 1/2000 osaan. Laitteistolle saatiin koekäytön jälkeen pysyvä käyttöluupa.

Cesiuminerotuskolonnit pakataan kiinteytetyn jätteen loppusijoituspakkausta vastaavaan betonisylinteriin. Yhteen pakkaukseen mahtuu 12 kolonnia. Haihdutusjätteestä jää cesiuminerotuskolonniin lisäksi loppusijoitettavaksi tankkien pohjalle kertyvää sakkaa, joka kiinteytetään sementillä ennen loppusijoitusta.

Loppusijoitus kallioperään

IVO aloitti vuonna 1979 tutkimukset, joiden tarkoituksena oli selvittää Hästholmenin saaren kallioperän soveltuvuus voimalaitosjätteiden loppusijoitukseen. Vuoden 1982 sijoituspaikkarakortissa esitettiin ensimmäinen lay-out ratkaisu loppusijoitustilan rakentamiseksi noin 100 metrin syvyyteen voimalaitosalueen kallioperään. Vuonna 1986 toimitettiin viranomaisten hyväksyttäväksi alustava turvallisuus selvitys (PSAR), jonka STUK hyväksyi vuonna 1988 antaen samalla oman toimialansa osalta luvan loppusijoitustilan rakentamiseen. Vuoden 1987 käytöstäpoistoseelvityksen yhteydessä loppusijoitustilan lay-outia oli jonkin verran muutettu, jotta purkujätteille saataisiin mahdollisimman tarkoituksenmukaiset tilat.

Välivarastotilan hyvän riittävyuden vuoksi IVO sai kauppa- ja teollisuusministeriöltä jatkoaikaa tilan rakentamiselle siten, että tila on tarvittaessa otettava käyttöön vuoteen 2000 mennessä.

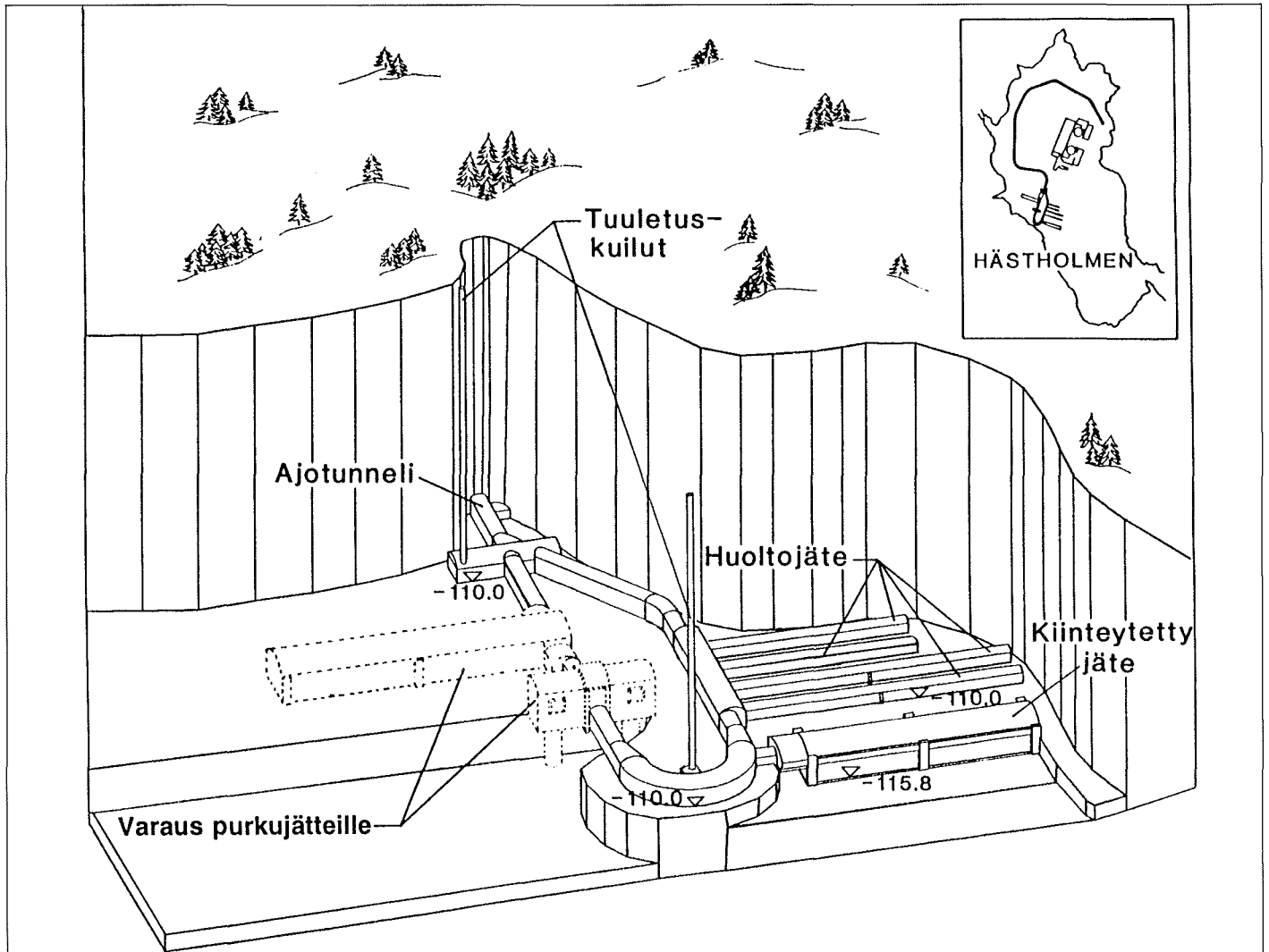
Rakennuskustannusten merkittävän alenemisen, Loviisan alueen huonon taloudellisen tilanteen ja ydinenergian siirtymäsäännösten vuoksi IVO aloitti vuonna 1992 toimenpiteet, joiden tarkoituksena oli loppusijoitustilan rakentamisen aloittaminen ennen vuoden 1993 helmikuun loppua. Loppusijoitustilan rakentaminen edellytti Hästholmenin saaren asemakaavaan merkintää maanalaisten tilojen rakentamisesta. Kaavamuutosta haettiin elokuussa 1992 ja se sai lainvoiman helmikuun alussa 1993. Rakennuslupa loppusijoitustilalle myönnettiin heti kun kaavamuutos oli lainvoimainen ja rakennustyöt saarella alkoivat helmikuun puolivälissä.

Voimalaitosjätteiden loppusijoitustilan rakentaminen toteutetaan kahdessa vaiheessa. Ensin rakennetaan 110 metrin syvyyteen ulottuva noin 1100 metriä pitkä ajotunneli. Ajotunnelin valmistuttua kesällä 1994 tehdään tarkentavia tutkimuksia, joiden perusteella määrätään varsinaisen loppusijoitustilan optimaalinen sijoittaminen käytettävissä olevaan kalliomassaan. Sijoitustilojen louhiminen ja rakennus- ja asennustyöt kestävät noin kaksi vuotta ja alustavan aikataulun mukaan tila valmistuu vuoden 1996 lopulla. Rakentamisvaiheen aikana tehdään luvituksen edellyttämiä tutkimus- ja selvitystöitä siten, että lopullinen turvallisuus selvitys (FSAR) ja käyttö lupahakemus voidaan jättää viranomaisille hyvissä ajoin ennen tilan valmistumista.

Loppusijoitustila muodostuu kiinteytettyjen jätteiden hallista, neljästä huoltojätetunnelista, valvonta- ja aputilasta ja tiloja yhdistävästä yhdystunnelista. Ajotunneli mukaan lukien louhintatilavuus on noin 100 000 m³, josta jätetilojen osuus on alustavasti 33 000 m³. Tilojen lopullinen suunnittelu ja uudet jätteiden tilavuuden pienennysmenetelmät huomioon ottaen jätetilojen koon tarkistus tehdään ajotunnelin rakentamisen aikana.

Käytöstäpoistokin on suunniteltu

Vuoden 1987 lopussa IVO jätti viranomaisille Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelman. Käytöstäpoiston yhteydessä kaikki aktivoitunut ja kontaminoitunut materiaali poistetaan laitokselta ja kuljetetaan loppusijoitustilaan. Purkujätteen loppusijoitustila rakennetaan voimalaitosjätteiden loppusijoitus-



Hästholmenin saaren kallioperään rakennettava voimalaitosjätteiden loppusijoitustila sijoittuu välille 100,5 ... 115,8 metriä merenpinnan alapuolelle. Suunnitelmissa on myös tilavaraus purkujättiloille.

tilan yhteyteen voimalaitosalueen kallioperään. Purkutyö on suunniteltu tehtäväksi kokonaisuudessaan nykyään käytössä olevilla menetelmillä ja laitteilla. Suunnitelman lähtökohdaksi on voimalaitoksen välitön purkaminen 30 vuoden käytön jälkeen. Voimalaitoksen käyttöikä on mahdollista pidentää teknisin toimenpitein ja käytöstäpoistosta päätetäänkin vasta suunnitellun teknisen käyttöiän lähestyessä loppuaan. Lopullinen käytöstäpoistosuunnitelma tehdään kun laitoksen käytön lopettaminen tulee ajankohtaiseksi.

Loviisan voimalaitoksen reaktoripaineastiat on tarkoitus poistaa kokonaisina ja käyttää niitä loppusijoituksen yhteydessä pakkauksena reaktorin sisäosille. Käytöstäpoiston työsuunnitelmassa esitetään yksityiskohtaisesti miten paineastian irrote-

taan paikaltaan, nostetaan kuljetusalustalle ja siirretään loppusijoitustilaan. Reaktorin sisäosat kuljetetaan loppusijoitustilaan suojasynterissä ja sijoitetaan paikoilleen paineastiaan. Vastaavasti muut suuret komponentit, kuten höyrystimet, loppusijoitetaan kokonaisina. Muu aktivoitunut ja kontaminoitunut materiaali paloitellaan ja pakataan säteilysuojatarpeen mukaan määrättyyn pakkaukseen. Purkujätteen kokonaismääräksi on arvioitu 13 000 m³.

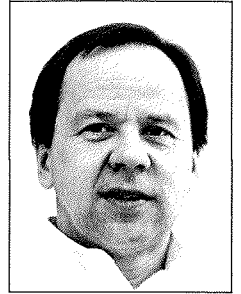
Purkujätteen loppusijoitustilan muodostavat reaktoripaineastioiden tarkoitetut siilot, niiden päällä olevat suurten komponenttien hallit, hallitilla pakatuille jätteille ja purkutyön aikana syntyvälle huoltojätteelle tarkoitettu tunneli. Purkujättiloien kokonaistilavuus on noin 43 000 m³.

Tuleviin kustannuksiin varaudutaan

IVO varautuu ydinjätehuollon tuleviin kustannuksiin maksamalla ydinjätehuoltomaksua valtion ydinjätehuoltorahastoon. Vuoden 1992 lopun vastuumäärä eli se rahamäärä, jolla vielä tekemättä olevat jätetuotoimet saadaan hoidevuoksi, oli 1730 milj. markkaa. Kuluva vuoden maaliskuun loppuun mennessä tästä summasta on rahastoituna 767,7 milj. markkaa. Vastuumäärän ja rahastoitujen varojen erotus on katettu täysimääräisesti vakuuksilla.

DI Jussi Palmu on Imatran Voima Oy:n ympäristönsuojeluyksikön tutkimuspäällikkö, p. 90-5084562

TEOLLISUUDEN VOIMA OY:N KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN UUSI VAIHE



Teollisuuden Voima Oy (TVO) on tutkinut vuodesta 1987 lähtien kallioperää Eurajoen Olkiluodossa, Hyrynsalmen Veitsivaarassa, Konginkankaan Kiveytyssä, Kuhmon Romuvaarassa ja Sievin Syyryssä. Tutkimusten tulokset on luovutettiin vuoden 1992 lopussa kauppa- ja teollisuusministeriölle ja säteilyturvakeskukselle. Kallioperätutkimusten lisäksi käytetyn polttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisesta turvallisuudesta valmistui uusi tutkimusraportti. Kallioperätutkimuksia jatketaan Olkiluodossa, Konginkankaalla ja Kuhmossa ja ne tähtäävät Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käytetyn uraanipolttoaineen loppusijoittamiseen suomalaisen kallioperään. Vuosina 1987-1992 tehtyjen seikkaperäisten tutkimusten perusteella nämä alueet on arvioitu kallioperänsä puolesta parhaiten jatkotutkimuksiin soveltuviksi. Käytetyn polttoaineen loppusijoituspaikka valitaan vuonna 2000 ja loppusijoituslaitos rakennetaan 2010-luvulla.

TVO on selvittänyt tutkittujen alueiden kallioperän rakennetta ja kalliopohjaveden laatua ja liikkumista. Alueet valittiin kenttätutkimuksiin 1980-luvun alussa käynnistettyjen ja koko maan kattaneiden aluevalintatutkimusten perusteella. Syvälle kalliioon ulotetut kairaustutkimukset eivät ole tuoneet mukanaan yllätyksiä kalliion laadusta. Tulosten perusteella kaikkien tutkittujen alueiden kallioperä tarjoaa mahdollisuuden turvalliseen loppusijoitukseen.

Jatkotutkimusten tiedonhankinnan ja loppusijoitustilojen sijoittelun kannalta alueiden välillä on kuitenkin eroja. Olkiluodossa, Konginkankaalla ja Kuhmossa on kallioperän rakenne osoittautunut selväpiirteiseksi, joten näillä alueilla voidaan jatkotutkimuksilla tehokkaimmin täydentää tähän mennessä hankittua tie-

toa. Lähivuosina kallioperätutkimuksia jatketaan mittauksilla, näytteenotoilla ja tekemällä uusia kairauksia.

Valtioneuvoston vuonna 1983 asettaman aikataulun mukaisesti loppusijoituspaikka valitaan vuonna 2000. Valitulle paikalle on suunniteltu rakennettavaksi sen jälkeen tutkimuskuilu. Loppusijoitustilojen louhinta alkaa 2010-luvulla. Ydinenergialaki edellyttää, että loppusijoituslaitokselle haetaan tätä ennen valtioneuvoston periaatepäätös, jonka yhtenä edellytyksenä on sijaintikunnan puoltava lausunto.

Mitä tutkimuksilla on saatu selville

Tutkimusalueilla tehtiin kattavat maanpinta- ja kairaustutkimukset vuosina 1987-1990. Niiden perusteella laadittiin alueen kallioperästä kolmiulotteiset tietokonemallit, joita käytettiin hyväksi pohjavesivirtausten las kennassa. Kalliomallin avulla tutkittiin myös mahdollisuuksia loppusijoitustilojen sijoittamiseen alueen kallioperään.

Saadut tulokset vahvistavat entuudestaan käsityksiä Suomen kallioperän soveltuvuudesta loppusijoitukseen. Tulokset myös osoittavat, että ennako-oletukset alueiden kallioperäolosuhteista olivat oikeansuuntaiset. Tutkimusalueiden keskeiset ominaisuudet ovat pääpiirteissään samankaltaiset, joskin pieniä eroja löytyy. Tutkimuksilla on saatu selville tutkimusalueiden kallioperän rakenne sekä pohjaveden esiintyminen. Sen perusteella on voitu todeta, että loppusijoitustilat voitaisiin rakentaa jokaisen alueen kallioperään sekä todeta, että edellytykset turvalliseen loppusijoitukseen löytyvät jokaisen alueen kallioperästä.

Uudet tutkimustulokset liittyvät kalliopohjaveden laatuun ja virtaamiseen kallioperässä. Tutkimuksissa on koottu ensimmäistä kertaa Suomessa mm. laaja kalliion vedenjohtavuuden ja hydraulisen korkeuden mittausaineisto. Kalliion vedenläpäisevyyden mittauksista tulkitut vedenjohtavuusarvot ovat kauttaaltaan pieniä. Kolmiulotteisten pohjaveden virtausta jäljittävien mallilaskujen mukaan syvällä kalliiossa liikkuu pohjavettä vuodessa neliömetrin pinta-alaa kohden luokkaa 0,01–0,1 litraa, mikä on turvallisuusanalyysin kannalta pieni arvo.

Pohjavesinäytteenottojen avulla on voitu todeta, että kalliopohjaveden laatu ei ole este loppusijoitukselle, toisin sanoen, pohjavesi ei sisällä happea eikä muita aineita, jotka aiheuttaisivat kuparin

syöymistä tai polttoaineen merkittävää liukenemistä. Eräät tulokset kuten veden ikämääritykset sekä voimakas suolaisuus osoittavat veden vaihtuvan hitaasti kalliiossa. Näytteitä otettiin yli 330 ja niiden edustavuuteen kiinnitettiin erityistä huomiota.

Millä perusteella alueet on valittu jatkotutkimuksiin

Kenttätutkimusten sekä turvallisuusarvion perusteella voitiin siis todeta, että käytetty polttoaine voidaan tarvittaessa loppusijoittaa turvallisesti jokaisen alueen kallioperään. Tämän kannalta alueet olivat siis samanarvoisia. Jatkotutkimuksissa tähdätään yhä yksityiskohtaisempien kallioperäominaisuuksien määrittämiseen loppusijoituksen rakennuspaikkakohtaista suunnittelua ja turvallisuusarviota varten. Tässä suhteessa alueen tutkittavuudelle asetettiin merkittävä painoarvo. Mitä selkeämpiä tähänastiset tulokset ovat, sitä paremmin voidaan otaksua jatkotutkimusten täydentävän ja tehostavan nyt saatuja tietoja. Tämä on tärkeä näkökohta ajateltaessa esimerkiksi kallioperän rakennetta ja ominaisuuksia koskevien konseptuaalisten epävarmuuksien karsimista jatkossa. Tätä silmälläpitäen nousivat Romuvaara, Kivetty ja Olkiluoto edelle Veitsivaaraa ja Syyryä.

Loppusijoitustilojen sijoittelun kannalta saatiin kokemuksia tutkimusvaiheessa tehtyjen suunnitteluesimerkkien avulla. Jokaiselle alueelle tehdyn työn kokemukset osoittavat, että Veitsivaaran ja Syyryn alueiden kallioperä tarjoaa vähemmän väljyyttä tilojen sijoittelussa kuin Romuvaara, Kivetty ja Olkiluoto.

Turvallisuus perustuu moniesterjärjestelmään

Käytetty polttoaine loppusijoitetaan syvälle Suomen kallioperään pakattuna kestäviin kupari-terässäiliöihin. Kalliiossa kapseli eristää polttoaineen raossa liikkuvasta pohjavedestä. Pohjaveden liikkeitä rajoittaa lisäksi kapselin ympärille pakattu tiivis bentoniittisavi. Moninkertaiset esteet pitävät käytetyn polttoaineen pysyvästi poissa ihmisen elinympäristöstä.

Syvällä kallioperässä olosuhteet ovat vakaat maanpinnalla tai pinnanläheisessä kalliiossa vallitseviin olosuhteisiin verrattuna. Kallioperä muodostaakin loppusijoitetulle jätteelle ympäristön, jossa kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien käyttäytyminen on luotettavasti ennustet-

tavissa. Näihin ominaisuuksiin eivät juurikaan vaikuta suurelta osin olosuhteiden muutokset maan pinnalla tai ne toimenpiteet, joita tulevat sukupolvet tekevät maan päällä.

Maankamarassa on liikkeitä ja maanjärjestyksiä. Kallioperän ruhjeet ja rotkolaaksot ovat jälkiä muinaisista kalliosiiroksista. Suomen kallioperälle tunnusomaisia ovat erikokoiset rikkonaisuusrakenteet, jotka jakavat kallion lukuisiksi lohkoiksi ja rakojen pirstomaksi mosaiikiksi. Havainnot osoittavat, että jännitys-eroista johtuvat kalliosiirokset tapahtuvat ilmeisimmin näitä olemassa olevia murtumalinjoja pitkin ilman, että niillä on merkittävää vaikutusta ympäröivässä kalliiossa.

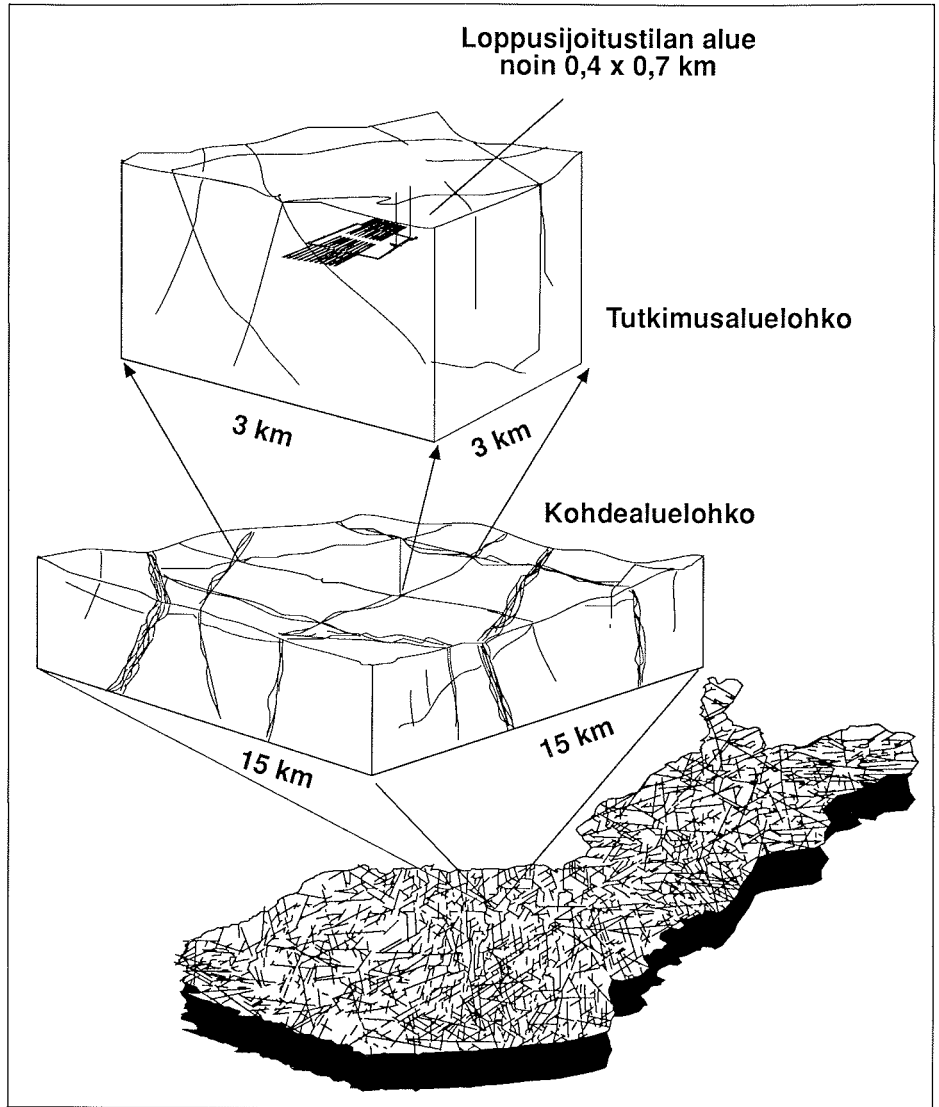
Käytetyn polttoaineen loppusijoitustilojen rakentamisessa kallion murrosrakenteet otetaan huomioon sijoittamalla tunnelit suurten murtumien rajaamaan kalliosuuteen ja sulkemalla jätekapselit erilleen ruhjeista. Odotettavissa on, että käytetyn polttoaineen kuparista ja teräksestä valmistettu säiliö kestää pohjaveden jatkuvasta kosketuksesta huolimatta käytännöllisesti katsoen ikuisesti, eikä mitään tule pääsemään edes kallioon saakka, saati sitten elävään luontoon. Jos kuitenkin jostakin odottamattomasta syystä jokin kapseli pettäisi, polttoaineen niukka liukoisuus veteen, rei'issä oleva bentonititavite ja kallioperä kokonaisuutena estäisivät radioaktiivisten aineiden pääsyn elolliseen ympäristöön.

Täysin mahdotonta ei ole, että uusi suuri kalliosiiros syntyisi ennestään kiinteään kalliioon, mutta tutkimusten mukaan tällainen on hyvin epätodennäköistä. Ympäristön saastumista ei silti aiheutuisi, vaikka siiros osuisi juuri loppusijoitustilan tunnelin kohdalle. Siirroksen rikkomista kapselista, mikäli tällainen siiros sattuisi esimerkiksi seuraavassa jääkausivaiheessa, aiheutuvat säteilyannokset olisivat korkeintaan samaa luokkaa kuin nykyinen taustasäteily. Pitkällä aikavälillä ilmastomme on palautumassa vähitellen jääkauden ilmastoksi. Arvioiden mukaan joidenkin tuhansien vuosien kuluttua Suomessa vallitsee Pohjois-Kanadan ja Alaskan tyyppinen ilmasto.

Moniestejärjestelmän ansiosta minkään yksittäisen osan pettäminen ei vaaranna koko loppusijoituksen turvallisuutta. Seikkaperäisellä turvallisuusanalyysillä — moniestejärjestelmän toimintaa kuvaavien mallien avulla ja olettamalla järjestelmän toimivan erilaisten skenaarioiden mukaisesti — on osoitettu, että käytetyn polttoaineen loppusijoitus voidaan toteuttaa turvallisesti millä tahansa tutkituista viidestä alueesta. Turvallisuusanalyysin tärkein johtopäätös on, että käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta ei milloinkaan voi aiheutua ympäristön radioaktiivista saastumista.

Loppusijoituksen kustannukset

Ydinjätteen tuottajan on vastattava kaikista ydinjätehuollon kuluista aina siihen



Suomen kallioperä on pirstoutunut olemassaolonsa mosaiikkimaiseksi lohkorakenteeksi. Sijoituspaikatutkimuksiin soveliaita kallioalueita on paikannettu suurten ruhjevyöhykkeiden rajaamista "kalliolohkoista".

saakka, kunnes ydinjätteet on turvallisesti loppusijoitettu ja huolehtimisvelvollisuus täytetty. Jätehuoltoon kerätään varat jo ydinvoimaloiden toimiessa. Tämän vuoksi tarvitaan etukäteen yksityiskohtaiset kustannusarviot myös kaukana tulevaisuudessa suoritettaville toimille. Arviot tehdään nykypäivän tilanteelle: paljonko jätehuollon toteutus maksaisi, jos toimiin ryhdyttäisiin välittömästi nykytekniikalla? Tulevaisuudessa tapahtuvat hintatason muutokset otetaan varautumisessa huomioon tarkistamalla arviot vuosittain.

