



ATS

YDINTEKNIikka

SISÄLTÖ

YDINVOIMAN RISKIT

| | |
|---|----|
| Turvallisuus — ydinenergian käytön perusehto | 1 |
| Riskit raameihin | 2 |
| Ei elämästä selviä hengissä | 6 |
| Ydinvoiman riskit ihmisen jokapäiväisessä elämässä | 7 |
| Ydinvoimalaitosten työntekijöiden säteilyturvallisuus | 9 |
| Säteilystä tavalliselle ihmiselle | 11 |
| Ydinvoimalaitostapahtumien kansainvälinen vakavuusasteikko | 14 |
| Turvallisuusteknisten käyttöehtojen optimointi PSA-menetelmiä hyväksi käyttäen | 17 |
| TVO I/II PSA programme | 20 |
| Loviisan voimalaitoksen riskianalyysi | 23 |
| Riskit pienemmiksi vakavien reaktori- onnettomuuksien tutkimuksella | 26 |
| Kansainvälisen säteilysuojelukomitean suosituksia uusitaan | 29 |
| Ydinlaitoksilta kohtalokas perintö? | 30 |
| ATS luovutti ympäristökannanottonsa pääministeri Holkerille | 32 |
| Loviisan pitkä kesä 1990 | 33 |
| ENS:n heinäkuun kokousten antia | 35 |
| The Swedish nuclear policy is no global megatrend | 36 |
| Siemens is ready to compete with its Boiling Water Reactor for the next Finnish nuclear power station | 40 |
| Sihteerin sana — ENS yleiskokous Suomessa | 42 |
| Ytimekkäät | 42 |
| Lyhyesti maailmalta | 43 |
| English abstracts Special issue: Risks of nuclear power | 44 |

ATS

YDINTEKNIikka

3/90, vol. 19

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

TOIMITUS

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

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

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

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

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

JOHTOKUNTA

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

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

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

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

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

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

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

TOIMIHENKILÖT

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

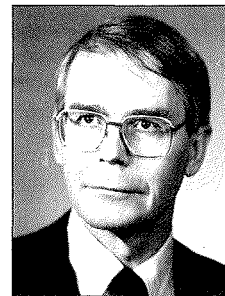
Kans.vällyhteyks.siht.
DI Klaus Kilpi
VTT/Ydinvoimatekniikan lab.
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki
P. 90-648931

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

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

Professori Antti Vuorinen on
Säteilyturvakeskuksen pääjohta-
ja, p. 90-70 821.

Antti Vuorinen, Säteilyturvakeskus



Turvallisuus — ydinenergian käytön perusehto

Suomalaisen ydinturvallisuustyön kaksi vuosikymmentä ovat olleet jatkuvan kehityksen aikaa. Sitä ovat sävyttäneet ulkomailla sattuneet onnettomuudet. Kotimaisissakin laitoksissa on koettu teknillisiä vaikeuksia, mutta ne eivät ole johtaneet uhkatilanteisiin. Käyttöhenkilöstö ja suojauslaitteet ovat toimineet odotetulla tavalla, ja syntyneet transienttitilanteet on nopeasti saatu täyteen hallintaan.

Käyttökokemuksiin perustuvat turvallisuustutkimukset ovat johtaneet mahdollisten onnettomuustapausten parempaan ymmärtämiseen. Samalla on voitu vastatoimenpiteet laitosten rakenteessa, suojausjärjestelmissä ja käyttöhenkilöstön toimintavalmiudessa ottaa huomioon entistä paremmin. Johtopäätösten taustalla eivät ole yksinomaan teoreettiset laskelmat vaan kaikki olennaiset tapahtumat on pyritty mahdollisimman tarkoin varmentamaan kokeellisin tutkimuksin. Suomessakin on tehty näitä kokeellisia tutkimuksia ja laskelmia ja niihin nojautuen merkittäviä parannuksia.

Tosiasiana kuitenkin pysyy, että kevytvesireaktoreissa reaktorin sydämessä ja sen lämmönsiirtojärjestelmässä on varastoituneena varsin suuri määrä radioaktiivisia aineita ja lämpöenergiaa. Lisäksi reaktorin energiatuottoa ei voi yhtäkkisesti lopettaa ja reaktori on potentiaalinen lähde valtavalle energiamäärälle. Näiden energioiden äkillinen vapautuminen on estettävä kaikissa olosuhteissa.

Ionisoivan säteilyn terveydelliset vaikutukset arvioidaan tänään merkittävästi suuremmiksi kuin vielä muutama vuosi sitten. On ilmeistä, että keskustelu tästä asiasta vielä jatkuu pitkään ja käsitykset saattavat tulevan 10-vuotiskauden aikana vieläkin muuttua.

Tämän keskustelun lopputuloksesta riippumatta on ydinenergian hyväksyttävyyden kynnyksykysymyksiksi entistäkin selvemmin kiteytynyt vaatimus hyvin luotettavasta näytöstä sille, että vakaviin ympäristövaikutuksiin johtavat onnettomuudet pystytään estämään ja että ydinjätehuollon turvallinen toteuttaminen osoitetaan vakuuttavasti.

Ydinvoimalaitosten turvallisuuden parantamisessa evoluution pohjalta keskeisiä ajatuksia ovat sisäisten turvallisuusominaisuuksien parantaminen, peruskonseptin yksinkertaistaminen, aiempaa runsaampi passiivisten ratkaisujen käyttö, automatiikan lisäkäyttö sekä yleensä laadun ja luotettavuuden parantaminen. Onko riittävä kehitys mahdollinen 1000 MW ja sitä suuremmissa reaktoriyksiköissä vai tapahtuuko paluu pienempiin yksiköihin, jää nähtäväksi.

Runsasaktiivisten ydinjätteiden ratkaisun kehittämistä ovat häirinneet monessa maassa epäselvä vastuunjako, virheelliset asenteet ja voimayhtiöiden halu viivyttää tarvittavia investointeja mahdollisimman pitkälle tulevaisuuteen. Suomessa lainsäädäntö on asettanut riittävät velvoitteet. Kuitenkin ratkaisun kehittämiseen tarvitaan vuosikymmenien työ, vaikka suurelta osalta nojaututaankin kansainväliseen yhteistyöhön. □

ATS YDINTEKNIikka (19) 3/90

YDINVOIMAN RISKIT

Vuoden 1991 numeroiden teemat ovat:

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

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin
ATS:n jäseniltä: 200 mk

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

Toimituksen osoite:

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

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

ISSN-0356-0473



Riskit raameihin

Elämiseen kohdistuvat riskit ovat yhteiskunnassamme perusteellisesti muuttuneet elintason ja terveyspalvelujen parantumisessa. Esivanhempiemme suurimmat riskit — kulkutaudit, kadot ja sodat — näyttävät ainakin tällä hetkellä väistyneen syrjään uusien riskien tullessa tilalle. Suurimpia elämisen riskejä ovat nykyään ihmisen itsensä aiheuttamat vääristä elintavoista johtuvat terveyden riskit. Terveydelle vaarallisia väärä elintapoja ovat mm. tupakointi, liiallinen alkoholin ja ruuan nauttiminen sekä riittämättömän liikunta. Useimmat ihmiset luulevat hallitsevansa nämä riskit, mutta tilastot todistavat muuta.

Suomessa ovat Tilastokeskuksen ”Kuolemansyyt 1984” julkaisun mukaan suurimmat kuolemansyyt

- sydän- ja verisuonisairaudet, 53 %,
- syöpä, 20 %
- hengityselinsairaudet, 7 % ja
- muut sairaudet 12 %.
- Tapaturmat ja väkivalta aiheuttavat 8 % kaikista kuolemista.

Tapaturmista noin neljäsosa eli 2 % kaikista kuolemista aiheutuu liikennetapaturmista ja lopuista huomattava osa on itsemurhia.

Enemmän kuin näitä jokapäiväisiä riskejä ihmiset pelkäävät mahtavampia mutta vaikeammin hahmotettavia riskejä, sellaisia kuin ydinsota, ympäristön radioaktiivisuus, ydinvoimalaonnettomuudet, ydintalvi, otsoniaukko, ekokatastrofi ja maailmanloppu. Pelkokuvat omaksutaan etupäässä televisiosta ja yleensä pahimman mahdollisuuden mukaisina. Onnettomuuden todennäköisyydestä ei ihmisillä useimmiten ole mitään mielikuvaa. Koska riski on onnettomuuden todennäköisyyden ja vahingon suuruuden tulo tulee tällainen vaistomainen riskiarvio melkein aina lioitelluksi. Kun yhteiskunta joutuu sijoittamaan suuria summia riskien torjuntaan — liikenteen, ympäristön saastumisen, ilmaston muutosten jne. ehkäisemiseen — on sen tapahduttava rationaalis-

ten riskiarvioiden pohjalta. Kun sen on myös tapahduttava demokraattisesti enemmistön tahdon mukaisesti, tulee enemmistön oppia arvioimaan eri riskejä edes suuruusluokaltaan oikein. Pelkääntään tunnepohjalla tapahtunut riskien torjunta olisi rahojen heittämistä kaviin.

Mitä riski on?

Riski tarkoittaa useimmiten vahingon vaaraa jossakin hyötyä tavoittelevassa toiminnassa. Sana riski tulee italian kielestä missä substantiivi rischio merkitsee tappion vaaraa ja verbi risicare tarkoittaa uskaltaa. Molemmat merkitykset ovatkin ominaisia riskille sellaisena kuin sen tavallisesti ymmärrämme. Vakuutus-terminä ”rischio” otettiin käyttöön Venetsian kukoistuskautena, jolloin merivakuutuksia alettiin myöntää.

Vakuutus-terminä riskiin sisältyy sekä tappion arvioitu todennäköisyys että sen suuruus. Mitä suurempi riski, sitä suurempi vakuutusmaksu. Riskille on yleensä ominaista tappio/hyöty-suhde. Arvioidaan kannattaako ottaa määrätty riski tiettyyn hyötyyn pyrittäessä. Jos sekä hyöty että menetys ovat taloudellisia, päästään yhteismitallisiin vertailuihin. Jos vahinkoihin sisältyy myös eriaisteisia henkilövaurioita tai sosiaalisia tai ekologisia haittoja ei yhteistä vertailupohjaa ole ja eri perusteilla voidaan tulla hyvinkin eri-arvoisiin tuloksiin.

Yleiskielessä puhutaan riskistä myös silloin, kun ei ole kysymys hyödyn tavoittelusta, esimerkiksi sodan, meteoriitin osumisen tai maanjäristyksen riskistä. Tällöin olisi usein täsmällisempää käyttää sanaa vaara.

Riski on yleensä kielteinen asia, mutta esimerkiksi urheilussa, uhkapelissä ja joskus liike-elämässä se koetaan positiivisena. Esimerkiksi vuoristokiipeily ja muut vaaralliset urheilut saavat viehätöksensä riskin otosta.

Taulukko 1. Riskin ulottuvuuksia

1. Vahingon luonne
2. Vahingon suuruus
3. Vahingon todennäköisyys
4. Vahingon tapahtumisaika (nyt vai kaukana tulevaisuudessa)
5. Onko riski vanha vai uusi
6. Onko riski vältettävissä
7. Onko riski ennalta arvioitavissa
8. Onko riski ennalta arvioitavissa

Riskillä onkin monia ulottuvuuksia. Eräitä niistä on lueteltu taulukossa 1. Erityisen suuri merkitys on sillä otetaan-ko riski vapaaehtoisesti vai onko siihen alistuttava pakosta.

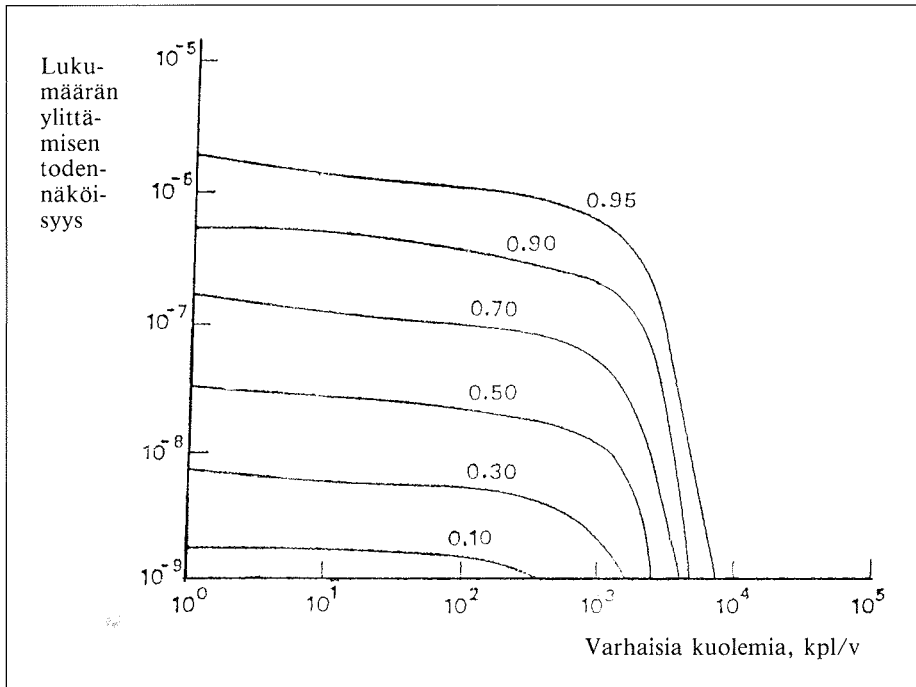
Probabilistinen riskiarvio

Sairauksista, liikennetapaturmista ja tavallisista liikenneonnettomuuksista on tarkat tilastotiedot ja niistä voidaan laatia ns. probabilistinen riskiarvio (kuva 1) joka ilmoittaa eri suuruuksien onnettomuuksien todennäköisyyden tietyissä olosuhteissa eri luotettavuustasoilla. Hyvin harvinaisista onnettomuuksista ei kuitenkaan ole kylliksi kokemusta jotta tällainen arvio voitaisiin sen pohjalta laatia.

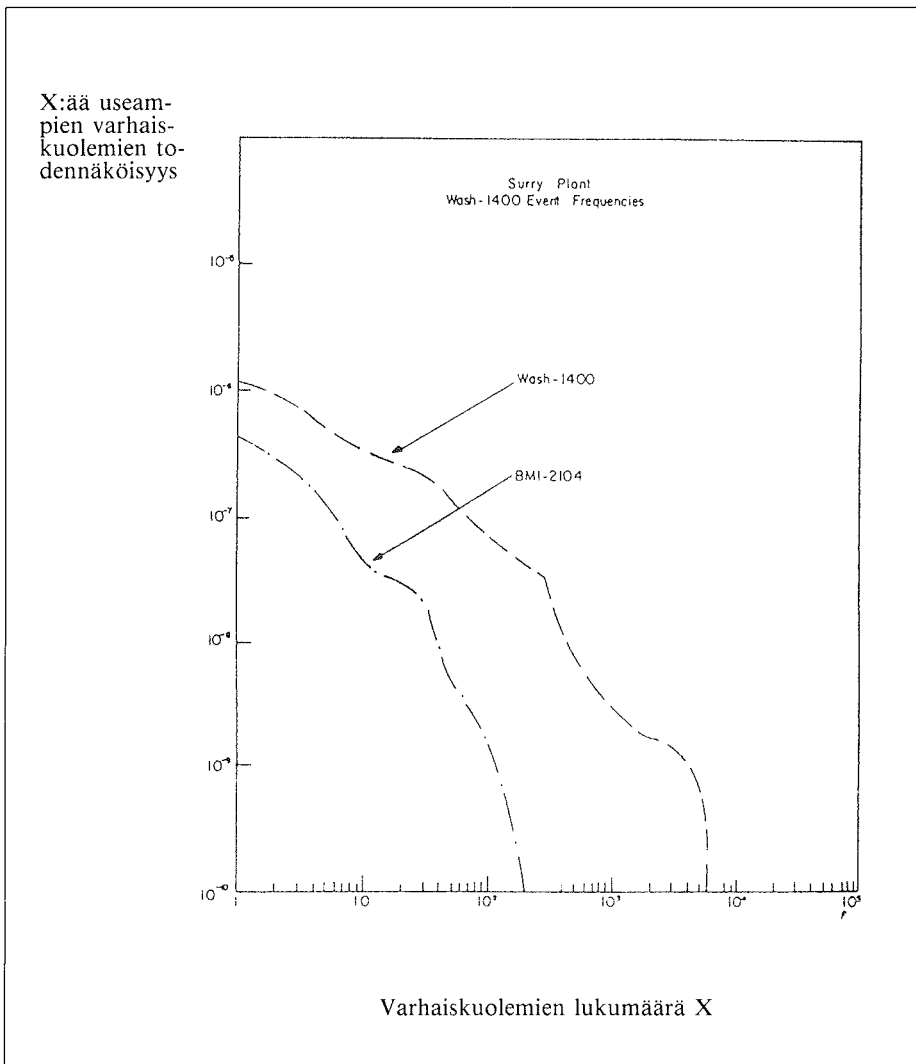
Monimutkaisista teknisistä järjestelmistä kuten ydinvoimalat laaditaan kuitenkin riskiarvioita, sillä niistä on sikäli hyötyä, että ne osoittavat teknisen järjestelmän heikot kohdat, joita sitten voidaan parantaa. Jokainen komponentti voidaan testata ja kaikkien häiriötilojen, jotka johtuvat komponenttien pettämisestä, todennäköisyys laskea.

Vaikeammin arvioitavissa ovat laitteiden käyttäjän erehdykset tai virheet, mutta kyllä niidenkin seurauksia voidaan päätellä. Kaksi tunnettua reaktorionnettomuutta, Harrisburgissa v. 1979 ja Tshernobylistä v. 1986 sattuneet, aiheutuivatkin pääasiassa ns. inhimillisistä virheistä. Kummassakin tapauksissa tehtyjen virheiden seuraukset tiedettiin etukäteen, mutta riskejä otettiin koska niistä luultiin selviytyvän. Tällaisilta tapauksilta pyritään ydinvoimalalla ja muissa tarkkuutta vaativissa, riskialttiissa ammateissa suojautumaan valitsemalla ja kouluttamalla käyttöhenkilökunta entistä huolellisemmin, automaati-soimalla turvalaitteet mahdollisimman pitkälle ja sijoittamaan pikasulku- ja muut turvajärjestelmät pois valvomosta sinetöityyn laitostilaan niin ettei niitä voida sulkea pois päältä ilman erityistä harkintaa. Häiriötilanteessa suojalaitteet käynnistyvät automaattisesti sammuttaen reaktorin tai pysähdyttäneen koneen tai prosessin.

Kuvassa 2 oleva käyrä ”Wash-1400” on ns. Rasmussenin raportin arvio 1970-luvulta erisuuruista ydinvoimalaonnettomuuksista. Länsimaisen, suojakuvulla varustetun kevytvesireaktorin suuronnettomuuden (yli 10 kuolonuhria) todennäköisyys on keskimäärin kerran 5 miljoonaa vuotta kohti. Tämä on alle tuhannesosan tavallisten yhtä tuhoisten onnettomuuksien (esim. lentoturmat tai padonmurtumat) todennäköisyydestä, niistähän on runsaasti kokemuksiakin.



Kuva 1. Probabilistinen riskiarvio. Lähde: Fitzpatrick, r. et al., NUREG/CR — 4405 (1985)



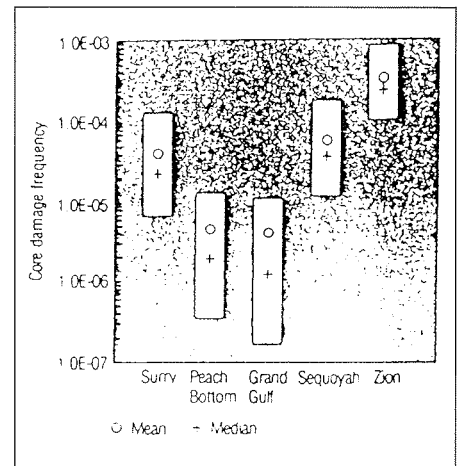
Kuva 2. Ns. Rasmussonin raportin arviot (Wash-1400) sekä myöhemmän, Surryn atomivoimalasta (Virginia, USA) tehdyn selvityksen (BMI-2104) arviot todennäköisyydestä, jolla suuronnettomuuden aiheuttamia kuolonuhreja voi olla yhtä paljon tai enemmän kuin X. Lähde: R.L. Murray, Nuclear Energy, Pergamon Press, Oxford, 1988, s. 232.

Tätä arviota ei järkyttänyt Harrisburgin onnettomuus, jossa ei tapahtunut lainkaan henkilövaurioita, eikä myöskään Tshernobylin onnettomuus, koska ko. reaktori on rakenteeltaan aivan toisenlaista, sisäisesti epävakaata tyyppiä, jota esiintyy ainoastaan Neuvostoliitossa.

Kuvassa on esitetty myös uudempi arvio (BMI-2104) jossa on huomioitu mm. Harrisburgin onnettomuuden kokemukset. Sen mukaan riski on vielä pienempi kuin Rasmussonin tutkimuksen perusteella saatu arvio.

Viime vuosikymmenen aikana reaktoriturvallisuustutkimuksesta on kehittynyt aivan oma tieteenalansa. Tietulle reaktoreille arvioidaan kaikkien mahdollisten onnettomuuksien todennäköisyys, jolloin ko. reaktorin heikkoudet paljastuvat. Rakenteellisin muutoksin ja lisätyin turvalaittein voidaan reaktorin kokonaisturvallisuutta useimmiten huomattavasti parantaa.

Kuva 3 eräästä aivan uudesta amerikkalaisesta tutkimuksesta, jonka luonnos on vasta lausuntokierroksella. Siinä on viidellä eri reaktorilla saadut vakavan ydinvaurion (osittainen sulaminen) todennäköisyydet.



Kuva 3. Reaktorin sisäisistä tekijöistä aiheutuvan ydinvaurion tapahtumistaajuus ja sen hajonta 5—95 % todennäköisyyksillä.

O = keskiarvo + = mediaani

Kuten kuvasta ilmenee, esim. Surry-reaktorilla voi tapahtua vakava ydinvaurio korkeintaan kerran 50 000 vuodessa. 95 %:n todennäköisyydellä se ei tapahdu useammin kuin kerran 10 000 vuodessa, 5 %:n todennäköisyydellä korkeintaan kerran sadassatuhannessa vuodessa. Sequoiah-reaktorin ydinvaurioriski on samaa suuruusluokkaa kuin Surryn, Zion'in kertalukua suurempi, mutta kahden muun reaktorin kertalukua pienempi.

Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA on ehdottanut kansainväliseksi vaatimukseksi ettei tällainen onnettomuus saisi tapahtua vanhoillakaan reaktoreilla kuin korkeintaan kerran 10 000 vuodessa, mutta uusilla kerran 100 000 vuodessa. Maassamme toimivat voimalareaktorit täyttävät tämän vaatimuksen.

Riskikuvitelmiä psykologiset tekijät

Mielipidetutkimukset eri maissa, mm. Suomessa ja Ruotsissa, ovat osoittaneet, että ihmisten riskikäsitteet muovautuvat alitajuisesti medioiden uutiskuvien ja hypoteettisia suuronnettomuuksia käsittelevien jännitysfilmien perusteella, ennen kaikkea television välityksellä. Harrisburgissa tuskin olisi syntynyt pakokauhua ellei Jane Fondan valtavan menestyksen saavuttanut täysin fiktiivinen reaktorin ytimen sulamisonnettomuutta kuvaava elokuva "Kiina-syndrooma" olisi kiertänyt Yhdysvaltoja juuri sitä ennen. Tshernobylin onnettomuus tuskin olisi aiheuttanut yhtä suuria liioitteluja, jos Neuvostoliitto olisi alusta pitäen lähettänyt onnettomuudesta asiallisia tiedotuksia. Toisaalta, tiedottamista vaikeutti se, ettei prosessia kummassakaan tapauksessa saatu hallintaan ennen kuin usean vuorokauden kuluttua sen alkamisesta, joten seurausten ennustaminen oli vaikeaa.

Ruotsalaiset tutkijat J. Westerstahl ja F. Johansson osoittivat v. 1988 että yleisön levottomuuden ja pelkojen määrä pysyy vakiona, syyt vain vaihtelevat. Osa ihmisistä on hermostoltaan heikkoja. Koska joukkotiedotusvälineiden aineisto on vahvasti onnettomuuspainotteinen — kolmasosa uutisista on sota-, rikos- ym. "huonoja" uutisia — ruokkivat uutisvälineet tehokkaasti näiden ihmisten taipumusta pelkäämiseen. 1980-luvun alkuvuosina pelättiin eniten ydinsotaa. Liennytyt ja Tshernobylin onnettomuus siirsi ydinvoimalarajähdyksen pelon vuodeksi, pariksi etusijalle, sittemmin ovat talousvaikeudet, katuväkivalta ja muut syyt nousseet ensi sijalle.

Ruotsin johtavat poliitikot ovat korostaneet että heidän velvollisuutensa on "kunnioittaa kansalaisten levottomuutta". Tärkeintä ei silloin olekaan pyrkiä selvittämään levottomuuden todellisia syitä ja toisiinsa rinnastettavien riskien suuruutta. Totuus saa väistyä poliittisen tarkoituksenmukaisuuden tieltä. Tämä tie on nyt Ruotsissa loppuun kuljettu ja edessä on tuskallinen kääntyminen rationaalisen energiapolitiikan linjoille.

Meillä Tshernobylin laskeuma aiheutti ensi vuoden aikana alle 10 prosentin lisän yleisön normaaliin säteilyannokseen. Sen mahdollinen terveyshaitta on niin vähäinen, ettei sillä ole käytännön merkitystä. Yleisöllä on kuitenkin hyvin hatara käsitys ympäristön radioaktiivisuuden merkityksestä. Uutisvälineille ilmoitetaan elintarvikkeiden becquerel-arvoja, mutta se on aivan väärä yksikkö terveysvaikutusten mittana. Oikea yksikkö olisi sievert. Yleisö ei tiedä tai usko että ydinvoimalaonnettomuudenkin sattuessa suojaa alueen ulkopuolella ja suuremmilla etäisyyksillä on todennäköisesti monisata- tai tuhatkertainen turvallisuusmarginaali haitallisiin säteilyannoksiin. Meillä se oli Tshernobyllaskeumasta noin tuhatkertainen.

Useimpien ilman kemiallisten saasteiden, mm. rikin ja typen oksidien, hiilimonoksidin eli hään ja otsonin suhteen, margi-

naali sallittavien ja haitallisten arvojen välillä on vain muutamakertainen ja ylitetäänkin säännöllisesti sydäntalvella ns. inversiosään vallitessa asutuskeskuksissa, mm. Helsingissä. Nämä todelliset terveyden riskit hyväksytään mieluummin kuin epätodennäköisen säteilyonnettomuuden vähäisemmät ja hypoteettiset riskit lähinnä psykologisista syistä. Ilmansaasteet nähdään taloudellisista syistä välttämättöminä ja niitä vähätellään koska niihin on totuttu. Hyväksytäänhan suurimmatkin terveytemme riskit, alkoholin runsas käyttö, tupakointi ja liika syöminen mukavuussyistä mutisematta.

Eri energiamuotojen riskit toisiinsa verrattuina

Nykyinen teollinen yhteiskunta kuluttaa valtavasti energiaa jonka saanti on ehdottoman välttämätöntä talouselämän, liikenteen ja asumisen ylläpitämiseksi. Perinteisesti energiatuotannon päätökset on tehty rationaalisesti kiinnittäen huomiota lähinnä energiaraaka-aineen turvattuun saantiin ja edulliseen hintaan. Energiantuotannon kasvaessa ovat sen ympäristöriskit lisääntyneet siinä määrin että ne on pakko huomioida ja muuttaman viime vuoden aikana niitä koskevat argumentit ovat jo vaikuttaneet päätöksiin jopa enemmän kuin saantivarmuus ja kustannuskysymykset.

Kun energiapäätökset ovat poliittisia ja yleisön käsitykset ympäristöriskeistä ovat etupäässä tunnepohjaisia, on vaarana että syntyy epärationaliaalisia energiapäätöksiä, joista yhteiskunta joutuu kalliisti maksamaan sekä riskeinä että kustannuksina.

Kaikki sähköntuotantotavat aiheuttavat riskejä esim. kaivostoiminnan, kuljetusten, laitojen rakentamisen ja käytön, jätteiden käsittelyn ja loppusijoituksen sekä ympäristön saastutuksen kautta. Monista energialähteistä on olemassa vain kaksi, joiden avulla Suomen kasva-va energiatarve voidaan lähivuosina tyydyttävästi hoitaa, hiili- ja ydinvoima. Niiden terveysriskeistä on kahden viime vuosikymmenen aikana tehty runsaasti vertailevia riskitutkimuksia.

Taulukko 2. Sähköntuotannon terveysriskit kivihiili- ja ydinvoimalla (kuolemat/vuosi/1000 MW). (6000 menetettyä työpäivää vastaa yhtä kuolemantapausta.)

| Tekijä | Kivihiilivoima | Ydinvoima |
|----------|----------------|-----------|
| Hamilton | 7.7—9.1 | 0.77 |
| Holdren | 6.5—250 | 0.5—1.36 |
| Inhaber | 6.4—350 | 0.3—1.66 |
| Pochin | 15 —20 | 1.5—2 |
| CEPN | 6.3—6.7 | 0.5 |

Taulukossa 2 on esitetty viiden tunnetun tutkimuksen tulokset. Ne ovat ihmisten kuolemia vuodessa 1 000 MWe-vuotta kohti. Kuten havaitaan, hiilivoimalla on Holdrenin ja Inhaberin tutkimuksissa valtavat vaihtelurajat, mikä vastaa todellisuutta. Mukana ovat sekä työpaikkakuolemat että suuren yleisön kuolemat; työpaikkasairaudet on muunnettu kuolemiksi käyttäen kerrointa: 6 000 menetettyä työpäivää vastaa yhtä kuolemantapausta.

Voimalan saastevaikutus riippuu kolmesta seikasta: kuinka suuria ovat päästöt, kuinka paljon ihmisiä asuu laskeuma-alueella ja millainen on paikallinen keskimääräinen sää. Pahimpia ovat pienet hiilivoimalat, joissa ei ole mitään suodattimia, joiden savukaasut nousevat vain matalalle ja jotka sijaitsevat kymmenmilloonaisessa kaupunkitaajamassa matalalla, inversioherkällä alueella kuten New York ja Los Angeles Yhdysvalloissa. Pahimpina inversiopäivinä niissä joudutaan teollisuus ja liikenne pysähtyttämään. Kuten nähdään, kivihiilivoima on 10—100 kertaa turmiollisempi kuin ydinvoima. Kivihiilen riskit aiheutuvat kaivos- ja kuljetusonnettomuksista sekä ennen kaikkea ilman saasteista. Maksimiluvut ovatkin melkein kokonaan ympäristövaikutuksista johtuvia.

Muuttaman viime vuoden aikana on teollisuusmaissa alettu varustaa fossilivoimaloita ilmansuodattimilla, jolloin paikalliset ympäristöhaitat ovat dramaattisesti vähentyneet. Esimerkiksi Kankaan ja Niinisen IAEA:n Energiasymposiumissa (SM-273) vuonna 1984 esittämän tutkimuksen mukaan ovat kivihiilen, turpeen ja ydinenergian vuosittain 1 000 MWe kohti aiheuttamat kuolemantapaukset Suomessa vastaavasti 3,2 ja 1. Kivihiilivoimalassa on rikinpoisto ja pölysuodatus. Nämä erot ovat vähäisiä ja liikenne onkin nousemassa teollisuusmaissa energialaitoksia merkittävämmäksi ympäristön saastuttajaksi lähivuosina.

Toisin on asia vähemmän rikkaissa maissa, erityisesti kehitysmaissa ja Itä-Euroopan maissa, kunnes ne saavat taloutensa kuntoon. Valtaosassa maailman maita ei ole varaa minkäänlaisiin suodattimiin nyt eikä näköpiirissä olevassa tulevaisuudessa. Niihin kuuluvat mm. maailman väkirikaimmat valtiot Kiina ja Intia.

Kaikkiin maailman kuolemiin vuodessa — yli 50 miljoonaa — verrattuina ydinvoiman tuottamat kuolemat ovat lähes merkityksetön määrä, fossiileilla tapahtuvan sähköntuotannon aiheuttamakin pienehkö. Alueellisesti se voi olla hyvinkin paha, sehän kohdistuu etupäässä lähialueille. Fossiilien polton pääongelma eivät olekaan happopäästöt, vaan hiilidioksidi jota ei voida suotimin poistaa palokaasuista.

Viomantuotannon globaalinen riski: kasviuonekaasujen aiheuttama ilmastomuutos. Ihmisen toiminta on lisännyt suuresti useiden sellaisten kaasujen päästöjä ilmakehään, jotka aiheuttavat sen pysyvää lämpenemistä. Niitä ovat ennen muita hiilidioksidi, joka vastaa 55 %:sta lämpenemisestä, sekä kloorifluorihilive-dyt eli ns freonit, ja typen oksidi N₂O.

Kloorifluorihiliveytyjen suhteen on jo saatua aikaan kansainvälisiä käyttökieltoja joita tullaan tiukentamaan kunnes päästöt supistuvat merkityksettömiksi.

Typen oksideita syntyy ihmisen toimesta mm. poltettaessa fossiilisia polttoaineita korkeissa (yli 1300 asteen) lämpötiloissa. Niiden lähteenä on silloin ilman tyyppi,

joka kuumuudessa hapettuu. Uusissa polttotekniikoissa poltto suoritetaan alemmassa lämpötilassa, tasaisemmin, ja mukaan ruiskutetaan pelkistäviä typpiyhdisteitä kuten ammoniakkia, jolloin hapettuminen ehkäistyy. Näin vältetään tältä fossiilien polton sivutuotteelta.

Hiilidioksidipäästöjä sensijaan ei voida välttää muuten kuin olemalla polttamatta. Sen talteenotto suodattamiseen sitoisi enemmän energiaa kuin poltossa vapautuu, samoin sen hiileksi pelkistäminen, prosessin tappiot huomioiden.

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on 1800-luvun alusta kasvanut lähes kolmanneksella ja tulee nähtävissä olevalla fossiilipolttoaineiden kulutuksen vauhdilla kaksinkertaistumaan v. 2030—2050 mennessä. Pääosa maapallon nykyisistä asukkaista tulee sen jo omakohtaisesti kokeamaan.

Alan asiantuntijoiden keskuudessa vallitsee yksimielisyys tästä samoin kuin siitä, että pinta-ilman lämpötila tulee hiilidioksidin lisääntymisen johdosta kasvihuoneefektin kautta nousemaan n. 1,5—4,5 celsiusasteella. Mm. YK:n pääsihteerin asettaman ns. Brundtland-komission raportti "Yhteinen tulevaisuutemme" (Valtion painatuskeskus 1987) korostaa kasvihuoneefektin pikaisen ja tarkkan selvityksen tärkeyttä ja kansainvälisiä sopimuksia sen ehkäisemiseksi. Sen vaikutuksia ei enää ehditä kokonaan ehkäistä, mutta esim. rakennukset ehditään siirtää pois matalilta rannoilta.

Maapallon nykyinen herkkä ilmastotasa-paino on kehittynyt tuhansien vuosien kuluessa. Nyt olosuhteet muuttuvat tunnustavasti kymmenissä vuosissa. Kun tällainen monimuuttujajärjestelmä häiriytyy, siinä voi tapahtua yllättäen suuria muutoksia. Maapallon paleontologinen menneisyys kertoo monista äkillisistä muutoksista, joiden syytä ei ole saatu selville.

Tulevaisuus

Mitä olisi sitten tehtävä maapallon pelastamiseksi mullistavilta ilmastonmuutoksilta, jotka ovat tulossa nopeammin kuin olemme aavistaneetkaan? Maapallon fossiiliraaka-ainevarat, pääasiassa kivihiihiltä, riittäisivät kyllä pitkään. Ne arvioidaan n. 10 000 Gtoeksi — nykyisin käytetään 7,4 Gtoe vuodessa — vuonna 2060 Maailman energiakonferenssin keskimääräisennusteen "C" mukaan 12,6 Gtoe/v, mutta näin suurta kulutustahan ei voida jatkaa koska siitä olisi suuria ilmastonmuutoksia odotettavissa jo alle 100 vuoden. Kansainvälinen sopimus hiilidioksidipäästöjen (eli fossiilipolttoaineiden käytön) supistamisesta onkin tulossa jo vuonna 1992. Siinä tullaan velvoittamaan teollisuusmaat supistamaan hiilidioksidipäästöjään tuntuvasti, kenties 20 prosentilla vuoteen 2005 mennessä, kuten Toronton konferenssi vuonna 1988 vaati. Mistä sitten energiaraaka-aineita fossiilien tilalle?

Aurinko on runsain ja pitkäikäisin energianlähde maapallolla. Se on jo säteilyt suunnattomia energiamääriä kuuden miljardin vuoden ajan ja astronomien mukaan tulee todennäköisesti jatkamaan säteilyään ainakin toiset kuusi miljardia vuotta... Auringosta saapuu maapallolle säteilyenergiaa joka vuosi 96 000 Gtoe eli 10 kertaa enemmän kuin maapallon koko tunnetut energiavarat.

Auringon energia sekä siihen perustuvat vesi- ja tuulivoima, vuorovesi, polttopuu ja biomassa ovat merkittäviä "uusiutuvia" energian lähteitä. Niihin joutuu ihmiskunta turvaamaan kun "varastoituneet" energialähteet, fossiiliset polttoaineet ja uraani, loppuvat.

Auringonvaloa voidaan silikonikenoilla muuttaa suoraan sähköksi, mutta siihen tarvittavat laitteistot raaka-aineineen sivat niin runsaasti energiaa että niiden "takaisinmaksuaika" muodostuu kymmeniksi vuosiksi.

Ydinenergia nykyisillä kevytvesireaktoreilakin tuotettuna on teknisesti kypsä, hiilidioksidia ja ilmansaasteita tuottamaton energialähde, jonka "takaisinmaksuaika" on vain muutama vuosi. Tshernobylin onnettomuuden aiheuttama pelästys on vaikeuttanut sen hyväksikäyttöä, mutta reaktoriturvallisuuden kasvaessa ja öljyvarojen pienetessä sen käyttö tulee lisääntymään.

Nykyteknologialla ja nykyisellä reaktori-kannalla maapallon tunnetut halvalla hyödynnettävät uraanivarat riittäisivät noin 60 vuodeksi, mutta siirtymällä käyttämään hyötöreaktoreita uraanivarojen käytettävyyden nousisi monikymmenkertaiseksi. Vaikka ydinenergian hyväksikäyttö jäisikin väliaikaiseksi (ellei fuusiota onnistuta ratkaisemaan) se helpottaisi siirtymäkautta aurinkoenergian aikakauteen.

Ennen ydinenergian laajempaa hyväksikäyttöä on kansalaisten kuitenkin perehdyttävä riskiajatteluun ja erityisesti eri energiamuotojen todellisiin riskeihin, koska päätökset on tehtävä demokraattisesti. Myös säteilyn riskejä koskevien liioiteltujen käsitysten korjaaminen on tärkeää, jotta huomio voidaan keskittää suurempiin riskeihin. Energiakysymysten hoitamisen tulee muuttua rationaaliseksi nykyisestä tunnepohjalla tapahtuvasta päätöksenteosta maailmassa, jonka väestö ja energiankäyttö kasvavat eksponentiaalisesti kasvihuoneilmaston uhatessa mullistavilla ilmastonmuutoksilla jo lastenlapsiemme elämän aikana. □

Professori emeritus Jorma K. Miettinen on Helsingin yliopiston radio-kemian laitokselta, p. 90-449 038.

ANNOUNCEMENT FOR SHORT COURSES

on

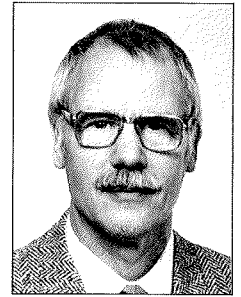
**MULTIPHASE FLOW AND HEAT TRANSFER:
BASES, MODELLING AND APPLICATION IN
A: THE NUCLEAR POWER INDUSTRY
B: THE PROCESS INDUSTRIES
Zurich, 18—22 March 1991**

hosted by the
Swiss Federal Institute of Technology (ETH)
in Zurich, Switzerland.

The modular courses feature coordinated, comprehensive series of lectures by experts and are of interest to practicing engineers and to researchers who wish to obtain a condensed and critical view of present basic knowledge (Part I) or information on the state of the art regarding applications in specialized industries (Parts IIA and IIB).

The courses aim at an interdisciplinary transfer of knowledge. Applications cover nuclear and chemical plant safety (with an emphasis on severe accidents), steam generators, pipelines, etc.

For further information contact Prof. G. Yadigaroglu, ETH-Zentrum, CH-8092 Zurich, Switzerland (tel.: +41-1-256.4615).



Ei elämästä selviä hengissä

Ydinvoimalle välttämättömän riskitarkastelun painopiste on aiemmin ollut teknis-tieteellisessä todennäköisyysanalyysissä. Eksaktiset matemaattiset menetelmät eivät enää yksin riitä, kun ydinvoiman yhteiskunnallinen hyväksyttävyys on teknillisen tarkastelun rinnalla yhä vahvemmin tuonut riskien psykologisen ja sosiologisen tutkimisen.

Parhaillaan elävät suomalaiset nauttivat olosuhteista ja elintasosta, jotka ylittävät kaiken aiemmin koetun ja mahdollisesti myös koskaan tulevan. Aiemmin vain harvojen etuoikeutena olleet etuisuudet ovat nyt kaikkien käsillä. Aineellisen hyvän ohella ovat myös henkiset ja muut aineettomat hyvinvoinnin ja tasa-arvon elementit ennen kokemattomalla tasolla. Erityisesti ympäristömme ja elinpiirimme ymmärtämisen kannalta olennaiset koulutus ja tiedon saanti kuuluvat kansalaisten perusoikeuksiin, niiden taso on enää yksilöstä itsestään kiinni.