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen kustannusarvio laaditaan olettaen voimalaitosyksiköiden käyttöajaksi 40 vuotta. Tänä aikana kertyy TVO I ja II -yksiköiltä 1840 tonnia käytettyä polttoainetta. Loppusijoituslaitoksen (maan pinnalla rakennettava kapselointilaitos ja kalliioon louhittava tunnelisto) rakentaminen maksaa 850 miljoonaa markkaa. Loppusijoituslaitoksen käyttökustannukset (polttoaineen nippujen kapselointi ja sijoittaminen kalliioon, mukaan luettuna kapselit) ovat 1700 miljoonaa markkaa, ja sijoitustilan sulkeminen maksaa 190 miljoonaa markkaa. Olkiluodon voimalaitoksen arvioitu

sähkön tuotanto 40 vuoden aikana on noin 430 TWh (miljardia kWh). Käytetyn polttoaineen loppusijoituskustannusten vaikutus samalla polttoainemäärällä tuotetun sähkön hintaan on siten noin 0,6 p/kWh, joka on noin 5 % sähkön tuotantokustannuksista.

Varat tuleviin kustannuksiin kerätään valtion ydinjätehuolorahastoon. Rahastointi kattaa paitsi käytetyn polttoaineen huollon myös matala- ja keskiaktiivisen jätteen ja voimalaitosyksiköiden purkamisen kustannukset. Rahaston määrä toisaalta kasvaa sitä mukaa kuin jätemäärä kasvaa ja toisaalta vähenee sitä mukaa kuin jätehuoltolaitosten rakentaminen ja loppusijoitustoiminta etenee. Oheisessa kaaviossa on esitetty TVO:n rahastointitilanne vuoden 1992 lopussa ja ennuste tuleville vuosille. Tuleviin ydinjätehuoltoon on rahastoitu noin 2200 miljoonaa markkaa, ja ennusteen mukaan rahasto nousee enimmillään 4500 miljoonaa markkaan vuoden 2010 tienoilla.

Sijaintikunnan saamat verotulot loppusijoituslaitoksesta koostuvat kahdesta osasta, henkilökunnan palkkatuloistaan mak-

samista veroista ja laitoksen kiinteistöve-
rosta. Rakentaminen työllistää enimmil-
lään noin 200 henkeä ja varsinainen lop-
pusjoihtustoiminta yli 100 henkeä. Kiin-
teistöveron määrä on arvioitu käyttäen
samaa prosenttia, jota sovelletaan ydin-
voimalaitoksiin. Ajanjaksolla 2000-2010
verotulon määrä nousee 500 000—700 000
markan tasolle vuodessa sijaintikunta-
vaihtoehdosta riippuen. Laitoksen valmis-
tuessa 2010-luvun lopulla ovat arvioitut
verotulot vuodessa 7—9 miljoonaa mark-
kaa. Lisäksi palvelujen kysyntä sekä han-
kinnat ja ostot vilkastuttavat paikkakun-
nan elinkeinoelämää.

Ratkaisut muissa maissa

Ydinjätehuollon toteutus etenee pitkälti
samoja linjoja kaikkialla ydinvoimaa
käyttävissä maissa. Korkea-aktiivisen
polttoainejätteen annetaan vielä jäähtyä
maanpäällisissä varastoissa ennen niiden
lopullista hautaamista. Onpa kyseessä
käytetty polttoaine tai jälleenkäsittelyssä
jäljelle jäänyt korkea-aktiivinen jäte,
kumpikin jäte tullaan loppusijoittamaan
syvälle kalliioon tai muuhun geologiseen
muodostumaan. Suunnitelmat vaihtelevat
yksityiskohdiltaan; tiiviisiin kapselisiin
pakattu jäte sijoitetaan joko suoraan tun-
neleihin tai tunnelien lattiaan tehtyihin
reikiin ja ympäröidään loppuksi soveltu-
valla täyteaineella.

Ruotsissa on hiljan päätetty uudesta ai-
kataulusta käytetyn polttoaineen loppusi-
joitukselle. Tarkoituksena on käynnistää
loppusijoitus aluksi pienessä demonstraati-
omittakaavassa, josta laitos myöhem-
min laajennettaisiin täyteen mittaansa.
Suunnitelman mukaan loppusijoitus al-
kaisi v. 2008. Myös Saksassa, Yhdysval-
loissa ja Ranskassa on tähtäimessä lop-
pusijoituksen aloittaminen ensi vuosikym-
menen kuluessa.

Tulevat tutkimukset

TVO jätti vuodenvaihteessa myös periaat-
teellisen tutkimusohjelman, jossa käsitel-
lään käytetyn polttoaineen loppusijoitusta
varten tehtävää tutkimus- ja kehitystyö-
tä aina vuoteen 2010 saakka. Sijoitus-
paikkatutkimukset jatkuvat valtioneuvos-
ton v. 1983 tekemän periaatepäätöksen
mukaisesti ja yksityiskohtaiset paikkatut-
kimukset käynnistetään vuoden 1993 al-
kupuolella. Tutkimusten tarkoituksena
on aluksi varmentaa saatujen kalliomalli-
tulosten paikkansa pitävyys sekä täyden-
tää tietoja mm. tutkimusalueiden pohja-
vesikemiasta. Tutkimuksille tulee ole-
maan luonteenomaista kenttätutkimusten
ja mallintamisen entistä suurempi vuoro-
vaikutteisuus. Tutkittavat kohteet mallin-
netaan etukäteen mahdollisimman yksi-
tyiskohtaisesti. Mallituloksia verrataan
kenttätutkimusten tuloksiin. Myöhem-
mässä vaiheessa tutkimusten painopiste
siirtyy mm. merkkiainekokeiden suoritta-
miseen ja kalliotilojen rakentamisen vai-
kutusten arviointiin. Merkkiainekokeilla

tehtävissä kulkeutumistarkasteluissa Äs-
pön kalliolaboratorioprojektilla on mer-
kittävä osuus.

Turvallisuustutkimukset jatkuvat paikka-
tutkimusten rinnalla ja tavoitteena on
vahvistaa näiden kahden vuorovaikuttei-
suutta. Eräänä keskeisenä tehtävänä on
kehittää paikkakohtaisen turvallisuusana-
lyysin suoritustapaa. Lähivuosina tullaan
tarkastelemaan vaihtoehtoisten loppusi-
joitustekniikoiden turvallisuutta.

Olkiluodon VLJ-luolaan on rakennettu
tutkimustunneli, jota hyödynnetään ydin-
jätteiden loppusijoituksen tutkimus- ja
kehitystyössä. Noin 50 metrin pituinen
tunneli on VLJ-luolan nosturihallin vie-
ressä, 60 metriä merenpinnan alapuolella,
eikä sinne loppusijoiteta radioaktiivisia
jätteitä. Tunnelissa tehdään kokeita, jois-
sa tarvittavien olosuhteiden ja mittakaav-
an aikaansaaminen maanpäällisissä la-
boratorioissa olisi vaikeaa.

Tunnelissa selvitetään kallioperän yleis-
ominaisuuksia, testataan tutkimusmene-
telmiä, kokeillaan loppusijoituksen tek-
niikoita ja tutkitaan materiaalien käyttäy-
tymistä kallioperäolosuhteissa. Merkki-
ainekokeilla voidaan tutkia aineiden kul-
keutumista kallioraioissa. Tunnelissa tullaan
myös testaamaan pohjaveden vir-
tausnopeuden mittaustekniikkaa. Käyte-
tyn polttoaineen sijoitusreikien poraus-
tekniikkaa tutkitaan täyden mittakaavan
testein.

Tutkimus kansainvälistä yhteistyötä

Koska ydinjätehuollon ratkaisut kaikissa
maissa ovat pitkälti samansuuntaisia,
ydinjätealan tutkimus perustuu merkit-
tävässä määrin kansainväliseen tiedon-
vaihtoon ja yhteisiin projekteihin. Juuri
päättynyt kansainvälinen Stripa-projekti
tuotti runsaasti arvokasta tietoa kiteisen
kallioperän ominaisuuksista ja tutkimus-
menetelmistä sekä loppusijoitustekniik-
kasta. Tällä hetkellä ydinjätteiden loppu-
sijoitukseen tähtäävää kallioperätutki-
musta tehdään useissa maissa joko erilli-
sissä kalliolaboratorioissa tai loppusijoi-
tuspaikan valintaan tähtäävissä tutki-
musohjelmissa. TVO on solminut sopi-
muksen Ruotsin Äspöhön parhaillaan
rakennettavan kalliolaboratorion raken-
nusvaiheen aikaisesta tutkimusyhteis-
työstä.

Suunnitelmien ja olosuhteiden samankal-
taisuuden takia TVO:lla on muutoinkin
erittäin tiiviit yhteydet Ruotsin ydinvoi-
maloiden jätehuollosta vastaavan organi-
saation SKB:n (Svensk Kärnbränslehante-
ring AB) kanssa. Kahdenkeskiset tiedon-
vaihtosopimukset TVO:lla on lisäksi
Sveitsin Nagra (Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle)
kanssa sekä Canadian AECL:n (Atomic
Energy of Canada Ltd) ja Ontario
Hydron kanssa. TVO on ollut lisäksi ak-
tiivisesti mukana OECD/NEA:n toimin-
nassa.

Sijoituspaikan valinta ja paikka- tutkimukset

Teollisuuden Voima Oy on noudat-
tanut ydinjätehuollossaan valtioneu-
voston periaatepäätöstä vuodelta
1983. Sen mukaan loppusijoituspaik-
ka Olkiluodon ydinvoimalaitoksen
käytetylle polttoaineelle valitaan
vuonna 2000 sijoituspaikkatutkimus-
ten perusteella. Tutkimusvaiheita on
kaikkiaan kolme:

1) Vuosina 1983-1985 tehtiin koko
maan kattanut tutkimusalueiden val-
intaselvitys. Sen tuloksena raportoitiin
yli 100 mahdollista tutkimus-
aluetta kauppa- ja teollisuusministe-
riölle. Tästä aluejoukosta valittiin
viisi tutkimusaluetta alustaviin sijoitus-
paikkatutkimuksiin.

2) Vuosina 1987-1992 tehtiin alusta-
vat sijoituspaikkatutkimukset Romu-
vaarassa, Veitsivaarassa, Kivetyssä,
Syyryssä ja Olkiluodossa. Tutkimus-
tulokset raportoitiin yhdessä
ajan tasalle saatettujen loppusijoi-
tusten teknisten suunnitelmien ja
turvallisuusarvion kanssa kauppa- ja
teollisuusministeriölle. Kolme aluetta
valittiin jatkotutkimuksiin. Tutki-
musvaihetta täydentävä ohjelma kos-
kien tummien, ns. emäksisten kivi-
lajien ominaisuuksia raportoidaan
kauppa- ja teollisuusministeriölle
kesällä 1993.

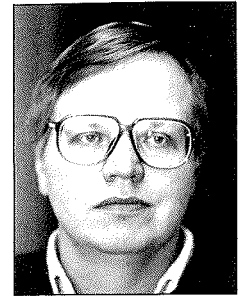
3) Vuosina 1993-2000 tehdään yksi-
tyiskohtaiset sijoituspaikkatutkimuk-
set valituilla alueilla. Sijoituspaikka
valitaan v. 2000 loppuun mennessä.
Tällöin saatetaan ajan tasalle loppu-
sijoituksen tekniset suunnitelmat ja
turvallisuusarvio.

Valitulla paikalla tehdään täydentä-
viä tutkimuksia vielä vajaan kymme-
nen vuoden ajan. Näitä varten ra-
kennetaan tutkimuskuilu alueelle.
Loppusijoitustilojen rakentaminen
alkaisi v. 2010.

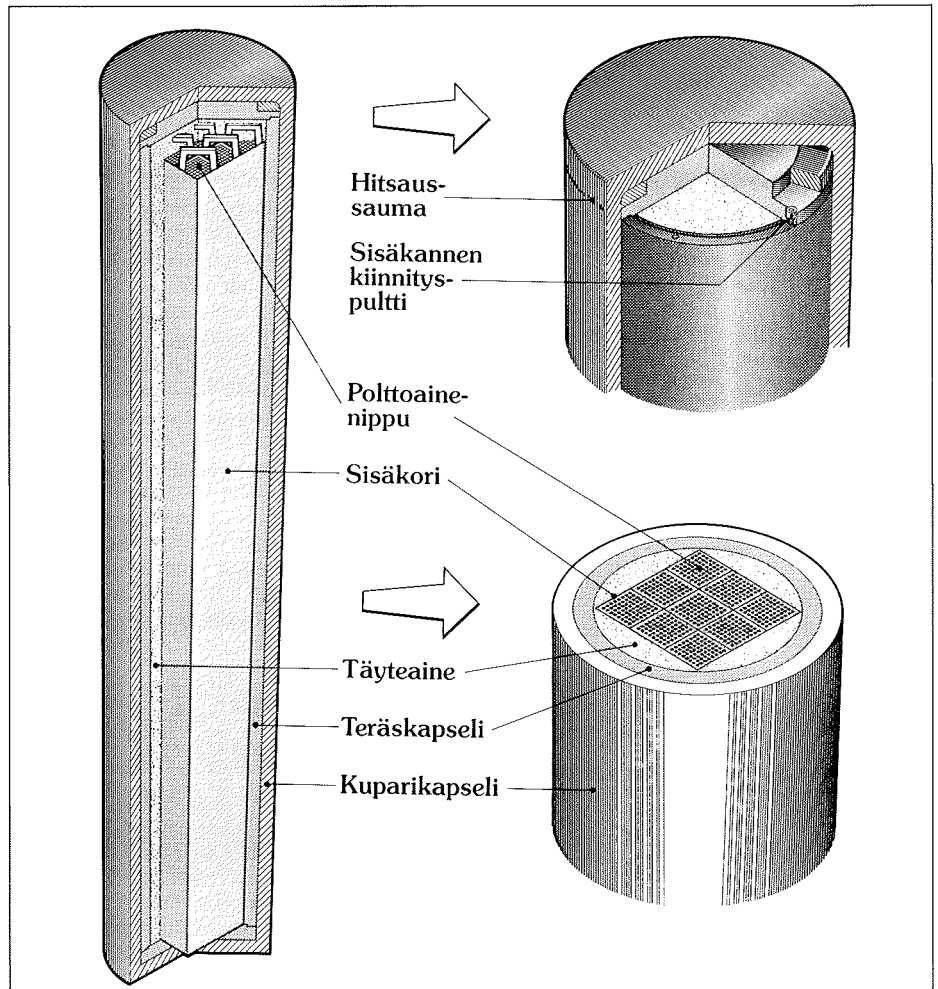
Loppusijoituslaitosta varten tarvi-
taan valtioneuvoston periaatepäätös
ydinenergiain mukaisesti. Myönteisen
päätöksen tarvitaan Säteilytur-
vakeskuksen hyväksyntä ja sijainti-
kunnan myönteinen kanta. Näiden
jälkeen on eduskunnan vielä hyväk-
syttävä hanke.

FM Timo Äikäs on Teollisuuden voi-
ma Oy:n päägeologi, puh. 90-605022.

TVO:N KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN UUDISTETUT SUUNNITELMAT



Vuonna 1986 Teollisuuden Voima Oy (TVO) asetti projektin "Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuus ja tekniikka", jonka tavoitteena oli valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaisesti huolehtia siitä, että vuonna 1985 esitetty loppusijoituksen tekninen suunnitelma ja turvallisuusarvio saatetaan ajan tasalle vuoden 1992 loppuun mennessä ottaen huomioon sijoituspaikkavaihtoehdot. Joulukuussa 1992 julkaistussa projektin yhteenvetoraportissa (YJT-92-31) on kuvattu kuinka TVO:n ydinvoimalaitoksen käytetyn polttoaineen huollon vaiheet voidaan toteuttaa turvallisesti olemassa olevaa tekniikkaa käyttäen. Seuraavassa kuvataan käytetyn polttoaineen kapseloinnin ja loppusijoituksen uudistetut tekniset suunnitelmat. Näihin ratkaisuihin perustuva turvallisuusanalyysi (TVO-92) on puolestaan kuvattu tämän lehden toisessa artikkelissa.



ACP-kapseli.

TVO:n uusi käytetyn polttoaineen kapselointi- ja loppusijoitussuunnitelma on vuonna 1985 esitettyä ratkaisua yksinkertaisempi, kustannuksiltaan edullisempi ja käyttöturvallisuudeltaan parempi ratkaisu. Polttoaineniput kapseloidaan loppusijoitustilojen yläpuolelle maan pinnalle rakennettavassa kapselointilaitoksessa. Käytetyn polttoaineen loppusijoitustilat rakennetaan usean sadan metrin syvyyteen peruskallioon. Kapseloitu polttoaine sijoitetaan tunneleiden lattiaan porattuihin reikiin ja eristetään kalliosta bentoniittisavella, joka paisuu voimakkaasti veden imeytyessä siihen. Viimeisten kapselien tultua loppusijoitetuksi kapselointilaitos puretaan, tunnelit täytetään ja alas johtavat kuilut suljetaan.

Olkiluodon ydinvoimalaitoksen 40 vuoden käyttöänsä aikana arvioidaan syntyvän käytettyä polttoainetta 1840 tonnia uraania. Olkiluodon voimalaitoksen käytetyn polttoaineen huollon kustannusarvio (mu-

kaan luettuna välivarastointi ja kuljetukset) vuoden 1992 lopun hintatasossa on noin 3500 milj. mk. Tämän vaikutus vastaavalla polttoainemäärällä tuotetun sähkön (noin 430 TWh) hintaan on noin 0,8 p/kWh.

ACP-KAPSELI

TVO:n suunnittelema ns. ACP-kapseli (Advanced Cold Process) koostuu kahdesta sisäkkäisestä säiliöstä. Ulompi, kuparista valmistettu säiliö ympäröi tiiviisti terässäiliötä ja suojelee sitä pohjaveden syövyttävältä vaikutukselta. Sisempi terässäiliö tekee kapselin rakenteen vahvaksi.

Yhteen ACP-kapseliin voidaan sijoittaa 9 polttoainenippua eli noin 1,6 tU. Kapselin pituus 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.

Kapselin ja polttoainenippujen välinen tila on täytetty kiinteillä rakeilla. Täyttömateriaali voidaan valita melko vapaasti, koska sen tehtävänä on vain pienentää kapselin sisään jäävää tyhjää tilaa. Täyteaine ei saa kuitenkaan muuttaa kemiallisia olosuhteita epäedulliseen suuntaan. Kapselin raetäyte voi olla lyijyhauleja, kvartsihiekkää tai lasikuulia.

ACP-kapselin kuparivaipan valmistusmenetelmiä on selvittänyt Outokumpu Pori-copper Oy. Kuparisäiliö voidaan valmistaa kuumapursottamalla tai kuumavalssaamalla. Kuumapursotusmenetelmällä voidaan valmistaa suoraan pohjallinen kuparisäiliö tai erikseen säiliön vaippa, johon sitten kiinnitetään hitsaamalla pohja. Kuumavalssaustekniikkaa käytettäessä

valssatut kuparilevyt taivutetaan kaarelle. Levyt hitsataan pitkittäissaumoilla yhteen putkeksi, johon lopuksi kiinnitetään pohja hitsaamalla.

Teräslieriö voidaan tehdä taotusta putkimateriaalista tai pallografiittivaluna. Teräkselle asetetut lujuusvaatimukset täyttää esimerkiksi tavallinen paineastiateräs Fe52. Terässylinterit koneistetaan sisä- ja ulkopinnoilta haluttuihin mittoihin, jonka jälkeen teräspohja kiinnitetään pulteilla sylinteriin. Terässylinteri laitetaan kuparisäiliön sisään. Lopuksi kapselin sisään asennetaan polttoainenippuja varten teline ja mahdolliset säteilysuojalevyt. Kokoonpantu kapseli, jonka kannet ovat kiinnittämättä, kuljetetaan kapselointilaitokselle, joka sijaitsee loppusijoituspaikalla.

ACP-kapselista on valmistettu 1/4-malleja. Kuparilieriöt valmistettiin pohjallisina kuumapursotusmenetelmällä.

KAPSELOINTI

Käytetyt polttoaineniput suljetaan kylmäprosessitekniikalla ACP-kapseleihin kapselointilaitoksessa. Kylmäprosessi tarkoittaa sitä, että käytetty polttoaine suljetaan kapseleihin huoneen lämpötilassa. Näin vältetään aikaisemmissa suunnitelmissa ollut kapselin ja polttoaineen välisen tilan täyttö sulalla lyijyllä (n. 400 astetta). Kylmäprosessiin perustuva kapselointilaitossuunnitelma on laadittu IVO:ssa.

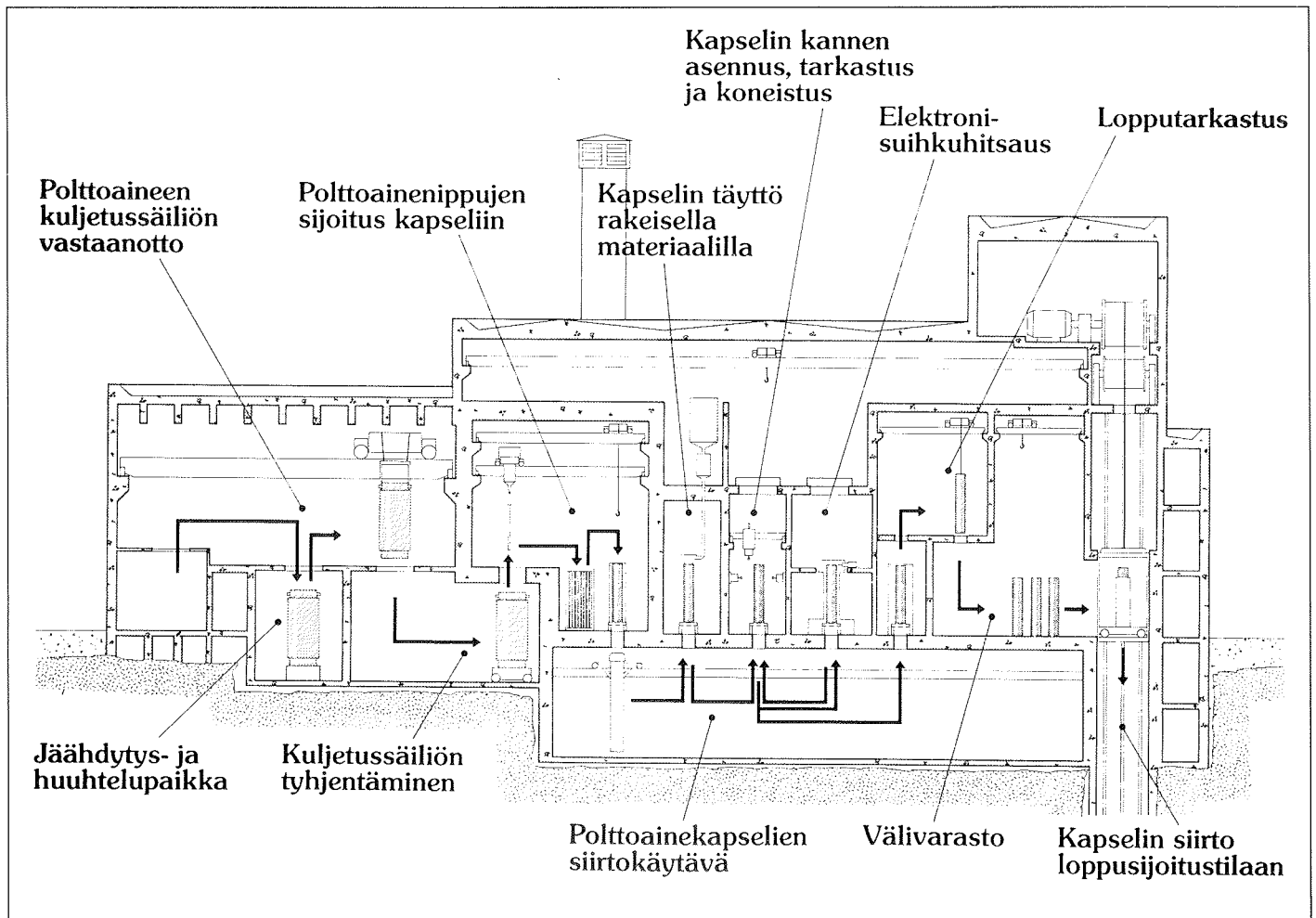
Polttoaine tuodaan kuljetussäiliössä maantiekuljetusalustalla vastaanotto-osaan, jossa säiliö tarkastetaan ja jäähdytetään.

Seuraavaksi säiliön kansi avataan ja polttoaineniput nostetaan kuumakammioon ja siirretään yksitellen kauko-ohjatulla siirtokoneella kuivavarastoon tai polttoainetelineeseen.

Kuumakammiossa polttoainetta käsitellään ja varastoidaan kauko-ohjatusti säteilysuojajakkunoiden takaa. Loppusijoituskapseli nostetaan siirtokäytävästä kuumakammioon, jossa polttoaineniput laitetaan yksi kerrallaan kapseliin. Kapseli tarkastetaan ja lasketaan takaisin siirtokäytävään.

Kapseli siirretään seuraavaksi täyttökammioon. Täyttökammiossa kapselin tyhjä tila täytetään rakeisella täyteaineella. Täyteaine laitetaan kapseliin valuttamalla ja tiivistetään täyrtämällä kapselia.

Täyttökammion jälkeen kapseli viedään tarkastus- ja koneistuskammioon. Teräskapselin kansi asennetaan paikalleen ja suljetaan pulteilla. Teräskannessa on tiiviste, jotta elektronisuihkuhitausta varten tarvittavan tyhjiön aikaansaaminen ei veisi liikaa aikaa. Tämän jälkeen kuparikansi sijoitetaan teräskannen päälle. Seu-



Käytetyn polttoaineen kapselointi.

raavaksi kapseli siirretään hitsauskammioon. Hitsauskammiossa kuparikansi hitsataan elektronisuihkuhitsausmenetelmää käyttäen kapselin runkoon. Hitsaus on tehtävä tyhjiössä, minkä vuoksi hitsauskammioon on tehty tyhjiökammio. Hitsauksen jälkeen kapseli tuodaan takaisin tarkastus- ja koneistuskammioon. Hitsisauma koneistetaan ja hiotaan vaadittuun tasoon. Hitsisauma tarkastetaan ultraäänitarkastuslaitteistolla.

Lopuksi kapseli kuljetetaan dekontaminointikammioon, jossa se pestään puhtaaksi kaikesta mahdollisesta pintakontaminaatiosta eli radioaktiivisista aineista, joita kapselin pinnalle on saattanut kertyä käsittelyvaiheiden aikana. Lisäksi kammiossa tehdään polttoainekapselille lopputarkastus. Tarkastuksen jälkeen kapseli siirretään puskurivarastoon loppusijoitustiloihin siirtoa varten.

LOPPUSIJOITUSTILAT

Loppusijoitustilat rakennetaan satojen metrien syvyyteen kallioperään. Yhteydet maanpinnalle hoidetaan kolmen kuilun kautta, jotka ovat työkuilu, henkilökuilu ja kapselikuilu. Laaditussa loppusijoitustilojen esisuunnitelmassa on esitetty kaksi

vaihtoehtoa, joissa sijoitustunneliston muoto ja kuilujen sijainti ovat erilaiset. Tilan lopullinen muoto ja sijoitusvyvyys tulevat määräytymään sijoituspaikan kallioperän rakenteen perusteella. Päävastuu tästä suunnittelutyöstä oli Saanio & Riekkola Oy:llä.