Aiempiin sukupolviin verrattuna meidän pitäisi tuntea olomme sekä turvallisemmaksi että tyytyväisemmäksi. Pelkojen ja huolen aiheitten pitäisi olla suurelta osin väistyneitä, jotakin, joka on meistä kaukana.

Henkisellä levollisuudella ja turvallisuuden tunteella ei ehkä kuitenkaan ole väliä yhteyttä fyysiseen hyvinvointiin ja turvallisuuteen. On ikäänkuin pelkoja ja huolia olisi vakiomäärä, vain niiden laatu muuttuisi olosuhteiden muuttuessa.

Kun fyysisistä hyvinvointia välittömästi uhkaavat riskit ovat vähentyneet, ovat ne osin korvautuneet mielikuvien tuomilla huolilla ja peloilla. Erityisesti räjähdysmäisesti kasvanut ja äärimmäisen nopea massatiedotus on helpottanut mielikuvien luomista. Onnettomuudet, katastrofit, epidemiat ja muut sinänsä poikkeukselliset tapahtumat tarjotaan tuoreeltaan tekstein, äänin ja kuvin uutisaineistossa. Samalla arvioidaan riskin mahdollinen osuminen omalle kohdalle, meille. Tapahtumien huomioarvoa pyritään nostamaan yksityiskohtia suurentelemalla, rafaalavalla otsikoinnilla ja näyttävällä esillepanolla, usein hyvin tunteeseen vetoavalla tavalla. Rationaalisuuden ohella tunteilla onkin yhä suurempi osuus erilaisten uh-

kakuvien syntymiseen. Tunnumme elävän aina vain riskialttiimmassa ympäristössä.

Tilanne on aika outo sikäli, että nykyinen tietämys riskeistä on laajaa. Erilaiset riskeihin liittyvät tutkimukset lepäävät vankalla matemaattis-tieteellisellä pohjalla ja tilastollista aineistoa on milteipä kaikilta elämänpiirin alueilta. Riskianalyysit ovat lähes muoti-, ellei peräti kunnia-asia yhä useammalla alalla. Jokamiehen päivittäinen elämä on kartoitettu 24 tunnin tarkkuudella, elinympäristön ja elintapojen perusteella voidaan varsin hyvin arvioida itsekutakin kohtaavien riskien laatu ja suuruus. Aihetta perusteetomien uhkakuvien pelkoon ei pitäisi olla tai ainakin niiden pitäisi olla hälvennettävissä.

Suhtautuminen ydinvoimaan lienee yksi selvimpiä esimerkkejä ristiriidasta todellisten ja kuviteltujen riskien välillä. Useimmille lienee tuttu Yhdysvalloissa tehty tutkimus, jossa opiskelijat ja kotirouvat sijoittivat sairauksiin ja tapaturmiin johtavien kahdenkymmenen riskin kärkeen ydinvoiman, joka riskianalyysin mukaan sijoittuu viimeiseksi. Valtaosan muista riskeistä he sijoittivat kutakuinkin hyvin kohdalleen.

Useimmille tieteellisen ja teknillisen koulutuksen saaneille ydinalan asiantuntijoille tilanne on hämmäntävä, kun se osuu kohdalle elävässä elämässä. Heidän omasta mielestään riidaton perustelu esimerkiksi ydinjätehuollon turvallisuudesta ei saakaan vastakaikua julkisessa keskustelussa. Syy ei kuitenkaan ole mahdollisissa virheissä asiantuntijan perusteluissa. Keskustelua vain käydään yhteismitattomasti, eri tasoilla. Faktojen ja mielikuvien kohtaaminen on vaikeaa, joskus mahdotonta.

Riski onkin matemaattisen tarkastelun ohella yhä enenevässä määrin sosiologisen ja psykologisen tarkastelun kohteena. Jo käsitteenä sana riski ymmärretään eri tavoin tiedeyhteisössä ja jokapäiväisessä kielenkäytössä. Sillä on myös eri merkitys poliittiselle päätöksentekijälle kuin teollisuusjohtajalle, yrittäjä kokee sen erilaisena kuin palkansaaja. Riskien arvosteluperusteinen yhteiskunnallinen ja yksilöpsykologinen merkitys poikkeaa niiden todennäköisyyspohjaisesta merkityksestä. Asenteet ja arvostukset ovat enenevästi määräävässä asemassa eri riskien keskinäisessä järjestyksessä eikä niiden arvostusperusteisen matemaattiseen tarkasteluun ole keinoja.

Prof. Ortwin Rennin mukaan /1/ ristirii-

ta riskin intuitiivisen ja teknisen käsittämisen välillä kulminoituu pitkälti juuri todennäköisyyteen. Voidaanko yksilö saada pitämään hyväksyttävänä sitä, että Tshernobyl todennäköisyyslaskelmien mukaan aiheuttaa Euroopassa 28000 syöpätapausta seuraavan 50 vuoden aikana, kun yksilökohtainen syöpärisiko on kohonnut vain 0,02 %? Tätä esimerkkiä, vähäisen todennäköisyyden ja suuren väestömäärän tuloa, Renn pitää hyvänä osoittamaan tieteellis-teknillisen riskianalyysin tulkintakyvyn rajoja.

Riskien nykyisen sosiologisen tutkimuksen yhteydessä puhutaan jo ”riskiyhteiskunnasta”. Sen yhtenä tunnusmerkinä on yhteisöllinen riskinjako aiemmin yhteiskuntaa kuvanneen yhteisöllisen varallisuusjaon asemasta. Vastakkain ovatkin riskilähteistä hyötyjät ja riskinkantajat, joiden välille tulevaisuudessa voi syntyä vastakkaisuuksia entisen varallisuusjaon tapaan.

Tämä riskien tarkastelun siirtyminen matemaattisesta todennäköisyydestä yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen heijastuu erinomaisesti kysymyksen ”How safe is safe enough?” korvautumisella kysymyksellä ”How fair is safe enough?”.

Useissa eri maissa suoritettujen tutkimusten perusteella on voitu löytää joukko riskeille yhteisiä laatutekijöitä. Näitä ovat

- riskilähteen tuttuus
- riskinoton vapaaehtoisuus
- henkilökohtainen vaikutusmahdollisuus altistumiseen riskille
- varmuus kuolemasta vaaran toteutuessa
- laajavaikutteisten seurausten mahdollisuus
- vaarojen aisteilla havaittavuus
- käsitys hyötyjen ja riskien oikeudenmukaisesta jakautumisesta
- käsitys riskien seurausten palautuvuudesta
- hyödynsaajan ja riskinkantajan yhteneväisyys
- luottamus riskien julkiseen kontrolliin ja hallintaan.

Vaikka näiden tekijöiden painotukset vaihtelevat kulttuuripiiristä toiseen, samoin kuin saman kulttuuripiirin sisällä niin sosiaaliryhmien kuin yksilöidenkin välillä, on niillä selvä universaalinen luonne.

Erityisesti ydinvoimaan kohdistuu voimakasta asenteellisuutta, jonka takana on hyvin monia tekijöitä ydinaseista alkaen. Edellä olevia laatutekijöitä tarkastelemal-

malla asian ymmärtäminen helpottuu huomattavasti. Ne ovat lähes poikkeuksetta ydinvoimalle epäedullisia. Ydinvoima on laajalti joutunut myös symbolisoimaan koko nykyisen länsimaisen teollisen yhteiskunnan kehitystä. Monet pelot, leivottomuuden aiheet ja jopa yleinen tyytymättömyys oleviin oloihin projisoidaan ydinvoimaan, jolle näin annetaan todellista merkitystään korostetumpi asema.

Sinänsä oikeat matemaattiset todennäköisyydet onnettomuuksista ja niiden seurausvaikutuksista vaikuttavat heikosti, tai ainakin hyvin hitaasti, asenteisiin. Ne ovat vaikeasti tajuttavia eikä niiden "kääntäminen" jokapäiväiseen kielenkäyttöön ole yksinkertaista, jos olleenaan kaikilta osin mahdollista. Siitä huolimatta niiden esille tuontia ei voida lopettaa. Informaatiota ydinvoimaan liittyvistä todennäköisistä riskeistä ja niiden vertailua sekä yhteiskunnassa yleisesti

vallitseviin riskeihin että muiden energia- muotojen riskeihin on annettava niin laajalti kuin mahdollista. Vain siten on ihmisen mahdollista muodostaa itselleen jonkinlainen kokonaiskuva niistä riskeistä, joille hän altistuu.

Vaikeinta tällaisen informaation yhteydessä lienee niin sen jakajan kuin vastaanottajankin kannalta riskien yhteismittomuus. Juuri nykyinen maailmantilanne tarjoaa tässä suhteessa hyviä esimerkkejä. Selkkaus Lähi-idän öljyntuotantoalueella voi johtaa äärimmäisiin seurauksiin, mikäli se kehittyisi laajamittaiseksi sodaksi. Minkälaisen riskin se aiheuttaa verrattuna ydinvoimaan? Millaiset sen vaikutukset olisivat suomalaisen yhteiskuntaan ja sen yksityisiin kansalaisiin? Ja ovatko fossiilisten polttoaineitten käytön niin paikalliset kuin maailmanlaajuiset ympäristövaikutukset suurempi riski kuin ydinvoiman aiheuttama?

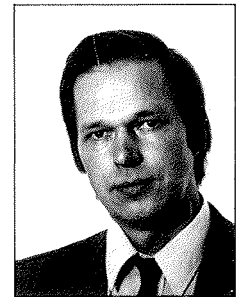
Selvää vastausta tällaisiin kysymyksiin ei voida antaa, ei edes todennäköistä. Tässä, kuten monessa muussakin yhteydessä, tieteen mahdollisuuksien loppuessa taide yltää vielä pitkälle eteenpäin. Intuitiivisyudessaan se näkee, ennakoii ja ennustaa usein hämmästyttävällä tarkkuudella tulevia. Sen tekee vastaansanomattomasti aikamme rokkarikin laulaessaan "Ei elämästä selviä hengissä". Jos se nyt ketään lohduttaa erilaisten riskien ristipaineissa. □

/1/ Ortwin Renn: Die Psychologie des Risikos. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 40. Jg. (1990) Heft 8.

DI Antti Hanelius on Suomen Voimalaitosyhdistys r.y:n toimitusjohtaja ja ATS:n informaatiojoaoston puheenjohtaja, p. 90-602 944.

Reino Virolainen, Säteilyturvakeskus

Ydinvoiman riskit ihmisen jokapäiväisessä elämässä



Aiheuttavatko ydinvoimalaitokset vakavan tai sietämättömän korkean riskin ihmisen elämälle ja terveydelle? Onko ydinvoiman käyttö hyväksyttävää riskitutkimusten valossa? Keskustelu ydinvoiman turvallisuudesta saa yleensä mielipiteet jakautumaan. Ydinvoimalaitosten todennäköisyyspohjainen riskianalyysi (PRA) perustuu laajoihin ja monivaiheisiin loogis-matemaattisiin malleihin, joihin muiden kuin asiaan vihkiytyneiden on vaikea puheutua. Yhdysvalloissa on tehty laaja riskiselvitys, NUREG-1150, joka kartoittaa viiden erilaisen amerikkalaisen laitoksen riskit. Tämä selvitys auttaa osaltaan ymmärtämään ydinvoiman aiheuttaman riskin suuruutta ihmisen jokapäiväiseen elämään.

Ydinvoiman haitat ja hyödyt saivat vuoden 1989 lopulla ja tämän vuoden alussa arvovaltaisen joukon akateemikkoja ja professoreja keskustelemaan asiasta Helsingin Sanomien kulttuurisivuilla. Vas-

tauksena akateemikko Georg Henrik von Wrightin ydinvoimaan kriittisesti suhtautuneeseen kirjoitukseen vastasivat akateemikko Erkki Laurila, emeritus professori Jorma K. Miettinen ja professori Tor Ragnar Gerholm, joiden puheenvuorot noudattelivat voittopuolisesti myönteistä suhtautumista ydinvoiman käyttöön. Viimeisimmän puheenvuoron (HS. 3.2.90) käytti professori Pentti Malaska, joka esitti voimakasta ja periaatteellista kritiikkiä ydinvoiman käyttöä vastaan. Hänen kirjoituksessaan esittämänsä kritiikki ja väittämät muodostavat erinomaisen pohjan ydinvoimalaitosten ja muiden ihmiselämän riskien vertailulle.

Malaska esitti kirjoituksessaan monia kiinnostavia väitteitä, joiden sisältö osin sivuaa enemmän filosofiaa ja siihen liittyvää käsitteistöä kuin ydinvoimatekniikkaa ja ydinvoiman käytön turvallisuutta. Hyvänä esimerkkinä tästä on väittäminen, että ydinvoiman kannattajat eivät ole arvoneutraaleja ts. objektiivisia, vaikka luulevat olevansa. Tämän tapaisten aiheiden käsittelyssä Malaska onkin vahvimmillaan ja varmasti myös pitkälti oikeassa, mutta siirtyessään ydinvoimatekniikan alueelle, hänen kritiikkinsä samalla muuttuu, vähemmän vakuuttavaksi. Tämä tulee ilmi sellaisissa lauseissa kuin "asian tuntijatkin pitävät jo tosiasiana, että suur-onnettomuus on mahdollinen läntisissäkin reaktoreissa". Todellakin, läntiset asiantuntijat ovat kohtaa parinkymmenen vuoden ajan arvioineet jopa tällaisten suuronnettomuuksien todennäköisyyksiä, puhumattakaan niiden pitämisestä mah-

dollisena. Kirjoituksen mukaan länsisaksalaisessa Biblis ydinvoimalaitoksessa oltiin lähellä katastrofia vuonna 1988 (tarkoittanee ehkä 1987 joulukuussa sattunutta jäädytysvuotoa Biblis laitoksella). Lähellä katastrofia tässä yhteydessä tulee tulkita siten, että ydinvoimalaitoksen turvallisuusjärjestelmät ja operaattorit toimivat tavalla, joka esti häiriötapahtuman kehittymisen onnettomuudeksi vaikka operaattoreiden toiminta ei ollut moitteetonta. Sinänsä tapahtuma sisälsi ns. interface LOCA -mahdollisuuden, joka voi olla hankalasti hoidettava onnettomuuden alkutapahtuma. Kirjoitus viittaa myös amerikkalaisen turvallisuustutkimukseen NUREG-1150, ja kritisoi sitä, ettei ko. raportti ole saanut riittävästi julkisuutta. Asia on varmasti näin.

Tärkeimmät johtopäätökset, jotka Malaskan kirjoituksessa NUREG-1150 -raportin osalta on tehty, ovat lyhentäen seuraavat:

- Vakava sydämensulamisonnettomuus, joka johtaa suojakuvun rikkoutumiseen, on mahdollinen jokaisessa tutkitussa laitoksessa.
- Vahinkojen suuruus voi nousta lähes sataan miljardiin markkaan reaktori-onnettomuutta kohti. Saastunut maa-alue on laajuudeltaan useita kymmeniä kilometrejä ja syöpään kuolleiden luku voi nousta 6 000:een henkilöön.
- Ydinvoimalaitosten turvallisuus ei ole oleellisesti parantunut kymmenen vuo-

den aikana huolimatta mittavista investoinneista.

- Kustannushyötyanalyysit osoittivat parannusehdotukset tehottomiksi joko kokonaisturvallisuuden tai taloudellisuuden kannalta.
- Nykyisen kaltaiset ydinvoimalaitokset osoittautuivat turvallisuudeltaan kyseenalaisiksi, eikä ihmisvirheitä vielä ollut otettu huomioon hätätilanteissa (todellisuudessa inhimilliset virheet on otettu huomioon, kirjoittajan huomautus).

Onko ydinvoimalaitos vakava uhka ihmisen elämälle ja terveydelle?

Amerikkalaisen ydinturvallisuusviranomaisen (U.S. Nuclear Regulatory Commission) rahoittama ja johtama laaja reaktoriturvallisuuden referenssitutkimus, NUREG-1150, selvittää viiden erityyppisen kevytvesilaitoksen riskit. Tutkimuksessa on todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin (PRA) menetelmiä käyttäen arvioitu ko. laitosten onnettomuusalttiutta ja niiden aiheuttamia riskejä ympäristönsään asuvien ihmisten elämälle ja terveydelle. Riskejä kuvaavina osoittimina on käytetty mm. seuraavia todennäköisyys ja riskimittareita (kaikki riskit 1/vuosi):

- reaktorisydämen vaurioitumistaajuus
- ydinvoimalaitoksen läheisyydessä (1 mailin säteellä) asuvan henkilön riski kuolla radioaktiivisen laskeuman aiheuttamiin akuutteihin seurauksiin
- ydinvoimalaitoksen läheisyydessä (10 mailin säteellä) asuvan henkilön riski kuolla radioaktiivisen laskeuman aiheuttamiin pitkäaikaisvaikutuksiin (syöpä).

Kaikille riskimittareille on johdettu epävarmuutta kuvaava jakauma, josta on annettu 5 %:n ja 95 %:n luottamusrajarviot sekä mediaani ja riskin odotusarvo. Taulukossa 1 on esitetty kaikille viidelle laitoksella yllämainittujen riskimittareiden odotusarvot.

Kaikki riskitutkimukset käyttivät olennaisesti samanlaisia menetelmiä (state-of-the-art), joten tulokset tältä osin ovat vertailukelpoisia. Tulokset osoittavat melko suurta hajontaa (runsas 2 dekadia) sekä reaktorisydämen vaurioitumistaajuuden että henkilöriskien osalta. Henkilöriskit ovat kaikkien laitosten osalta todella vakuuttavan pieniä. Kaikki tutkitut laitokset alittavat reilusti USNRC:n koekäytössä olevat turvallisuustavoitteet (safety goals) sekä akuuttien kuolemantapausten osalta (USNRC:n korkein sallittu riski 5×10^{-7} 1/vuosi) että syöpäkuolemien osalta (USNRC:n korkein sallittu riski 2×10^{-6} 1/vuosi). Tutkimuksessa havaittu korkein akuutin kuoleman riski on 2×10^{-8} (Surry) ja korkein syöpäkuoleman riski 9×10^{-9} (Sequoyah). Myös 95 %:n ylärajaestimaatti alittaa kaikkien laitosten kohdalla selvästi USNRC:n turvallisuustavoitteet. USNRC:n asettamia turvallisuustavoitteita (ei vielä vahvistetu) voidaan pitää asiallisesti oikeaan osuneina, kun verrataan niitä ihmiselämän jokapäiväisiin riskeihin, joille tavallinen kadunnies on altistuneena (taulukko 2).

Taulukko 1. Laitosten aiheuttamat riskit

| Laitos | Tehokäyttö alkaen | Sydänvaurion taajuus (1/vuosi) | Henkilökohtainen akuutin kuoleman riski (1/vuosi) | Henkilökohtainen syöpäkuoleman riski (1/vuosi) |
|--------------|-------------------|--|---|--|
| Surry | 1972 | 1) 4.1×10^{-5} 2) 1.1×10^{-5} | 2×10^{-8} | 2×10^{-9} |
| Peach Bottom | 1974 | 1) 4.5×10^{-6} 2) 2×10^{-5} | 5×10^{-10} | 3×10^{-9} |
| Sequoyah | 1981 | 1) 5.7×10^{-5} | 10^{-8} | 9×10^{-9} |
| Grand Gulf | 1985 | 1) 4×10^{-6} | 3×10^{-11} | 3×10^{-10} |
| Zion | 1973 | 1) 3.4×10^{-4} | 10^{-8} | 10^{-8} |

- 1) = sisäiset alkutapahtumat
2) = tulipalot

Taulukko 2. Eräitä tavallisen ihmisen riskejä kerättyinä eri lähteistä.

| Kuoleman syy | Suomalaisia kuolee vuodessa | Riski kuolla vuoden aikana | Lähde |
|---|-----------------------------|----------------------------|-------|
| Tupakointi | 3 000 | 5×10^{-3} | /3/ |
| Alkoholin liika käyttö | 2 000 | 3×10^{-3} | /4/ |
| 35—44-vuotiaan naisen luonnolliset kuolinsyyt | 370 | 1×10^{-3} | /3/ |
| Jatkuva korkea säteilyaltistus (50 mSv/v) (vastaa YVL-työntekijän ylintä sallittua altistusta)* | — | $6,3 \times 10^{-4}$ | /3/ |
| Liikennetapahtumat | 700 | $1,3 \times 10^{-4}$ | /3/ |
| Työtaturmat | 90 | $2,1 \times 10^{-5}$ | /3/ |
| Jatkuva säteilyaltistus (1 mSv/v) | — | $1,3 \times 10^{-5}$ | /3/ |
| Salama | 0,5 | 10^{-7} | /5/ |
| Ydinvoimalaitosten riski (NUREG-1150) | <0,05 | 10^{-8} | /1/ |

*) Suomessa ydinvoimalaitoksilla työskentelevien saama annos on keskimäärin noin 2 mSv/vuosi.

Taulukko 2 osoittaa että kritiikki ydinvoimalaitoksia vastaan tulee perustaa muihin kuin turvallisuussyihin, sillä niiden aiheuttama riski on pieni verrattuna tavallisen ihmisen muihin päivittäisiin riskeihin.

Riskierojen kuvaamiseksi otamme esimerkiksi Yhdysvalloista. Viimeisen 20 vuoden kuluessa yhtään ihmistä ei ole kuollut ydinvoimalaitosten onnettomuuksissa. Samana aikana Yhdysvaltain liikenteessä on kuollut noin miljoona ihmistä (noin 50 000 vuodessa).

Edellä sanotun perusteella prof. Malaskan kirjoituksesta edellä lainatuissa väitännissä on liioittelua. NUREG-1150 -raportin mukaan tutkittujen laitosten ihmiselämälle aiheuttamat riskit ovat erittäin alhaiset ja viimeisen vuosikymmenen aikana tehdyt laitosmuutokset ovat alentaneet tai tulevat alentamaan ainakin eräiden laitosten sydämen vaurioitumisen taajuutta selvästi /2/. □

Lähdekirjallisuutta

- /1/ Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, NUREG-1150 Vol. 1 ja Vol. 2, USNRC, 1989
- /2/ Risk Management Implications of NUREG-1150 Methods and Results, NUREG/CR-5263, USNRC, 1989
- /3/ Harri Toivonen, Tapio Rytömaa, Wendla Paile, Säteily, ihminen ja terveys: Säteilyturvakeskus, Valtion painatuskeskus, 1987
- /4/ Risto Lautkoski, Riitta Pipatti, Seppo Vuori, VTT Tiedotteita 875, Suomalaisen terveysriskit, 1988
- /5/ The Tolerability of risk from nuclear power stations, Health and Safety Executive, London, 1987

DI Reino Virolainen toimii säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosastolla ylitarkastajana, p. 90-70 821.



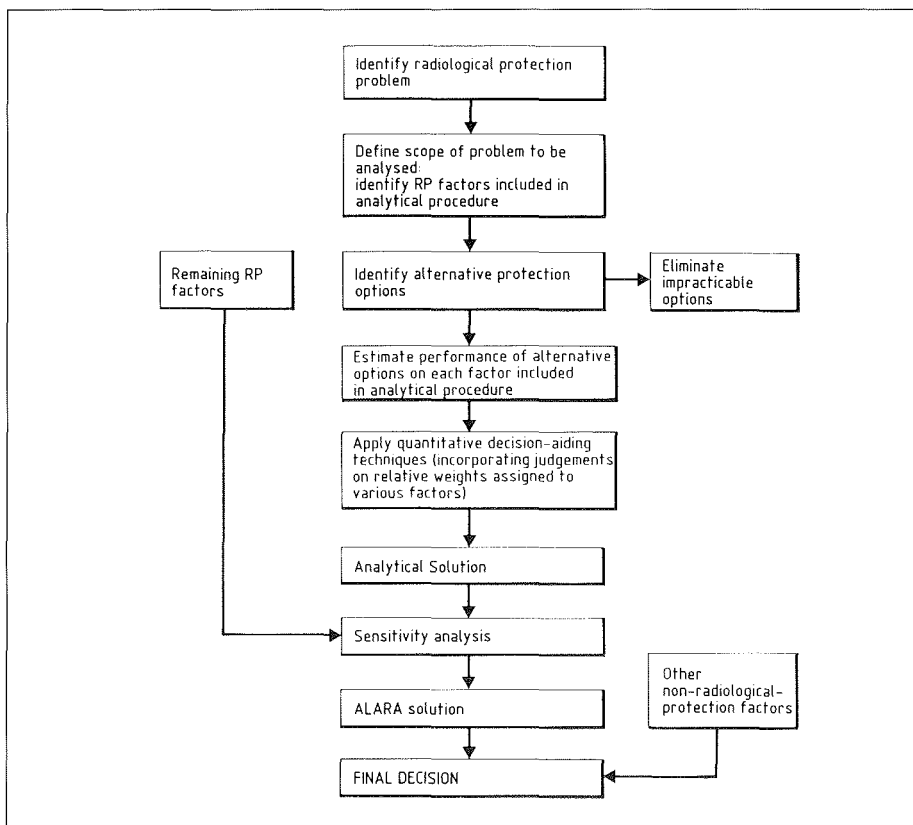
Ydinvoimalaitosten työntekijöiden säteilyturvallisuus

Suomen ja Ruotsin ydinvoimalaitokset ovat käyttökokemusten perusteella turvallisia työntekijöiden kannalta. Pohjoismaisena tutkimusprojektina selvitettiin sitä, onko työntekijöiden säteilyaltistus säteilysuojeluperiaatteen mukaisesti niin pieni kuin käytännössä on mahdollista vai voidaanko päätöksentekomenetelmien osoittaa perusteltuja turvallisuutta lisääviä toimenpiteitä.

Käynnissä olevien ydinvoimalaitosten työntekijöiden säteilyturvallisuudesta on jo kertynyt mittavasti kokemusta eri maissa. Ydinvoimalaitokset Suomessa ja Ruotsissa ovat tunnetusti turvallisimpien joukossa maailmassa työntekijöiden kannalta. Vaikka laitokset ovat alkuperältään kolmea eri kantaa (ruotsalainen BWR, Yhdysvaltalainen PWR ja neuvostoliittolais-suomalainen PWR) ja niiden tekniikassa ja ikärakenteessa on selvästi eri sukupolvia, ovat työntekijöiden säteilyturvallisuuteen vaikuttavat perustekijät selkeitä: riittävän hyvä laitosten järjestelmä- ja tilasuunnittelu, onnistunut laitosten käyttö (sisältäen mm. polttoaineen käytön, vesikemian, lyhyet korjausajat) ja huolellinen käyttöön liittyvä säteilysuojelu, jonka tavoitteena on pitää säteilyannokset pieninä.

Juuri säteilyannosten pienenä pitäminen on käsite, joka esiintyy eri nimillä keskusteltaessa säteilyturvallisuudesta. Toisaalta siitä puhutaan säteilysuojelun optimointina, toisaalta ALARANA (As Low As Reasonably Achievable). Kansainvälinen Säteilysuojelukomissio ICRP on pyrkinyt selvittämään sen sisältöä mm. julkaisemalla aiheeseen liittyvät raportit ICRP 37 ja ICRP 55; viimeksimainittu viime vuonna.

Säteilyuojelun optimointi on eräällä tavalla lyhyesti tulkittuna kustannus-hyötyanalyysin mukaista ajattelua eli tiettyyn toimintaan liittyvä säteilyannos tulee välttää, jos on olemassa toteuttamiskelpoinen suojelutoimenpide, jonka kustannus suhteessa turvallisuuden lisääntymiseen on kohtuullinen. Edellämäinnittua ajattelua täydentävät menetelmät, joilla voidaan osoittaa optimaalinen eli paras toimenpide ja määritellään ”kohtuullisuus” eli lisäturvallisuudesta maksettava



ALARA-kulkukaavio (ICRP).

hintaa. ICRP:n uusin julkaisu on korostanut optimoinnin olevan järjestelmällisen tavan analysoida säteilyturvallisuutta. Muiden päätöksentekoon vaikuttavien tekijöiden olemassaolo tunnustetaan. Eri-laisia päätösanalyysimenetelmiä suositetaan käytettäväksi.

Pohjoismainen tutkimusprojekti säteilysuojelusta

Mitä säteilysuojelun optimointi sitten käytännössä on? Kuinka hyvin optimoitu voidaan pitää säteilysuojelua nykyisin Suomen tai Ruotsin ydinvoimalaitoksilla? Onko turvallisuuden ylläpitämisestä maksettu kustannus selvillä? Tulisiko johonkin toimintaan ja suojelutoimenpiteisiin kiinnittää nykyistä enemmän huomiota? Mm. nämä kysymykset olivat lähtökohdina vuosina 1985–1989 toteutetulle pohjoismaiselle ydinturvallisuustutkimusprojektille, johon osallistuivat turvallisuusviranomaisten sekä kaikkien Suomen ja Ruotsin ydinvoimalaitosten edustajat.

Tutkimusprojektin kuluessa kerättiin kaikista ydinvoimalaitoksista säteilysuojelu-

toimenpiteitä ja -kokemuksia koskevaa tietoa, jota analysoimalla tilannetta arvioitiin ja toisaalta verrattiin säteilysuojelua ja sen optimointia koskevaan kansainväliseen vertailutietoon. Tiedon keruu pohjoismaisista ydinvoimalaitoksista kohdistettiin kolmeen pääkohteeseen: säteilysuojeluun laitoksissa tehtävien järjestelmien ja materiaalien määräaikaistarkastuksien yhteydessä, suojavarusteiden käyttöön ja säteilysuojelutoimenpiteisiin työkohteissa sekä laitosjärjestelmien muutostöiden säteilysuojelun suunnitteluun ja toteutukseen. Nämä kohteet valittiin siten, että ne edustaisivat mahdollisimman kattavasti käytännössä esiintyviä erilaisia päätöksentekotilanteita.

Seuraavassa tarkastellaan tutkimustyön tuloksia yleiseltä kannalta. Yksityiskohtaisemman tiedon osalta viitataan vuoden 1989 lopussa julkaistuun loppuraporttiin /1/.

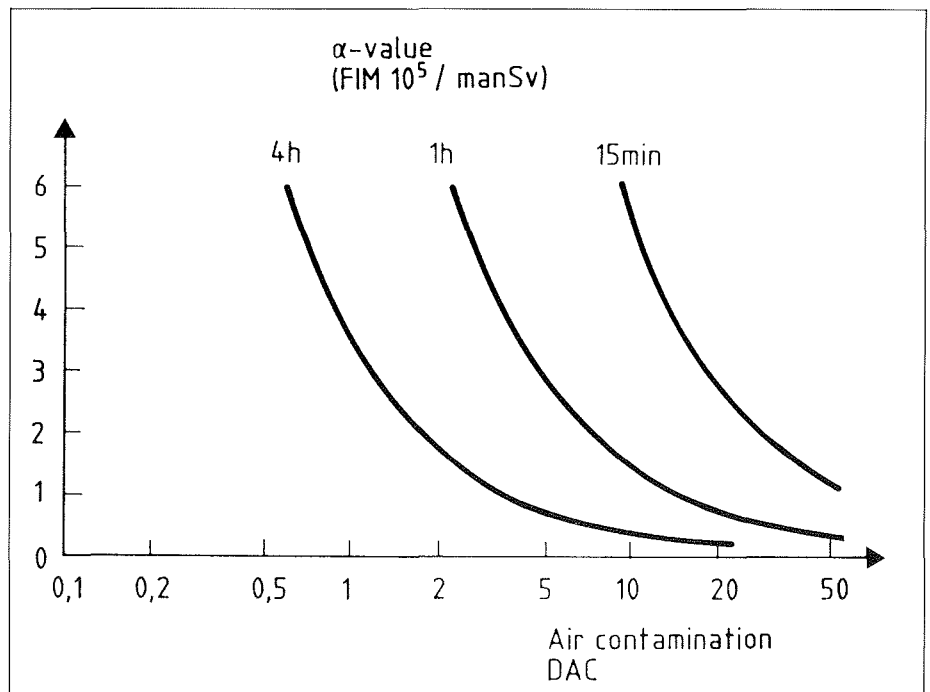
Säteilyuojelu määräaikaistarkastuksissa

Paineenalaisiin yvl-järjestelmiin kohdistuvien määräaikaistarkastusten tarkoitukse-

na on ennalta havaita materiaaliviat ja ehkäistä sellaiset tapahtumat ydinvoimalaitoksessa, jotka vaikuttaisivat laitosten turvallisuuteen ja luotettavaan käyttöön. Käytännössä tarkastukset pyritään tekemään mahdollisimman laajoina ja luotettavina, mikä aiheuttaa tarkastusten suorittajien huomattavaa säteilyaltistusta. Tämä on tiettyinä vuosina Loviisan ydinvoimalaitoksella ollut noin neljäsosa vuosittaisesta työntekijöiden yhteenlasketusta säteilyannoksesta eli kollektiivisesta säteilyannoksesta. Lisäksi tarkastajien ja tarkastusten valmisteluun osallistuvien työntekijöiden yksilöannokset ovat selvästi keskitasoa korkeampia vuosihuolloissa ja vuosittain.

Analysoitaessa määräaikaistarkastuksiin liittyvää säteilysuojelua pohjoismaisilla ydinvoimalaitoksilla todettiin töiden yhteydessä suoritettavat säteilysuojelutoimenpiteet yleisesti asianmukaisiksi. Mahdollisimman hyvän säteilysuojelun kannalta on tärkeää ohjata tarkastusten käytännön suoritus tarkoituksenmukaisesti muun tiloissa suoritettavan työn rinnalla sekä kouluttaa tarkastusten suorittajat hyvin. Tarkastusten teknisen suorituksen automatisointi on tarpeen erityisesti korkean säteilytason takia tai muutoin vaikeasti luoksepäästävissä kohteissa. Tarkastusohjelmien suunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon niistä saatavat tulokset; tähän liittyvä kokonaisuu-distus on tehty äskettäin Ruotsissa ja sen perusteella saatavia tuloksia voidaan arvioida lähivuosina. Määräaikaistarkastusten säteilysuojeluun voidaan tulosten perusteella arvioida panostettavan suuruusluokkaa miljoona markkaa yhtä säästettyä säteilyn kollektiivista annosyksikköä, 1 manSv, kohden. Tällainen laskennallinen annossäästö saavutetaan ja siihen liittyvät suojelutoimenpiteet tehdään yhdellä ydinvoimalaitosyksiköllä yli vuosikymmenen jakson aikana.

Ydinvoimalaitoksissa pidetään työskentele-lykohteet mahdollisimman puhtaina ja vapaina radioaktiivisesta kontaminaatiosta. Lisäksi vaatimuksena on huolellinen henkilökohtaisten suojavarusteiden käyttö. Suojavarusteina käytetään mm. suoja-haalareita, jalkinesuojia ja tarpeen mukaan suojakäsineitä ja hengityssuojaimia. Lisäksi työkohteet tarvittaessa suojataan, esimerkiksi putkistoista tulevaa ulkoista säteilyä vastaan. Tyypillisenä säteilysuojausmateriaalina käytetään lyijylevyjä tai seinämiä. Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella nähdään, että laskennallinen toteutetun säteilysuojelutoimenpiteen kustannus-hyötysuhde riippuen tapauksesta oli tyypillisesti suuruusluokkaa 100000—500000 mk/ säästetty kollektiivisen säteilyannoksen yksikkö, 1 manSv. Tarkoituksenmukaisinta on lisätä työntekijöiden turvallisuutta käyttämällä tilapäistä säteilysuojauksia työkohteissa. Työntekijöiden sisäisen säteilyaltistuksen riski on ryhmätasolla pieni verrattuna ulkoisen säteilyn altistukseen. Melko runsasta hengityssuojainten käyttöä voikin perustella yksilön kannalta ja psykologisesti lähinnä siitä syystä, että suojainten käyttö korostaa sitä huolellisuutta, jota työntekijältä itseltäänkin joka suhteessa edellytetään.



Ydinvoimalaitoksen hengityssuojaimien käyttöön liittyvä kustannustehokkuus.

Säteilysuojelu muutostöissä

Ydinvoimalaitosten muutostöiden säteily-suojelua arvioitiin analysoimalla tietoja noin sadasta erilaisesta toimenpiteestä Suomen ja Ruotsin ydinvoimalaitoksilla; joukossa pieniä ja suuria muutoksia laitoksessa. Todettiin, että eräissä tapauksissa säteilysuojelutoimien kustannukset olivat olleet hyvin korkeita. Analyttistä säteilysuojeluoptymointia ei ollut käytännöllisesti katsoen lainkaan käytetty hyväksi. Töihin liittyvää tietoa ei ollut useimmiten riittävästi tallennettu käytettäväksi jälkepäin suoritettavaa arviointia varten. Tulosten perusteella suositellaankin muutostöiden säteilysuojelukokemusten systemaattista keräämistä. Tähän liittyvä kansainvälinen tietojenvaihto ja tietojärjestelmäyhteistyö on nykyisin aloitettukin OECD:n ydinenergiajärjestön aloitteesta ja ohjaamana.

Säteilysuojelun toimenpiteitä on arvioitava säännöllisesti

Tutkimuksesta saatujen tulosten perusteella on arvioitu hyödylliseksi ja suositeltavaksi, että ydinvoimalaitoskohtaisesti säännöllisesti arvioidaan säteilysuojelun toimenpiteitä laitoksessa. On odotettavissa, että tällöin löydetään keinoja, joilla työntekijöiden turvallisuutta voidaan lisätä tavalla, jonka kustannukset koetaan nykykäytännön mukaisesti kohtuullisiksi. Erityisesti voidaan arvioida säteilysuojelun suuntaamista rutiinityön ja tehostettujen toimenpiteiden avulla.

Ydinvoimalaitoksissa joihinkin töihin liittyvät suuret yksilöannokset johtavat psykologisista syistä sekä erikoistyöntekijöiden käytettävissäolon varmistamiseksi usein siihen, että säteilysuojelutoimet tehdään tehokkaampina kuin kollektiivinen säteilyannos ja sen perusteella lineaarisesti arvioitu riski muutoin edellyttäisi. Tä-

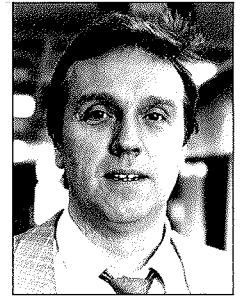
mä tekijä korostunee tulevaisuudessa, jos yksilön elinikäisannosrajoitus asetetaan lainsäädännössä nykyistä tiukemmaksi.

Pohjoismaisten ydin- ja säteilyturvallisuusviranomaisten käyttöä ajatellen on tutkimuksen antamaa tietoa mahdollista käyttää hyödyksi otettaessa kantaa haluttuun turvallisuustasoon. Olisi hyödyllistä ottaa selkeästi kantaa kustannus-hyöt्यानalyysin käyttöön ja siinä käytettävien parametrien arvoon. Toisin sanoen, minkälaiset kustannukset ovat yhteiskunnallisesti kohtuullisia ydinvoimalaitosten säteilysuojelusta päätettäessä.

Tutkimuksen tulokset osoittavat myös sen, että optimointi analyttistä tietä antaa usein perustelut useammalle kuin yhdelle ratkaisuvaihtoehdolle. Tämä luonnollisesti helpottaa päätöksentekoa. □

/1/ Vilkamo, Olli: Optimization of Radiation Protection at Nuclear Power Plants, Summary Report of the NKA Project RAS 410. STUK, 1989, 100 s.

DI Olli Vilkamo työskentelee säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosastolla, P. 90-70 821.



Säteilystä tavalliselle ihmiselle

”Säteily on ilmiö, josta kaikki muut ovat huolestuneita, paitsi asiantuntijat”. Ilkeästi vai hyvin sanottu? Joka tapauksessa väite sisältää aimon annoksen totuutta ja kenties tärkeimmän perussyyn ydinvoiman vastustamiseen. Kun asiantuntijat ja ”tavalliset ihmiset”, joihin myös journalistit kuuluvat, tietävät eri asiat ja ymmärtävät samat asiat eri tavalla, niin kommunikaatio törmää luotisuoraan seinään, ja jälleen palataan alkulauseeseen. ATS-Ydintekniikka on asiantuntijoille tarkoitettu foorumi. Se saattaa kuitenkin kulkeutua maallikkojenkin käsiin ja silloin parhaimmillaan edesauttaa kadunmiesten ja asiantuntijoiden välissä olevan Berliinin muurin romuttamista. Tämän mahdollisuuden varalta kerron seuraavassa säteilyasioista sillä tavalla, kuin kertoisin niistä lukioasteisille lapsilleni (asiantuntijakollegani antakoot minulle anteeksi tekemiäni yksinkertaistuksia ja yleistyksiä):

”Rakas lapseni, tiesitkö että

sinussa on 4000 kvadriljoonaa atomia. Se on 28-numeroinen luku. Sinussa on atomeja enemmän kuin kaikissa valtamerissä yhteensä on vesipisaroita. Joten kaikkien aineiden pienin rakenneosa, atomi, ei voi olla järin suuri.

Kuitenkin atomillakin on sisäinen rakenteensa. Atomi koostuu ns. alkeishiukkasista, joita voi olla jopa satoja. Atomin keskipisteessä on atomin ydin. Se on pääasiallisesti kahdesta alkeishiukkaslajista koostuva rypäle. Hiukkaset ovat nimeltään protoni ja neutroni.

Protonien lukumäärä on tarkasti määritelty joka aineella. Itse asiassa juuri protonien lukumäärä ratkaisee mistä aineesta on kysymys, esim. 1 protoni = vety, 2 protonia = helium, 3 protonia = litium 92 protonia = uraani. Tästä seuraa,

että jos uraaniydin halkaistaan kahtia syntyy uusia aineita, halkeamistuotteita, joiden protonien lukumäärän summa on 92, esim. cesium (55 protonia) ja rubidium (37 protonia).

Neutronien lukumäärä sen sijaan ei ole ihan vakio. Neutroneja on ytimessä yleensä vähintään yhtä paljon kuin protoneja, usein vähän enemmän. Kuitenkin vain tietyt protoni/neutronisuhteet saavat aikaiseksi harmonisen ytimen, joka säilyttää olomuotonsa ikuisesti. Tällaisia ytimiä sanotaankin pysyviksi.