Jätekapselien sijoitustilat koostuvat 25 metrin välein louhituista tunneleista, joita yhdistää toisiinsa keskustunneli. Sijoitustunnelien leveys on 3,3 m ja korkeus 4,6 m. Kapselit sijoitetaan kalliioon tunnelien lattiaan tehtyihin reikiin. Reikien välimatka on 6 metriä. Olkiluodon voimalaitoksen 40 vuoden käytöstä syntyvä 1840 tU käytettyä polttoainetta voidaan sijoittaa 1150 ACP-kapseliin. Suunnitelmiin on varattu 10 % ylimääräistä tunnelipituutta, jotta mahdolliset rikkonaisuusvyöhykkeet voidaan välttää. Sijoitustunneliston yhteispituus on noin 7800 metriä. Sen rajaama alue on tunneliston muodosta riippuen esimerkiksi 500 m x 400 m tai 850 m x 250 m.

Sijoitusreikien halkaisija on 1,5 m ja syvyys 7,5 m. Kapselin ja kalliion välinen tila täytetään puristetulla bentoniittilohkoilla. Viimeinen metri reiän yläosasta täytetään hiekan ja bentoniitin seoksella, jossa on 10 % bentoniittia. Kun kapselit on asennettu kahteen vastakkaiseen sijoitustunneliin, ne täytetään hiekan ja ben-

toniitin seoksella. Tunnelin alaosa täytetään kerroksittain tiivistäen. Alaosan täytemateriaalissa on 10 % bentoniittia. Tunnelin yläosa täytetään ruiskuttamalla, yläosan täytteessä bentoniitin osuus on 20 %. Kun sijoitustunneli on täytetty, sen suulle rakennetaan sulku, jotta täyteaine ei paisuisi keskustunneliin.

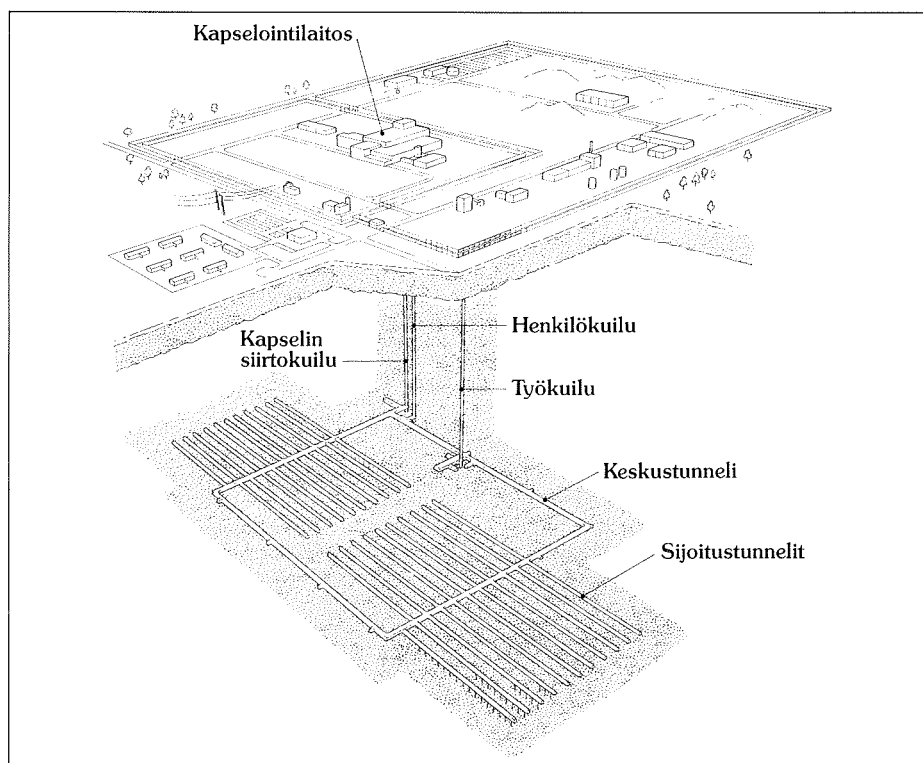
Kun kaikki kapselit on tuotu loppusijoitustilaan ja kapselointilaitos on purettu, sijoitetaan kapselointilaitoksen käyttö- ja purkujäte niille varattuun tilaan. Keskustunneli ja muut alatasolla olevat tilat täytetään hiekan ja bentoniitin seoksella samalla tavoin kuin sijoitustunnelit. Keskustunneliin rakennetaan sijoitustunnelien ja kuilujen väliselle osuudelle kaksi sulku. Niiden tarkoituksena on hidastaa keskustunnelin suuntaista pohjaveden virtausta sekä tunnelin täyteaineessa että tunnelia ympäröivässä kalliiossa. Sulku koostuu tunneliin rakennettavasta bentoniittitulpasta, kalliion pintaan sahattuun uraan asennettavista bentoniittilohkoista ja kalliion tiivistysinjektioinnista.

Kuilujen alapää ja rikkonaisuusvyöhykkeiden kohdat tukitaan bentoniittilohkoilla. Kuilut täytetään pudottamalla hiekan ja bentoniitin seos putkea pitkin alas. Kuilujen alaosa noin 100 metrin osuudella täytemateriaali tiivistetään kerroksittain, ylempänä tiivistystä ei tehdä. Kuilujen yläpää suljetaan paksuilla teräsbetonitulpilla.

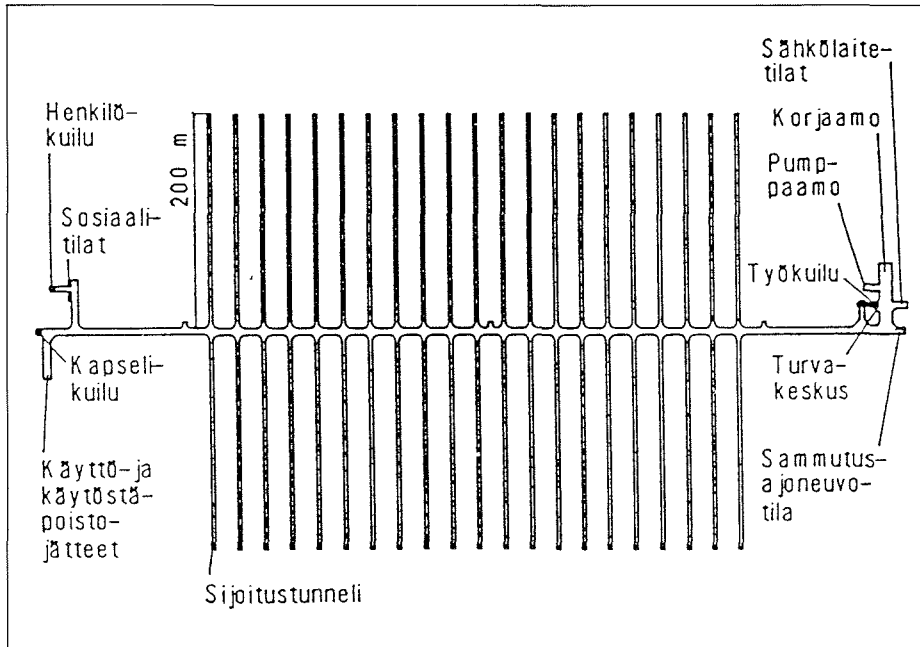
LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN RAKENTAMINEN ERI TUTKIMUSALUEILLE

Alustavat tilasijoitustutkimukset osoittivat, että loppusijoituslaitos (kapselointilaitos ja loppusijoitustilat) on maa- ja kallioperäolosuhteiden puolesta rakennettavissa kaikille viidelle tutkimusalueelle. Lisäksi loppusijoitustilat laajennuksineen ovat sijoitettavissa monin tavoin alueellisten rikkonaisuusvyöhykkeiden rajaamiin lohkoihin.

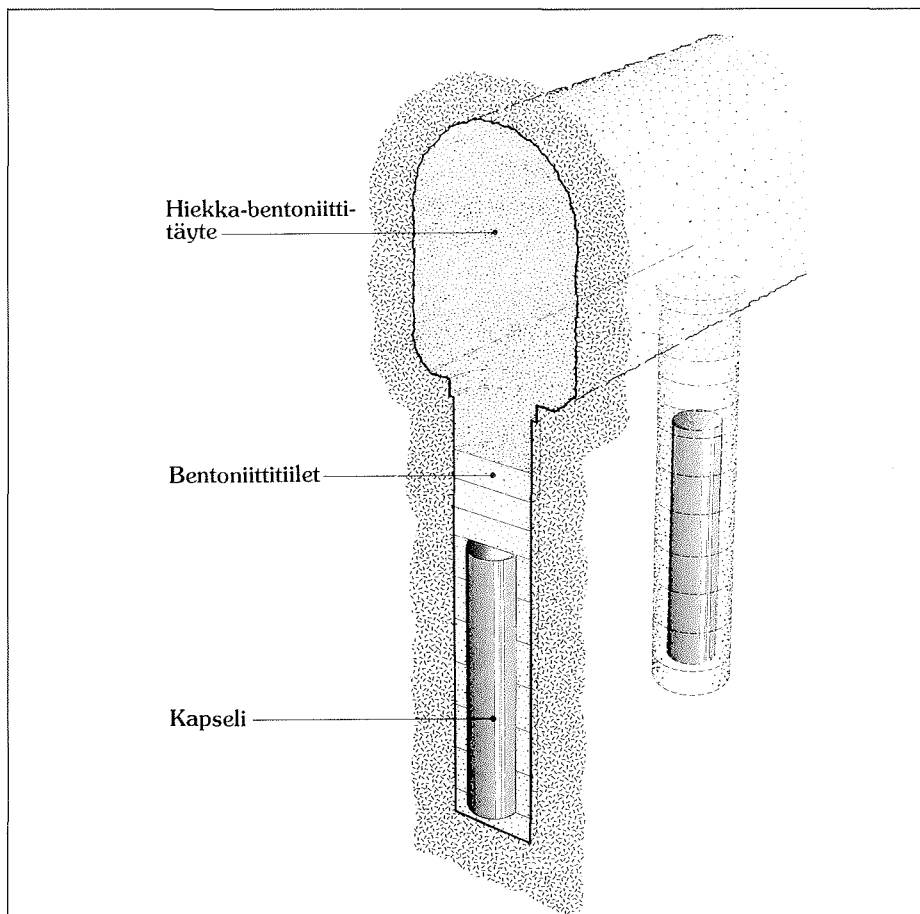
Alustavien tilasijoitustutkimusten lisäksi vertailtiin loppusijoituslaitoksen rakentamisessa esiintyviä eroja eri tutkimusalueiden välillä. TVO:n käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen aluekohtaisessa rakennettavuusvertailussa vertailtiin olemassa olevia tieyhteyksiä, yhdyskuntateknisiä palveluja ja työvoiman saantia. Selvityksessä tarkasteltiin myös tutkimuspaikkojen maan ja kallioperän laadun, pohjaveden ominaisuuksien sekä paikallisen ilmaston vaikutusta rakennettavuuteen. Aluekohtainen rakennettavuusvertailu osoitti, että loppusijoituslaitoksen rakentamisessa ei esiinny merkittäviä rakennusteknisiä eroja tutkimusalueiden välillä.



Käytetyn polttoaineen kapselointilaitos ja loppusijoitustilat. ACP-kapselit sijoitetaan tunnelien lattiaan porattuihin reikiin.



Yhteen keskustunneliin perustuvan loppusijoitustilan pohjapiirustus.



Sijoitusreikä.

VAIHTOEHTOISET LOPPUSIJOITUS- RATKAISUT

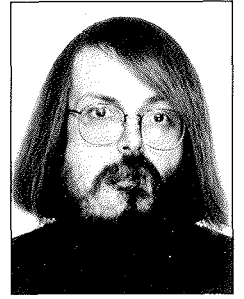
Vuosina 1986—1992 TVO:n perusratkaisun kehittämisen rinnalla on jatkuvasti seurattu vaihtoehtoisten ratkaisujen kehittymistä ulkomailla ja arvioitu niiden soveltuvuutta TVO:lle. Vuosina 1991—1992 TVO osallistui SKB:n PASS-projektiin (Projekt Alternativ Studier för Slutförvar). Projektissa vertailtiin ja arvioitiin vaihtoehtoisia loppusijoitusratkaisuja ja erilaisia kapselirakenteita. Loppusijoitusratkaisuista vertailun kohteina olivat TVO:n perusratkaisun tyyppiset loppusijoitustilat, syväreikäratkaisu ja ratkaisut, joissa kapseli sijoitetaan vaakasäätöön tunneliin, ns. vaakasijoitusratkaisut. TVO:n edustaja on osallistunut PASS:n projektiryhmän toimintaan ja suomalaiset ovat olleet mukana eräiden osatehtävien toteuttamisessa. Lisäksi TVO:n asiantuntijoita on kuulunut eri tekniikoiden keskinäisen vertailun arviointiryhmiin.

PASS-projektissa vertailtiin eri loppusijoitusratkaisujen teknistä toteutettavuutta, pitkäaikaisturvallisuutta ja kustannuksia. Pitkäaikaisturvallisuuden osalta syväreikäratkaisun arvioitiin sisältävän eniten epävarmuustekijöitä. Kaikki muut ratkaisut todettiin keskenään samanarvoisiksi. Ratkaisujen teknisen soveltuvuuden ja kustannusvertailujen perusteella SKB valitsi päävaihtoehtokseen kupari-teräskapselin, kylmäprosessikapseloinnin ja KBS-3-tyyppiset loppusijoitustilat eli TVO:n perusratkaisun mukaisen loppusijoitustavan. PASS-projektin tulokset viitoittavat myös TVO:n tulevaa loppusijoitustekniikoiden kehitystyötä.

JATKOTUTKIMUKSET

Yksityiskohtaisempia paikatutkimuksia jatketaan vuoden 1992 lopussa valituilla tutkimusalueilla. Tärkeän osan käytetyn polttoaineen loppusijoitustutkimuksista muodostavat loppusijoitustekniikan kehittämiseen ja turvallisuuden varmistamiseen liittyvät tutkimukset. Nämä tutkimukset yhdessä tähtäävät ensi vaiheessa käytetyn polttoaineen loppusijoituspaikan valintaan. Lopullisena tavoitteena on luoda valmius käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamiselle vuoden 2010 jälkeen.

TKL Jukka-Pekka Salo on Teollisuuden voima Oy:n suunnitteluinsinööri, p. 90-6051.



KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN TURVALLISUUSANALYYSI TVO-92

Joulukuussa 1992 julkaistussa TVO-92 -turvallisuusanalyysissa on selvitetty uusittuihin tekniisiin suunnitelmiin pohjautuvan loppusijoitusratkaisun turvallisuutta sekä vuosina 1987–1992 tutkitun viiden alueen soveltuvuutta käytetyn polttoaineen loppusijoituspaikaksi. Tulokset osoittavat, että suunniteltu loppusijoitusratkaisu toteuttaa hyvin säteilyturvallisuusvaatimukset. Loppusijoitustilan sijoittamiseen soveliaita kalliolohkoja on löydettävissä kaikilla viidellä tutkimusalueella. Loppusijoituspaikan kallioperä on syytä tutkia perusteellisesti, jotta rikkonaisuusvyöhykkeet voidaan ottaa huomioon loppusijoitustilaa rakennettaessa.

TVO-92 on kolmas käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuusanalyysi Suomessa. Aiemmat analyysit on julkaistu vuosina 1982 ja 1985. TVO-92 pohjautuu uusiin tekniisiin suunnitelmiin ja viidellä alueella suoritetun kallioperätutkimusten tuloksiin, joita on esitelty tämän lehden artikkeleissa. Turvallisuusanalyysissa on myös luonnollisesti pyritty hyödyntämään kaikki se uusi tieto, jota laaja koti- ja ulkomainen tutkimus on tuottanut vuoden 1985 jälkeen.

Kehitys- ja tutkimustyöhön sekä turvallisuusanalyysin lähtötietojen tuottamiseen on osallistunut useita tutkimuslaitoksia, korkeakouluja ja yrityksiä. Suomalaisista merkittävällä panoksella työhön ovat osallistuneet VTT, Geologian tutkimuskeskus, Helsingin yliopiston radiokemian laitos, Insinööritoimisto Saanio & Riekkola Oy, Fintact Ky, IVO sekä Outokumpu Poricopper Oy.

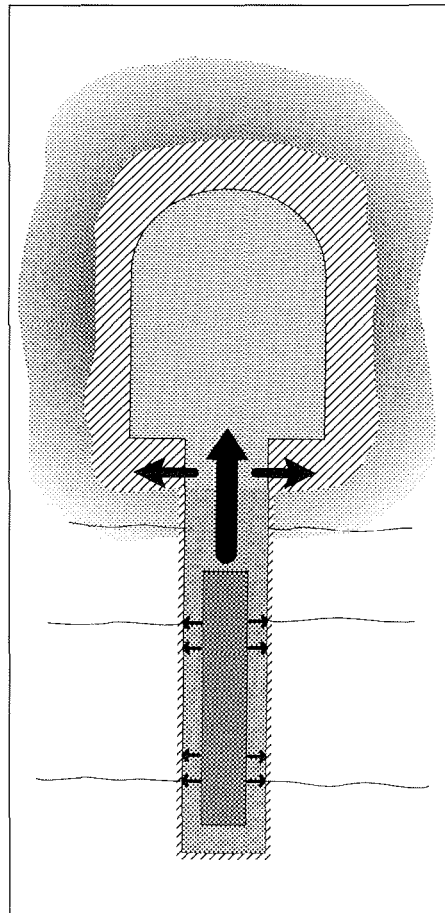
Tekijöiden tavoitteena on ollut laatia ymmärrettävä, läpinäkyvä ja helposti tarkastettava turvallisuusanalyysi, jossa on selkeästi esitetty kaikki käytetyt oletukset, laskentamallit ja lähtötiedot perusteluineen. Kansainvälistä arviointia varten turvallisuusanalyysiraportti (YJT-92-33) käännetään myös englanniksi. Analyysin

taustatiedot on esitetty erityisalojen specialistien laatimissa, valtaosin englanninkielisissä YJT-sarjan raporteissa.

Turvallisuusanalyysin tulosten tulee esittää hyvällä varmuudella taso, jota suurempia päästöt ja säteilyannokset eivät tule olemaan. Tämän vuoksi analyysin kaikissa vaiheissa on noudatettu johdonmukaisesti ns. konservatiivisuusperiaatetta: laskentatilanteet, mallit ja lähtötiedot on valittu siten, että haitat tulevat yliarvioituiksi. Loppusijoitusratkaisun todellinen toimintakyky onkin todennäköisesti paljon parempi kuin turvallisuusanalyysin tulokset osoittavat.

Loppusijoitusratkaisun toiminnan ja turvallisuuden analysointi on jaettu viidelle päätasolle:

1) Turvallisuusanalyysin perustapauksessa olosuhteet loppusijoitustilan lähiympäristössä on oletettu suunnilleen sen kaltaisiksi kuin ne nykyään ovat 500 metrin syvyydellä kallioperässä ja teknisen ratkaisun on oletettu toimivan suunnitellulla tavalla.



Massavirrat sijoitusreistä.

- 2) Kapselin käyttäytymistä koskeissa tarkasteluissa on selvitty kerrosrakenteisessa kupari-teräskapselissa tapahtuvia ilmiöitä ja massavirtoja sen jälkeen, kun kuparivaippa on jostain syystä vaurioitunut — esimerkiksi, jos kapselissa on jo alunperin pieni reikä laaduntarkastuksessa havaitsematta jääneen valmistusvirheen takia.
- 3) Vertailuskenaariossa (VS) on tutkittu muiden vapautumisesteiden kykyä estää ja rajoittaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Siinä on yksinkertaisesti oletettu, että kapselin kuparivaippa jostain syystä "häviäisi" kokonaan 10 000 vuoden kuluttua. Myös muut oletukset ja lähtötiedot ovat sellaisia, että vertailuskenaario suurella varmuudella yliarvioi päästöä ja siitä aiheutuvia annoksia. Vertailuskenaarioiden laskelmat on tehty yhden kapselin sisältämälle polttoaineelle.
- 4) Herkkyystarkastelu- ja poikkeustilanskenaarioissa on selvitty tarkemmin vertailuskenaarioiden keskeisten mallinusoletusten ja lähtötietojen vaikutuksia. Skenaarioissa on tarkasteltu muun muassa kapselin vaurioitumisajankohdan ja usean kapselin samanaikaisen vaurioitumisen vaikutuksia sekä on muunneltu pohjaveden virtaukseen, radionuklidien pidättymiseen ja geokemiallisiin olosuhteisiin liittyviä lähtötietoja. Lisäksi on tarkasteltu suuren loppusijoitustilaa leikkaavan kalliosiiroksen seurauksia.
- 5) Laskennallisia analyysejä täydentävät kvalitatiiviset epävarmuustarkastelut, joissa on selvitetty sellaisten ilmiöiden ja tapahtumien seurauksia, jotka eivät ainakaan itsestään selvästi ole tulleet katetuiksi vertailuskenaariossa tai sitä täydentävissä herkkyystarkasteluissa. Kvalitatiivisesti tarkasteltuja tekijöitä ja tapahtumia ovat pohjaveden sisältämät kolloidit, kompleksit ja mikrobit, kaasut, maanjäristykset, ikirouta ja jääkausi, sekä ihmisen tunkeutuminen loppusijoitustilaan.

Turvallisuusanalyysin laskelmien oikeellisuus on varmennettu käyttämällä useita eritasoisia ja rinnakkaisia laskentamalleja:

- Yksinkertaistetuilla "tupakka-askinkansimalleilla" voidaan karkeasti arvioida tulosten suuruusluokka.
- Analyttisillä malleilla saadaan matemaattisesti tarkka ratkaisu. Analyttisiä ratkaisuja pystytään kuitenkin kehittämään yleensä vain yksinkertaistetuille tilanteille.
- Numeerisilla tietokonemalleilla päästään varsin hyvään tarkkuuteen moni-

mutkaisissakin tilanteissa sekä pystytään myös ottamaan huomioon ilmiöiden ja prosessien vuorovaikutuksia sekä riippuvuutta ajasta.

Sijoituspaikasta riippuvat lähtötiedot on valittu siten, että kaikilta viideltä tutkimusalueelta voidaan löytää turvallisuusanalyysissa oletettua edullisempi ympäristö loppusijoitustilalle. Sijoituspaikkatutkimuksissa on analysoitu pohjaveden virtausta kaikilla viidellä tutkimusalueella. Turvallisuusanalyysissa on tehty yksityiskohtaisempia virtausanalyyskejä, joissa on tutkittu loppusijoitustilan vaikutusta pohjaveden luonnolliseen virtaukseen sekä virtaustilannetta loppusijoitustilassa, lähikalliossa ja tilaa mahdollisesti leikkaavissa rikkonaisuusvyöhykkeissä. Nämä yksityiskohtaiset analyysit on tehty Veitsivaaran tutkimusalueelle. Analyysia aloitettaessa keväällä 1991 sijoituspaikkatutkimukset ja niiden raportointi olivat edistyneet pisimmälle Romuvaarassa ja Veitsivaarassa. Esimerkkipaikaksi valittiin Veitsivaara, jota pidettiin mallinnuksen kannalta "haasteellisena" kohteena geometrisesti monimutkaisen ruhjerakenteensa vuoksi. Pohjaveden virtausanalyysissa tarkasteltu tapaus (U-putkivirtaus kahden loppusijoitustilaa leikkaavan rikkonaisuusvyöhykkeen kautta) ja lähtötiedot on valittu siten, että ne hyvin kattavat mahdolliset epäedulliset virtaustilanteet kaikilla tutkimusalueilla.

Ei mitään, ei koskaan

Mikäli loppusijoitustilan lähikallion oloissa ei tapahdu suuria muutoksia eivätkä merkittävät luonnonmullistukset osu juuri loppusijoitustilan kohdalle, säilyvät kupari-teräskapselit ehjinä miljoonien vuosien ajan eikä loppusijoitustilasta vapaudu koskaan merkittäviä määriä radioaktiivisia aineita. Kapselin kuparivaipan korrodoitumiseen kuluu kymmeniä miljoonia vuosia.

Kuparivaipan sisällä olevan terässylinterin ansiosta kapseli kestää myös jääkauden aikana mahdollisesti huomattavasti kohoavan pohjaveden hydrostaattisen paineen. Uraani ja muut aktinidit hajoavat vähitellen lyijyksi ja heliumiksi. Heliumkaasu voi aiheuttaa kapseliin sisäistä painetta. ACP-kapselissa on sen verran tyhjää tilaa, että sisäisen paineen nousu voi rikkoa kapselin aikaisintaan noin sadan miljoonan vuoden kuluttua.

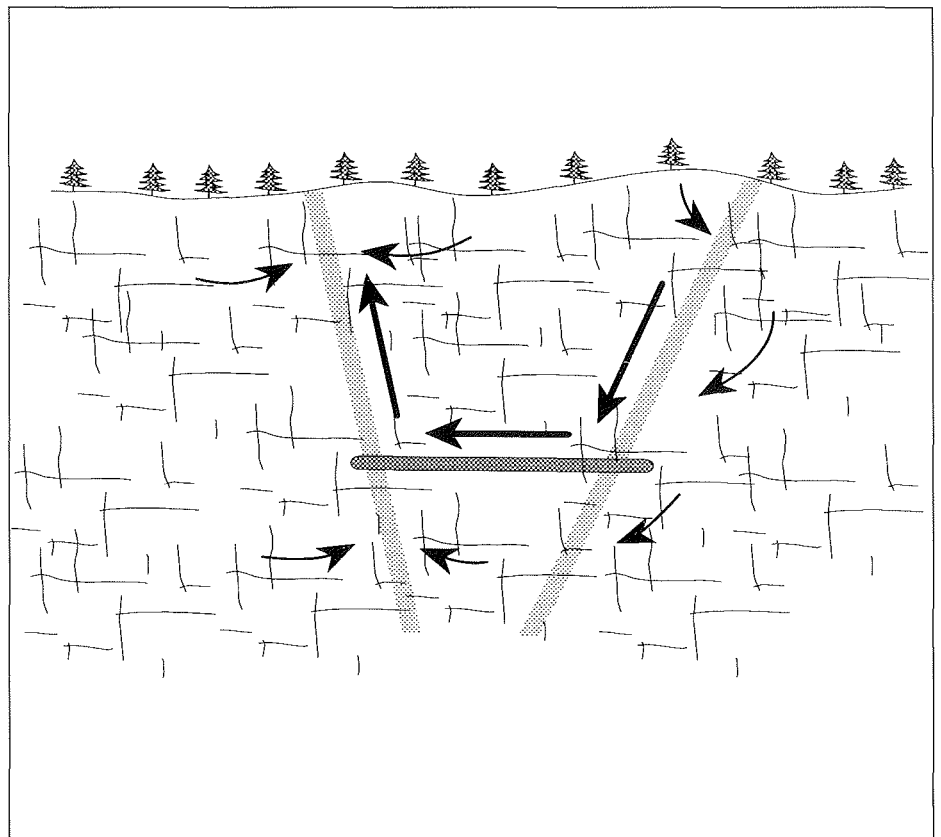
Mutta jos ... niin ei sittenkään

Kapselin kuparivaipassa oleva pieni reikä — esimerkiksi ultraäänitarkastuksessa havaitsematta jäänyt hitsivirhe — ei aiheuta radionuklidien äkillistä vapautumista eikä kapselin rakenteen nopeaa pettämistä. Reiän pieni koko rajoittaa merkittävästi pohjaveden diffundoitumista sijoitusreiän bentoniittitöytteen lävitse kapseliin sekä radionuklidien vapautumista sieltä. Myös kapselin suuri sisäinen huokostilavuus pienentää olennaisesti aktiivisuuden vapautumisosuuksia pienen reiän kautta.