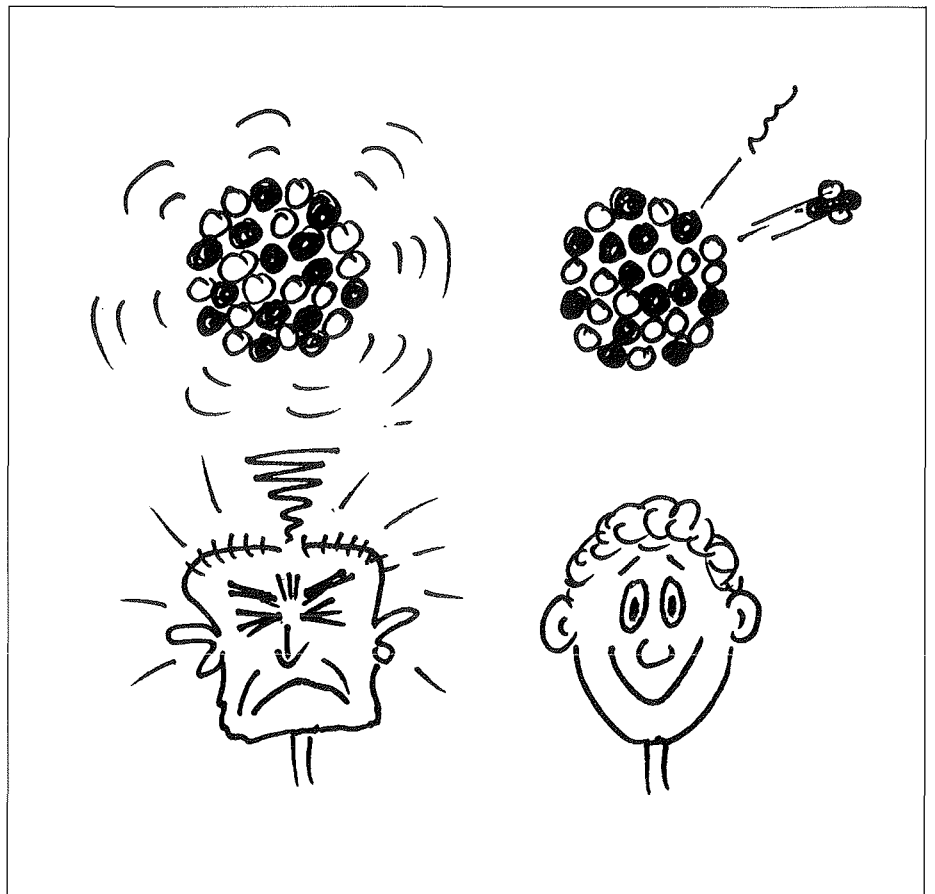
Mitä säteily on?

Jos neutroneja on liikaa tai liian vähän, ydin joutuu virittyneeseen, ”stressattuun” tilaan. Ytimessä on vääranlainen rakenne, jonka seurauksena ytimessä vallitsee jännityksiä. Ennemmin tai myöhemmin ydin purkautuu virittyneestä tilastaan ampumalla ulos jonkun hiukkasen. Samalla ytimestä lähtee ns. sähkömagneettinen energiapulssi. Olen piirtänyt sinulle hauskan kuvan tästä, rakas lapseni.

Kun puhutaan ”radioaktiivisesta säteilystä” tarkoitetaan juuri virittyneiden ydinten lähettämiä energiapulsseja ja hiukkasia. ”Radioaktiivisella aineella” tarkoitetaan ainetta joka sisältää virittyneitä ytimiä.

Sähkömagneettiset energiapulsit ovat massatonta säteilyä, joka fysikaalisesti on samanlaista kuin radioaallot, mikroaallot, valo- ja lämpösäteily. Ytimistä lähtevä sähkömagneettinen säteily eli ”gamma-säteily” on kuitenkin läpitukevampaa kuin edelliset. Teräslevy pysäyttää tunnetusti valosäteilyn täydellisesti mutta gamma-säteilyn vain osittain, osan kulkiessa levyn läpi.

Hiukkassäteily nimeltään ”alfasäteily” tai ”betasäteily” pysähtyy helpommin osuessaan aineeseen. Alfasäteily ei läpäise edes paperiarkkia, puhumattakaan vaatteista. Betasäteily jarruuntuu osittain vaatteisiin ja täysin esim. talojen seinärakenteisiin. Hiukkassäteilyn kantama on myös lyhyempi kuin gamma-säteilyn.



Ytimen radioaktiivinen hajoaminen

Luonnollinen säteily

Lähes joka aineella on sekä pysyviä että virittyneitä muotoja. Virittyneet lähettävät säteilyä, pysyvät eivät. Luonnossa on aina ollut ja tulee aina olemaan koko joukko aineita, jotka luonnostaan ovat radioaktiivisia, jotka kuuluvat itse luontoon ja ovat olemassa täysin riippumatta ihmisten tekemisistä. Näistä lähtee ns. "luonnollinen säteily" eli "taustasäteily", joka on joka paikassa olemassa. Kytetäänpä säteilymittari päälle ihan missä vain, niin aina mittari rupeaa laskemaan säteilypulsseja. Sellaista paikkaa ei ole olemassa, sen enempää maan päällä kuin avaruudessakaan, jossa ei säteilisi.

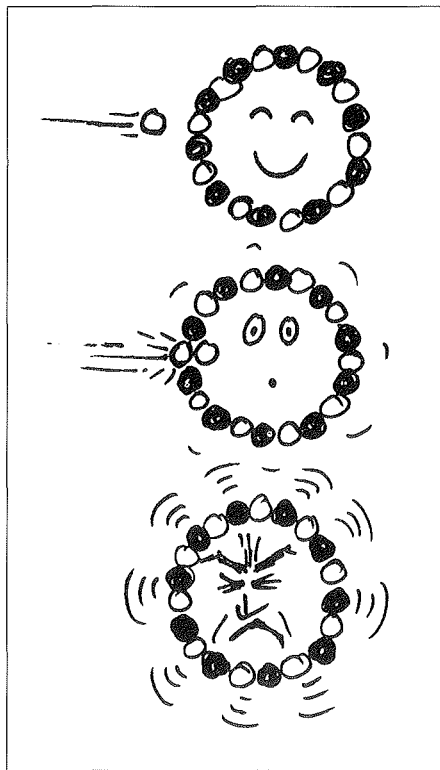
Taustasäteilyn voimakkuus ei ole vakio, vaan se vaihtelee paikasta toiseen ja myös mm. vuodenaajoista ja säästä riippuen. Säteilytaso nousee usein jonkin verran pitkään kestävien vesisäteiden aikana. Lumentulo vuorostaan vähentää säteilyn voimakkuutta. Lumipeite vaihtelee sen verran tehokkaasti maasta tulevaa säteilyä, että tietyn paikan kesäarvo voi olla puolitoista tai kaksikin kertaa korkeampi kuin talviarvo. Jopa ilmanpaine ja tuulen suunta voivat vaikuttaa säteilyyn. Taustasäteilyn luonnolliset vaihtelut ovat monenkertaisesti suuremmat kuin esim. hyvin toimivan ydinvoimalaitoksen radioaktiivisten päästöjen aiheuttamat vaihtelut. Sitä et varmaan olisi uskonut, rakas lapseni.

Osa luonnon omista radioaktiivisista aineista on hyvin pitkäikäisiä. Tämä tarkoittaa sitä, että ne ovat muodostuneet miljoonia vuosia sitten, ja siitä huolimatta että virittyneiden ydinten määrä koko ajan vähenee, niin huomattava osa on vielä jäljellä. Osa luonnollisista radioaktiivisista aineista on lyhytikäisiä. Tällöin ytimen viritys laukeaa pian ytimen muodostumisen jälkeen ja radioaktiivisuus loppuu. Näitä lyhytikäisiä ytimiä muodostuu erilaisissa luonnollisissa prosesseissa, ja sen takia niitäkin on jatkuvasti ympärillämme.

Luonnollisen radioaktiivisuuden takia meillä jokaisella on jatkuvasti mm. radioaktiivista poloniumia ja radiumia luustossamme, radioaktiivista hiiltä ja kaliumia lihaksissamme, radioaktiivisia jalo-kaasuja ja tritiumia keuhkoissamme. Me, itse kukin, säteilemme. Samoin säteilee ruukkukukkamme, koiramme, talomme, ateriamme ja juomamme, taivaamme ja maamme.

Keinotekoinen säteily

Säteilyä lisäsi ihminen ensimmäisen keran vuonna 1895 keksimällä ja ottamalla käyttöön röntgenkoneen. Röntgenkoneesta nimittäin lähtee samantapaista säteilyä, vaikka itse kone ei olekaan radioaktiivinen. Säteily lakkaa kun vedetään töpsele seinästä. Ensimmäiset keinotekoiset radioaktiiviset aineet valmistettiin vuonna 1934. Ampumalla neutroneja pysyviin ytimiin saatiin ydinten protoni/neutronisuhde epätasapainoon, ja seurauksena oli tietenkin virittynyt ydin, katso kuvasarja.



Neutroniaktivointi

Eri aineiden aktivointia neutronipommituksella on sen jälkeen käytetty runsaasti hyväksi teollisuuden, lääketieteen ja tutkimuksen palveluksessa. Sellaiset käsitteet kuten kobolttikanuuna, isotooppitutkimukset, aktivointianalyysi, kalibrointilähteet, isotooppiradioterapia ja radiolääkeaineet liittyvät nimenomaan keinotekoisesti valmistettujen radioaktiivisten aineiden käyttöön.

Vuonna 1938 tehtiin jälleen uusi hämmästyttävä löydös. Kun neutroneilla pommitettiin uraaniytimiä eräät niistä eivät ainoastaan virittyneet normaalilla, hyvin tunnetulla tavalla, vaan ne stressantuivat siinä määrin, että koko ydin halkeasi! Halkaisuhetkellä syntyi lämpöä ja ydin lähetti säteilypulssein. Ydinpuoliskot eli halkeamistuotteet olivat useimmiten radioaktiivisia. Lisäksi uraaniytimestä jäi muutamia neutroneja yli, koska niillä ei ollut tilaa uusissa pienemmissä ytimissä.

Ihmisen uusi taito halkaista uraanin ydin muutti ihmiskunnan tulevaa historiaa. Järjestämällä olosuhteet sellaisiksi, että osa vapautuneista neutroneista osui uusiin uraaniytimiin, jotka sen jälkeen halkesivat jne. saatiin nimittäin aikaiseksi ketjureaktio, jota voitiin käyttää niin hyvän kuin pahankin palveluksessa. Tähän päivään mennessä on räjäytetty n. 1000 ydinlatausta, useimmat tutkimus- tai siviilitarkoituksiin, mutta kaksi sodassa. Maailman koko sähköntuotannosta 17 % hoidetaan tänä päivänä n. 430:lla ydinvoimalaitoksella.

Kun keinotekoisesti tuotettuja radioaktiivisia aineita pääsee ympäristöön ne aiheuttavat lisän luonnolliseen taustasäteilyyn. Ne kulkeutuvat luonnon järjestelmissä, ekologisissa tapahtumissa ja ravintoketjussa siinä missä muutkin aineet. Luonto käsittelee ja käyttää hyväksi yhtä iloisesti eri aineiden pysyviä kuin radioaktiivisiakin muotoja. Aineiden kemiallinen käyttäytyminen nimittäin ei riipu ytimen mahdollisesta virityksestä. Ihmiskunnan keinotekoisien radioaktiivisten aineiden tuottamisen takia jokaisella meistä on kehossaan ainakin radioaktiivisia strontium- ja cesiumatomeja, jotka eivät kuulu koskemattomaan luontoon.

Luonnollinen ja keinotekoinen säteily on fysikaalisesti samaa asiaa. Luonto ja ihminen reagoivat samalla tavalla luonnollisten ja keinotekoisesti aikaansaatuisten aineiden lähettämään säteilyyn. Eihän säteilyn kohteeksi joutuva solu "voi tietää" minkänimisestä aineesta mikin säteilypulsssi on peräisin. Radioaktiivisten aineiden alkuperää tärkeämpää on niiden määrä ja niiden lähettämän säteilyn voimakkuus.

Aktiivisuuskäsite ja -yksikkö

Virittyneitä ytimiä sisältävää ainetta sanotaan radioaktiiviseksi. Radioaktiivisesta kappaleesta lähtee säteilypulsseja. Tarvi-taan kuitenkin uusi käsite ilmoittamaan kuinka paljon näitä pulsseja tulee, kuin-

ka usein tai harvoin virittyneitä ytimiä laukeaa. Tätä kuvataan kappaleen aktiivisuudella (eri asia kuin radioaktiivisuus). Mitä useammin radioaktiivinen kappale lähettää säteilypulsseja sen suurempi on sen aktiivisuus.

Aktiivisuuden perusyksikkö on saanut nimensä becquerel erään ranskalaisen tutkijan sukunimen mukaan. Becquerel luetetaan suurin piirtein "bekerel" ja lyhennetään Bq. Aktiivisuus ilmoittaa montako virittyneitä ytimiä sekunnissa lähettää ylijäämäenergiaa säteilypulsseina. Jos aktiivisuus on "1Bq", niin näitä ydinmuutoksia tapahtuu yksi sekunnissa eli 1Bq = 1 ydinmuutos/sek.

Kun sanotaan, että "poronlihassa on 300 Bq/kg", niin tämä tarkoittaa, että kilogrammassa lihaa tapahtuu 300 ydinmuutosta sekunnissa. Uusissa taloissa ei saisi esiintyä "radonkaasua" enempää kuin 200 Bq/m³. Kuutiometrissä maata on usean kymmenentuhannen Bq:n verran aktiivisuutta. Samoin joka ihmisessä. Kuitenkaan et ilmeisesti pidä itseäsi radioaktiivisena. rakas lapseni! Becquerel on siis hyvin pieni yksikkö.

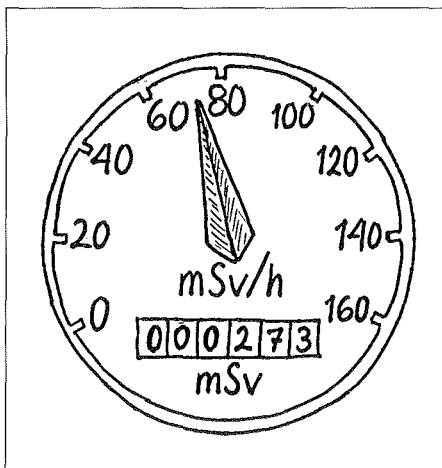
Aktiivisuus ei yksistään riitä ilmoittamaan vaaraa tai riskiä. Suurikaan aktiivisuus ei pysty aiheuttamaan mitään haittaa, jos ei olla tekemisissä sen kanssa (esim. kallion uumenissa olevat ydinjätteet). Suuri aktiivisuus voi olla joko vaaraton tai tappava — riippuu tilanteesta. Riskiä kuvaamaan tarvitaan siis uusi käsite.

Säteilyannos ja annosnopeus

Radioaktiivisesta aineesta lähtevät energiapulssit osuvat meihin samoin kuin auringon lähettämä energiasäteily osuu maahan. Maa lämpenee auringonpaisteesta, koska jokaiseen kilogrammaan maata absorboituu eli imeytyy energiaa. Koska energian yksikkö on joule, J, voidaan absorboitunut säteilyenergia ilmoittaa yksiköllä J/kg.

Samoin voidaan radioaktiivisen aineen lähettämän säteilyn absorboituminen meihin ilmoittaa yksiköllä J/kg. Kun tämä arvo vielä kerrotaan ns. laatutekijällä Q, joka ottaa huomioon eri säteilylajien erilaiset biologiset vaikutukset, saadaan säteilysuojeluun soveltuva riskiä kuvaava yksikkö nimeltään sievert (lue siivert), lyhennetään Sv. Fyysikot puhuvat silloin annosekvivalentista, mutta meille kelpaa pelkkä "annos". Sievert on erittäin suuri yksikkö, joten monesti on kätevää käyttää millisi (0,001Sv) tai mikroSv (0,000001Sv).

Luonnollinen taustasäteily aiheuttaa meille suomalaisille vuosittain n. 1000—2000 mikroSv:n suuruisen säteilyannoksen riippuen asuinseudusta. Koska vuodessa on vajaat 10 000 tuntia, on siis taustasäteilyn voimakkuus n. 0,10—0,20 mikroSv tunnissa. Tässä tulikin jo uusi tärkeä käsite säteilyannos aikayksikköä kohti. Tätä sanotaan annosnopeudeksi. Annos (mSv) ja annosnopeus (mSv/h) suhtautuvat toisiinsa samoin kuin ajettu matka (km) ja nopeus (km/h). Ajattele vaikka moposi matkamittaria ja nopeusmittaria, niin muistat aina tuon asian.



Annosnopeus ja annos

Lyhyessä ajassa saadut muutamien tuhansien millisi:n suuruiset säteilyannokset ovat hengenvaaralliset. Muutaman sadan mSv:n kerta-annokset eivät aiheuta akuuttista vaaraa, eivätkä alle sadan millisi:n annokset minkäänlaisia sairausoireita. Ammatissaan säteilynalaisiksi joutuvien annosraja on 50 mSv vuodessa(!) ja yleisön annosraja murto-osa siitä. Hallituista ja sallituista säteilyannoksista ei siis voi sairastua akuuttisesti. Kaikkiin annoksiin sen sijaan katsotaan liittyvän jonkinasteinen syöpäriski. Pienillä annoksilla se on kuitenkin niin pieni ettei sitä ole käytännössä voitu koskaan havaita.

Miten säteily leviää

Kun radioaktiivinen aine on suljettu ja vangittu laitteeseen, esim. kobolttikanuunaan tai ydinreaktoriin, se ei karkaa mihinkään. Itse radioaktiivinen aine ei voi siirtyä pois paikaltaan, eikä kulkea vaatteen tai tuulen tai virtaavan veden mukana. Se ei pysty saastuttamaan paikkoja eikä ravintoaineita. Sensijaan se aiheuttaa laitteen ympärille "puhtaan" säteilyken-

tän. Gammasäteet läpäisevät laitteen seinämän ja etenevät suoraviivaisesti niin kuin valo. Säteily heikkenee etäisyyden kasvaessa tai säteilyn osuessa materiaaliin. Gammasäteilyn alaiseksi joutunut materiaali, mittari tai henkilö ei tule itse radioaktiiviseksi kuten ei myöskään potilas säteile kun hän poistuu röntgenkuvauksesta.

Jos laite hajoaa, tilanne on ratkaisevasti erilainen. Kun ydinreaktori vaurioituu pahasti, kun eri laitoksista päästetään radioaktiivisia aineita ja kun radioaktiivisia aineita sisältäviä laitteita hävitetään väärällä tavalla, vapautuu itse radioaktiivinen aine ympäristöön. Aine pystyy nyt — tapauksesta riippuen — liikkumaan esim. tuulen, sateen, kenkien, virtaavan veden, pölyn, kulkuneuvojen ja ravintoaineiden mukana. Radioaktiiviset hiukkaset laskeutuvat pölyn tapaan pintoihin ja saastuttavat paikat.

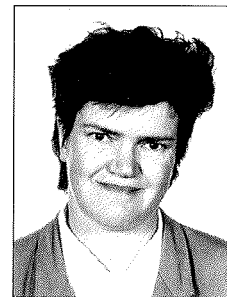
Jos laskeuma on niin voimakasta, että siitä aiheutuu haittaa tai vaaraa väestölle, antavat viranomaiset toimintaohjeet.

Säteily ei ole peikko

Säteily siis ei ole tuntematon peikko. Säteily on jo tunnettu ja sen parissa on työskennelty yli 100 vuotta. Ja olihan säteilyä olemassa jo sitäkin ennen. Säteily tuli maapallolle ennen kuin ihmiset. Ihmiskunta selvisi hyvin silloinkin, kun säteilyä ei pystytty edes mittaamaan. Uutta on nykyään se, että ihminen on alkanut itse tuottaa radioaktiivisia aineita. Tämän seurauksena on mahdollista, että joudutaan vahingossa tekemisiin luonnottomien aktiivisuusmäärien ja -pitoisuuksien kanssa. Sellaiset tilanteet aiheuttavat meille riskin.

Tietämällä ja ymmärtämällä säteilyn ominaisuudet voimme itse vaikuttaa turvallisuuteemme, ja ennen kaikkea — mitä enemmän tiedät säteilystä sitä vähemmän joudut arvaamaan! Ehkä juuri tuon takia säteilyn asiantuntijat eivät ole niin huolissaan säteilystä kuin muut ihmiset. Mitä luulet, rakas lapseni?" □

FL Björn Wahlström on IVO:n Lo-viisan voimalaitoksen säteilysuojelupäällikkö, p. 915-550 420.



Ydinvoimalaitostapahtumien kansainvälinen vakavuusasteikko

Ydinvoimalaitostapahtumien luokittelussa niiden turvallisuusmerkityksen mukaan on otettu käyttöön kansainvälinen vakavuusasteikko. Asteikon avulla pyritään ilmaisemaan ydinvoimalaitostapahtuman merkitys mahdollisimman yksinkertaisesti ja yhtenäisellä tavalla eri maissa. Asteikko on vuoden 1991 syksyyn asti kansainvälisessä koekäytössä, johon myös Suomi osallistuu.

Ydinvoimalaitostapahtumien kansainvälisen vakavuusasteikon laatimisen ovat organisoineet IAEA ja OECD Nuclear Energy Agency. Asteikko on tarkoitettu käytettäväksi ydinvoimalaitostapahtumista yleisölle tiedotettaessa. Tapahtuman luokka tulisi määrätä, mahdollisuuksien mukaan, hyvin pian tapahtuman jälkeen. Vakavuusasteikon avulla luokitellaan ydinvoimalaitostapahtumat, joilla on merkitystä ydin- tai säteilyturvallisuuden kannalta. Luokiteltaessa tapahtumia niitä tarkastellaan seurausten perusteella. Asteikolla on luokat

- 7 Erittäin vakava tapahtuma
- 6 Vakava onnettomuus
- 5 Ympäristölle vaaraa aiheuttava onnettomuus
- 4 Laitosonnettomuus
- 3 Vakava onnettomuus
- 2 Merkittävä tapahtuma
- 1 Poikkeuksellinen tapahtuma
- 0 Ei merkitystä turvallisuuden kannalta

Miten luokitellaan

Luokiteltaessa tapahtumaa tämän asteikon mukaisesti on käytössä kolme pääkriteeriä:

- Tapahtuman vaikutus ympäristöön
- Tapahtuman vaikutus säteilytilanteeseen laitoksella
- Tapahtuman vaikutus laitoksen turvallisuuden varmistamiseen

Mikäli tapahtuma voidaan luokitella eri pääkriteerien perusteella useampaan kuin yhteen luokkaan, valitaan luokaksi korkein.

Pääkriteerinä tapahtuman vaikutus ympäristöön

Tapahtuman vaikutusta ympäristöön käytetään kriteerinä, kun tapahtumasta on aiheutunut radioaktiivisten aineiden päästöjä laitoksen ulkopuolelle. Tällä kriteerillä luokiteltaessa tapahtuma sijoittuu luokkiin 3—7.

Radioaktiivisten aineiden päästöt vaihtelevat luokan 3 hyvin vähäisestä, mutta kuitenkin viranomaisten asettamat rajat ylittävästä päästöstä luokan 7 päästöihin, jotka ovat jodi 131 -ekvivalenteina ilmaistuna yli kymmeniä tuhansia terabecquerellejä. Vastaavasti luokassa 6 päästöt ovat suuruusluokkaa tuhansista kymmeneen tuhansiin ja luokassa 5 sadoista tuhansiin terabecquerelleihin.

Tapahtuma kuuluu luokkaan 4, jos seurauksena on ollut poikkeuksellinen radioaktiivisten aineiden päästö. Tällainen päästö on aiheuttanut laitoksen ympäristössä asuvalle, eniten altistuneelle henkilölle muutaman millisievertin suuruusluokkaa olevan säteilyannoksen. Luokassa 3 päästöt ovat puolestaan aiheuttaneet laitoksen ympäristössä asuvalle, eniten altistuneelle henkilölle vajaan millisievertin suuruusluokkaa olevan säteilyannoksen.

Luokan 7 tapahtumasta on aiheutunut akuutteja terveyshaittoja väestölle. Myös viivästyneitä terveyshaittoja esiintyy laajoilla alueilla, jopa useissa maissa. Tapahtuman ympäristövaikutukset ovat pitkäaikaisia.

Vakavien terveyshaittojen rajoittamiseksi luokan 6 tapahtumassa on pelastuspalvelut mitä todennäköisimmin käynnistetty täydessä laajuudessaan. Luokan 5 tapahtumassa pelastuspalvelut on saatettu käynnistää osittain terveyshaittojen todennäköisyyden vähentämiseksi (esim. paikallisia suojautumisia sisätiloihin tai väestönsuojiiin tai evakointeja). Luokissa 3 ja 4 laitoksen ulkopuoliset suojautumiset eivät sen sijaan yleensä ole olleet tarpeen, lukuun ottamatta luokan 4 tapahtumassa paikallista elintarvikkeiden valvontaa. Suojautumistoimenpiteitä on kuitenkin saatettu toteuttaa siltä varalta, että tilanteen kehittyessä laitos vaurioituisi lisää ja aiheuttaisi suojautumistarvetta.

Pääkriteerinä tapahtuman vaikutus säteilytilanteeseen laitoksella

Jos tapahtumasta on aiheutunut radioaktiivisten aineiden leviämistä laitoksella, laitoksen henkilökunta on saanut säteilyannoksia tai polttoaine on vaurioitunut,

tarkastellaan tapahtumaa tämän kriteerin mukaisesti. Tällä kriteerillä luokiteltaessa tapahtuma sijoittuu luokkiin 3—5.

Tapahtuma kuuluu luokkaan 3, jos laitoksen luoksepäästävät alueet ovat saastuneet merkittävästi, mistä on aiheutunut useille työntekijöille 50 mSv suuruinen efektiivinen annosekvivalentti tai yhdelle elimelle 500 mSv suuruinen annoskertymä.

Luokassa 3 tapahtuman seurauksena merkittäviä määriä radioaktiivisia aineita on levinnyt alueille, joille niiden ei ole suunniteltu pääsevän. Numeerisena arvona voidaan antaa nestemäisten aineiden kokonaisaktiivisuus (muut nuklidit paitsi tritium) muutamia satoja gigabecquerellejä ja päästöt ilmaan laitoksen sisätiloissa vastaavat radiologiselta merkittävyydeltään muutamia gigabecquerellejä jodi 131 -ekvivalenteja.

Tapahtuma kuuluu luokkaan 4, jos laitoksen työntekijöiden saamat säteilyannokset ovat aiheuttaneet akuutteja terveyshaittoja, säteilyannokset ovat olleet yhden sievertin suuruusluokkaa. Luokan 3 tapahtumassa usea työntekijä on saanut yli 50 mSv säteilyannoksen. Yhden työntekijän saaman em. säteilyannoksen perusteella tapahtuma ei sijoitu tähän luokkaan, koska annos saattaa johtua jostain yksittäisestä, satunnaisesta syystä eikä laitoksen sisätilojen laajemmasta saastumisesta tai korkeasta säteilytasosta. Huomattavaa on, että tapahtumat, joiden seurauksena työntekijät ovat saaneet pienempiä säteilyannoksia kuin 50 mSv, luokitellaan sen perusteella, miten tapahtuma on vaikuttanut laitoksen turvallisuuden varmistamiseen.

Luokkiin 4 ja 5 kuuluville tapahtumille on myös tunnusomaista reaktorisydämen rikkoutumisesta tai sulamisesta johtuva polttoaineen vaurioituminen. Tapahtuma kuuluu luokkaan 5, jos tapahtumasta on aiheutunut laajoja polttoaineavaurioita. Sellaisiksi on katsottu tapaukset, joissa vähintään muutama prosentti polttoaineesta on sulanut tai muutama prosentti polttoaineen fissiotuotteista on vapautunut. Tapahtuma kuuluu puolestaan luokkaan 4, jos polttoaineavauriot ovat edellistä vähäisempiä. Kvantitatiivisesti ilmaistuna vähintään noin 10 % polttoainesauvoista on vaurioitunut, vähäistä polttoaineen sulamista on tapahtunut tai vähintään noin 0,1 % polttoaineen fissiotuotteista on vapautunut.

Ydinvoimalaitostapahtumien luokittelun pääkriteerit

| Luokka | Tapahtuman vaikutus ympäristöön | Tapahtuman vaikutus säteilytilanteeseen laitoksella | Tapahtuman vaikutus laitoksen turvallisuuden varmistamiseen |
|---|---|--|---|
| 7 Erittäin vakava onnettomuus | Hyvin suuri radioaktiivisten aineiden päästö, akuutit terveyshaitat mahdollisia | | |
| 6 Vakava onnettomuus | Merkittävä radioaktiivisten aineiden päästö, pelastuspalvelujen täysimittainen käyttöönotto | | |
| 5 Ympäristölle vaaraa aiheuttava onnettomuus | Radioaktiivisten aineiden päästö, pelastuspalvelujen osittainen käyttöönotto | Laajoja polttoaineaurioita | |
| 4 Laitosonnettomuus | Poikkeuksellinen radioaktiivisten aineiden päästö, ei välitöntä suojautumistarvetta | Polttoaineaurioita, akuutteja terveyshaittoja työntekijöille | |
| 3 Vakava tapahtuma | Hyvin vähäinen radioaktiivisten aineiden päästö | Radioaktiivisten aineiden aiheuttama laaja saastuminen, työntekijöille merkittäviä säteilyannoksia | Lähellä onnettomuutta oleva tapahtuma, turvallisuuden varmentaminen heikentynyt |
| 2 Merkittävä tapahtuma | | | Tapahtuma, joka antaa aiheen parantaa turvallisuutta |
| 1 Poikkeuksellinen tapahtuma | | | Turvallisuuteen vaikuttavia vikoja tai puutteita |
| 0 Ei merkitystä turvallisuuden kannalta | | | Ei merkitystä turvallisuuden kannalta |

Pääkriteerinä tapahtuman vaikutus laitoksen turvallisuuden varmistamiseen

Tapahtuman vaikutusta laitoksen turvallisuuden varmistamiseen käytetään kriteerinä, kun prosessi- tai turvallisuusjärjestelmissä on vikoja, menettelytavoissa puutteita tai ohjeita ei ole noudatettu. Tällä kriteerillä luokiteltaessa tapahtuma sijoituu luokkiin 0—3.

Luokka 3 on siis ylin luokka, johon tapahtuma sijoittuu sen perusteella, miten se on vaikuttanut turvallisuuden varmistamiseen. Tällaisista tapahtumista saattaa seurata myös radioaktiivisten aineiden päästöjä, ja tällöin tapahtumaa on tarkasteltava myös kahden muun pääkriteerin perusteella. Luokkaan 3 kuuluvat tapahtumat, joissa lisävika turvallisuusjärjestelmässä saattaisi johtaa onnettomuus-

tilanteeseen, tai tilanteita, joissa turvallisuusjärjestelmät eivät pystyisi estämään onnettomuuden syntymistä, mikäli tapahtuma, jossa ko. turvallisuusjärjestelmiä tarvittaisiin, sattuisi.

Tapahtuma kuuluu luokkaan 2, jos laitoksessa on vikoja tai poikkeamia, jotka siitä huolimatta, että niillä ei ole suoraa tai välitöntä vaikutusta laitoksen turvallisuuteen, saattavat johtaa turvallisuuteen vaikuttavien tekijöiden uudelleenarviointiin.

Tapahtuma on luokkaa 1, jos laitteiden toiminnassa tai laitoksen käytössä ilmenneet poikkeamat, jotka eivät vaaranna turvallisuutta, mutta jotka kuitenkin osoittavat puutteita turvallisuuteen vaikuttavissa tekijöissä. Tällaiset poikkeamat

voivat johtua laitevioista, käyttövirheistä tai puutteellisista menettelytavoista.

Tapahtuma kuuluu luokkaan 0, jos sillä ei ole merkitystä ydinturvallisuuden kannalta, mutta viranomaisen, säteilyturvakeskus, pitää sitä huomionarvoisena ja yleistä mielenkiintoa omaavana. Tapahtuma hallitaan asianmukaisesti käytettävissä oleviin ohjeisiin ja suunnitelmiin tukeutuen.

Tapahtuman luokitteluksi sen perusteella, miten se on vaikuttanut laitoksen turvallisuuden varmistamiseen (luokat 0—3) on IAEA:n piirissä kehitteillä menetelmä, jonka avulla päästään helposti edellä esitetyt kriteerit täyttäviin luokkiin. Kahden muun kriteerin perusteella luokiteltaessahan kriteerit ovat yksiselitteisem-

Tshernobyl

Tshernobylin ydinvoimalaitosonnettomuudessa Neuvostoliitossa 1986 tapahtui radioaktiivisten aineiden päästö, ja onnettomuus aiheutti terveyshaittoja. Näin ollen tapahtuma kuuluu luokkaan 7.

Three Mile Island

Vuonna 1979 tapahtui Three Mile Islandin ydinvoimalaitoksella USA:ssa onnettomuus, jonka seurauksena oli laajoja polttoaineaurioita. Radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön olivat vähäiset. Laitoksen sisäisten vaikutusten perusteella tapahtuma kuuluu luokkaan 5.

Saint Laurent

Saint Laurentin ydinvoimalaitoksella Ranskassa sattui vuonna 1980 onnettomuus, jonka seurauksena oli polttoaineaurioita. Sen sijaan radioaktiivisten aineiden päästöjä ympäristöön ei tapahtunut. Laitoksen sisäisten vaikutusten perusteella tapahtuma kuuluu luokkaan 4.

Vandellos

Vuonna 1989 tapahtui Vandellosin ydinvoimalaitoksella Espanjassa tulipalo. Tapahtumasta ei aiheutunut radioaktiivisten aineiden päästöjä ympäristöön eikä myöskään polttoaineaurioita tai laitoksen tilojen saastumista. Sen sijaan laitoksen turvallisuuden varmentaminen oli heikentynyt. Tämän perusteella tapahtuma kuuluu luokkaan 3.

Loviisa

Loviisa 2:lla vuonna 1981 sattunut käyttöhäiriö aiheutti sekundaaripiirin nopean paineenalennuksen ja korkea-painehätäjäähdytyksen käynnistymisen. Tapahtumasta ei aiheutunut radioaktiivisten aineiden päästöjä eikä polttoaineaurioita. Sen sijaan tapahtuma johti turvallisuuteen vaikuttavien seikkojen parantamiseen. Tämän perusteella tapahtuma kuuluu luokkaan 2.

Olkiluoto

TVO I -laitosyksiköllä havaittiin vuonna 1989 metallijauhetta säätösauvakoneistoissa sekä primaaripiirissä. Tapahtumasta ei aiheutunut radioaktiivisten aineiden päästöjä eikä polttoaineaurioita. Sen sijaan tapahtuma johti turvallisuuteen vaikuttavien seikkojen parantamiseen. Tämän perusteella tapahtuma kuuluu luokkaan 2.

mät, joten luokka voidaan niiden perusteella määrätä suoraan. Tässä menetelmässä (sen tämänhetkisessä versiossa) tarkastellaan alkutapahtuman esiintymistodennäköisyyttä ja kyseisessä tilanteessa tarvittavien turvallisuustoimintojen käytettävissä oloa. Lisäksi menetelmässä otetaan huomioon, onko alkutapahtuma todellinen vai oletettu (turvallisuusjärjestelmien viat). Menettelytapaa testataan koekäyttöön osallistuvissa maissa ja tähän mennessä saatujen kokemusten perusteella on suunnitelmia edelleen kehittämistä.

Esimerkkejä luokista 0—3

Luokkaan 0 kuuluvia tapahtumia ovat esimerkiksi redundanttisen järjestelmän yksittäisvika, yksittäinen inhimillinen erehdys ilman erityisiä seurauksia, normaalilla tavalla tapahtunut automaattinen alasajo tai määräaikaistarkastuksessa havaittu vika.

Tapahtuman luokkaa voidaan korottaa yhdellä, jos tapahtuma on paljastanut puutteita laitoksen turvallisuuskulttuurissa tai tarkastusohjelmissä. Tällaiset tilanteet voivat tulla esille inhimillisinä erehdyksinä, ohjeiden noudattamatta jättämisinä tai yksittäisten poikkeamien havaitsemisina. Puutteet voivat ilmetä myös esimerkiksi radioaktiivisten aineiden hallitsemattomina päästöinä.

Esimerkkinä luokan 1 tapahtumasta on tilanne, jossa PWR-laitoksen suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmän venttiilit olivat erehdyksessä jääneet kiinni-asentoon. Alkutapahtuma, jossa kyseistä järjestelmää tarvittaisiin, on LOCA, joka on epätodennäköinen. Turvallisuustoiminnon käytettävissä olo oli tässä tapauksessa riittävä (myös muita järjestelmiä täyttämässä ko. turvallisuustoimintoa). Näin ollen luokaksi tulee 1. Tilanne havaittiin normaalin määräaikaistarkastuksen yhteydessä, joten luokkaa ei ollut aiheellista korottaa yhdellä. Myös määräaikaistarkastusväli todettiin riittäväksi, joten tapahtuma ei paljastanut puutteita ohjelmassa eikä siten antanut aiheita nostaa luokkaa.

Esimerkkinä luokan 3 tapahtumasta on tapahtuma, jossa PWR-laitoksen molemmat dieselgeneraattorit olivat samanaikaisesti toimintakyvyttömiä. Oletettu alkutapahtuma, ulkoisen sähkönen menetys, on odotettavissa oleva häiriö. Tilanteessa turvallisuustoiminnon käytettävissä olo oli riittämätön. Näillä perusteilla luokaksi tulee 3.

Koekäyttö

Tämä kansainvälinen ydinvoimalaitostapahtumien vakavuusasteikko on koekäytössä vuoden 1991 syksyyn asti. Suomi osallistuu koekäyttöön ja yhteysorganisaationa Suomessa on säteilyturvakeskus. Koekäytön aikana informoidaan IAEA:lle ja OECD Nuclear Energy Agencylle luokkaan 2 ja sitä ylempiin luokkiin sijoittuneista tapahtumista. Informaatio sisältää lyhyen kuvauksen tapahtumasta, perustelut valitulle luokalle sekä luokan määrittämisessä mahdollisesti esiintyneet ongelmat. Asteikon koekäyttöön osallistuu kaikkiaan 14 maata. □

DI Kirsti Tossavainen toimii säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosastolla tarkastajana p. 90-708 2388.

Turvallisuusteknisten käyttöehtojen optimointi PSA-menetelmiä hyväksi käyttäen

Turvallisuustekniset käyttöehdot muodostavat viranomaisen hyväksymät puitteet, joissa ydinvoimalaitoksen käyttö on sallittua turvallisuusnäkökohdat huomioonottaen. Käyttöehdot perustuvat pääasiallisesti laitoksen turvallisuusselosteen deterministisiin suunnitteluanalyysiin oletettavista onnettomuustilanteista ja odotettavissa olevista käyttöhäiriöistä sekä insinöörimäiseen päättelyyn. Kokemuksen kerääntyessä on osoittautunut tarpeelliseksi selvittää turvallisuusteknisten käyttöehtojen (TTKE) soveltamisessa esiin tulleita erityisongelmia ja tutkia eräitä TTKE:ihin liittyviä päättelyjä sekä tehdä ehtoihin tarpeellisia muutoksia.

Todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin (PSA) viimeaikainen kehitys tarjoaa uusia työkaluja TTKE:n määräysten muutosehdotusten turvallisuusvaikutusten analysointiin, esittämiseen, vertailuun ja optimointiin. Riskiperustainen optimointitehtävä voidaan määritellä seuraavasti:

- hyödyntää TTKE:issa käytettävissä olevaa ylimääräistä turvallisuusmarginaalia eräiden määräysten kohdalla käyttö- ja kunnossapitotoiminnan joustavuuden lisäämiseen tietyissä tapauksissa
- ratkaista TTKE:n erityisongelmia minimoimalla yleensä reaktorisydämen vaurioitumistodennäköisyyden suhteellinen nousu erilaisten vika- ja käyttötilanteiden aikana.

Sovellustutkimusten pääalueet olivat päätöksentekotilanteet turvallisuusjärjestelmän vikatapauksissa, turvallisuusjärjestelmien ehkäisevä kunnossapito tehoajan aikana sekä näiden järjestelmien testausjärjestelyt.

Projektin kuului pohjoismaisen atomienergiayhdysselmien (NKA) turvallisuusohjelmaan vuosina 1985–89. Tutkimustyön rahoittivat pohjoismainen neuvosto, Statens Kärnkraftinspektion Ruotsissa,

KTM/VTT:n projekti ”Ydinvoimalaitosten todennäköisyysperustainen turvallisuusanalyysi” sekä voimayhtiöt TVO ja Vattenfall.

Turvallisuustekniset käyttöehdot

Turvallisuustekniset käyttöehdot on laadittu Suomessa ja Ruotsissa voimayhtiöiden toimesta laitostoimittajalta saadun ehdotuksen pohjalta. Käyttöehdot ovat viranomaisten tarkastama ja hyväksymä asiakirja. Pohjoismaisten kiehutusvesireaktorilaitosten (BWR) turvallisuusteknisten käyttöehtojen yleinen rakenne ja sisältö on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen turvallisuusteknisten käyttöohjeiden (TTKE) yleinen sisältö.

| |
|---|
| 1. Yleisiä käyttöehtoja ja määritelmiä |
| 2. Suurimmat sallitut raja-arvot — polttoaineen suojakuoren kannalta — primääripiirin eheyden kannalta |
| 3. Ehdot ja rajoitukset laitoksen käytölle — käyttökuntoisuusvaatimukset laitteille järjestelmä/komponenttitasolla laitoksen käyttötiloille kuuma sammutettu reaktori, ydinlämmitys, kuumavalmius ja tehoajo — pisimmät sallitut korjausajat laitteille — vaatimukset toimenpiteisiin ryhtymisestä vikatapauksissa sisältäen alasarjoelvoitteet |
| 4. Määräaikaiskokeet — kokeiden hyväksymiskriteerit järjestelmä/komponenttitasolla — kokeiden suoritusväli |
| 5. Hallinnolliset ohjeet |
| 6. Perustelut ehdoille ja rajoituksille, jotka on esitetty ylläolevissa luvuissa 2 ja 3 |
| 7. Ehdot ja rajoitukset kylmäseisokille ja polttoaineenvaihdoille |
| 8. Perustelut kylmäseisokkia ja polttoaineenvaihtoa koskeville ehdoille ja rajoituksille |

Ydinvoimalaitoksista on kerääntynyt runsaasti käyttö- ja suunnittelukokemusta. Kokemusten myötä TTKE:n määräyksis-

sä ja niiden soveltamisessa on ilmennyt tiettyjä ongelmia, ja voimayhtiöiden ja viranomaisten tarvetta tehdä niihin muutoksia. Tunnistetut muutostarpeet ja muutoksista saatavat hyödyt vaihtelevat kuitenkin merkittävästi eri laitosten välillä. Muutoksilla pyritään parantamaan ydinturvallisuutta ja laitoksen käytön, kunnossapidon ja määräaikauskokeiden tehokkuutta ja joustavuutta.