Moniestejärjestelmän muiden vapautumisesteiden toimintakykyä on tutkittu turvallisuusanalyysin vertailuskenaariossa ja sitä täydentävissä herkkystarkasteluissa. Skenaariot ovat luonteeltaan "mitä jos" -tyyppisiä tarkasteluja. Vertailuskenaario on pelkistetty ja yliarvioi monin tavoin radionuklidien vapautumista biosfääriin. Kapselin kuparivaipan on yksinkertaisesti oletettu häviävän 10 000 vuoden kohdalla niin, ettei se lainkaan rajoita radionukli-

dien vapautumista. Loppusijoitustilasta on oletettu olevan suora ja nopea virtausreitti biosfääriin tilaa leikkaavaa rikkonaisuusvyöhykettä pitkin. Pohjaveden virtausajaksi loppusijoitustilasta biosfääriin on oletettu vain viisi vuotta. Herkkystarkasteluskenaarioissa keskeisiä mallinusoletuksia ja lähtötietoja on muutettu vieläkin pahemmiksi kuin vertailuskenaariossa.

Vertailuskenaariossa pitkäikäisten alfasäteilijöiden yhteenlaskettu vapautumisnopeus yhdestä vaurioituneesta kapselista biosfääriin on enimmillään noin 10 kBq/a eli 1/100000 -1/10000 säteilyturvallisuusvaatimusten mukaisesta ylärajasta koko loppusijoitustilalle. Muiden pitkäikäisten radionuklidien yhteenlaskettu vapautumisnopeus biosfääriin on ensimmäisen 10 000 vuoden aikana kapselin vaurioitumisesta keskimäärin noin 1000 kBq/a eli noin 1/10000—1/1000 säteilyturvallisuusvaatimusten mukaisesta ylärajasta. Pääosin polttoainesauvan kaasuaukosta äkillisesti vapautuvaksi oletetusta I-129:stä aiheutu-



Pohjaveden virtaus tapauksessa, jossa loppusijoitustilan vedenjohtavuus on suuri ja tilaa leikkaa kaksi hyvin vettä johtavaa rikkonaisuusvyöhykettä.

va annosnopeusmaksimi on 0,6 $\mu\text{Sv/a}$ pian 10 000 vuoden jälkeen. Enimmäisannosnopeus on noin 1/200 säteilyturvallisuusvaatimusten mukaisesta ylärajasta. Vertailuskenaariossa on oletettu, että 10 % jodista olisi helposti vapautuvassa muodossa polttoainesauvan kaasuaukossa, kun sen keskimääräiseksi kaasuaukko-osuudeksi arvioidaan vain noin 1 %.

Kapselin vaurioitumisajankohta ei vaikuta olennaisesti tuloksiin. Lyhytikäisiä fissiotuotteita (Sr-90, Cs-137) tai alfasäteilijöitä (Pu-238, Pu-241, Am-241), jotka al-

kuvaiheessa muodostavat huomattavan osan käytetyn polttoaineen aktiivisuudesta, ei pääse merkittävässä määrin biosfääriin, vaikka kapseli vaurioituisi pahoin heti loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen. Pidättyminen sijoitusreiän täyteaineessa ja kallioperässä viivästyttää aineiden vapautumista sen verran, että aktiivisuus ehtii laskea vähäiseksi ennen niiden pääsyä biosfääriin. Varhaisenkin kapselivaurion tapauksessa enimmäisannosnopeus aiheutuu pääosin kaasuaukon I-129:stä, joten se riippuu vain vähän kapselin vaurioitumisajankohdasta.

Suuren loppusijoitustilaa leikkaavan kalliosirroksen ja jäätikön sulamisvesistä aiheutuvien hapettavien olojen seurauksia on selvitetty postglasiaalisen kalliosirroksen skenaarioissa. Näissä PG-skenaarioissa on oletettu, että

- sijoitusreikää leikkaava kalliosirros rikkoo kapselin 10 000 vuoden (PG-skenaario) tai 1 000 vuoden kuluttua (PG3-skenaario) loppusijoitustilan sulkemisesta,
- kallioperässä vallitsevat hapettavat olot,
- loppusijoitustilasta on hyvin nopea virtausreitti biosfääriin siten, että pohjaveden virtausaika on vain yksi vuosi.

Aikaisin ajankohta, jolloin skenaariossa oletetun kaltainen tilanne — suuri kalliosirros ja jäätikön sulamisvesistä aiheutuvat hapettavat olot kallioperässä — voisi syntyä on itse asiassa vasta noin 30 000 vuoden päässä tulevaisuudessa. PG-skenaarioissa sekä pohjaveden virtaukseen että kemiallisiin olosuhteisiin liittyvät häiriöt kallioperässä on oletettu pysyviksi. Skenaarioissa ei ole otettu huomioon pohjaveden voimakkaasta virtauksesta ja jäätikön sulamisvesistä aiheutuvaa pitoisuuksien suurta laimentumista kallioperässä ja biosfäärissä. Enimmäisannosnopeus vaurioitunutta kapselia kohden on noin 20 $\mu\text{Sv/a}$, kun postglasiaalisen kalliosirroksen oletetaan tapahtuvan 10 000 vuoden kuluttua. Enimmäisannosnopeus olisi noin kaksinkertainen, mikäli kalliosirros tapahtuisi jo 1 000 vuoden kuluttua. Mikäli 1 000 vuoden kohdalla tapahtuva kalliosirros vaurioittaisi kerralla kaikki yhdessä tunnelissa olevat noin 60 kapselia ja kallioperään samalla syntyisivät hapettavat olot, olisi aiheutuva enimmäisannosnopeus noin 2 mSv/a eli alle puolet luonnon säteilyn aiheuttamasta annosnopeudesta. Taustasäteilyn tasoa olennaisesti suurempia annosnopeuksia voisi koitua vain, jos suuri loppusijoitustilaa leikkaava kalliosirros tapahtuisi jo muuttaman kymmenen tai sadan vuoden sisällä loppusijoitustilan sulkemisesta. Voimistuva pohjaveden virtaus saattaisi nimittäin kuljettaa biosfääriin myös suhteellisen lyhytikäisiä fissiotuotteita Sr-90 ja Cs-137, joiden molempien puoliintumisaika on noin 30 vuotta.

Ripaus realismia

Turvallisuusanalyysin "realistisessa" skenaariossakin kapselin on oletettu häviävän jo 10 000 vuoden kohdalla, mutta pohjaveden virtausta ja radionuklidien vapautumista ja pidättymistä kuvaaville lähtötiedoille on käytetty vertailuskenaari-

VS	Vertailuskenaario
	- kapseli "häviää" 10 000 vuoden kuluttua
	- pelkistävät olot kallioperässä ja lähialueella polttoaineen pintaa lukuunottamatta
	- pohjaveden virtausaika biosfääriin (t_w) 5 vuotta
	- 2 % kaivoon
VS3	Kapseli "häviää" 10^3 vuoden kuluttua
VS5	Kapseli "häviää" 10^5 vuoden kuluttua
VS6	Kapseli "häviää" 10^6 vuoden kuluttua
LR	Realistinen lähialue
VR	Realistinen pohjaveden virtaus ($t_w = 25$ a)
PR	Realistiset K_d -arvot kallioperässä
RRR	Realistinen lähialue, pohjaveden virtaus ja K_d -arvot
BK	100 % suoraan kaivoon
BM	100 % suoraan mereen
S1	Suolaisen pohjaveden geokemia, mutta makean pohjaveden virtaus ($t_w = 5$ a)
S2	Suolaisen pohjaveden geokemia ja virtaus ($t_w = 100$ a)
VO	"Oikosulkuvirtaus" ($t_w = 1$ a)
LM	Maksimiliukoisuudet Pu:lle, Np:lle ja Am:lle
KK	VO & LM
LH	Hapettavat olot lähialueella
HH	Hapettavat olot lähialueella ja kallioperässä
PG	(Postglasiaalinen) kalliosirros 10^4 vuoden kohdalla
PG3	(Postglasiaalinen) kalliosirros 10^3 vuoden kohdalla
	- siirros leikkaa sijoitusreikää ja rikkoo kapselin
	- pelkistävät olot kapselin kohdassa, hapettavat olot bentoniitissa ja kallioperässä
	- "oikosulkuvirtaus" ($t_w = 1$ a)

Taulukko 1. Herkkyystarkasteluskenaariot

riota realistisempia arvoja. Pitkäikäisiä alfasäteilijöitä vapautuu biosfääriin tällöin vain mitättömän vähän. Muiden pitkäikäisten radionuklidien yhteenlaskettu vapautumisnopeus biosfääriin on enimmilläänkin alle 100 kBq/a eli alle 1/100000 -1/10000 säteilyturvallisuusvaatimusten mukaisesta ylärajasta koko loppusijoitustilalle. Annosnopeusmaksimi on noin 0,003 $\mu\text{Sv/a}$ eli noin 1/30000 säteilyturvallisuusvaatimusten mukaisesta ylärajasta. Realistinen arvio kaikkien kapselien samanaikaisen vaurioitumisen aiheuttamasta enimmäisannosnopeudesta on noin 3 $\mu\text{Sv/a}$ eli noin 1/2000 luonnon sä-

teilyn aiheuttamasta annosnopeudesta. Annosnopeus olisi noin kaksinkertainen eli noin 1/1000 luonnon säteilyn aiheuttamasta annosnopeudesta, jos kaikkien kapselien oletettaisiin vaurioituvan kerralla jo 1000 vuoden kohdalla.

Miksei

Odotettavissa oloissa kupari-teräskapseli on käytännöllisesti katsoen täydellinen este radioaktiivisten aineiden vapautumiselle. Kapselin vaurioituessa muut tekniset ja luonnolliset vapautumisesteet pystyvät

hidastamaan päästöjä merkittävästi. Tärkeimmät päästöjä rajoittavat tekijät ovat:

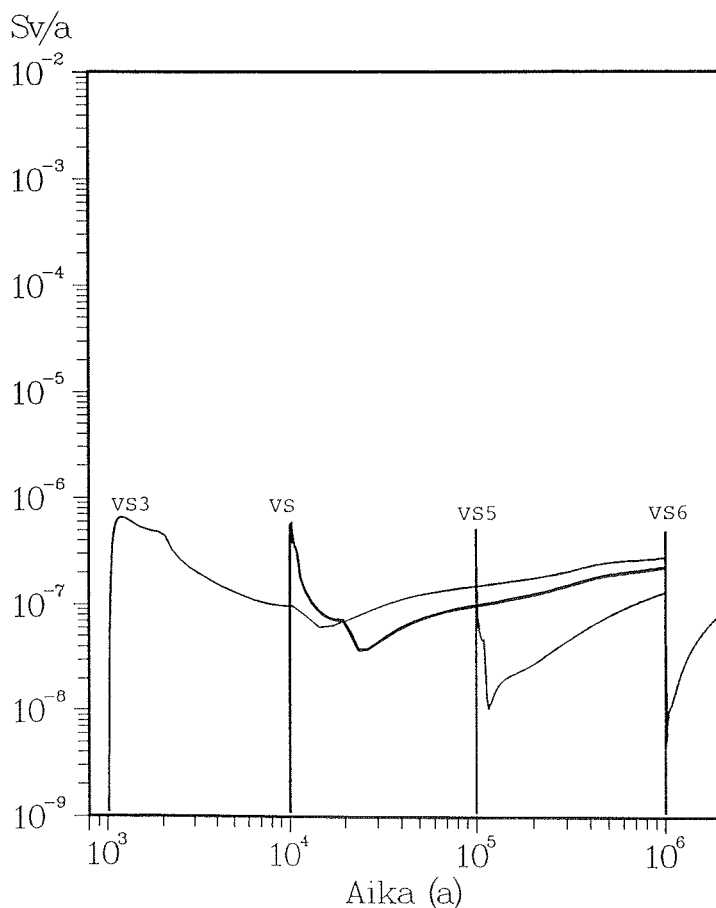
- jätteen kiinteä olomuoto, sekä käytetyn polttoaineen ja useiden radioaktiivisten aineiden niukka liukoisuus pohjaveteen,
- kapselin raudan kemiallinen puskurikapasiteetti pohjaveden sisältämiä ja säteilyn aiheuttamassa radiolyysissä syntyviä hapettavia aineita vastaan,
- sijoitusreiän täyteaine, joka joustavasti eristää kapselin kalliosta ja rajoittaa sen kanssa kosketuksiin pääsevän pohjaveden määrää sekä pidättää kapselista vapautuvia aineita,
- pohjaveden vähäinen virtaus syvällä kallioperässä,
- pelkistävät kemialliset olot syvällä kallioperässä,
- aineiden pidättyminen ja pitoisuuksien laimentuminen kallioperässä.

Ohjeita rakentajille

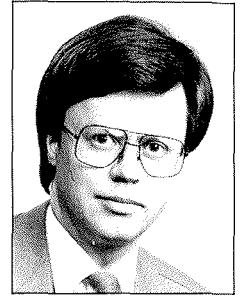
Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus ei edellytä mitään ainutlaatuisia ominaisuuksia sijoituspaikan kallioperältä. Olennaista on, ettei kapselita sijoiteta kallioperän suuriin rikkonaisuusvyöhykkeisiin, joissa pohjaveden virtaus on voimakkaampaa ja kalliosierrosten todennäköisyys on suurempi kuin ruhjeiden ulkopuolelle jäävässä kalliiossa. Turvallisuusanalyysin ja sijoituspaikkatutkimusten ja tulokset osoittavat, että loppusijoitustilan sijoittamiseen soveliaita kalliolohkoja on löydettävissä kaikilla viidellä tutkimusalueella. Loppusijoituspaikan kallioperä on kuitenkin syytä tutkia perusteellisesti, jotta rikkonaisuusvyöhykkeet voidaan ottaa huomioon loppusijoitustilaa rakennettaessa. Jatkotutkimusten varhaisessa vaiheessa tutkimusalueilta tulisi valita ehdolle paikat, joihin loppusijoitustila voidaan rakentaa. Yksityiskohtaisissa tutkimuksissa voidaan sitten keskittyä selvittämään näissä kalliolohkoissa olevien rikkonaisuusvyöhykkeiden sekä lohkoja rajoittavien paikallisten ruhjeiden ominaisuuksia sekä pohjaveden virtausta ja kemiallista laatua.

TkL Timo Vieno on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion erikoistutkija, p. 456 5066.

Annosnopeus VS, VS3, VS5, VS6



Kapselin vaurioitumisajankohdan vaikutus annosnopeuteen
 VS3: kapseli "häviää" 10^3 vuoden kohdalla
 VS: kapseli "häviää" 10^4 vuoden kohdalla (VS = vertailuskenaario)
 VS5: kapseli "häviää" 10^5 vuoden kohdalla
 VS6: kapseli "häviää" 10^6 vuoden kohdalla
 (VS6-skenaariota lukuunottamatta laskenta on katkaisu 10^6 vuoden kohdalla).



Varat rahastoidaan ydinjätehuollon tuleviin kustannuksiin

Ydinjätteen tuottajan on vastattava kaikista ydinjätehuollon kuluista aina siihen saakka, kunnes ydinjätteet on turvallisesti loppusijoitettu ja huolehtimisvelvollisuus täytetty. Jätehuoltoon kerätään varat jo ydinvoimaloiden toimiesä. Tämän vuoksi tarvitaan etukäteen yksityiskohtaiset kustannusarviot myös kaukana tulevaisuudessa suoritettaville toimille. Arviot tehdään nykypäivän tilanteelle: paljonko jätehuollon toteutus maksaisi, jos toimiin ryhdyttäisiin välittömästi nykYTEKNIKALLA ja hoidettavana olisi nykyinen jättemäärä? Kasvavasta jättemäärästä, hintatason muuttumisesta ja muista mahdollisista syistä aiheutuvat muutokset otetaan varautumisessa huomioon tarkistamalla arviot vuosittain.

Ydinennergialaki lähtee siitä, että ydinennergian tuottajan on kerättävä voimalaitoksen hyötykäytön aikana varat kaikkiin ydinjätehuoltokustannuksiin. Varat rahastoidaan valtion ydinjätehuoltorahastoon. Varat on oltava koossa viimeistään 25 vuoden kuluttua siitä kun ydinvoimalaitos on aloittanut sähkön tuotannon.

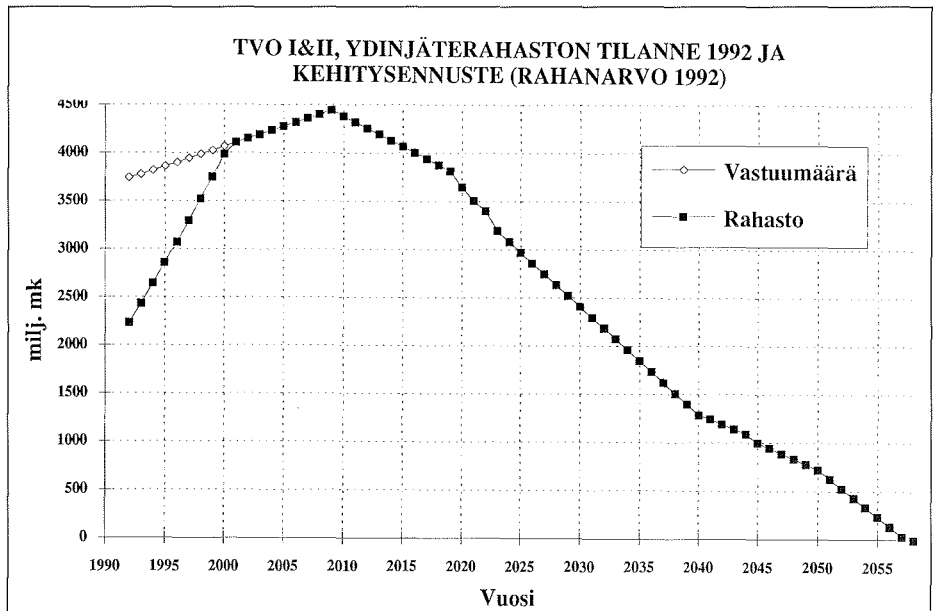
TVO:lla kattava rahasto

Teollisuuden Voima Oy:n (TVO) suorittama varojen rahastointi tarjoaa hyvän esimerkin ydinennergialain mukaisesta suomalaisesta varautumisperiaatteesta. TVO:n rahastointi kattaa Olkiluodon ydinjätehuollon kaikki osa-alueet, eli käytetyn polttoaineen huollon, matala- ja keskiaktiiviset voimalaitosjätteet sekä laitosyksiköiden käytöstäpoiston ja siihen liittyvän jätehuollon.

Vuosittain TVO esittää kauppa- ja teollisuusministeriölle kustannusarvion ao. ajankohtaan mennessä tuotetun ydinjätteen tulevista huoltokustannuksista. Arviointiin sisältyy myös laitosyksiköiden purkaminen. Näin laskettua kustannusarviota kutsutaan vastuumääräksi. Vuodenvaihteessa 1992/93 TVO:n kahdelle laitosyksikölle vahvistettu vastuumäärä oli 3743,7 miljoonaa markkaa.

Ministeriö päättää kunkin vuoden vastuumäärän ja kumulatiivisen sähköntuotannon perusteella, minkä verran ydinjäte-rahastossa on oltava varoja. Mitä kor-

den käyttöikäen perustuvat kokonaiskustannukset, maksaa käytetyn polttoaineen loppusijoitus noin 2,7 miljardia. Tästä investointien eli kapselointilaitoksen ja loppusijoitustunneliston rakentamisen osuus on vajaa miljardi. Olkiluodon kahden laitosyksikön purkamisen jätehuolto-



keampi ydinvoimalaitoksen käyttökerroin on, sitä nopeammin varat kertyvät rahastoon. Käytännössä Suomen ydinvoimalaitosten nykyisillä käyttökerroilla ydinjäte-rahasto saavuttaa täyden arvonsa noin 20 vuodessa. Siihen asti puuttuva osuus katetaan valtiolle annettavilla vakuuksilla.

TVO:lla koossa yli 2 miljardia

Tällä hetkellä TVO:lla on rahastossa varoja 2236,3 miljoonaa markkaa. Oheisessa kaaviossa on esitetty ennuste varojen kertymiselle tulevaisuudessa. Sen mukaan rahasto saavuttaa vastuumäärän vuoden 2000 tienoilla. Nykyiseen rahanarvoon ja ydinjätehuollon aikatauluun perustuva laskelma osoittaa, että TVO:n rahasto nousee korkeimmillaan noin 4,5 miljardin tasolle. Rahaston määrä siis kasvaa sitä mukaa kuin jättemäärä kasvaa ja vähenee sitä mukaa kuin jätehuoltolaitosten rakentaminen ja loppusijoitustoiminta etenee.

Suurimmat menoerät Olkiluodon ydinjätehuollossa aiheutuvat käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta ja laitosyksiköiden käytöstäpoistosta. Jos tarkastelun kohteeksi otetaan — toisin kuin rahastoinnissa sovellettava periaate — 40 vuo-

toimiseen on laskettu maksavan noin 850 miljoonaa.

Jätehuollon kustannusvaikutus

Kun arvioidaan Olkiluodon ydinjätehuollon kokonaiskustannukset alusta loppuun ja verrataan niitä suoraan vastaavaan sähköntuotantoon, saadaan koko ydinjätehuollon kustannusvaikutukseksi noin 1,3 p/kWh.

Ydinjätehuollon kustannusarvioita laadittaessa arvioihin sisällytetään erilliset lisät, joilla katetaan erityisesti pitkälle tulevaisuuteen ulottuvien toimien kustannuksiin liittyvät epävarmuudet. Näiden epävarmuuslisien suuruus on tyypillisesti noin 20%. Lisävarmuutta rahaston kattavuuden kannalta tuo se periaate, että tulevia kustannuksia ei saada ollenkaan diskontata, jolloin pienikin reaalikorko kasvattaa rahaston suuremmaksi kuin ydinjätehuollon kustannukset edellyttäisivät.

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

Palmutun uraaniesiintymästä ydinjätteen tietoa loppusijoitukseen

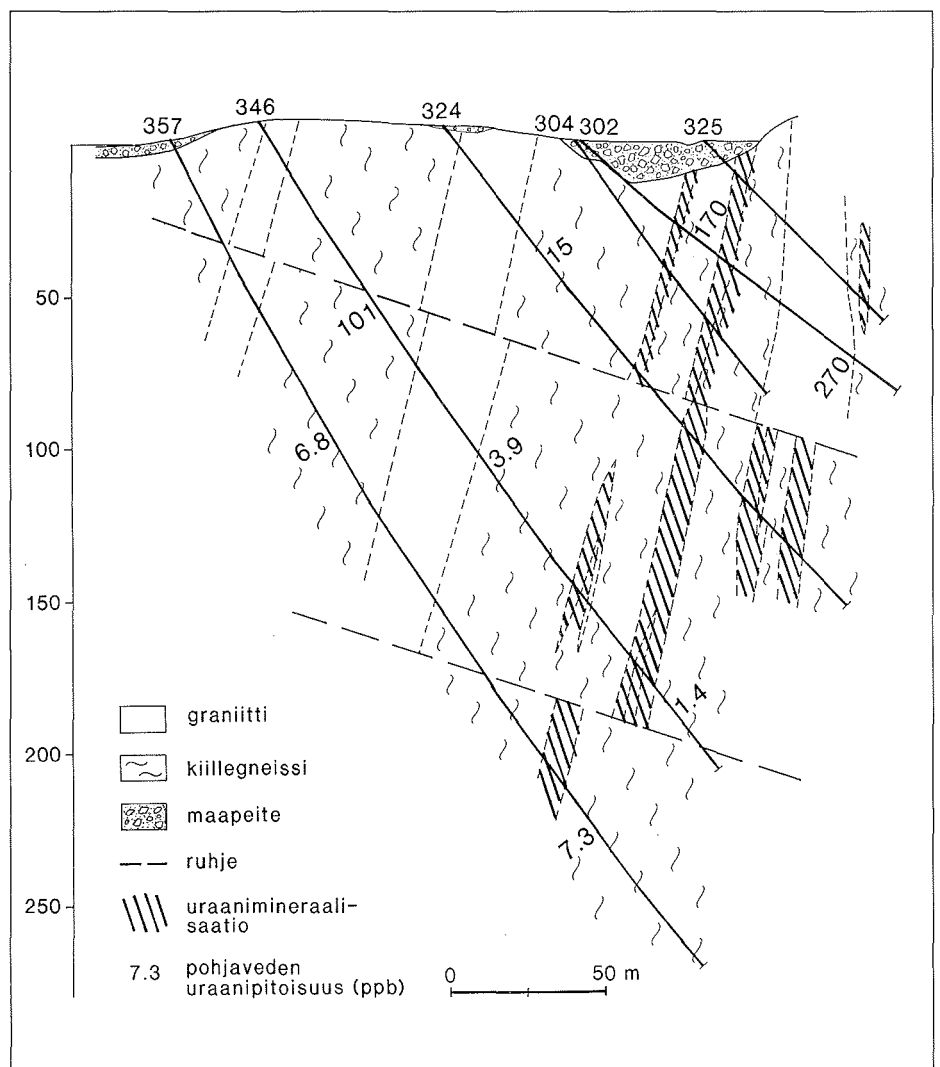
Ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuus varmistetaan monin toisiaan täydentävin vapautumisestein, joiden toimintaa tutkitaan ja jäljitellään sekä laboratoriokokeiden että matemaattisten mallien avulla. Korkea-aktiivisen ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuusanalyysissä otetaan huomioon myös tilanne, jossa teknisten vapautumisesteiden peittäessä uraanidioksidipolttoaine joutuu kosketukseen kalliassa olevan pohjaveden kanssa. Nummi-Pusulan Palmotussa tutkitaan luonnon uraanin käyttäytymistä ja kulkeutumista kallioperässä analogiana ydinjätteen loppusijoitustilasta kallioperään ja pohjaveteen mahdollisesti vapautuneiden radionuklidien käyttäytymiselle.