PSA:n (Probabilistic Safety Assessment) ja luotettavuustekniikan kehitys on mahdollistanut TTKE-määräysten riskivaikutusten tarkastelun. Näin voidaan määrävaihtoehtojen suhteellisia riskivaikutuksia verrata toisiinsa, tasapainottaa määräyksiä riskiperustaisesti sekä perustella muutosehdotuksia. Esimerkiksi käyttötilanteita, joissa reaktorisydämen vaurioitumistodennäköisyys nousee tilapäisesti korkealle tasolle, voidaan arvioida ja tunnistaa etukäteen. Siten nämä tilanteet voidaan välttää tai hallita paremmin laiteilla. Samoin voidaan selvittää ovatko eräät hyvin tiukoiksi koetut TTKE-määräykset todella merkityksellisiä turvallisuuden kannalta, ja tarkastella voidaan tällaisissa tapauksissa käyttötoiminnan joustavuutta ja taloudellisuutta parantavia käyttöehtomuutoksia perustella riskitarkastelun avulla.

Todennäköisyyspohjaisen ja luotettavuusteknisen arvioinnin kohteeksi valittiin projektin alussa TTKE:n tehoajaa koskevat ehdot ja rajoitukset sekä turvajärjestelmien määräaikauskokeet. Käyttöehtojen avulla on tarkoitus varmistaa se, että turvallisuusjärjestelmät ovat käyttö- ja toimintakykyisiä todellisissa tarvetilanteissa, eli käyttöhäiriöissä ja onnettomuuksissa. TTKE:n käyttörajoitukset vaativat laitoksen käyttötilan muuttamista turvallisempaan tilaan, tavallisesti kylmäseisokkiin, jos epäkuntoista laitetta tai turvallisuusjärjestelmää ei pystytä korjaamaan ja palauttamaan käyttökuntoiseksi sille sallitussa korjausajassa. TTKE:ssa määritettyjen määräaikauskokeiden ja -tarkastusten tarkoituksena on havaita turvallisuusjärjestelmissä olevat viat ja todentaa turvajärjestelmien ja -laitteiden käyttökuntoisuus. Sovellustutkimuksissa keskityttiin varalla oleviin turvallisuusjärjestelmiin ja -toimintoihin.

Todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi

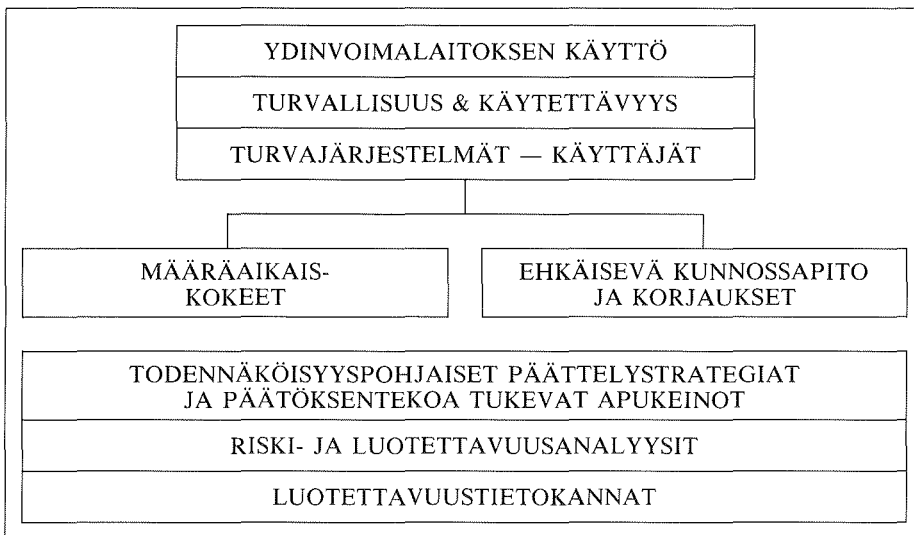
Todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin (PSA) perusosa (joka sisältää tehoajalta sattuvat transientit ja sisäiset putkirikot) on tehty Ruotsissa ja Suomes-

sa 13:lle ydinvoimalaitosyksikölle ja on valmistumassa lopuille laitosyksiköille. Tämän vuoksi projektin yhtenä päätaivitteena oli kokeilla ja kehittää PSA:n laitosmalleja käyttöehtojen määräysten arviointiin ja todentamiseen. Sopivia ongelmia, joiden tarkasteluun riski- ja luotettavuusanalyyseja voidaan soveltaa, ovat:

- TTKE:iin ehdotettujen muutosten turvallisuusvaikutus
- TTKE:iin haettavien poikkeuslupien turvallisuusmerkitys.

Sovelluksissa tutkittiin käyttöehtoihin ehdotettavia muutoksia.

Kaavio. Yleispiirteet projektin tutkimuksen kohteista.



Tulokset ja sovellukset

Projektissa tehdyn menetelmäkehityksen ja ehdotettujen todennäköisyyspohjaisten kriteerien, ja PSA:n yleisen kehityksen, avulla on nykyisin mahdollista:

- vertailla vaihtoehtoisia käyttöperiaatteita vikatilanteissa todennäköisyyspohjaisten menetelmien avulla ja tunnistaa sellaiset käyttötavat, jotka johtavat tilanteessa pienempään sydämen vaurioitumistodennäköisyyteen
- arvioida riskin suhteellinen nousu sinä aikana, kun turvallisuusjärjestelmän yhden linjan laitteet ovat irtikytketty-

nä ehkäisevää kunnossapitoa varten laitoksen ollessa tehoajolla

- analysoida yksittäisten määräaikaiskoikoiden kattavuutta ja tehokkuutta ja laskea todennäköisyyspohjaisesti vaihtoehtoisten testausjärjestelyjen vaikutus turvallisuuteen, kun kysymyksessä ovat moninkertaisesti varmennetut turvallisuusjärjestelmät.

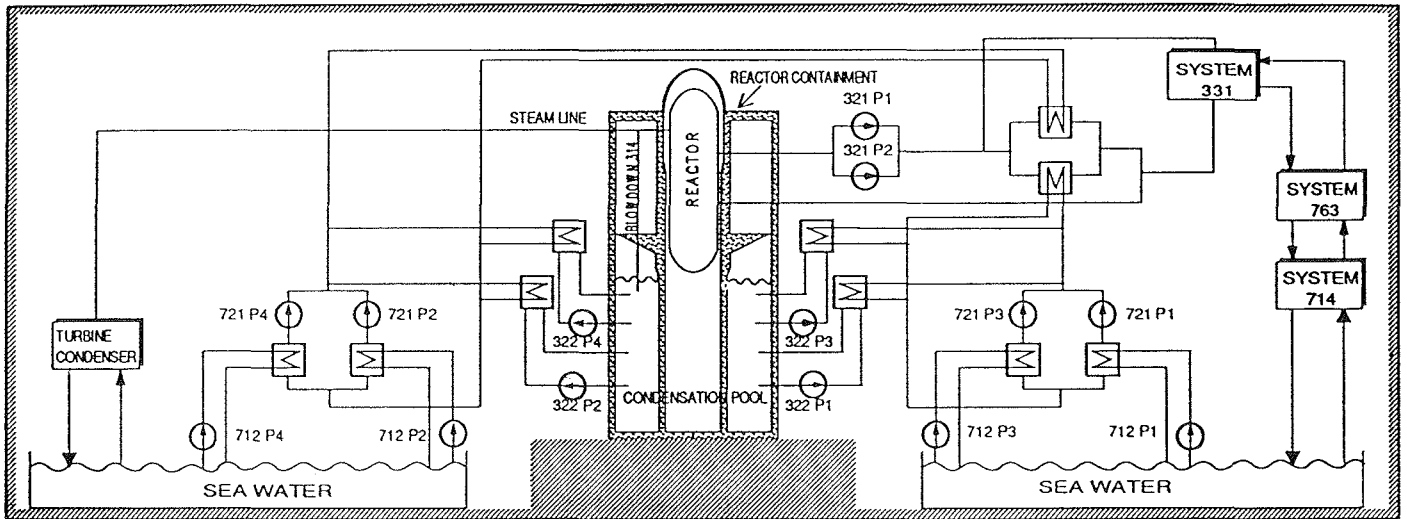
Kehitettyjen menetelmien ja todennäköisyyspohjaisten kriteerien kokeilemiseksi ja todentamiseksi tutkimusprojektissa suoritettiin käytännöllisiä sovellustutki-

muksia. Sovellustutkimukset suoritettiin pääasiassa voimayhtiöiden ja viranomaisien rahoituksella tai toimesta. Esimerkiksi Teollisuuden Voima Oy ja Avaplan Oy tekivät eräiden alajovelvoitteiden tarkoituksenmukaisuutta koskevan riskianalyyseja. Kohteena olivat vika- ja korjaustapaukset reaktorin jälkijäähdytysjärjestelmän jälkijäähdytys- ja merivesijärjestelmissä. Kuvassa 2 esitetään kaaviomaisesti reaktorin jälkijäähdytystoimintoon käytettävissä olevat järjestelmät.

TVO:n sovellustutkimuksen päätulos on laitoksen alajon suhteellinen epäedullisuus merivesi- (712) ja väli- (721) jäähdytyslinjojen vikatapauksissa, erityisesti kolmen ja neljän linjan vian tapauksessa. Tulos koski sellaisia tilanteita, joissa tarvittavat korjausajat eivät ole erityisen pitkiä. TTKE-määräyksiä on ehdotettu muutettaviksi tutkimustulosten perusteella.

Ehkäisevää huoltoa turvallisuusjärjestelmissä laitoksen tehokäytön aikana arviointiin toisella sovelluskohdealueella. Nämä tutkimukset suoritettiin Forsmark 1 ja 2 ydinvoimalaitosyksiköiden varalla oleville turvallisuusjärjestelmille laitoksen suunnitelleen ABB Atomin toimesta Vattenfallin tukemana. Ehkäisevän kunnossapidon aikana aiheutettua (yksi linja irtikytkettynä järjestelmän neljästä linjasta) reaktorisydämen vaurioitumistodennäköisyyden nousua verrattiin reaktorisydämen vaurioitumistodennäköisyyden keskimääräiseen vuositason. Erityisesti tutkittiin riskin noususuhdetta sinä aikana kun linjat ovat irtikytkettyinä. Kunnossapidon odotettua parantavaa vaikutusta järjestelmien toimintavarmuuteen ei analysoitu. Koska ehkäisevän kunnossapidon aiheuttamaa riskin nousua pidettiin rajoitettuna, ja koska järjestelmärakenteessa oli toteutettu ylimääräinen marginaali yksittäisvikakriteeriin verrattuna, oli viranomaiselle (SKI) mahdollista perustella ja hyväksyä ehkäisevän kunnossapidon salliminen käyttöehtojen tehoajon aikana valituille turvallisuusjärjestelmille Ruotsin uusimissa ydinvoimalaitosyksiköissä.

Projektin kolmantena sovellustutkimusalueena pyrittiin varalla olevien turvallisuusjärjestelmien määräaikaiskoikemennettelyjen ja moninkertaisesti varmistettujen (neljä linjaa per järjestelmä) turvallisuusjärjestelmien koejärjestelyjen tehokkuuden parantamiseen. Tutkimuksen kohteena olivat moottoriohjatut sulkuventtiilit ja diesellagregaatit sekä Forsmarkissa etä Olkiluodossa. Muutoksia käyttöehtoihin tai huolto- ja koeohjelmiin on tekeillä voimayhtiöissä.



Järjestelmät:

- 314: Ulospuhallusjärjestelmä
- 316: Lauhdutusjärjestelmä
- 321: Sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä
- 322: Suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä
- 331: Reaktoriveden puhdistusjärjestelmä
- 712: Sammutetun reaktorin merivesijärjestelmä
- 714: Dieselvarmentamaton merivesijärjestelmä
- 721: Sammutetun reaktorin välijäähdytysjärjestelmä
- 763: Lämmitysjärjestelmä

Kuva 2. Reaktorin jälkijäähdytystoimintoon käytettävissä olevat järjestelmät (TVO I/II).

Projektin tulokset muodostavat esimerkin siitä, kuinka todennäköisyyspohjaisia ja luotettavuusteknisiä menetelmiä voi soveltaa muidenkin TTKE:n muutostarpeiden tunnistamiseen, arviointiin ja perusteluun. Työn tulokset on koottu NORD-sarjan raportiksi (viite 1), jonka voi tilata VTT:n sähkö- ja automaatiotekniikan laboratorion kautta. Tämän projektin ja muidenkin riski- luotettavuusanalyysiprojektien tulokset voidaan hyödyntää täysin vain, jos päätöksentekijät ja laitoshenkilöstö lisäävät osaamistaan todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin hyödyistä ja rajoituksista.

Tulevaisuuden suunnitelmat

Vastikään on alkanut pohjoismainen projekti "Safety Evaluation, NKS/SIK-1 (1990-93)". Uuden projektin päätavoite on määrittellä, kehittää ja demonstroida käytännössä:

- elävän todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin, ja
- turvallisuusindikaattoreiden

soveltamista käyttöturvallisuuden arviointiin ja sen tehokkaaseen parantamiseen.

Uusi projekti perustuu osittain tässä artikkelissa kuvattuun työhön ja sen yhteydessä havaittuihin ongelmiin. Uusi NKS/SIK-1 projekti tarjoaa suomalaisille voimayhtiöille ja viranomaisille foorumin, jossa voidaan tehokkaasti vaihtaa kokemuksia ja osaamista ruotsalaisten voimayhtiöiden, viranomaisten, konsulttien ja tutkimuslaitosten kanssa. □

Lisää aiheesta

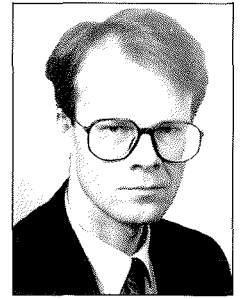
1. Optimization of Technical Specifications by Use of Probabilistic Methods — A Nordic Perspective. Final report of the NKA/RAS-450 project (1985-1989.) 150 s. NORD 1990:33.

TkT Kari Laakso, VTT:n sähkö- ja automaatiotekniikan laboratorio, on pohjoismaisen projektin "Safety Evaluation" projektipäällikkö.

DI Tuomas Mankamo, Avaplan Oy, on luotettavuus- ja riskianalyysikon-sultti.

DI Mikko Kosonen on Teollisuuden Voima Oy:n luotettavuusjaoksen luotettavuusinsinööri.

DI Antti Piirto on Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käyttötoimiston päällikkö.



TVO I/II PSA programme

TVO I/II PSA programme was initiated in 1984 by the utility. Positive experience on PSA everywhere in the world affected on the decision. The first decision was to make level 1 analysis carefully due to economical reasons included in the prevention of any degree of core damage. Level 1 analysis of internal initiators and floods has been reported and submitted to the regulatory body (STUK) for review. The analysis of fires and shutdown operation are going on. Preparation for level 2 analysis has begun, too. It will be performed after the shutdown analyses finished.

Systematic probabilistic studies called PSA (Probabilistic Safety Assessment) or PRA (Probabilistic Risk Analysis) have been in recent years very popular tools in the plant specific risk assessment of nuclear power plants in the whole world. The probabilistic methods allow the ranking of the risk contributors according to their importance. Because PSA is a comprehensive study covering a wide scale of sources of severe risks and the co-operation of all safety systems and the operators, it produces a reliable risk profile of the plant. It allows an effective selection and ranking of advantageous improvements that may be plant modifications but also new procedures or improvement of training.

PSAs are usually classified into three levels according to their comprehensiveness: Level 1 PSA includes the analysis of accident sequences until serious core damage. Level 2 PSA is continued after the core damage until release of radioactive materials from the plant to the environment. Level 3 PSA includes the analysis of effects of the releases to the human beings and economy of the society in the environment. According to their scope PSAs are classified into analyses of internal events (loss of coolant accidents, power transients) and analyses of external events (floods, fires, sea water phenomena, airplane crashes, seismic events, etc.).

Goals of the programme

Ambitious goals were set and most of them were gained in the first project. Most of the goals have remained similar also in other projects. Following 11 common goals are set in all projects of the TVO PSA programme:

1. Definition of the most probable core damage sequences.
2. Increase of the plant knowledge of the technical and operational staff.
3. Identification of most important possibilities of human errors and decreasing their probability by more effective training.
4. Identification of the most important dependencies.
5. Possibility to optimize the Technical Specification.
6. Identification of defects in and improvement of all kind of procedures.
7. Identification of design errors and comparison of modification alternatives.
8. Cost-benefit support in ranking of modifications.
9. Estimation of core damage frequency.
10. Increase of risk analysis know-how of the personnel.
11. Preparedness for continuing analyses and living PSA in co-operation with the authorities.

Projects

The TVO I/II PSA programme consists of several partially overlapping projects. The stepwise progression of the programme allows the use of earlier models and results as a basis of later projects. The work is mainly done by the utility's own staff. 2...3 reliability engineers continuously and some experts from the technical and operational staff are working in the PSA projects at the same time.

The decision to begin each project has been done by the Operative Group of the utility. Each project has several working groups composed of experts invited from different offices of the line organization. About 80 per cent of all PSA work in TVO has been performed by the utility's own technical and operational staff.

Regular meetings on methods and application problems have been arranged with the PSA group of the Swedish power company Statens Vattenfall. They were simultaneously performing PSA for similar units Forsmark 1 & 2. Close contacts

have been kept also to other Swedish power companies. The methods and results have been presented to STUK in the course of the projects.

Project 1. Core melt due to internal initiators

The first project (1984...89) was limited to level 1 PSA of internal initiators. STUK required soon in 1984 the project plan of level 2 PSA. Therefore the level 1 analysis was to be done so that it can be continued up to level 2 later. Due to rather ambitious goals the first project took five calendar years and 12 man-years instead of three calendar years and 7,5 man-years planned. About 25 engineers and technicians from the utility's staff were more or less intensively involved in this project that has been the basis for all continuing PSA work.

Project 2. Core melt due to fires and floods

The second project began in early 1988, when it was decided to supplement the PSA with fire analysis. STUK required in late 1988 that also flood analysis should be performed simultaneously, because fires and floods are considered as the most important external sources of risk for TVO I/II. The analysis of floods was reported in spring 1990. The necessary correction of errors detected and updating of the models and data prepared in the first project was more laborous than expected. This has caused some delay in the fire analysis. Only five persons and two man-years were originally planned for this project, but the effort estimate will be exceeded by 50 per cent.

Project 3. Core melt during shutdown, restart or refuelling

The third project (1990...91) includes shut-down, refuelling and restart of the plant. It is emphasized in the procedures used in the changes of operational modes of the plant and in the possibility of errors in the preventive maintenance. Also the coordination of the maintenance tasks and the availability of the subsystems of the safety systems is an important area to be studied.

The three projects described above contain level 1 analysis for internal and most important external events in all operation modes of the plant. The total effort in these three projects is almost 20 man-years.

Project 4. Analysis of radioactive releases

The project plan of fourth project —

| | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 |
|--------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Decision & Requirement Pilot Study | █ | | | | | | | | | | |
| * Project 1 Level 1 Analysis | | █ | █ | █ | █ | █ | █ | | | | |
| * Project 2. Fire and Flood Analysis | | | | | █ | █ | █ | █ | | | |
| Living PSA Planning | | | | | | | █ | █ | | | |
| * Project 3 Other operation modes | | | | | | | █ | █ | | | |
| Level 2 Planning | | | | | | | █ | █ | | | |
| * Project 4. Level 2 Analysis | | | | | | | | | █ | █ | █ |

Time schedule of TVO I/II PSA programme.

level 2 PSA — is required by STUK in summer 1991. The analysis of prevention of different degrees of core damages is felt more advantageous due to both safety and economical reasons instead of analysis of mitigating systems that still are under much larger uncertainty on the phenomena themselves. Therefore the level 2 analysis has been moved while the comprehensiveness of the level 1 analyses has been increased. However, level 2 analysis is felt important in the assessment of the recently implemented SAM (Severe Accident Management) systems and procedures.