Palmutun luonnonanalogiatutkimus käynnistyi lyhyen esiselvityksen jälkeen vuonna 1988. Jo vuosikymmenen alussa oli Geologian tutkimuskeskus tehnyt alueella malmitutkimuksia, mutta löydetty uraani-thorium-esiintymä todettiin liian pieneksi taloudellisesti hyödynnettäväksi. Malmitutkimusten yhteydessä uraanimineralisaatioon kairatut useat kymmenet kairareitit ja niistä saadut kairasydännäytteet tekivät kuitenkin analogiahankkeen vaatimat näytteenotot ja mineraalitutkimukset mahdollisiksi. Tutkimuksen ensimmäisellä nelivuotiskaudella rahoittajana toimi kauppa- ja teollisuusministeriö, jossa tutkimus kuuluu energiasaston rahoittamaan JYT-ohjelmaan (julkisrahoitteinen ydinjätetutkimus). Vuoden 1992 alussa alkoi pääosin Säteilyturvakeskuksen rahoittama kolmivuotinen jatkotutkimusvaihe. Tutkimus toteutetaan eri alojen asiantuntijoiden välisenä yhteistyönä, johon osallistuu tutkijoita Geologian tutkimuskeskuksesta, Helsingin yliopiston radiokemian laitokselta, Teknillisen korkeakoulun insinööргеologian laboratoriosta, sekä VTT:n reaktori-laboratoriosta, ydinvoimatekniikan laboratoriosta ja tie-geo- ja liikennetekniikan laboratoriosta. Myös kansainvälisen yhteistyön osuus hankkeessa on lisääntymässä.

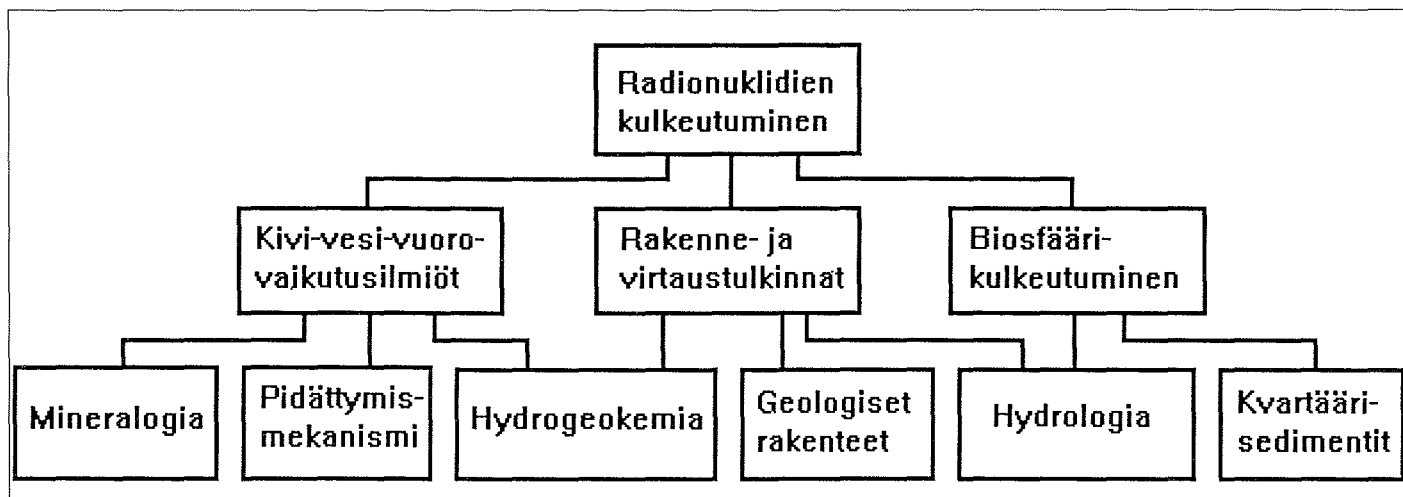
Palmuttu-tutkimuksen keskeinen päämäärä on tuottaa tietoa, jonka avulla voidaan entistä paremmin ennustaa ja arvioida radionuklidien käyttäytymistä kiteisessä kallioperässä. Vaikka eri puolilla maailmaa on toteutettu useita suuria kansainvälisiä luonnonanalogiahankkeita, on suomalaisen analogiatutkimuksen merkitys ymmärretty jo Suomen rajojen ulkopuolellakin. Fennoskandian prekambriin kiteinen kallioperä eroaa monilta kulkeutumisilmiöiden kannalta merkittäviltä ominaisuuksiltaan selvästi niistä kivilajeista, joita muissa luonnonanalogia-kohteissa tutkitaan. Ydinjätteen loppusijoitusratkaisun pitkäaikainen toimivuus on tunnettava myös nykyisestä poikkeavissa olosuhteissa, esimerkiksi viimeai-

kaisten jääkausien vaikutukset kallioperään ja kalliopohjaveteen tulee voida arvioida. Palmotun uraaniesiintymää voidaan tässä käyttää apuna tutkimalla edellisen, noin 10,000 vuotta sitten päättyneen jäätiköitymisen mahdollisia vaikutuksia rakojen avautumiseen ja radionuklidien kulkeutumiseen esimerkiksi rakomineraalien perusteella. Jääkauden jälkeisenä aikana kalliosta biosfääriin kulkeutuneen uraanin määrää pyritään arvioimaan tutkimalla sedimenttimaalajeja, kuten turvetta, savea ja järvenpohjalietettä.

Radionuklidien kulkeutumiseen kallioperässä vaikuttavat toisaalta kiven ja veden välinen vuorovaikutus radionuklidien



Geologinen poikkileikkaus Palmotun U-Th esiintymästä. Lähellä maan pintaa uraanipitoisuudet pohjavedessä voivat ylittää jopa 100 µg/l, kun taas syvemmällä kallioperässä pelkistävimmässä olosuhteissa liuenneen uraanin pitoisuudet ovat tyypillisesti alle 5 µg/l. Hiukan kaarevat, lähes yhdensuuntaiset viivat ovat kairareikiä.



Palmutun luonnonanaloghankkeen tutkimuskaavio. Radionuklidien kulkeutumiseen kallioperässä vaikuttavat toisaalta kiven ja veden väliset vuorovaikutusilmiöt, toisaalta kalliopohjaveden liike.

vapautumis- ja pidättymisilmiöineen sekä toisaalta kalliopohjaveden liike.

Kiven ja veden välinen vuorovaikutus

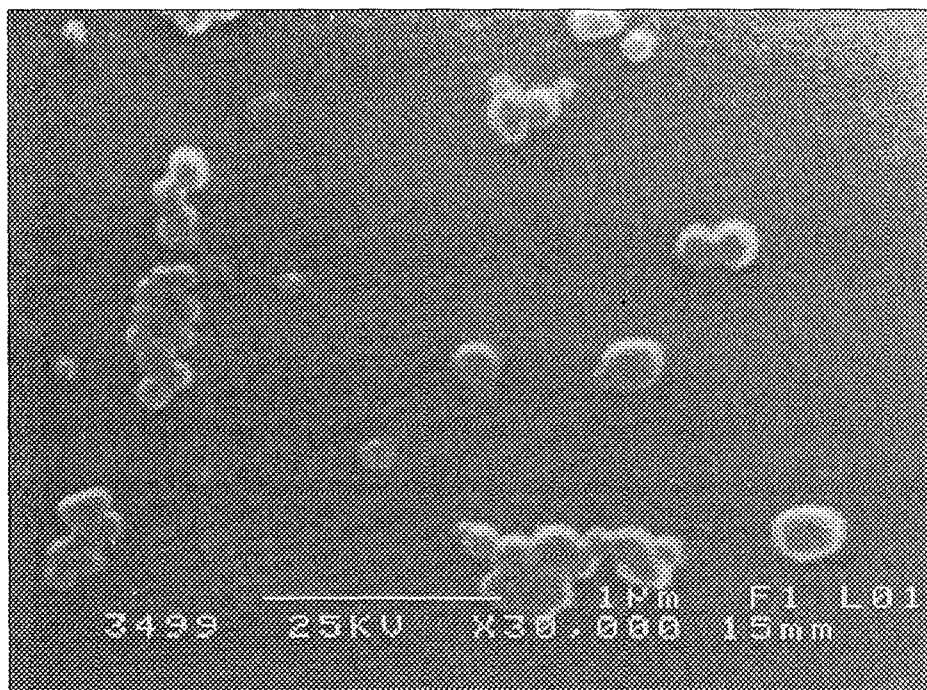
Tutkimushankkeen alusta lähtien kalliopohjaveden koostumus on ollut keskeinen tutkimusaihe. Lievästi suolaista vettä (kokoainosuolaisuus n. 1 g/l) on tavattu useista näytteenottorei'istä, joista pisimmät ulottuvat noin 200 metrin syvyyteen. Veden koostumuksessa on kuitenkin todettu huomattavaa vaihtelua eri näytteenottopaikkojen välillä. Suolojen on tulkittu liunneen veteen pääasiassa pitkäaikaisessa kiven ja veden välisessä vuorovaikutuksessa. Kalliopohjaveden uraanipitoisuus lähellä maanpintaa hapettavissa olosuhteissa voi olla jopa yli 100 µg/l, syvemmällä kallioperässä pelkistävässä olosuhteissa uraani on valtaosalta niukasti veteen liukenevassa pelkistyneessä muodossaan ja pohjaveden uraanipitoisuus on tyypillisesti alle 5 µg/l.

Kalliopohjaveden ja siihen liunneen uraanin hapetustilan mittaukset ovat tärkeä osa Palmottu-tutkimusta. Saadut tulokset ovat tarkentaneet tietoa kalliiossa ja pohjavedessä mahdollisesti tapahtuvista hapetus-pelkistysilmiöistä sekä uraanin geokemiallisesta käyttäytymisestä kalliopohjavesissä. Uraanin liukoisuuteen vaikuttavat myös pohjavedessä olevat epäorgaaniset ja orgaaniset kompleksinmuodostajat. Erityisesti kolloidisessa muodossa (ø 2 nm — 500 nm) esiintyvien orgaanisten yhdisteiden tutkimus aiheuttaa suuria vaatimuksia näytteenottotekniikalle, näytteen käsittelylle ja analytiikalle. Kolloidi-

tutkimuksen alustavat tulokset osoittavat, että epäorgaanisia kalsiumkarbonaattirikkaita partikkeleita on runsaasti, mutta myös viitteitä orgaanisista yhdisteistä on.

Keskeinen tutkimuskohde on myös pohjaveden liunneen uraanin pidättäminen kalliioon. Tähän liittyen on tutkittu yksityiskohtaisesti kalliion rakojen täytäminkaareja, joissa paikoin on korkeita uraa-

nipitoisuuksia. Erityisen merkittävä uraania sitova rakomineraali on kalsiitti, joka yleensä on kemiallisessa tasapainossa pohjaveden kanssa. Veteen liunnut uraani saattaa myös kulkeutua raosta kalliioon kiven mikrorakoja ja huokoisuutta seuraten. Tämä matriisidiffuusioksi kutsuttu ilmiö hidastaa uraanin leviämistä ympäristöön. Palmottun näytteissä uraanin on voitu todeta edenneen muuta-



SEM-kuva Palmottun kalliopohjavedestä tavatuista kolloidisista (ø 2 nm — 500 nm) kalsiumkarbonaattirikkaista partikkeleista. Partikkelit ovat mahdollisia radionuklidien kantajia.

man senttimetrin matkan rakopinnalta ehjään kallioon päin. Sekä matriisidiffuusiota että kiven ja veden välistä kemiallista vuorovaikutusta on lisäksi myös tulkituttu matemaattisten mallien avulla.

Kalliopohjaveden liikkuminen

Alustavien hydrologisten selvitysten perusteella muutaman kymmenen kuutiometrin vesimäärä lävistää päivittäin Palmotun uraaniesiintymän yläosan. Kalliopohjaveden virtausreittien selvitys muodostaakin oleellisen osan Palmotun luonnonalogiahankkeen tämän vaiheen tutkimuksista. Tavoitteena on kartoittaa pohjaveden virtausreitit keskeisessä osassa Palmotun esiintymää ja pyrkiä määrittämään näiden hydraulisia ominaisuuksia, jotta tutkimuskohteella voitaisiin toteuttaa hallittu, virtaussuunnat ja -ajat huomioonottava vesi- ja radiokeemiallinen näytteenotto. Tällaisen näytteenoton tuloksia tullaan jatkossa käyttämään Palmotun luonnonalogiahankkeen päätavoitteen — radionuklidien nykyisen vapautumisen ja kulkeutumisen — arvioimiseen.

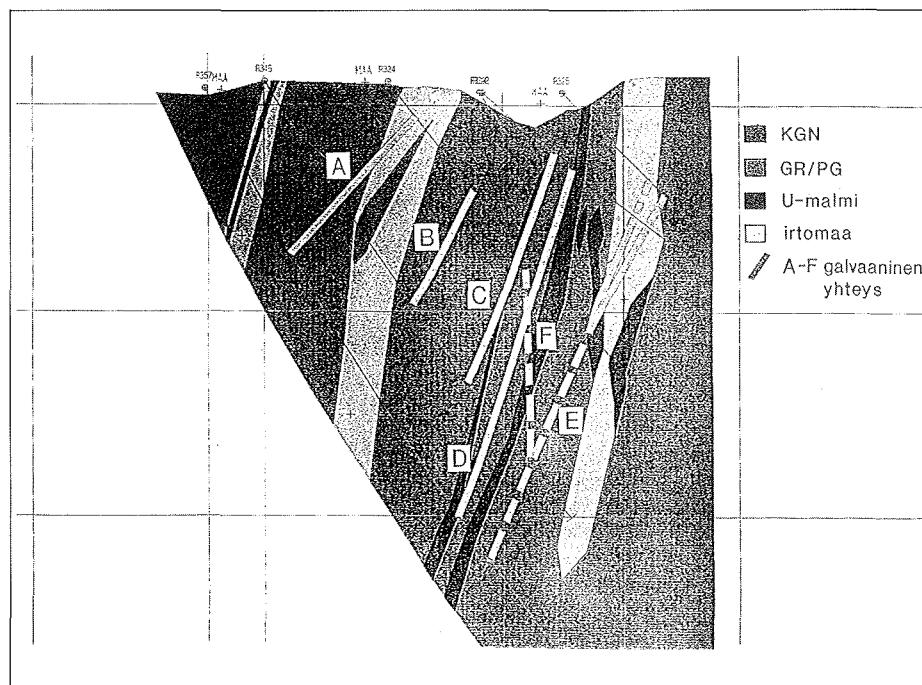
Pohjaveden virtausreitit ja -ajajat kontrolloivat ensinnäkin kallion rakoilu ja ruuhjeet. Tämän vuoksi määritettiin aluksi Palmotun

kaikkien kairareikien rakoilutiheydet. Potentiaalisia rakoilyhteyksiä kartoitettiin sähköisten geofysikaalisten menetelmien avulla, mutta arvioidut hydrauliset yhteydet joudutaan viime kädessä kuitenkin varmistamaan mittavien hydrologisten testien.

Analogiatutkimuksen hyödyntäminen

Koko geologisen historiansa ajan eli noin 1750 miljoonan vuoden ajan Palmotun uraaniesiintymä on pysynyt nykyisellä paikallaan ja sen tärkein alkuperäinen uraanimineraali uraniniitti (UO_2 , uranidioksidi) on vain osaksi muuttunut alemman lämpötilan mineraaleiksi. Tällöin osa uraanista on vapautunut ja siirtynyt pohjaveteen. Palmotun esiintymän huomattavan pitkä ikä huomioon ottaen on uraanin vapautuminen uraniniitista kuitenkin ollut varsin hidasta, tai vapautumista on tapahtunut vain rajattuina aikoina, kun geologiset olosuhteet ovat muuttuneet voimakkaasti aiemmin vallinneista olosuhteista. Nykyinen maanpinnan eroosiotaso leikkaa Palmotun uraaniesiintymän, jolloin sen maanpintaa lähellä oleva osa on selvästi hapettavissa olosuhteissa kun taas esiintymän syvällä olevat osat ovat pelkistävissä olosuhteissa. Jatkotutkimukset tulevat osoitta-

maan, miten voimakkaasti kallioperän yläosan nykyiset hapettavat olosuhteet voivat edistää uraniniitin uraanin vapautumista. Toisaalta saataneen myös huomattavasti lisätietoja niistä luonnon omista mekanismeista, joiden vaikutuksesta pääosa esiintymän uraanista on pysynyt alkuperäisessä isäntämineraalissaan koko geologisen historiansa aikana. Saatuja tietoja voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa loppusijoitustilasta mahdollisesti vapautuvan uraanidioksidipolttoaineen liukenemista ja sen pitkäaikaiskäyttäytymistä kiteisessä kallioperässä.



Sähköisin menetelmin määritettyjä mahdollisia hydrologisia yhteyksiä (A—F) yhdessä Palmotun tutkimusprofiileista.

TkL Runar Blomqvist on Geologian tutkimuskeskuksen erikoistutkija, p. 90-46932469.

FL Lasse Ahonen on Geologian tutkimuskeskuksen tutkija, p. 90-46932522.

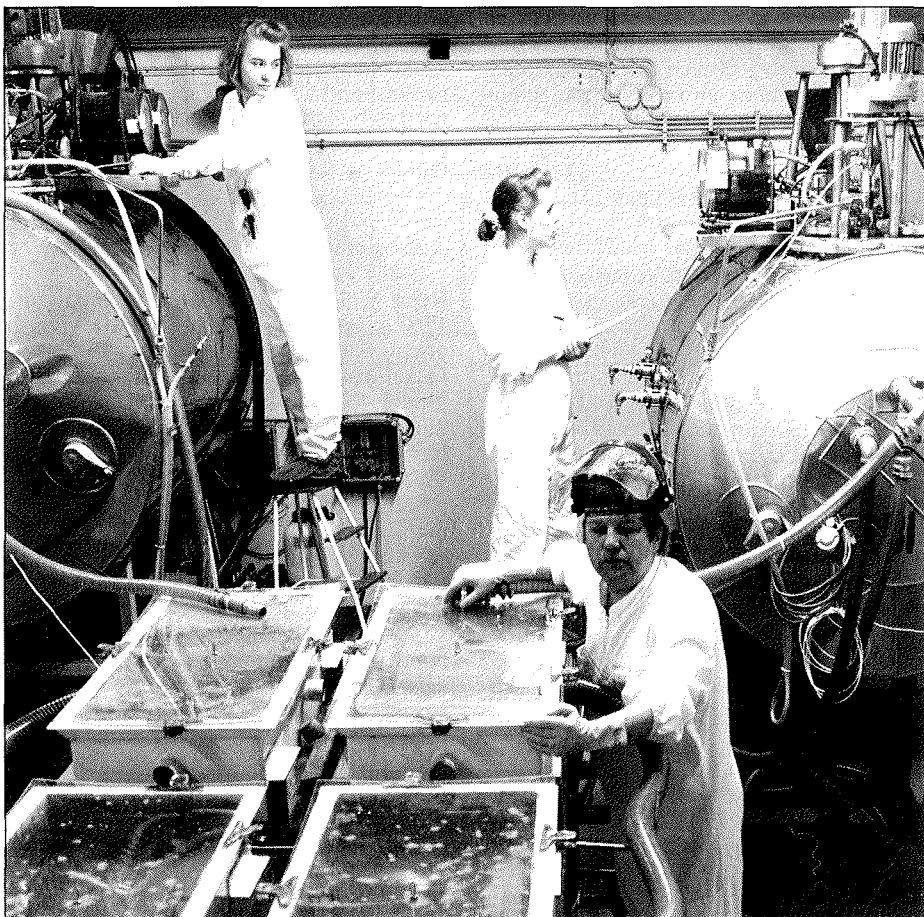
Mikrobiologinen keskiaktiivisen ioninvaihtohartsin käsittely yhdistettynä selektiiviseen Cs-erotukseen Loviisan voimalaitoksella.

Loviisan voimalaitokselle on 28 käyttövuoden aikana kertynyt noin 200 m³ käytettyjä ioninvaihtohartseja aktiivivesien puhdistamisen yhteydessä. Näitä ioninvaihtohartseja pidetään keskiaktiivisena jätteenä, millä perusteella ne on loppusijoitettava asianmukaisiin loppusijoitus-tiloihin. Hartsien loppusijoitus edellyttää esimerkiksi betonointia, joka moninkertaistaa loppusijoitustilavuuden, vaikka suuresta aktiivisuusmäärästä huolimatta, itse loppusijoitustuotteen materiamäärä on vähäinen.

Vuodesta 1982 aloitettiin selvitykset orgaanisen palavan voimalaitosjätteen käyttäytymistä loppusijoitustiloissa — mahdollisen räjähtävän kaasun muodostumisen mikrobitoiminnasta ja sen mahdollisesti aiheuttamasta räjähdysvaarasta. Selvitettävä asia käännettiin päälaelleen ja alettiin tutkia mahdollista mikrobiologista hajottamista ennen loppusijoitusta, jolloin saataisiin sekä jätteen tilavuudenpienennys ja samalla poistettaisiin mahdollinen räjähdysvaara.

Vuonna 1985 käynnistettiin laboratorio-kokeilu yhdessä HYRL:in kanssa. Kokeilussa tehtiin selektiivinen Cs-erottaminen aktiivivesistä laboratorioskaalassa. Työ, joka pilot-plant kokeiden kautta johti täysimittaisen laitteiston rakentamiseen. Vuosien 1991—1992 aikana puhdistettiin laitteistolla noin 250m³ aktiivista haihdutinjätettä niin, että se voitiin vapauttaa valvonnasta ja laskea mereen.

Vuonna 1986 heräsi ajatus hajoittaa ioninvaihtohartsit mikrobiologisesti kaasuksi ja vedeksi samalla vapauttaen pitkäikäinen aktiivisuus vesifaasiin, josta se voitaisiin erottaa esimerkiksi ioninvaihdolla. Näin saataisiin todellinen tilavuudenpienennys, joka voisi olla monisatakertainen verrattuna prosessoimattomaan loppusijoitusmenetelmään.



Erikoistutkija Risto Järnström on johtanut Loviisan voimalaitoksella mikrobiologiseen hajoitukseen tähtääviä tutkimuksia jo usean vuoden ajan. Assistentit Kirsi Koistinen (vas.) ja Minna Lindström ruokkivat bakteerit ja kirjaavat ylös prosessiolosuhteet.

Ioninvaihtohartsit

Ydinvoimalaitoksilla käytetään yleensä kemiallisessa mielessä kahta ioninvaihtohartsityyppiä:

akryyli- ja styreeni-divinylbentseenirunkoisia. Ne ovat kestumuoveja ja ne on pyritty kehittämään resistentiksi erilaisille ulkopuolisille vaikutteille, kuten lämpötila, kemikaliot j.n.e.

Tähän runkorakenteeseen on liitetty n.s. funktionaalisia ryhmiä, anionisia tai kationisia, joihin aktiivivesissä olevat ionit voivat tarttua, puhdistaa näin vedet, jotka kulkevat ioninvaihdinjärjestelmän kautta. Eri järjestelmissä käytetään joko raemaisia — raekoko noin 0,5 mm — tai jauhettuja hartseja — hiukkaskoko noin 40 mikrometriä.

Loviisan aktiivivesien puhdistukseen käytetään pelkästään raemaisia hartseja, kun taas uudemmissa laitoskonsepteissa siirrytään yhä enemmän jauhartseihin. Lo-

viisan ioninvaihtimet, joita on aktiivivesipuhdistuksessa parisenkymmentä laitosyksikköä kohden, voidaan myös elvyttää, mutta elvytyksestä luovuttiin ensimmäisten polttoainevuotojen ilmettyä. Loviisan kummatkin laitosyksiköt tuottavat vuosittain yhteensä noin 20 m³ jätehartsia, jota väliarastoidaan jäterakennuksessa oleviin 300 m³ säiliöihin. Aikanaan nämä hartsit tullaan kiinteyttämään betoniin ennen loppusijoitusta. Lopullisella käsittelymenetelmällä ei ole Loviisassa kiire, sillä runsaasti välisäilöntätilaa on vielä käyttämättä.

Mikrobioprosessi

Kun idea hajoittaa ioninvaihtohartseja mikrobeilla vuonna 1986 syntyi oli perusajatuksena olettaen, että kaikki orgaaninen materiaali hajoaa ajanmittaan, kysymys on vain aikatekijästä. Luonnossa muovit ovat näyttäneet olevan hyvinkin

vaikkeasti hajoavia ja siksi on ruvettu kehittämään esimerkiksi pakkausmuoveja, jotka hajoavat helpommin. Pakkausmuoveihin lisätään komponentteja, jotka nopeuttavat bakteritoimintaa hajoamisprosessissa. Kaikki orgaaniset hajoamisprosessit luonnossa ovat pääasiassa mikrobin — joko anaerobisten tai aerobisten — aikaansaannoksia. On vain löydettävä synergismiä olosuhteissa, jotta halutut hajoamisprosessit nopeutuivat.

Laboratoriokokeet

Ioninvaihtohartseilla vuonna 1986 aloitetut laboratoriokokeet osoittivat heti, että biologinen hapenkulutus (BOD) oli harvinaisen korkea. Toinen toteamus oli, että mikrobiologinen regenerointi oli helppo aikaansaada ioninvaihtohartseissa. Tämä tarkoittaa, että n.s. funktionaaliset ryhmät on helppo hajoittaa mikrobin avulla, jolloin hartseissa oleva aktiivisuus vapautuu nestefaasiin, josta se on erotettavissa ioninvaihdolla. Mutta meidän tavoitteemme oli mikrobiologisesti hajoittaa koko hartsimatriisi kaasuksi ja vedeksi. Ioninvaihtohartsit ovat ihanteellisia siinä mielessä että niiden kemiallinen rakenne on erittäin homogeeninen, tuhkaosuus on alle 0,1 % ja ne voi täysin hajottaa kaasuksi ja vedeksi vapauttaen aktiivisuuden vesi-faasiin, josta se esimerkiksi ioninvaihdolla voidaan erottaa. Tällainen erotusprosessi on kehitetty rinnakkain mikrobioprosessien kanssa ja se on nyt täysmittakaavaisessa käytössä Cs-erotuksessa haihdutinjäteliuoksista.

Pilot-plant kokeet

Kesällä 1988 käynnistettiin pilot-plant kokeet kahdella 1,5 m³ reaktorilla. Aluksi valittiin anaerobinen menetelmä ioninvaihtohartsien hajoittamiseksi. Menetelmä, joka oli näyttänyt lupaavalta pienimittakaavaisissa kokeissa. Laittekehityksessä tehtiin paljon työtä, jotta saataisiin aikaan teknisesti joustava prosessi, mutta myös monta fysikaalis-kemiallista esikäsittelyä sovellettiin synergian saavuttamiseksi ja prosessin optimoimiseksi. Mikrobit näihin kokeiluihin valittiin luonnollisessa esiintyvistä spektristä. Mikrobeja ruvettiin adaptoimaan olemassaolevaan ympäristöön ja tehtäviin. Kaikella elollisella on yhteisiä ominaisuuksina: elonjääminen ja lisääntyminen. Tähän tarvitaan "rakennos" ja energiaa. Saadakseen kumpaakin komponenttia mikrobit voidaan "pakottaa" tekemään melkein mitä vain.

"Syö tai kuole" -periaate

Syö tai kuole on yksi pääperiaatteista mikrobin kouluttamisessa. Muutaman vuoden testien ja mikrobin "kiusaamisen" sekä erilaisten olosuhteiden kombinaatioilla alettiin saada lupaavia tuloksia. Opittuamme tärkeitä asioita mikrobin käyttäytymisessä aloimme vähitellen saada stökiometrisiä kaasumääriä suhteessa syötettyyn ruokamäärään. Yksi hyvin tärkeä oivallettu tekijä olivat pinta-aktiiviset voimat jauhetujen hartsien pinoilla. Nämä voimat repelloivat mikrobit ja siksi mikrobiaktiiviteetti oli aluksi matala. Myöhemmin tutkimusten aikana lisättiin useita uusia prosessinosa, kuten aerobinen vaihe hajoamisen optimoimiseksi sekä saannon parantamiseksi.

Tähän hetkeen mennessä on syötetty yli 1 m³ ioninvaihtohartsia yhteen reaktoriin, jonka liuostilavuus on 1,5 m³. Hartsi-jäännös on nyt pienempi kuin 10 % alkuperäismäärästä ja laskettu puoliintumisaika tässä prosessissa on 7–10 päivää. Reaktorimitoitusta varten on laskettu kapasiteetiksi 1–2 kg hartsia kuutiometriä kohti vuorokaudessa.

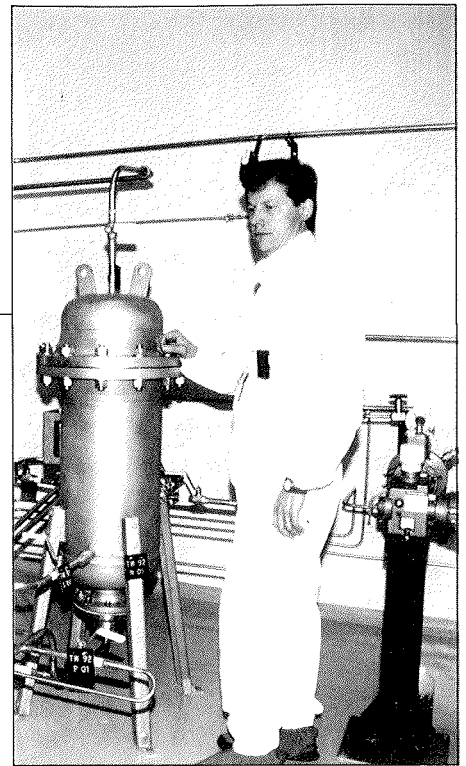
Mikrobioprosessin eduista

Kun vertaamme mikrobioprosessia hartsien polttamiseen tai "wet-ox"-prosessiin löysimme monta etua mikrobioprosessissa. Muiden prosessien ongelmana on rajut prosessiolosuhteet, kuten lämpötila, väkevät kemikaalit ja aktiiviset poistokaasuongelmat. Mikrobioprosessissa olosuhteet ovat hyvinkin miedot ja muodostunut kaasu on inaktiivista ja se voidaan joko polttaa tai johtaa sellaisenaan suoraan ulkoilmaan.

Cs-erotusprosessi yhdistettynä mikrobioprosessiin

Loviisan Voimalaitoksen jätehuoltoselvityksen yhteydessä on kehitetty selektiivinen Cs-erotusprosessi aktiivisten haihdutusjäännösten puhdistamiseksi, niin että ne voidaan vapauttaa kokonaan valvonnasta ja laskea mereen. Prosessi perustuu epäorgaaniseen ioninvaihtimeen, heksasyanoferraattiin, jonka valmistusmenetelmän kehittivät HYRL:ssä lähinnä Dosentti Jukka Lehto ja FK Risto Harjula. Laboratorio- ja pilot-plant kokeissa saavutettiin erotuskertoimia lähelle 10000 Cs-137:lle.

Jos katsotaan mikrobeilla hajotettua hartsia, niin sen dominoiva aktiivikomponentti Loviisan tapauksessa on Cs-137, jonka puoliintumisaika on noin 30 vuotta. Kun Cs-137 voidaan erottaa mikrobi-



Insinööri Asko Paavola kesiumerotuslaitteiston vieressä.

liuoksesta, saadaan huomattavasti "kesympi" liuos, joka mahdollisen jatkokäsittelyn jälkeen voidaan vapauttaa valvonnasta ja taten huomattavasti vähentää loppusijoitustilarvetta ja säästää "puhdasta rahaa".

Jatkotoimia

Parin viime vuoden aikana, kun tuloksia on julkistettu ollaan saatu kansanvälistäkin huomiota. Kyselyjä yhteistyöstä, on tullut m.m. Ruotsista, Saksasta, USA:sta, Etelä-Koreasta, Japanista j.n.e., lähinnä teollisuusmaista joissa on ydinvoimateollisuutta, mutta kiinnostusta on löytynyt myös konventionaaliseen käyttöön: jätemuovien ja hartsien kompostointiin. Tällä hetkellä on meneillään soveltuvuustutkimus erään potentiaalisen yhteistyökumppanin kanssa, jonka edustajat ovat useaan otteeseen käyneet tutustumassa laitteistoihin. Heidän ratkaisujaan odotellaan lähiaikoina. Itse jatkotutkimus, kuten laitosuunnittelu sekä mikrobin identifiointi ja puhtaaksiviljely odottaa mahdollisten yhteistyökumppaneiden lähiaikoina tehtäviä ratkaisuja.

Viitejulkaisut:

1. Microbiological Treatment of Radioactive Waste Ion-Exchange Resin, Risto Järnström, IEX-92, Cambridge 1992, U.K.

2. Industrial Scale Removal of Cesium with Hexacyanoferrat Exchanger — Process Realization and Test Run, E.H.Tusa, A.Paavola, R.Harjula, J.Lehto. (To be published).

FM Risto Järnström toimii asiantuntijana Loviisan voimalaitoksella, p. 915-550 3730.

The Nucleus in Finland — the second report

The Finnish Nuclear Society (FNS) started the distribution of the Nucleus bulletin at the beginning of 1988. The volume of distribution has been extended since, including today nearly 1,000 persons. Both the English and the Finnish version of the bulletin is sent to various opinion leaders of society, i.e. the members of the parliament, ministries, the media, representatives of industry and other decision-makers of the energy field.

After the five-year history of the Nucleus in Finland, it is time to look back and sum up the present status of the Nucleus. This report gives a short summary concerning the present distribution and its efficiency, the experiences gained and the influence of the bulletin in Finland.

The first questionnaire was sent in November 1988, and the survey was repeated among the Finnish readers of the Nucleus in autumn 1992. The results of the latter survey are given in this report.

COSTS

After the initial investment of the first year (1988), the annual costs of the bulletin have been quite stable and reasonable, thanks to the created translation, printing and distribution arrangements. In 1992, the translation, printing and distribution costs of the Nucleus totalled some FIM 30,000. Compared with the total costs of 1988, FIM 34,000, the sum has decreased, despite the extended volume of distribution.

VOLUME OF DISTRIBUTION AND TARGET GROUPS

In autumn 1992, the distributed number of copies of Nucleus 4/92 was 945, against 658 in autumn 1988 (Nucleus 5/88). In 1992, the volume of distribution is almost 1,000 copies, i.e. up by nearly 300 copies within the past five years.

The target groups are the same as five years ago, but the composition of the target groups has changed.

Table 1 shows that the greatest increase in the volume of distribution is within the group "decision-makers in the energy field, and representatives of trade and industry", which has increased to be fourfold against the volume in 1988, being the largest group of addressees today. The volumes of other groups are nearly unchanged.

It should be remembered that the media group comprises all type of journalists, including TV, newspapers, magazines and political journalists. The volume of this group is almost unchanged.

PROBLEMS OF DISTRIBUTION

Sometimes the updating of the distribution lists has caused even major problems, and the result has not always been quite satisfactory.

The Nucleus has been addressed in Finland to a certain person/certain persons within a company or a community. Changes in addresses and employees are not always received by the person in charge of the distribution list. Sometimes he is informed that the person has left the company, but the name of the new holder of the office is not given.

The list has been updated to a substantial extent, and efforts have been made to eliminate overlappings. The list is intended to be kept in real time and appropriate, by using lists of members published

by the various associations, for example. This requires continuous alertness and voluntary work within the distributing organization.

OPINION SURVEY IN 1992

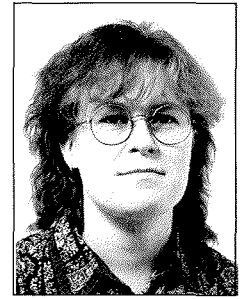
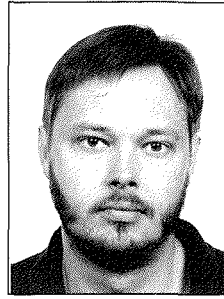
As in 1988, an opinion survey was sent to addressees of the Nucleus along with issue 4/1992. The content of the questionnaire was identical with that of 1988, with the exception of one new question: Question No. 4. The information given in the Nucleus is reliable.

The questionnaire was sent along with issue 4/92 of the Nucleus in the form of a postcard. The mail also included a letter telling about the survey, its purpose and importance of the feedback for future development of the bulletin.

Of the 945 sent cards, 199 were returned to the FNS within a month. The answering percentage was 21.1, against 20.2 in 1988 (133 cards out of 658). This shows that the proportion of received answers is about the same in both surveys. Certain inaccuracy in the results is caused by the fact that some Government ministers are at the same time members of the parliament and have received two copies of the questionnaire.

Appendix 1 illustrates with pie diagrams the division of answers to the above questions in per cents. In each case, the upper pie shows the distribution of answers in 1992, and below the corresponding distribution of 1988 is given as reference material.

TARGET GROUP	NUMBER	PERCENTAGE, %
Finnish parliament members	200 (200)	21.2 (30.4)
Political parties	7 (11)	0.7 (1.7)
Government ministers and officials	68 (75)	7.2 (11.4)
Media (journalists)	132 (133)	14.0 (20.2)
Decision-makers in the energy field, and representatives of trade and industry	421 (100)	44.6 (15.2)
PR managers in the Finnish industry	117 (139)	12.4 (21.1)
TOTAL	945 (658)	100 (100)



Question No. 7 of the card: "Other comments on the Nucleus" was answered by 54 readers, i.e. 27 % of the people who returned the card (1988 this percentage was 29).

ASSESSMENT OF THE ANSWERS

Comparison of the surveys of 1988 and 1992 indicates that in each question the percentage distribution of opinion is almost identical! As stated above, also the answering percentage is almost unchanged, around 20.

Answers in 1992

The numbers of answers to questions 1, 2 and 3 are almost the same. Most of the repliers consider the Nucleus news to be useful and interesting; they also consider it good that the text has been translated into Finnish. The percentages of "I agree" answers were around 80, while somewhat less than 20 % answered "Hard to say".

As to question 4 concerning reliability of the Nucleus information, 58 % consider the information to be reliable, while as many as 36 % answered "Hard to say". There is some uncertainty about this point!

Among the repliers, 43 % read the Nucleus and 55 % scan it. It is obvious that attention is paid to the Nucleus, as almost all the repliers, 98 %, notice the Nucleus in one way or another.

About 40 % of the repliers file each copy of the Nucleus, while about 40 % throw it away, which shows that there is a certain "either or" situation in the filing. Few repliers, 9 %, file certain copies, and 6 % circulate it in the company.

THE TRANSLATOR'S WORD (Kristina Halme-Tapanainen)

Maybe I have been "brainwashed" by the Nucleus leaflet, but, anyway, I feel that during the last few years there has been a change in Nucleus for the better. Somehow, it seems to include more objective information than at the beginning. Today, it comments opponents' statements in a more positive spirit than before, which I feel to be a good feature, increasing the sense of credibility.

Another novelty is the inclusion of "soft" information, rather than mere technical facts: how people feel about nuclear power, why they are afraid of it, and whether there is objective basis for such fear. This is an excellent point, as most of the opponents' reasoning seems to go along emotional lines.

I felt that the justification of nuclear power with environmental aspects was very clever, as this takes the sting out of the opponents' criticism, at least to some extent. It also shows that we are not afraid of speaking about the most delicate issues (which also include the horror word Chernobyl).

The language of Nucleus is rather easily comprehensible to ordinary people, to laymen. You don't need to be a technical genius to understand the text.

In the long term, Nucleus has reported on news about Finland quite often, which should make it particularly interesting for the Finns.

Of course, my major headaches concerning Nucleus are linguistic. I may have learned something about the "shop jar-

gon" during the past five years, but, apart from this, it seems to me that the language of Nucleus has changed somewhat to be more everyday language, easier to understand for everybody.

All my opinions about Nucleus seem to be positive. Maybe I have become too much of an "insider"; I just noticed that I used the word "we" somewhere above!!! This indicates how convincing Nucleus is.

THE NUCLEUS IN THE MEDIA

Below, some examples are given of the way the Finnish media has used the Nucleus as a source.

The first example is taken from the magazine called Suomen Kuvalehti, issue No. 33, published on 14 August 1992. This magazine is one of the most prominent non-specialized magazines in Finland. Suomen Kuvalehti reports under the subtitle of Science & Technology on a news about fast breeder reactors. The article is a short description of the development of fast breeder reactors using the Nucleus as the source of information.

QUESTION	ANSWER			
	<i>I agree</i>	<i>No</i>	<i>Hard to say</i>	<i>I disagree</i>
	<i>comment *)</i>			
1. The Nucleus includes useful information	156	4	33	6
2. The news in the Nucleus is interesting	150	7	36	6
3. It is good that the text is translated into Finnish	153	4	28	14
4. The information given in the Nucleus is reliable	117	7	71	4
	<i>I read it carefully</i>	<i>I scan it</i>	<i>I do not read at all</i>	
5. How do I read the Nucleus	86	110	3	
	<i>I file for future use</i>	<i>Internal circulation</i>	<i>I file certain copies</i>	<i>I throw it away</i>
6. How do I file the Nucleus	82	11	18	88

Another example is taken from the magazine called *Energia*, issue No. 2/1992. This magazine is mainly for the experts in the energy field. In this issue, it comments on the positive opinion change in the Club of Rome about the use of nuclear power. This is reported both in the editorial and under the subtitle "energy politics". Reporting on this news was a real success for the Nucleus, because the Nucleus was the first one to release this news in Finland. Afterwords, this statement by the Club of Rome concerning energy politics was discussed widely throughout the Finnish media.

CONCLUSION

The similar results received in the surveys of 1988 and 1992 indicate that the Nucleus is useful to its readers. Another point is whether the Nucleus in its present form is utilized in an optimal way. In future, it is necessary to consider extension of the scope of distribution to various directions to serve the purpose of the Nucleus in a more appropriate way.

EXAMPLES OF THE READERS' COMMENTS NUCLEUS SURVEY 1992

- + GOOD; OK; Useful; Topical; Reliable; Clear; Good luck!
 - + Suitable length (concise) even for a busy reader; concise style
 - + Just the type of factual information that is needed
 - + Interesting and useful information about important and discussed issues
 - + Finnish translation important for the politicians, good translation
 - + Nicely popularized information
 - + Good to know about the nuclear situation worldwide
- Typography should be more interesting
 - Maximum matter-of-fact style, concise, boring
 - Too many highly positive news, more neutral news
 - Negative news should be published
 - Apostolic repeating of the same points, more concrete news
 - Propagandistic touch
 - Offers distorted and emphasized information, more objectivity
 - Text sometimes full of bathos

- A (slight) difference in the nuances between the original and the Finnish text
- Suitable subtitle: "Partial organ of nuclear power"

- ! More illustrative material (pictures etc.)
- ! Please report on the opponents' campaigns giving justifications and comments, not by ridiculing or underestimating you can afford it
- ! Company publications in the field of technology should be included in the list of distribution
- ! Summaries of the volume of nuclear power in the world, nuclear power output figures, load factors and other statistics
- ! Summaries of opponents' comments should be given without the interference of the editorial staff

DI Jorma Aurela toimii Loviisan voimalaitoksella turvallisuusinsinöörinä. Hän on ATS:n kansainvälisten asioiden sihteeri ja ENS:n Steering Committeeen jäsen. Aurela siirtyy 1.6.1993 ENS:n palvelukseen Berniin, p. 915-550 3040.

Tekn.yo. Virpi Korteniemi toimii LTKK:ssa ydintekniikan vt. assistenttina, p. 953-5711.

KTM, Kristina Halme-Tapanainen toimii kääntäjänä, IVO-yhtiöiden palveluyksikön kääntäjäryhmässä, p. 90-5084074.

Ydinenergia-alan tiedottajien kansainvälinen merkkitapahtuma PIME '93 järjestettiin 31.1.-3.2.1993 Karlovy Varyssa, Tshekkien tasavallassa. Vaikka järjestäjänä on European Nuclear Society (ENS), PIME-kokouksien osallistujat ovat ympäri maailmaa. Tällä kertaa osallistujia oli 120, Euroopan lisäksi Japanista, Kiinasta, Koreasta, Taiwanista, Australiasta, Yhdysvalloista ja Kanadasta. Koska kokous pidettiin Karlovy Varyssa, itäisestä Keski-Euroopasta oli paikalla ennätysmäärä osanottajia. Ydinenergiaa käytettävästä maailmasta oikeastaan vain Intiasta ja Etelä-Amerikasta puuttui edustus.

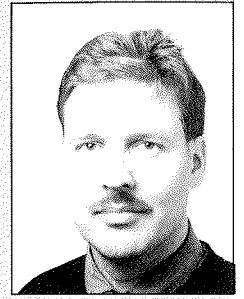
Kokous oli järjestetty ohjelmaltaan keskustelevalle siten, että jokaisen session jälkeen esitelmöitsijät koottiin paneeliin kysymyksiä ja kommentteja varten. Keskustelussa kävi ilmi entistä selvemmin, että ongelmat ydinenergia-alan tiedotuksessa ovat kaikkialla maailmassa samankaltaisia. Tämä siitä huolimatta, että eri maiden kulttuurit, elinkeinoelämän rakenne ja kehitystaso vaihtelevat merkittävästi.

Kaikkialla ydinenergian julkista hyväksytävyyttä varjostavat kolme tuttua kysymystä: ydinvoimalaitosonnettomuudet, ydinjätteiden loppusijoitus ja ydinaseiden leviäminen. Myös ratkaisumallit ovat samoja: koulutus, tiedotus, kirjallisuus, messut, näyttelyt, laitosvierailut ja mainokset. Keinot painottuvat eri tavalla ajankohdasta ja maasta riippuen.

PIME'93 -kokouksessa kiteytyi muutamia havaintoja, joihin ei aiemmin oltu kiinnitetty yhtä paljon huomiota:

Mainonta on vartenotettava vaihtoehto ydinenergiatiedotuksessa

Mainontaa on ehkä turhaan vierastettu sen takia, että siihen liittyy pelko leimautumisesta ihmisten manipuloijiksi suurella rahalla. Mielipidetiedustelut eivät kuiten-



Ei ydinvoimasta aina tarvitse puhua vakavalla naamalla

kaan tue tätä käsitystä vaan enemmistö piti mainontaa asiallisena ja oikeastaan luonnollisena osana yritysten toimintaa.

Huumoria pitää käyttää enemmän

Energia-ala ja voimalaitosmiehet mielle-tään yleisön keskuudessa sangen ryppyot-saisiksi ja kankeiksi. Heihin on vaikea samaistua varsinkin, jos informaatio si-sältää aina lukuja, taulukoita ja käsittä-mättömiä termejä. Vakuuttavuus ei kärsi huumorista, päin vastoin. Viestin ymmär-täminen helpottuu, kun kuulija havaitsee insinöörilläkin olevan tunteuksia ja hauskoja ajatuksia.

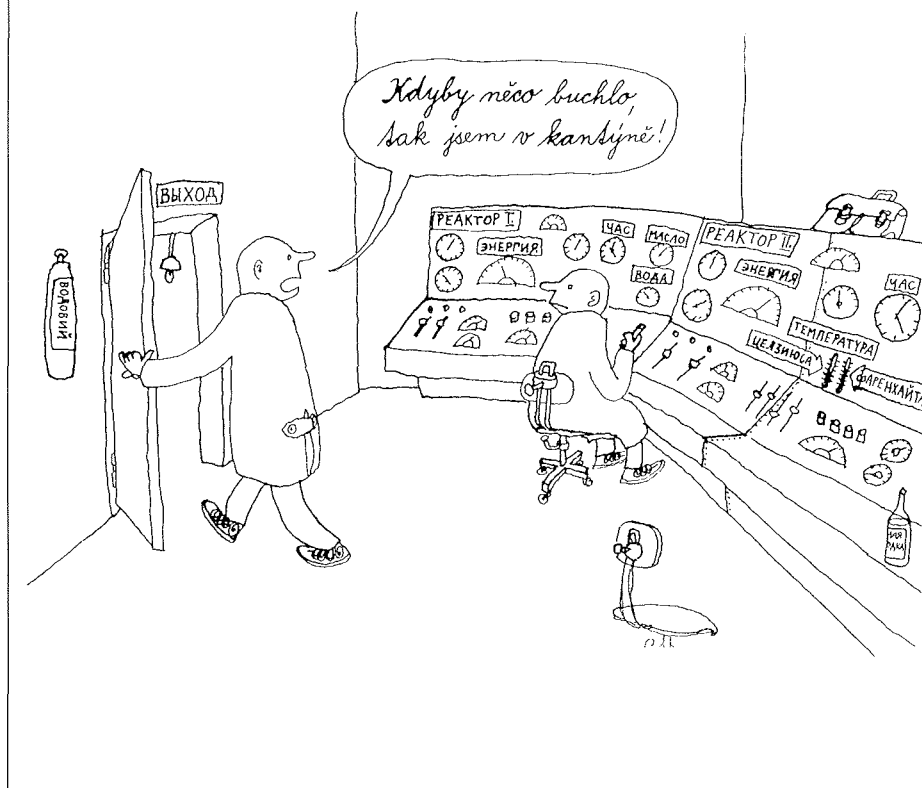
Ydinenergia pitää arkipäiväistä

Ydinenergian yllä leijuva mystiikan kaa-pu on riisuttava. Vaikka onkin hienoa kertoa redundanssista ja diversiteetistä, ihmisten epäilykset heräävät pelkästä mo-nimukaisuudesta. Ydinreaktorin tehtävä on harvinaisen yksinkertainen: veden kuumentaminen.



PIME 93 seminaarin puheenjohtaja Juhani Santaholma ojentaa palkinnon "Parhaan painotuotteen palkinnon" voittaneelle Prahan Ydininformaatiotoimiston Jaroslav Blazekille.

*If anything explodes, I'm in the cafeteria.
Sollte was in die Luft gehen - ich bin in der Kantine.*



Näyte palkitusta painotuotteesta "Jaderný Humor", Barték etc, Praha-Zbraslav, 1992.

Henkilökohtainen kontakti vaikuttaa aina tehokkaimmin

Henkilökohtaisen kontaktin tärkeyttä on vaikea yliarvioida. Valitettavasti sen jär-jestäminen on myös keinoista kallein. Helpoimmalla päästään, jos ihmisten kiinnostus johtaa päätökseen vierailta ydinvoimalaitoksella. Mitä enemmän ih-misiä vierailee laitoksilla, sitä parempi. Henkilökohtaisen kontaktin tehosta seu-raa myös se, että vaikka uusi tekniikka on tuonut mukanaan paljon uusia audio-visuaalisia laitteita ja mahdollisuuksia pe-leihin, demoihin ja robotteihin, ne eivät koskaan korvaa näyttelyesittelijää.

Ydinenergian suosio miesten keskuudessa on suurempi kuin naisten ja kasvaa kou-lutustason myötä, toisin kuin naisten kes-kuudessa

Tästä yhteisestä havainnosta tehtiin joh-topäätös, että Women in Nuclear (WIN)-työ on äärimmäisen tärkeää. Ideana täs-säkin on luottamuksen voittaminen hen-kilökohtaisen samaistumisen kautta. Niin kauan kuin mielikuvat ydinenergiasta ovat sellaisia, että se on kaljupäisten tie-demiesten salaista puuhailua, ei samaistu-minen onnistu. Ydinenergian, säteilyn ja radioaktiivisten aineiden parissa työsken-telee joukoittain naisia, joilla on korkea koulutus ja ammattitaito. Heidän osallis-tumistaan oman työnsä tunnetuksi teke-miseen tulee jatkuvasti kannustaa. →

Puolikuolleeksi peloteltu naiskonttoristi: "Nyrkin kokoisella plutoniumin palalla voi tappaa kaikki maailman ihmiset."

Väsyneen näköinen naislaborantti: "Olipa kiirettä tänään töissä. Koko päivän mittailin liukoisuutta kymmenistä plutoniumkockareista."

Näiden kahden välille voisi kehkeytyä Valintatalon kassajonossa mielenkiintoinen keskustelu.

PIME'93:ssa oli Suomesta viisi esitelmää ja yksi demo-malli. Juhani Santaholma piti esitelmän Suomen viidennen ydinvoimalaitoksen päätöksentekotilanteesta, Antti Ruuskanen kokemuksista julkisiin kuulemisiin liittyvästä tiedotustoiminnasta, Jorma Aurela Nucnetin vastaanottajien mielipiteistä, Marke Heininen-Ojanperä ydin energia-alalla toimivien naisten kansainvälisestä kokouksesta ja Ahti Toivola esitteli matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen loppusijoitustilasta kerrotun videon. Demomalli kuvasi säteily-suojia ydinvoimalaitoksella korkeaktiivisten aineiden ympärillä.

Perinteiseen tapaan PIME'93 näyttelyssä valittiin äänestämällä parhaat audiovisuaaliset ja kirjalliset aineistot. Parhaan audiovisuaalisen palkinnon saivat sekä Slovak Power Board että Scottish Nuclear, koska äänet menivät tasan. Slovakialaisen videon nimi oli "Sunshine Horse", joka kertoi energiasta ja ympäristöstä sadun keinoin. Skottien video sisälsi televisiomainoksen, jolla ihmisiä houkuteltiin laitospöytäruokalle. Mainos oli hauska kuvaus elämästä, jotka rientävät joukolla ydinvoimalaitokselle. Kirjallisesta aineistosta palkittiin tshekkiläisen Zbaran ydinenergiatiedotuskeskuksen laatima kirja "Nuclear Humour", jonka on kuvittanut tshekkiläinen pilapiirtäjä. Esitteiden sarjassa palkittiin saksalaisten "Nuclear Energy in Germany" ja lehtimainoksista palkittiin ABB Atomin mainos, joka oli Nuclear Europe-lehden tammikuun 1993 numerossa.

DI Martti Kätkä Imatran Voima Oy:n ympäristönsuojeluyksikön tiedottaja, p. 90-5084546.

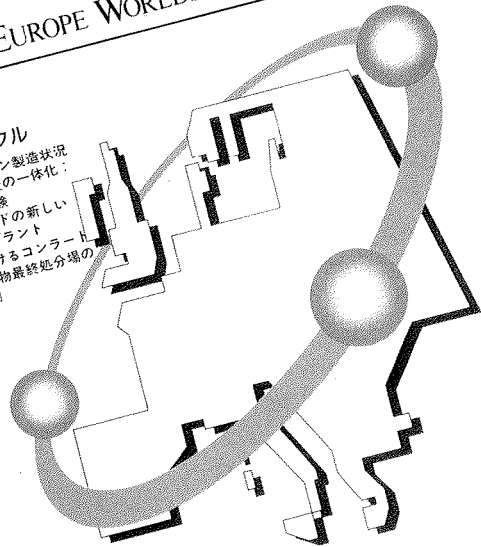
ニユーグリア・ヨーロッパ 日本版
ワールドスキャン
NUCLEAR EUROPE WORLDSCAN

3・4

1992年3・4月号
1992年4月1日発行
第3巻・第2号

【特集】

- 原子燃料サイクル
- 世界各国のウラン製造状況
 - 設計、製造、検査の一体化：スペインの経験
 - セラフィードの新しい廃棄物固化プラント
 - ドイツにおけるコンラート放射性廃棄物最終処分場のコスト予測



翻訳・出版：日本ニュー・エス株式会社

Nuclear Europe Worldscanin japaninkielisen version kansikuvassa Eurooppa on skaalattu väkiluvun mukaan, jolloin Suomi on pienenkö niemi Itämeren pohjoisrannalla.

Nuclear Europe Worldscan on European Nuclear Societyyn maailmanlaajuinen lehti, joka tulee kaikille jäsenseurojen jäsenille, kuten Suomessa ATS:n jäsenelle. Tämän vuoden viimeiseen numeroon kootaan katsaus Suomen ydintekniikkaan. Edellisen kerran Nuclear Europella oli Suomi-teemanumero huhtikuussa 1982; tätä lehteä on käytetty laajasti mm. esittelyaineistona ulkomaisille yhteistyökumppaneille ja nyt meillä on uudestaan tällainen vuosikymmenen tilaisuus!

Nuclear Europe Worldscan ilmestyy kuusi kertaa vuodessa ja sen levikki on kasvanut 22 000:een, ja tutkimuksen mukaan lukijoita on peräti 12-kertainen määrä: 264 000; nämä luvut ovat ydinvoimamaailman huippua! Lehden vuosibudjetti (1992) on noin SFr. 900 000 eli 3 Mmk. Jakamalla vuosibudjetti levikillä saadaan vuosikerran kustannukseksi noin 150 mk eli yhtä suuri kuin ATS:n jäsenmaksu. Tämä on erinomainen kustan-

nus/hyöty -suhde; vertailun vuoksi voidaan todeta, että Nuclear Newsin saajat maksavat vuosittain jäsenmaksuna moninkertaisen summan American Nuclear Societylle; vastaanvainen tuskin sopisi nykyiseen Eurooppaan. ENS on saanut itäisestä Euroopasta uusia jäsenseuroja, joiden henkilöjäsenien määrä on voimakkaassa kasvussa, joten Nuclear Europe Worldscanin jo ennestään tiukan budjetin menopuoli on kasvussa.

Nuclear Europe Worldscan rahoitetaan vain pieneltä osin jäsenseurojen maksuilla, joten lehden menestys riippuu sponsori- ja mainostuloista. Osa mainostamisesta voidaan tulkita kannatusilmoitteluksi, mutta vain osaksi, sillä onhan lukijaa kohti laskeutu mainoskustannus pienempi kuin millään muulla tämän alan lehdellä!

Lehti toimitetaan ENS:n toimistossa Bernissä Sveitsissä varsin pienellä toimituskunnalla; päätoimiset työntekijät ovat päätoimittaja Peter Holt ja mainospäällikkö Anthony Hunter.

VUODESTA 1981 LÄHTIEN

Vuonna 1981 ydinvoiman tuotanto oli voimakkaassa nousussa: maailmassa oli rakenteilla lähes yhtä paljon kapasiteettia kuin käytössäkin ja pessimistimmätkin

Nuclear europe worldscan

kasvuennusteet ylittivät tämän jälkeen toteutuneen kehityksen. Ydinvoimatekniikan alalla julkaistiin kansainvälisiä ja korkeatasoisia lehtiä, mutta yksikään niistä ei ollut yleiseurooppalainen. Niinpä European Nuclear Societyn kaikki (silloin) 17 kansallista jäsenseuraa päättivät yksimielisesti perustaa Nuclear Europe -lehden. Tämä päätös tehtiin syyskuussa ja ensimmäiset kolme numeroa ilmestyivät loka-, marras- ja joulukuussa, siis samana vuonna!

Alusta pitäen kunnianhimoisena tavoitteena on ollut jakaa lehti jäsenetun jokaiselle henkilöjäsenelle kotiin ... ja tässä on myös onnistuttu: Tshernobyl-vuoteen asti 11 kertaa, 1987-1988 7 kertaa ja tämän jälkeen 6 kertaa vuodessa.

Vuonna 1990 lehden nimi "NUCLEAR EUROPE" sai jatkeekseen sana "WORLDSCAN" ja nyt lehden nimi voisi suomentaa vaikkapa "YDINEUROOPPA KOKO MAAILMALLE". Nuclear Europe Worldscan käsittelee myös Euroopan ulkopuolelta tulevia aiheita ja lehteä jaetaan jo 84 maahan. Oheinen kuva esittää japaninkielisen version kansikuvaa.

MISTÄ SEURAAVAT NUMEROT KERTOVAT?

Kukin lehden numero painottaa yhtä tai kahta teemaa. Nuclear Europe Worldscan seuraavien numeroiden teemat ovat:

1993 /Jan-Feb Spain
Corporate Image Advertising Contest

1993 /March-April
Toward next-generation reactors: the TOPNEX Program Issue

1993 /May-June
Fuel Cycle (emphasis on waste management and transport) Sweden

1993 /July-August ENS Yearbook 1993
"The New Europe" (with emphasis on international organizations—CEC, IAEA, NEA, WANO and their co-operation with Eastern Europe)

1993 /Sept-Oct Inspecting & Preventing Plant Aging Maintenance & Life Extension

1993 /Nov-Dec Finland!
Dismantling & Decommissioning

1994 /Jan-Feb Sweden
Plant Uprating



Nuclear Europe Worldscanin 10-vuotiskakkua leikkaamassa mainospäällikkö Anthony Hunter, päätoimittaja Peter Holt, Editorial Advisory Committeeen puheenjohtaja Michel Dürr, toimitusassistentti Audra Shnaley sekä "director of publication" Peter Feuz.

1994 /March-April ENC '94 Preliminary Program + Overviews

1994 /May-June Germany

Teemojen mukaisten artikkelien otsikot ja kirjoittajat kartoittaa kussakin maassa jäsen, Suomessa allekirjoittanut. Nuclear Europe Worldscan on mm. uutislehti. "News Briefs" -palstalle tarjottavia asioita voi esitellä lehden Suomen kirjeenvaihtajalle, joka on Ahti Toivola.

Lehti julkaisee palstoja "News Briefs", "Supporting Member News", "New

Publications", "Research Center News" ja erityisen tervetulleita olisivat mainokset. ATS:läisiä kannustetaan osallistumaan Nuclear Europe Worldscanin tekoon edellä mainittujen henkilöiden välityksellä. Suomi on perinteisesti ollut hyvin esillä Nuclear Europe Worldscanissa ja tämän aktiivisuuden toivotaan jatkuvan tulevaisuudessakin.

TkL Klaus Sjöblom on Loviisan voimalaitoksen turvallisuusinsinööri, p. 915-550 431.

Suomen energiapolitiikasta päättävälle

Ydinjätteistä huolehtiminen ja niistä tuleville sukupolville koitua terveysriski ovat nousseet keskeisiksi päätöksentekokriteereiksi eduskunnan käsitellessä Suomen energiastrategiaa syksyn 1992 aikana ja muunkin maamme sähköntuotantoa koskevan suunnittelun ja julkisen valmistelun yhteydessä.

Ydinjätteiden ja niiden käsittelyn, kuljetusten sekä loppusijoituksen aiheuttama osuus ihmiseen kohdistuvasta radioaktiivisesta säteilystä on keskustelussa kuvattu usein harhaanjohtavasti ja esitetty aivan väärää kertaluokkaa olevaksi. Pyrimme tällä kirjelmällä oikeamaan näitä käsityksiä sekä havainnollistamaan riskin mittasuhteita.

Suomessa ja eräissä muissa ydinerogiaa käytävissä maissa on jo kertynyt kokemusta ydinvoimaloiden käytön aikana syntyvien lievästi aktiivisten jätteiden käsittelystä ja taltioinnista ydinjätehautaamaan. Ydinjätehuollon ongelmat kiteytyvätkin käytetyn polttoaineen hautaamiseen kallioperään ja näin suoritettun loppusijoituksen turvallisuuden osoittamiseen. Ihmisen kannalta katsoen on kyse pitkistä aikaväleistä, jotka ovat kuitenkin verraten lyhyitä geologisessa mittakaavassa. Tässä yhteydessä on tarkasteltava tulevaisuuteen ulottuvaa ajanjaksoa, jonka kuluessa tapahtuvia maankuoren liikkeitä ei voi ennustaa täsmällisesti. Asetettujen turvallisuusvaatimusten mukaan ydinjätteistä koituvan väestön lisääntymisen säteilylle tulee kuitenkin olla selvästi luonnon taustasäteilytasoa vähäisempi ja enintään samaa luokkaa kuin ydinvoimalaitosten normaalikäytöstä väestölle aiheutuva altistus.

Välttämättä reaktorin sammuttamisen jälkeen käytetty polttoaine on voimakkaasti radioaktiivista, noin 5×10^{15} Bq uraanikiloa kohden. Radioaktiivisen hajoamisen kautta aktiivisuus vähenee, ja vuoden kuluttua alkuperäisestä aktiivisuudesta on jäljellä 1/80, ja sadan vuo-

den kuluttua 1/3 000 ja tuhannen vuoden kuluttua 1/70 000.

Vaikka käytetty polttoaine säilyy varsin pitkään vaarallisena, vaikeutena ei kuitenkaan ole ulkoisen säteilyn vaimentaminen vaarattomalle tasolle, mihin heti reaktorista poistamisen jälkeenkin riittää jo muutaman metrin paksuinen vesikerros. Tärkein mekanismi, jolla haitalliset aineet voisivat joutua ydinjäteluolasta elolliseen luontoon, on niiden liukeneminen jätteestä pohjaveteen ja kulkeutuminen sen mukana kaivoihin tai pintavesistöihin sekä edelleen lähinnä ravinnon ja juomaveden kautta ihmiseen.

Suomessa selvitetystä loppusijoitusratkaisussa käytetty polttoaine suljetaan kupari-teräskapseliin, jotka sijoitetaan usean sadan metrin syvyydelle peruskallioon rakennettuihin tiloihin. Kapselit ympäröidään pohjaveden ja radioaktiivisten aineiden liikkumista estävällä savimaisella täyteaineella. Samoin tunnelit ja maanpinnalle johtuvat kuilut täytetään ja suljetaan. Syvällä kallioperässä vallitsevilla kemiallisissa olosuhteissa kapselit kestävät hyvin korroosiota jopa miljoonan vuoden ajan ja estävät kokonaan pohjaveden pääsyn kosketuksiin radioaktiivisten aineiden kanssa. Kapselien varhainkaan vaurioituminen -esimerkiksi valmistusvirheen tai kallioperän liikahtelujen seurauksena — ei alentaisi turvallisuutta merkittävästi, sillä muut vapautumisesteet ja keraamisen polttoainemateriaalin hyvin niukka liukoisuus pohjaveteen varmistavat, että radioaktiivisia aineita kulkeutuisi pohjavesivirtauksen mukana elolliseen luontoon selvästi vähemmän kuin asetettujen turvallisuusmääräysten mukainen enimmäismäärä.

Täsmällisemmät turvallisuusarviot ovat paikkakohtaisia, ja niiden tueksi on tehtävä mittavia kallioperätutkimuksia. Olkiluodon ydinvoimaloissa tuotetun käytetyn polttoaineen sijoittamista kalliioon on selvitetty viime vuosina noin 30 miljoonan markan vuotuisin kustannuksin eräissä sijoituspaikkavaihtoehdoissa. Loppusijoitusratkaisun vapautumisesteet on suunniteltu siten, että ympäristön väestön altistetuimmallekin ryhmälle mahdollisesti aiheutuva säteilyaltistuksen lisäys jää selvästi alle 0,001 mSv vuodessa. Luonnollinen taustasäteily, mukaanlukien asunon radon, on nykyisin keskimäärin suuruusluokkaa 6 mSv vuodessa ja sen vaihtelualue eri paikkakuntien välillä on varsin laaja. Ydinjätteistä laajemmille väestöryhmille keskimäärin aiheutuvat annok-

set jäisivät jopa useita kertaluokkia pienemmiksi eli käytännössä täysin merkityksettömiksi. Vaikka kaikkien 1150 kapselin oletetaan vaurioituvan 1000 vuoden kuluttua samanaikaisesti, mutta muut vapautumisesteet toimisivat normaalilla tavalla, enimmäisyksilöannos olisi luokkaa 0,006 mSv vuodessa.

Turvallisuusanalyysissä on tarkasteltu myös usean vapautumisesteen samanaikaisen vaurioitumiseen johtavia tilanteita ja niiden seurauksia. Merkittävimpiä haittoja voisi seurata maankuoren kuorimituksen aiheuttamista suurista lohko-liikunnoista, joita saattaisi esiintyä tarkasteltavana olevalla aikavälillä. Ydinjäteluolasto sijoitetaan kallioperässä olevien ruhjevyöhykkeiden välisiin ehjempään kalliion lohkoihin, jolloin suuretkin kalliolohkojen liikunnat tapahtuvat pääsääntöisesti jo aiemmin muodostuneita liikuntasauvoja myöten ja jätekapselit säilyisivät vahingoittumattomina. Mikäli siirroksen kuitenkin oletetaan tapahtuvan 1000 vuoden kuluttua ja leikkaavan itse loppusijoitustilaa ja särkevän samanaikaisesti kuutisenkymmentä kapselia jäisi ympäristön väestön altistetuimmalle ryhmälle aiheutuva säteilyannoksen enimmäislisäys silti vähäiseksi, noin 2 mSv vuodessa.

Luonnollisia ja teknisiä vapautumisesteitä on tarkasteltava kokonaisuutena, jolloin useammankaan peräkkäisen esteen pettäminen ei yllä kuvattujen arvioiden mukaan heikentäisi oleellisesti turvallisuustasoa.

Ydinjätehaudasta voi kuvitella aiheutuvan äkillisiä, suuronnettomuuteen verrattavia tuhoja vain epätavallisen suuren meteoriitin törmäyksestä tai ydinohjuksen räjähdyksestä sen kohdalla. Tällöin kuitenkin jätteistä peräisin olevalla säteilyllä olisi varsin vähäinen vaikutus kokonaisuuden kannalta.

Ydinjätteiden loppusijoituksen aloittamiselle ei sinänsä ole teknisiä esteitä, vaan kaikki osaratkaisut voitaisiin toteuttaa turvallisesti jo nykyisin käytössä olevan tekniikan keinoin. Taloudelliselta kannalta on kuitenkin järkevää jaksottaa loppusijoitus siten, että koko jätemäärä voidaan kapseloida ja haudata muutaman vuoden sisällä. Merkittävä osa jätehuollostasta joituu vasta voimalaitosten käytön päättymisen jälkeiseen aikaan. Siksi on perusteltua kerätä varat koko jätehuoltoketjua varten jo laitosten tuotantovaiheen aikana.

Suomeen on luotu ydinenergialain määrittämällä tavalla yksityiskohtainen ja kattava taloudellinen varautumisjärjestelmä tulevaisuudessa syntyviä jätehuollon kustannuksia varten. Jätteen tuottaja on vastuussa jätehuollon kustannuksista, joita varten ydinvoimayhtiöiltä kerätään vuosittain jätehuoltomaksu valtion ydinjätehuoltorahastoon. Kotimaassa kokonaan toteutettavan ydinjätehuollon kustannukset vastaavat arviolta noin 1,4 p/kWh tuotetun sähkön hinnassa. Säännösten lähtökohtana on, että jätehuoltosuunnitelmien on oltava realistisia ja mahdollisimman pitkälle koeteltuun tekniikkaan perustuvia.

Suomessa on suhtauduttu ydinjätteistä aiheutuviin ongelmiin vastuuntuntoisesti, ja meille on luotu niistä koituvan riskin hallintaan tarvittava asiantuntemus sekä laadittu suunnitelmat ydinjätteiden hautaamiseksi kallioperään. Loppusijoituksen toteutusta on vielä perusteltua lykätä tulevaisuuteen, jotta suurempi jäte-erä voidaan taltioida yhtäaikaan. Suunnitelmat on aikanaan pantavissa täytäntöön turvallisesti siten, että ydinjätteistä tuleville sukupolville jäävä riski on pieni ja niistä johtuva säteilyaltistus vähäinen murtoosa luonnon taustasäteilytasosta.

Helsingissä/Tampereella/Turussa/Lappeenrannassa, helmikuussa 1993

Pekka Jauho, akateemikko

Gunnar Graeffe, professori

Juhani Kakkuri, professori

Kauko Korpela, professori

Rainer Salomaa, professori

Alf Björklund, professori

Timo Jaakkola, professori

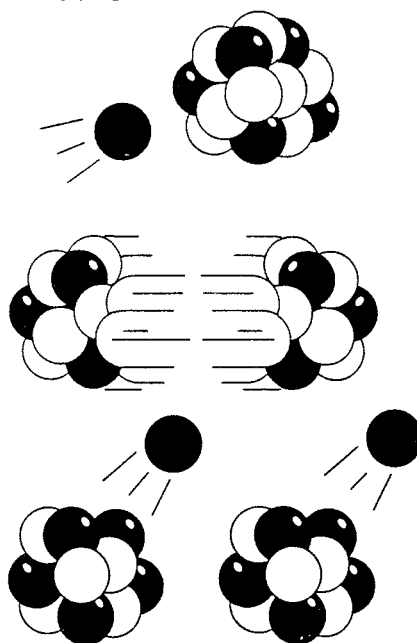
Heikki Kalli, professori

Jorma K. Miettinen, professori

Pekka Silvennoinen, professori

ATS:n YDINOPAS

Fissio



SAATAVISSA YLEISSIHTEERILTÄ
HINTAAN: 100 MK



Lyhyesti maailmalta

Bangladeshin Triga MK-II 3000 kW tutkimusreaktorilla sattui vuonna 1992 kaksi vakavuusluokaltaan 2 olevaa tapahtumaa. Helmikuussa säteilytettiin orgaanisia näytteitä, kuten riisiä, pippuria, tomaatin lehtiä, appelsiinia ja sekalaisia nestenäytteitä alumiinisäiliössä. Säteilytyksen jälkeen havaittiin alumiinisäiliön kannen irronneen räjähdysksen seurauksena. Reaktorihallissa ei todettu säteilyä. Toinen tapaus sattui heinäkuussa, kun rutiinitarkastuksessa pudotettiin neljän metrin korkeudelta polttoaineenippu reaktorin pohjalle veden alla. Reaktori ei vaurioitunut ja pudonneesta nipusta ei aiheutunut päästöjä reaktorihalliin.

IAEA INES 22.2.1993

Bulgarian Kozloduy-ydinvoimalaitoksen viisi käynnissä olevaa yksikköä kattavat nyt yli 50 % maan sähkönkulutuksesta. Kozloduy 2-4 ovat VVER 440-yksikköjä ja 5-6 ovat VVER 1000-yksikköjä. Kozloduy 1 VVER 440-yksikkö ei ole nyt käytössä laitosmuutosten vuoksi.

NucNet 1.3.1993

Espanjassa arvellaan 10 syöpäpotilaan kuolleen saatuaan ylisuuria säteilyannoksia hoidon yhteydessä Zaragozan sairaalassa joulukuussa 1990. Tutkimuksissa havaittiin laitteiden käytössä tapahtuneen turvamääräysten rikkomista ja lupaehtojen noudattamatta jättämistä. Sairaalan 11 lääkärille, röntgenhoitajille ja tekniikoille voidaan langettaa neljän vuoden vankeusrangaistukset alkaneessa tuomioistuinkäsittelyssä.

Nucleonics Week 11.2.1993

Espanjan ydinpolttoainetehdas ENUSA Julbado, joka sijaitsee Salamandossa, on tuottanut jo 1000 tonnia ydinpolttoainetta. Suurin osa polttoaineesta on tarkoitettu maan PWR- ja BWR-yksiköille. Vientikohteita ovat mm. Ranskan EDF ja Sveitsin Leibstadt.

Ens NucNet 18.2.1993

Intiaan on valmistunut maailman ensimmäinen toriumia polttoaineena käyttävä ydinvoimalaitos. Kakrapar 1 PHWR 220 MWe yksikkö on Intian 9. ydinvoimalaitosyksikkö ja se kytkettiin valtakunnanverkkoon 25.11. Yksikkö kasvatti maan ydinvoimakapasiteetin 1720 MWe:in.

Nuclear Europe Worldscan 1/2 1993

Japanin 41 ydinvoimalaitosyksikköä toimivat vuonna 1992 tehokkaammin kuin aikaisemmin viiteen vuoteen. Ennätyskäyttökerroin oli 73,6 %. Polttoaineenvaihto- ja huoltoisosikot kulluttivat käyttökertoa 24,5 % ja viat sekä tapahtumat vain 1,5 %. Muut syyt aiheuttivat 0,4 % vähennyksen.

Nucleonics Week 21.1.1993

Japani rakentaa neljässä vuodessa ydinvoimalaitoksen, mikä on lyhin rakennusaika miesmuistiin. Maan 44. ja 45. yksikkö, Shika 1 BWR 513 MWe Hitachi ja Hamaoka 4 BWR 1092 MWe Toshiba, saavuttivat kriittisyyden vuoden 1992 lopulla, kun ainoastaan neljä vuotta oli kulunut rakentamisen aloituksesta.

Nuclear Europe Wordscan 1/2 1993

Kiinassa on sattunut vakava säteilyonnettomuus. Kolme henkilöä sai surmansa löydettyään Co 60-lähteen. Kyseessä oli kadonneeksi ilmoitettu säteilylähde, jolla käytetään yleisesti lääkinäissä ja teollisuudessa. Kuolleiden lisäksi viisi henkilöä, 90 tutkitusta, on saanut ylisuuria säteilyannoksia. Tapauksen vakavuusluokka on 3.

IAEA INES 17.2.1993

Liettuan Ignalinan ydinvoimalaitoksen turvallisuuteen liittyvät laitosmuutokset aloitettiin kesällä 1993, mikäli vastuuskysymykset saadaan ratkaistuiksi. Ruotsin "kummilaitoksen" parannuksia koordinoi ydinturvaviranomainen (SKI). Projektin rahoitus on sovittu Ruotsin Baltia-budjetista ja suunnitelmat sekä tekijätkin on lyöty lukkoon. Ignalinan palosuojauksen parannetaan mm. laajentamalla sprinkler-järjestelmää. Turbiinihalliin asennetaan palohälyttimet ja generaattorin vetyvuodon ilmaislaitteet. Laitoksen paloerottelua parannetaan asentamalla tetäksisiä palo-ovia. Asea-Atom toimittaa kauko-ohjatun varoventtiili-putkiston asennuslaitteen ja antaa Västeråsissa koulutusta laitteen käytöstä. Vattenfall kouluttaa Ignalinan palomiehiä uusien palolaitteiden, kuten leikkureiden ja kompressorien, käyttöön.

Nucleonics Week 18.2.1993

Ranskan valtion voimayhtiö Electricite de France (EDF) lopettaa alkoholin anniskelun joidenkin ydinvoimalaitosten henkilö- ja eläinruokaloissa samoin kuin kieltää alko-

holin käytön työpaikkakutsuissa. Toimenpide johtuu Paluelin ydinvoimalaitoksella sattuneesta tapauksesta, missä työpaikan cocktail-tilaisuudessa kiukustunut sähkötekniikko pysäytti pikasulkukykimestä kolme laitosyksikköä puolen tunnin sisällä. Tapahtuma aiheutti EDF:lle 10 miljoonan frangin tuotantomenetyksen ja rikkoi sähkölaitteistoa. EDF tiedotti aiemmin em. tapauksen johtuneen tekniikon joutumisesta ohitetuksi ylennyskierroksella. Ranskassa on shampanjapullo ja lasit yleinen näky jopa ydinvoimalaitosten valvomoissa, missä tupakointikin ja pop-musiikin kuuntelu ovat sallittuja. EDF:n toimenpide on vallankumouksellinen maassa, jossa vauvatkin opetetaan tuttipullolla viininjuojiksi.

Nucleonics Week 4.2.1993

Ranskan Paluel 2 PWR 1300 MWe yksikön primääripiiri jäähtyi vaarallisen nopeasti määräraikaiskokeessa sattuneen häiriön vuoksi. Kokeessa tarkkailtiin apusyöttövesijärjestelmän käynnistymistä, kun pääsyöttövesijärjestelmä menetetään. Pumpattaessa kokeessa kylmää apusyöttövedettä höyrystimeen ei huomattu, että kiinni laitettu höyryventtiili jäikin raolleen, mistä aiheutui primääripiirin ylinopea jäähtyminen, mikä taas kiihdytti ydinreaktiota. Tilanne saatiin hallintaan vasta puolentoista tunnin kuluttua, kun raollaan oleva toisiopiiriin höyryventtiili huomattiin sulkea. Valvomon paneelissa olevaa osoitusta venttiilin aukiolosta ei huomattu. Tapahtuma ei aiheuttanut henkilö- tai aineellisia vaurioita. Voimayhtiö salasi ydinturvallisuusviranomaiselta tapahtuman kulkua. Tapahtuman vakavuusluokka on 2.

IAEA INES 10.2.1993

Ruotsalaisten enemmistö kannattaa ydinvoiman käytön jatkamista vielä vuoden 2010 jälkeenkin, ilmenee Ruotsin mielipideinstituutin (SIFO) äsken julkistamasta riippumattomasta tutkimuksesta, jossa 53 % kannatti ydinvoiman käytön jatkamista.

Ens NucNet 16.12.1992

Ruotsin Barsebäckin ydinvoimalaitos on saanut maan ydinturvaviranomaiselta (SKI) käynnistysluvan. Laitos on ollut alhaalla syyskuusta 1992 lähtien hätäjäähdytysjärjestelmässä havaittujen puutteiden johdosta. Voimayhtiö on tehnyt laitosmuutoksia, joilla estetään hätäjäähdytysjärjestelmän pumppujen imusihtien

tukkeutumisen eristeiltojen aiheuttamana putkivauriotapauksessa.

Ens NuvNet 4.1.1993

Ruotsin Ringhals 1-yksikön siirreltävä öljynpuhdistusseparaattori syttyi tuleen yöaikaan 14.1. separoinnin ollessa meneillään. Separattori sijaitsi huoltokäytävällä turbiinirakennuksen ja reaktorirakennuksen välissä ja sillä poistettiin pumppuöljyihin sekoittunutta vettä ja muita epäpuhtauksia. Palo sammutettiin 20 minuutissa. Laitosyksikkö oli tapahtuman sattuessa pysäytetty. Separointi on käytöstä riippumaton erillinen toimenpide. Tapauksessa ei kukaan vahingoittunut eikä se aiheuttanut säteilyvaaraa.

Ens NucNet 14.1.1993

Ruotsin Oskarshamn 1 ja 2-yksikköjen käynnistys ns. sihtiseisokista siirtyi ydinturvallisuusviranomaisen (SKI) hylättyä 18.1. voimayhtiön käynnistyslupahakemuksen. SKI:n mukaan asennettu tekninen ratkaisu ei takaa hätäjäähdytysjärjestelmän vesipumppujen imusihtien aukipy-symistä otaksuttua suuremman eristevillamäärän huuhtouduttua lauhdutusaltaseen putkikatko-tilanteessa. Lisäksi automaattisen sihtienhuuhtelujärjestelmän toiminta ei ollut riittävän luotettava. Voimayhtiö aikoo esittää parannetun ratkaisun lähiviikkoina.

Ens NucNet 19.1.1993

Ruotsin ABB Atom Ab irtisanoo 200 työntekijää Suomen eduskunnan tehtyä vuoden 1992 lopulla pönten ydinvoiman poissulkemisesta perusvoimavaihtoehtojen joukosta. ABB Atom on tarjonnut Suomeen 1170 MWe kiehuvesireaktoria. Hankintapäätöksen lykkäytyminen hamaan tulevaisuuteen merkitsee suunnittelijoiden töiden vähenemistä yhtiössä, ilmoittaa toimitusjohtaja Jan Runemark.

Nucleonics Week 21.1.1993

Ruotsin Ringhals 1 BWR yksikön säätösauvat taketelivat ns. sihtiseisokin jälkeisessä ylösajossa 25.1. niin pahasti, että ylösajo siirtyi kunnes tapauksen syy oli selvitetty. Tehonnostossa sauvoja vedettäessä yksi sauva ei liikkunut ollenkaan ja neljä liikkui hitaasti.

Nucleonics Week 4.2.1993

Saksan Gundremmingen A 237 MW BWR-yksikön purkaminen on edennyt reaktoripaineastiaan. Baijerin osavaltion kehitys- ja ympäristöministeriö antoi joulukuussa 1992 laitokselle reaktoripaineastian ja sen sisäosien sekä biologisen suojan purkuluvan. Kysymyksessä on vuonna 1983 aloitetun demonstraatiopurkamisen mielenkiintoisin vaihe. Em. luvan perusteella laitoksella puretaan parhaillaan reaktorin sisäosia.

atW News 1 January 1993

Saksan Siemens on aloittanut VVER-1000 polttoaineen kehittämisen ja valmistuksen yhdessä ranskalaisten Gogeman ja Framatomen kanssa. Uuden polttoaineen nimi on TGrikon-1000 ja sen tehostetut ominaisuudet pienentävät VVER-1000-yksikköiden vuotuista polttoainekustannuksia 50 miljoonalla DM:lla.

atW News 1 January 1993

Suomi oli jälleen paras maa ydinvoiman käytössä. Vuoden 1992 käyttökertoimeksi tuli 89,19 %, toisena oli Unkari 86,36 % ja kolmantena Belgia 86,11 %. Ruotsin käyttökertoimen oli viime vuonna huono eli 66,49 % ydinturvaviranomaisen pysäytettyä laitosten käytön ns. sihtiöngelman vuoksi. Ydinvoimalaitosten määrä kasvoi kolmella vuonna 1992.

Nucleonics Week 11.2.1993

Sveitsissä radon on väestön suurin säteilyrasituksen aiheuttaja. Sveitsiläisen keskimääräinen vuotuinen säteilyannos on 4,6 mSv. Hieman yli puolet siitä tulee radonista, 1,2 mSv tulee ihmiskehosta, maasta ja kosmisesta säteilystä. Säteilyn lääkinnällisestä käytöstä saadaan 1 mSv ja kaikista muusta yhteensä 0,2 mSv.

Radonin osuus on korkea etenkin graniittiperuskallioisilla ja eräillä muilla alueilla.

Ens NucNet 15.1.1993

Tsekin Dukovany VVCR 440-yksiköllä syttyi tulipalo turbiinin vetyjäähdytysjärjestelmää täytettäessä. Palon aiheutti painesynterintä vuotava venttiili. Palopaikka sijaitsi konehallin ulkopuolella. Palossa vahingoittui yksi työntekijä. Tapauksen vakavuusluokka on 0.

IAEA INES ERF 18.1.1993

Ukrainan Tshernobyl 1-yksikön käyttöönotto joulukuussa kiristää voimayhtiön ja ydinturvaviranomaisen (GANU) välejä.

Yksikkö oli yhdeksän kuukautta korjaus-seisokissa, jossa polttoainekanavien säätöventtiilit uusittiin. GANU vastusti Tshernobylin yksikköiden (1 ja 2) käyttöönottoa samoin kuin maan hallitus, mutta Ukrainan presidentti Leonid Kravzuk myönsi käyttöluvan. Kravzuk perusti joi-takin kuukausia sitten ukrainan atomi-energian käytön valtionkomitean ydinvoimastrategioiden suunnitteluun ja käytön ohjaukseen, mikä elin selvästi kaventaa GANU:n valtaa. Turvallisuusnäkökohdat ohitettiin maassa tällä kertaa räikeästi.

Nucleonics Week 17.12.1992

Ukrainaan on muodostettu uusi korkean tason elin auttamaan maan ydinenergia-politiikan suunnittelussa. Ydinpolitiikka-komissio raporto i suoraan Ukrainan presidentille ja sen tehtäviin kuuluu tehdä ehdotukset maan ydinenergiapolitiikaksi, analysoida ydinenergian käytön lainsäädännön luonnosta, arvioida kuinka ydinenergian kehitysohjelmat soveltuvat kansainvälisiin standardeihin ja vaatimuksiin, tutkia uusia suunnittelu- ja rakenneratkaisuja ydinenergian piirissä, mukaanlukien maata kiinnostavat ulkolaiset projektit, ja tehdä ehdotuksia edellisiin liit-tyen. Komission puheenjohtajaksi on nimetty Tri Viktor Baryakhtar, Ukrainan tiedeakatemian varajohtaja.

Ens NucNet 11.1.1993

Ukrainan Rovno 2 VVER 440-yksiköllä viidestä höyrytimestä löytyi samanlaisia 10 mm pitkiä säröjä. Säröt olivat tuubeissa höyrystinten kuumassa päässä tuubituksen alueella. Tapahtuman vakavuusluokka on 1.

IAEA INES ERF 20.1.1993

Ukrainan Tshernobylin ydinvoimalaitok-sella sattui 12.1. tulipalo siirreltävän työ-laitteen huonokuntoisen kaapeliliittimen kärvennyttyä. Palo sammutettiin nopeasti eikä se vaarantanut ydinturvallisuutta. Tapahtuman vakavuusluokka on 0.

IAEA INES ERF 19.1.1993

Ukrainan Tshernobyl 3 ja 4-yksiköitä erottavan seinän luona 4-yksikön puolella (onnettomuusyksikkö) syttyi 14.1. puu-pölkkyjä tuleen. Palo sammutettiin nopeasti eikä se aiheuttanut päästöjä tai henkilövahinkoja. Palon syytä selvitetään. Tapahtuman vakavuusluokka on 0.

IAEA INES ERF 20.1.1993

USA:n ydinturvallisuusviranomaisen Nuclear Regulatory Commission (NRC) on ehdottanut sakkoja kahdelle voimayhtiölle. Palo Verden ydinvoimalaitoksen Sarah C. Thomas joutui syrjinnän kohteeksi ja lopuksi erotettiin huomautettuun aiheellisesti tietokonejärjestelmän ja venttiilitestauksen puutteista. Sähköinsinööri Linda E. Mitchell joutui syrjinnän kohteeksi huomautettuun useista turvallisuuteen liittyvistä puutteista kuten huonosta hätävalaistuksesta. Sakon suuruus näistä on 130 000 \$. Robinson 2 yksiköllä jäi putkistokorjauksen yhteydessä suoja- muovia reaktorin jälkilämmönpoistojärjestelmään. Sakon suuruus tästä on 50 000 \$.

Nuclear News December 1992

USA:n kolmevuotiaan Limerick 2 BWR 1055 MWe-yksikön maailmanennätyksekäsi kevytvesireaktorien jatkuvassa käytössä tuli 533 vuorokautta. Yksikön ennätysjahti päättyi turbiinin säätöventtiilin toimilaitteiden sähköhydraulisen järjestelmän tiivistevuotoon.

Nuclear Engineering International
February 1993

USA. Tunkeutuja syöksyi 7.2.1993 pakettiautolla Three Mile Island 1 PWR-yksikön turbiinirakennukseen murskaten matkalla valvotun alueen portin ja turbiinirakennuksen oven. Aseettomaksi osoittautunut tunkeutuja pidätettiin viiden tunnin kuluttua. Laitos toimi tapauksen aikana täydellä teholla. Turbiinirakennuksesta ei löydetty sabotoinnin jälkiä eikä räjähteitä. Ydinturvallisuusviranomaisen NRC on asettanut tutkimusryhmän selvittämään tapausta. Voimayhtiön varoimenpiteet tunkeutumisen estämiseksi arvioidaan samoin kuin myös viranomaismääräysten kattavuus. Tapauksen vakavuusluokkaa ei ole vielä määrätty.

IAEA INES 11.2.1993

USA:n Three Mile Island 1-yksikön turbiinirakennuksen autolla ovien läpi syksyntyä entistä mielenrhevyypotilasta syytetään katastrofiriskin aiheuttamisesta, riikollisesta ilkivallasta sekä häikäilemättömästä turvallisuuden vaarantamisesta. Rangaistus teosta on enimmillään 20 vuotta vankeutta, mikäli syytettyä ei katsota mielenrikaiseksi. Tapaus on käynnistänyt keskustelun laitosten oviaukkojen vahvistamisesta estämään sisään yrittäviä autopommiterroristeja. Nykyinen viranomaisten asettama suunnitteluperuste mää-

raa estämään jalkaisin liikkuvien terroristien sisääntunkeutuminen.

Nucleonics Week 11.2.1993

Venäjä on saanut Iso Britannialta koulutusta ydinmateriaalien valvontajärjestelmän kehittämisessä. Venäjän ydinturvaviranomaiselle (Gosatomnazor), ydintutkijoille ja ydinlaitosten käyttäjille opetettiin Britannian käytetyn ydinpoltoaineen jälleenkäsittelylaitoksen safequards-järjestelmää joulukuussa pidetyssä seminaarissa.

Ens NucNet 15.12.1992

Venäjä ja Kiina ovat tehneet aiesopimuksen kahden VVER-1000 reaktorin toimitamisesta Kiinaan avaimet käteen toimituksena. Sopimus allekirjoitettiin joulukuussa 1992 presidentti Jeltsinin Pekingin vierailun yhteydessä. Venäläiset lupaavat toimitusajaksi kuusi vuotta.

Nucleonics Week 31.12.1992

Venäjä suunnittelee kelluvia ydinvoimalaitoksia. Laitokset olisivat saasteettomia sähköntuotantoyksiköjä vaikeasti luoksepäästäville tai seismisille alueille pohjoisessa ja kauko-idässä. Laitosten tehot ovat 50–100 MWe ja ne perustuvat atomijäänsätkijöiden luotettavaan reaktoritekniikkaan. Laitosten käyttökertoimet tulisivat olemaan yli 80 %. Jäänsätkijät ovat toimineet jopa 400 vuorokautta yhtäjaksoisesti ja pikasulkuja on ollut keskimäärin vain kerran vuodessa. Parhailaan suunniteltavassa projektissa käytetään kahta Yamal-2 standardireaktoria.

Kelluvalla ydinvoimalaitoksella on seuraavat edut tavanomaiseen verrattuna: valmistus tapahtuu edullisesti telakalla, standardireaktorit ovat halpoja, polttoaineenvaihoissa voidaan hyödyntää Murmankin Arktisen laivayhtiön laitteita ja latauskokemusta, polttoaineenvaihto tehdään neljän vuoden välein, laitoksella ei ole juurikaan haitallisia ympäristövaikutuksia, laitosalueen rakennustyöt ovat vähäiset, ankkurointipaikan ympäristöä ei pilata ja se on palautettavissa alkuperäiseen tilaan.

Nuclear Engineering International
January 1993

Venäjän hallitus on hyväksynyt ydinvoimaministeriön (Minatom) suunnitelman vuosien 1993–1995 ydinvoimaohjelmaksi: Kalin 3 ja Balakovo 4 VVER 1000-yksiköt ja Kursk 5 RBMK 1000-yksikkö rakennetaan valmiiksi, käytöstäpoistettavia Kuolan, Sosnoby Borin, Bilibinin ja Novovoronezhin yksiköjä korvaavien yksikköjen suunnittelua jatketaan, käytetyn ydinpoltoaineen varasto rakennetaan valmiiksi Smolenskissa, uusien ydinvoimapaikkakuntien suunnittelua jatketaan, sekä harkitaan Belojarsk 4-yksikön ja kahden Etelä-Uralin hyötöreaktorin rakentamista. Kahden Rostov VVER 1000-yksikön ja kahden Novovoronezh BWR-kaukolämpöreaktorin rakentamista siirretään.

Nuclear Engineering International
February 1993

Venäjän Kuola 1 VVER 440 yksikkö pysähtyi pikasulkuun myrskyn aiheuttamana 2. helmikuuta. Myrsky vaurioitti Kuolan voimalinjoja, mistä seurasi kaikkien neljän Kuolan yksikön pikasulut, mutta ykkösyksikön kohdalla varasähködieseliin käynnissäpito epäonnistui. Yksikkö oli akkujen varassa 2,5 tuntia, kunnes sähköä saatiin Niva 1-vesivoimalasta. Reaktoriparametrit pysyivät hallinnassa. Tapauksen vakavuusluokka on 2.

IAEA INES ERF 5.2.1993

Venäjä suunnittelee käytetyn polttoaineen loppusijoitusta ikiroutaan. Tshernobylyttypisten (RBMK) reaktorien polttoaineen jälleenkäsittely ei ole kannattavaa, jolloin käytetty polttoaine joudutaan loppusijoittamaan sellaisenaan. Novaja Zemljalla ikirouta alkaa muutaman metrin syvyydestä ulottuen satojen metrien syvyyteen. Roudan lämpötila on –5 ja –20 celsiusasteen välillä ja vesivirtauksia ei ole. Venäjän Minatomin tulkinnan mukaan routa on graniittiin tai suolakerrostumaan verrattavissa oleva geologinen loppusijoitusympäristö.

Nuclear Fuel 18.1.1993

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

English abstracts

NEW CHALLENGES TO NWM

Ami Rastas (page 1)

Doubts and fear of nuclear waste management are facts that must be taken extremely seriously. It is unnecessary to only wonder at laymen's poor knowledge and understanding of the nuclear waste management methods. Instead, the reasons behind the doubts and fears should be analyzed and removed, if possible.

However, it seems obvious that the doubts and fears can not be removed merely by argumentation based on the natural science. Help must be sought from psychology, social science and communication theories. And thus, more emphasis should be put on these areas in the future.

The Recommendations of the Nordic Working Group on Safety Criteria for High-Level Waste Disposal

Esko Ruokola (page 2)

The report on recommendations from a Nordic working group regarding long-term safety criteria of nuclear waste disposal will be published shortly. The report emphasizes the safety objectives of disposal of high-level waste. The report continues the series of Nordic reports, called "flag-books", on the radiation protection recommendations from the Nordic authorities on nuclear safety and radiation protection. The report presents the basis for setting long-term safety objectives and criteria for disposal of high-level nuclear wastes. For very long-term safety considerations the working group recommends as the primary safety indicator the total flux or flowrate of radionuclides from the waste repository into the biosphere. The main advantage of this type of indicator is its intensity to future changes in biosphere conditions. Furthermore, it gives a more realistic description of the total radiological impact on larger population groups instead of maximum impacts to a limited group of most exposed individuals. The corresponding quantitative criteria is not ex-

pressed as a single value but a range 10 - 1000 kBq/a per each ton of natural uranium utilized for production of nuclear fuel that has given rise to the considered high-level waste quantity.

Nuclear waste management at the Loviisa NPP

Jussi Palmu (page 4)

The spent fuel generated at the Loviisa NPP is returned back to Russia based on an agreement between Imatran Voima Oy (IVO) and the Russian fuel supplier V/O Techsnabexport (TSE) covering all the fuel delivered by TSE. The spent fuel is reprocessed at the Chelyabinsk reprocessing plant. Reprocessing wastes are not returned to Finland.

Operating wastes are stored at the power plant. Spent ion-exchange resins and evaporator concentrates are stored in large storage tanks. Maintenance waste is packed in steel drums. A solidification plant based on cementation has been designed for the wet wastes but due to good storage situation it has not been constructed yet.

IVO has developed treatment methods for volume reduction of operating wastes. Cesium removal plant has been constructed in the power plant. In test operation the cesium from 253 m³ of evaporator concentrate was removed into three 8 litre ion-exchange columns. After cesium removal the evaporator concentrate can be discharged. Microbiological decomposing of organic maintenance waste and spent ion-exchange resins has been developed to operational level. Due to good storage situation and low final disposal costs the method has not been taken into operation at Loviisa.

A final repository for operating wastes has been planned into the bedrock of the power plant site. The repository will be situated in the depth of about 110 metres below the sea level. The total volume in-

cluding the transport tunnel will be about 100,000 m³. The construction works started in mid February this year.

A detailed decommissioning plan has been made for the Loviisa NPP. All activated and contaminated material will be removed from the plant in disposed of in an enlargement of the repository for operating wastes.

Financial provisions are made for the future costs of waste management. The responsibilities of IVO at the end of 1992 were FIM 1730 million and sum paid to the State Nuclear Waste Management Fund by the end of March will be FIM 767,7 million. The difference is covered with securities.

FINAL DISPOSAL OF SPENT NUCLEAR FUEL IN THE FINNISH BEDROCK PRELIMINARY SITE INVESTIGATIONS

Timo Äikäs (page 7)

Teollisuuden Voima Oy (TVO) studies the Finnish bedrock for the final disposal of the spent nuclear fuel from the Olkiluoto nuclear power plant. The study is in accordance with the decision in principle by Finnish government in 1983. This report is the summary of the preliminary site investigations carried out during the years 1987-1992. On the basis of these investigations a few areas will be selected for detailed site investigation. The characterization comprises five areas selected from the shortlist of potential candidate areas resulted in the earlier study during 1983-1985. Areas are located in different parts of Finland and they represent the main formations of the Finnish bedrock. Romuvaara area in Kuhmo and Veitsivaara area in Hyrynsalmi represent the Archean basement. Kivetty area in Konginkangas consists of mainly younger granitic rocks. Syry in Sievi is located in transition area of Svecofennidic rocks and granitic rocks. Olkiluoto island in Eurajoki represents migmatites in southern Finland. For the field investigations area-specific programs were planned and executed. The

field investigations have comprised airborne survey by helicopter, geophysical surveys, geological mappings and samplings, deep and shallow core drillings, geophysical and hydrological borehole measurements and groundwater samplings. The areas vary in size between 6 to 9 km². The areas have been originally identified as bedrock blocks bounded by fracture zones using interpretation of topographic and geophysical material. The characterization carried out confirms the existence of these blocks and their borders. Characterization also demonstrates that the main properties of the areas are such as expected. The hydraulic conductivities between the areas are rather similar. The measured values in rock matrix vary between 10⁻⁹—10⁻¹⁰ m/s (10⁻¹⁰ m/s is the lower limit of the instrument used). Fully 3-dimensional conceptual bedrock models have been interpreted for each area, and they contain typically 20-30 fracture zones. Brokenness indicated by fracturing appears as narrow, planar-like zones. Based on these conceptual geometrical models 3-dimensional conceptual flow model has been drawn from each area. The hydraulic head distribution and flow rate have been solved by the model calculations based on the porous continuum approach both in the rock matrix and in the fracture zones. Flow rate varies in the matrix typically from 0,01 to 0,1 l/m² a. This is a small value regarding the safety analysis. The calculated head values have been compared against measured values, and by calibration the fitting has been improved. The chemical quality of the groundwater is similar to that analyzed generally in the Finnish bedrock. In addition to fresh groundwater also saline groundwaters have been sampled at Olkiluoto and in Syry. Measured Eh-values indicate reducing conditions. Sulfide content is typically small. Some isotope analyses also indicate long residence times. Results from the site characterization have been used in the safety analysis. With respect to important properties of the bedrock all sites provide conditions for safe final disposal. The concept

repository can also be placed at a planned depth in each area. Regarding the detailed site investigations in the future and need for site specific safety analysis some differences exist between areas. These differences are related to the needs to mitigate conceptual model uncertainty and abilities to acquire complementary data. The evaluation of explorability regards Romuvaara, Kivetty and Olkiluoto more favorable than Veitsivaara and Syry.

TVO'S UPDATED TECHNICAL PLANS FOR FINAL DISPOSAL OF SPENT FUEL IN THE FINNISH BEDROCK

Jukka-Pekka Salo (page 10)

The spent fuel from the Teollisuuden Voima Oy (TVO) nuclear power plant at Olkiluoto can be safely managed and disposed of using the present-day technology.

According to present estimates, a total of 1840 tU of spent fuel will be accumulated during the 40-year lifetime of the power plant. The cost arising from the management and disposal of this amount of spent fuel is estimated to be about 3 500 million FIM (in 1992 Finnish Marks).

The spent fuel will be encapsulated in composite copper and steel canisters (ACP Canister) in a facility that will be built above the ground on the site where the repository is located. The ACP capsule design consists of an inner container of steel as a load-bearing element and of an outer container of oxygen-free copper to provide a shield against corrosion.

The repository will be constructed at the depth of several hundreds of meters in the bedrock. The encapsulated spent fuel will be emplaced in vertical holes drilled in the floors of horizontal deposition tunnels. In the holes the capsules are isolated from the rock by tightly compacted bentonite clay. As soon as the last capsules have been emplaced the encapsulation plant will be dismantled and the tunnels and shafts will be sealed off.

In 1987 five areas were selected for preliminary site investigations. The results from these investigations were reported at the end of 1992 and showed that, geologically, all the site candidates were suitable for housing the repository and the encapsulation plant. Considering the geometric features of the rock, several alternative locations for the repository could be identified at each of the candidate sites.

The safety analysis ("TVO-92") that was carried out shows that the proposed safety criteria would be met at each of the candidate sites.

The site investigations will be continued in the period 1993 to 2000. In parallel, a R&D programme will be devoted to the safety and technology of final disposal. The site for final disposal will be selected in the year 2000 with the aim of having the capability to start the disposal operations in 2020.

TVO-92 safety analysis of spent fuel disposal

Timo Vieno (page 14)

Spent fuel from the TVO I and TVO II reactors is planned to be disposed of in a repository to be constructed at a depth of about 500 meters in crystalline bedrock. The fuel will be encapsulated in composite copper and steel canisters. Preliminary site investigations have been carried out between 1987 and 1992 at five sites.

If the conditions in the geosphere in the vicinity of the repository do not change drastically and if no major disruptive event hits the repository, the copper-steel canisters remain intact for millions of years and no significant amount of radioactive substances will ever escape from the repository. The spent fuel, the buffer and the geosphere restrict efficiently the release of radionuclides even if the canister is initially defective or is broken soon after the sealing of the repository.

The results of the safety analysis attest that the planned disposal system fulfills the safety requirements. Suitable places for the repository can be found at each of the five investigation sites. It is important to characterize in detail the site where the repository will be located, so that fracture zones can be taken into consideration when constructing the repository.

Final responsibility and arrangements for funding future waste management operations in Finland

Veijo Ryhänen (page 18)

The common principle in Finland is that the producer of the nuclear waste is responsible for all costs involved. This means that the funds for the waste management including also the final disposal of spent fuel and the decommissioning of the power plants and the management of thereby arising waste, should be collected during the operation of the plant. Teollisuuden Voima Oy (TVO) operating the two BWR-type of reactors in Olkiluoto, has collected so far more than 2200 Million FM for the future stages of its waste management program. The capacity factors of the Olkiluoto reactors have up till now been so excellent that all funds for covering the total expected costs of the TVO's nuclear waste management program to have been collected by the year 2000. The share of the whole waste management costs in the production price of electricity is about FIM 0,013 / kWh.

The natural analogue investigations at the Palmottu uranium-thorium deposit give valuable information for nuclear waste disposal

(Blomqvist, Ahonen 19)

The research project in Palmottu of Nummi-Pusula, situated about sixty kilometers to the west from Helsinki, has given very useful information for judging the safety of final disposal of spent fuel.

Besides the Geological Survey of Finland several other Finnish research institutes participate in this project, which is presently funded mainly by the regulatory body, the Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety (STUK). The main objective of the project is the geosphere transport behaviour of natural radionuclides originating from the Palmottu U-Th deposit. The special significance of the Palmottu natural analogue studies — among other parallel international natural analogue studies — is that the geologic medium is crystalline rock.

The phenomena studied in this project include among others solubility and sorption characteristics of uranium governed by water-rock interactions and ground-water flow. The results obtained so far indicate long residence times and slow migration for uranium in this geological environment.

IVO-MicTreat

Risto Järnström (page 22)

IVO-MicTreat System is a new efficiently way to decompose organic radioactive waste: paper, paperboard, textiles as well as plastics and rubber. The system includes some special treatments and a bioreactor of any size. The volume of the end-product is less than 10 % compared to the volume of equivalent waste conventionally packed. Maximum capacities are from 4 kg/cu.m/day to 25 kg/cu.m./day depending on the material, which has been processed. A pilot IVO-Mic Treat unit has been operated in Loviisa NPP since 1989.

THE NUCLEUS IN FINLAND — THE SECOND REPORT

Aurela, Halme-Tapananainen, Kortenieniemi (page 24)

After the five-year history of the Nucleus in Finland, the present status of the Nucleus is summed up with this report

concerning the present distribution, its volume and efficiency. The results of the survey among the Finnish readers of the Nucleus are also given in this report. This report was presented at PIME '93 symposium in Karlovy Vary, Czech Republic in the beginning of February.

NUCLEAR INFORMATION SHOUDN'T ALWAYS LACK HUMOUR

Martti Kätkä (page 26)

International Workshop on Nuclear Public Information in Practice PIME '93 was organized by European Nuclear Society (ENS) in 31.1- 3.2.1993 in Karlovy Vary, Czech Republic. The conference was attended by 120 specialists of nuclear information from almost all countries involved with nuclear energy. Some common conclusions based on large experience worldwide could be summarized as follows:

- advertising is one acceptable form of information,
- humour is not only allowed but even recommended in public information,
- nuclear energy should be 'banalised',
- personal contact is the most effective; unfortunately also the most expensive means and
- nuclear acceptance among men is greater than among women all over the world.

The last conclusion is even more problematic, because the acceptance does not grow together with a higher level of education, as is the case with men. This means that the work of Women In Nuclear (WIN) is of utmost importance and deserves all support available. 10 % compared to the volume of equivalent waste conventionally packed. Maximum capacities are from 4 kg/cu.m/day to 25 kg/cu.m./day depending on the material been processed. A pilot IVO-Mic Treat unit has been operated in Loviisa NPP since 1989.