Living PSA

Preparing of the reliability models of a whole nuclear power plant is a large effort, but the models and assumptions are necessarily always fixed at a certain time (TVO I/II in 1986). Although the safety systems of the TVO plants are modified only seldom, the procedures and test arrangements are changed more often. The experience of the operators increase when they are made to know about the most important human interactions and trained in them. Old component types are replaced with new ones. The models require continuous refining. The data has to be up-dated when plant specific data base increases and continuous deeper physical analyses must be performed on the uncertain areas. Due to these reasons a PSA is out of date and therefore useless after some years without systematic maintenance.

The models of TVO PSA have been prepared on a ND-500 minicomputer. The solution of the models takes several days after major modifications in the models. To use PSA effectively in support of decisions requires more rapid calculations. Therefore simultaneously with the third project TVO has begun the conversion of the models to a fast living PSA tool SPSA operated on a PC. The conversion is expected to be finalized in late 1990. However, the living PSA tool developed by STUK is still under development, and the fast quantification of the risk changes is possible earliest in 1991.

The documentation of the TVO I/II PSA has been planned hierarchical and thus suitable for living-PSA applications. It contains a main report in 7 folders and about 80 folders system analyses and technical reports plus numerous references to the plant documentation.

Methods and probabilistic models

Three classes of Loss of Coolant Accidents (LOCAs), three classes of transients (Loss of main condenser, Loss of main feedwater and main condenser, Loss of external 400 kV grid) and 17 classes of floods and leakages have been used as initiators. Only CCI (Common Cause Initiator) floods and fires are considered. The success criteria of safety systems are mainly based on realistic calculations, because the assumptions in Final Safety Analysis Report (FSAR) used for licensing are too conservative, and they would produce a biased and thus useless risk profile.

The TVO plant model is based on fault tree linking. Accident sequences are modelled in small event trees. Safety functions with their realistic success criteria are modelled in so called master fault trees that are linked to subsystem fault trees. The auxiliary systems are referred to on the component level. The models are developed in most cases up to single relays and logical circuits. About 50 very detailed system fault trees were prepared in order to take into account all possible support system dependencies. The number of unique gates and basic events in the exat system fault trees exceeds 11,000. This leads to enormous difficulties if trying to find min cut sets from the original fault trees. To manage the min cut set search in reasonable time the fault trees were simplified by several systematic ways. The criteria of core damage was set quite low, in most cases core uncover, due to the economical goals of the study.

Much emphasis was paid on analysis of dependences that were classified into 7 classes according to their origin and the analysis method applied. The classification is based on the pre-study in dependences performed by Avaplan Oy.

1. *System-related dependences* were modelled in very detailed system fault trees. The first fault trees were drawn only in order to identify all possible dependences in any situation or initiating event within the boundaries of the analysis.
2. *Human-related dependences* due to errors in test or maintenance were mapped out in co-operation with operations and maintenance personnel.

3. *Environment-related dependences* (floods, fires, missiles, etc) were identified by walking through the rooms having vital components or their auxiliaries.
4. Checking of *specific dependences in the auxiliary power supply systems* was an essential part of the detailed modelling procedure. For example the selectivity of protection was carefully checked, but no significant findings were done.
5. *Recurring errors in periodic tests of the plant protection system* were talked through with emphasis on latent failures and completeness of tests.
6. *Common Cause Initiators* due to leaks and fires are systematically mapped in the fire and flood analysis.
7. Engineering judgement, based on several common cause studies, was used by Avaplan Oy and the Technical Research Centre of Finland (VTT), when they evaluated the *remaining, not identified common cause probabilities*. An Extension of Common Load Model (CLM) was developed for highly redundant structures.

The SUPER-TREE code developed by ABB-Atom was used for fault tree modelling. Because of the detailness of the fault tree model of TVO the SUPER-TREE code was to be extended several times. The RELVEC code developed by VTT was used for min cut set search and calculation of probabilities and importance measures. Both codes operate on TVO's mini computer (Norsk-Data 500). The SETS code on VTT's main frame was used for verification of RELVEC.

In order to obtain plant specific component reliability data, an analysis of failure reports was performed. Operating data for the components was collected using test records and test and operating procedures completed with operating personnel interviews. Accident sequence probability calculations showed that generic reliability data from similar plants is most often adequate but in case of the most significant components the use of plant specific data is justified.

Application of results

Education and training

PSA proved to be an excellent tool in getting deeper understanding of the operation of safety systems and risk importance of components and human interactions — even for experienced shift engineers. Participation in the PSA-team during some months was used as an education period.

The plant specific training simulator has been taken into use in 1990. Most probable sequences containing several important, partially competing human interactions will be used as training cases. On the contrary, plant specific reaction times and other human reliability data will be obtained for the living PSA from the simulator training records.

More detailed studies

The study was emphasized in mapping of dependences, because their contribution on core melt frequency has been more than 90 per cent in earlier PSAs for similar plants in Sweden. The principle of using four identical halfcapacity ($4 \times 50\%$) systems is applied at TVO to all important safety functions, but due to conservative design assumptions the safety systems have in most cases $4 \times 100\%$ capacity. However, the redundant subsystems have been made of identical components and maintained according to same procedures. Therefore high probability of quadruple CCF was to be assumed. Their importance decreases rapidly when the CCF probability decreases; e.g. taking into account staggered maintenance in estimation of CCF-parameters.

The auxiliary electric power system has four independent trains. However, each train is complex and large DC networks seem to be problematic. Dependences between different DC voltages and battery backed AC supplies were stronger than expected. Some supplies are necessary in otherwise diverse safety functions (e.g. auxiliary feed water, core spray & manual depressurization and normal feed-water). More detailed studies are necessary before implementation of any modifications.

The structures of the buildings, most ventilation systems, piping and cable routes are designed so that the plant is divided into two main fire zones (A-C) and (B-D). In each fire zone two subsystems (A and C respectively B and D) are separated by distance or fire barriers. The physical separation inside the units seemed to be adequate in connection with LOCAs, transients and floods, but the fire analysis is still going on.

Optimization of Technical Specifications has been separated from PSA. In the future the PSA-models allow wider and faster applications.

Procedures

The error of omission of the start of the additional water supply for the auxiliary feed water was one of the most important human interactions in PSA. New procedures were prepared both for the operators and the operational manager in the emergency response plan. Because many sources of additional water exist, originally no procedure was seen necessary. The water would deplete without additional water supply within 3...24 hours depending on the preceding sequence.

New emergency procedures were prepared simultaneously with the PSA-study. The manual depressurization of the primary circuit is easier in the relay rooms besides the control room than at the control panel. This was taken into account in the new emergency procedures partially on the basis on its importance proved by PSA, partially on the basis of earlier discussions, too.

Each unit has four diesel generators, one in each subsection of the auxiliary power system. Each DC has preventive maintenance three days annually during the power operation. Safety system pumps in the subsection are maintained simultaneously during the DG maintenance. If the auxiliary feedwater pump and core spray pump in the subsection are not maintained simultaneously, but either one or another of them is ready for start (without DG), the core melt frequency decreases about 3 per cent. A recommendation was added in the maintenance procedures.

During the review of the study made by the authorities the most important human interactions were "walked through" with several shift engineers. Some minor unclear steps in the emergency procedures were detected. More detailed check of the procedures will be done in simulator training.

Decision making

Severe Accident Management (SAM) systems were under construction during the PSA-project. The core melt frequency would be 40 per cent higher without the containment overpressure protection. Filtered containment depressurization decreases core melt probability, because it can be used in residual heat removal. The PSA models showed later that the investment decreased the core damage frequency although it was aimed for accident mitigation.

SAM includes manual depressurization of the primary circuit in order to prevent high pressure core melt and manual flooding of the reactor cavity to cool the core debris. Automatization of these tasks was studied on the basis of min cut set lists of core melt sequences. The calculations showed that the benefit from the automatization would be negligible.

Maintenance planning

Every 10 years of the four DGs has an 8 days outage instead of the annual three days outage for preventive maintenance. It was proven by PSA that increase of the core melt frequency is minor due to the longer outage, and also it can be performed during the power operation.

Improved testing

Tightness of the drywell-wetwell diagram floor is tested annually in the refuelling outage. However, it is possible to detect major leakages — e.g. failure to close of the check-valves at the blowdown tubes — in connection with the recombination tests every two weeks. Follow-up of the pressure difference has been added in the operational procedures.

Design of modifications

Several plant modifications are under investigation: e.g. 1) possibility to reduce system dependences in the auxiliary electric power systems; 2) increase of diversity in the S/R valves; 3) improvement of testing possibilities of the cooling of reactor level measurement pipe lines.

Conclusions

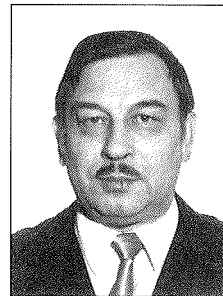
The utility initiated TVO I/II PSA programme started in 1984. Almost 20 man-years effort mainly by the own staff for the level 1 analysis for internal and most important external events in all operation modes should be finalised in 1991. The authority requires the utility to continue the analysis to level 2.

The results of PSA have mainly resulted to modifications in procedures. Also some new procedures have been written. Test arrangements have been changed. The use of procedures in most probable situations will be trained on simulator. Greatest benefit might be the direct feedback to the operational and technical staff involved in the project. Single improvements have not much decreased the core melt frequency, but they have changed drastically the order of importance of single failure modes.

However, no plant modification has yet been done. Only minor risk decrease would be gained through any single modification. The modification itself is always a risk, and the real benefit from the modification must be carefully studied before implementation.

The future trend of PSA programme is to generate an user-friendly plant specific living tool that can be used in real time to support decision making and application of Technical Specifications. □

Mr. Risto Himanen is MSc in Electrical Engineering and works as Senior Reliability Engineer in the Office for Nuclear Safety of the Development department of Teollisuuden Voima, tel. 938-381 3240.



Loviisan voimalaitoksen riskianalyysi

Tason 1 perusriskianalyysi on suoritettu Loviisan voimalaitoksen vanhemmalle yksikölle (Loviisa 1) ottaen huomioon laitoksen sisäisistä vioista ja virheistä alkavat häiriöt. Perusriskianalyysin tarkoituksena on tunnistaa sellaiset järjestelmät, laitteet ja inhimilliset toiminnot, jotka erityisesti vaikuttavat laitoksen riskiin, sydänvauriotaajuuteen, ja käynnistää tarpeelliseksi osoittautuneet muutostyöt järjestelmissä ja toimintaohjeissa. Myös laitoshenkilöstön koulutusnäkökohtia on painotettu työn yhteydessä. Työn kaikkiin vaiheisiin osallistuikin merkittävällä panoksella vuoropäälliköitä, insinöörejä ja teknikoita.

Loviisan laitos koostuu sekä idän että lännen teknologiasta. Se on sähköteholtaan 465 MW, varustettu VVER-tyyppisellä reaktorilla ja kuudella vaaka-höyrystimellä. Instrumentointi ja säätölaitteet ovat suureksi osaksi länsimaista tuotetta, kuten myös pääkiertopumput, jäälauhdutinsuojarakennus ja monet apujärjestelmät. Turvajärjestelmät suunniteltiin 1970-luvulla vallinneen läntisen käytännön mukaisesti. Useimpia aktiivisia komponentteja on neljä rinnan (4 x 100 %), mukaan lukien neljä dieselgeneraattoria sen varalta, että syöttö 400 kV ja 110 kV verkoista menetettäisiin. Loviisa 1 on ollut käytössä vuodesta 1977 alkaen, ja sillä on korkea käyttökerroin (81.1%), sekä varsin matalat aktiivisuustasot ja päästöt.

Riskianalyysin osa-alueita voidaan esittää kuvan 1 avulla. Ensi vaiheessa tunnistettiin seitsemänkymmentä erilaista alkutapahtumaa eli sellaista vikaa, joista seuraa laitoksen alasajo. Tällaisia ovat mm. eri kokoiset vuodot primääripiiristä, häiriöt höyrystinten syöttövesisyötössä ja sähköverkon menetykset. Myös EPRI:n ja NRC:n julkaisemia alkutapahtumalistoja käytettiin tunnistuksessa. Samalla tunnistettiin kunkin alkutapahtuman yhteydessä tarpeelliset turvatoiminnot (turvallisuusfunktiot), sekä järjestelmät joita tarvitaan näiden toimintojen toteuttamisessa.

Erityistä huomiota kiinnitettiin järjestelmien välisiin riippuvuuksiin, ja siihen, että tukijärjestelmästä alkava häiriö saattaa tehdä samalla yhden tai useamman redundanssin turvajärjestelmässä toimintakyvyttömäksi. Näin saadut alkutapahtumat voitiin sitten ryhmitellä uudelleen siten että päädyttiin 21 erilaiseen alkutapahtumaryhmään. Samaan ryhmään kuuluvat alkutapahtumat vaativat samojen turvallisuusfunktioiden toimintaa, tämä oli ryhmittelyssä johtavana periaatteena.

Tapahtumapuilla esitettiin kullekin alkutapahtumalle tarpeellisten turvallisuusfunktioiden onnistumis- ja epäonnistumishaarat kuvan 1 tapaan. Jokainen funktion epäonnistuminen johtuu järjestelmien tai laitteiden vioista tai inhimillisistä virheistä. Nämä loogiset riippuvuudet esitettiin vikapuilla. Tällöin jouduttiin määrittämään ns. onnistumiskriteerit, joilla ilmaistaan esim. kuinka monta korkeapainepumppua neljästä tarvitaan toiminnassa tietyn suuruisen vuodon tapauksessa syöttämään riittävästi vettä primääripiiriin. Onnistumiskriteerit määritettiin termohydraulisilla analyyseillä käyttäen sellaisia koodeja kuin RELAP 5, ATHLET, DRUFAN, FLUT ja SMABRE. Osoittautui, että tarvitaan vain kuusi tapahtumapuuta: kolme eri suurille primäärivuodoille (LOCA), yksi höyrystinvuodoille, yksi transienteille ilman pikasulkua (ATWS) ja yksi muille transienteille. Kaikki 21 alkutapahtumaluokkaa voitiin käsitellä näiden avulla kun kunkin yksilölliset piirteet esitettiin k.o. alkutapahtuman turvallisuusfunktion päävikapuissa (master fault tree, logic).

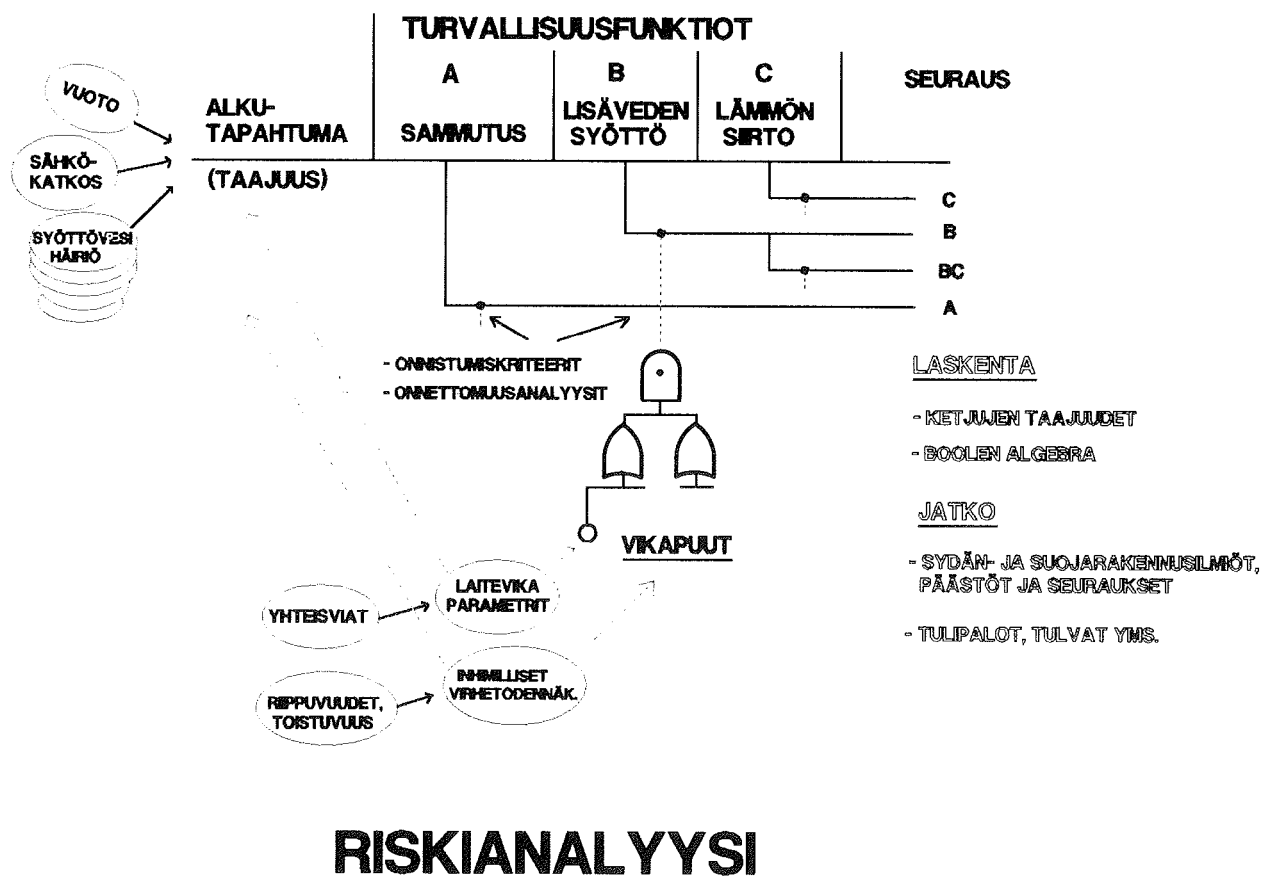
Järjestelmien vikapuita kehitettiin lopulista laskentaa varten 16 järjestelmälle. Huomattavasti enemmänkin malleja kehitettiin, mutta muut järjestelmät voitiin lopulta esittää perustapahtumina tai eliminoiduivat joko erittäin luotettavina tai konservatiivisten oletusten perusteella. Vikapuulaskennassa käytettiin modularisointia, mikä merkitsee, että esim. sarjassa olevia komponentteja voidaan esittää yhteisellä perustapahtumalla. Tämä oli tarpeen laskennassa käytetyn CAFTA ohjelman kapasiteetin vuoksi. CAFTA on kehittänyt Science Applications Inc. mikro-tietokoneelle. Nykyisistä malleista laskenta tapahtuu varsin nopeasti. — Laajoja yksityiskohtaisia malleja varten on käytettävissä myös muualla laajasti käytetty SETS-ohjelma. Omia ohjelmia on kehitetty mm. herkkyy- ja tärkeys-laskuja varten/1/.

Laskennassa on periaatteessa kaksi vaihetta. Ensiksi Boolean algebraa käyttäen saadaan selville kaikki vika- ja virheydistelmät jotka (k.o. alkutapahtumalle) johtavat sydänvaurioon. Toisessa vaiheessa alkutapahtumien taajuutta ja vikoja ja virheiden todennäköisyyksiä (laitteiden epäkäytettävyyksiä) ja todennäköisyyslaskennan sääntöjä käyttäen saadaan selville kunkin onnettomuusketjun taajuudet. Nämä yhdistäen saadaan selville kunkin alkutapahtuman kautta aiheutuva sydänvauriotaajuus sekä summana kokonaistaajuus.

Ennen kuin näin pitkällä ollaan, on määritettävä mallin kaikkien laitevikojen taajuudet, korjausajat, varalla olevien laitteiden koestusvälit ja inhimillisten virheiden todennäköisyydet. Työn yhteydessä luotiinkin varsin kattava vikahistorian tietokonepohjainen keräysjärjestelmä ja ohjelmisto tietojen käsittelemiseksi/2/ ja malleissa tarvittavien parametrien laske- miseksi/3/. Myös vikahistoriasta todetut nousevat tai laskevat trendit vikataajuuk- sissa otettiin huomioon/4/. Laitoskoke- musta käytettiin mahdollisimman tehok- kaasti hyväksi (käyttäen mm. ns. empiiristä Bayesin menetelmää estimoinnissa), koska yleisten tietolähteiden pätevyys on kyseenalainen monien eri toimittajien laitteista koostuvassa laitoksessa. Erälle alkutapahtumille käytettiin hyväksi mui- den VVER- laitojen kokemustietoa, ja joidenkin harvinaisten vikojen osalta no- jauduttiin yleisiin tietolähteisiin, kuten NUREG/CR-2728 (IREP PSA GUIDE) ja saksalainen riskitutkimus.

Useamman laitteen samanaikaisia vikoja aiheuttavat ns. yhteisviat ovat tunnetusti vaikeasti tunnistettavia ja numeerisesti arvioitavia. Tässä projektissa kehitettiin erityisiä kysymys- ja tunnistuslistoja erilai- ten komponenttien välistä riippuvuutta aiheuttavien ilmiöiden kuten vuodot, lämpötransientit, kosteus, pöly ja vieraat esineet ym. tunnistamiseksi. Näiden listo- jen avulla käytiin työryhmissä laitos läpi huone huoneelta. Havaittujen riippu- vuuksien realistisuus, taajuus ja kesto ar- vioitiin, ja huomioon otettavat vietiin malleihin tai alkutapahtumataajuuk- siin/5/. Huolimatta perusteellisesta lai- toskohtaisesta tarkastelusta otettiin lisäksi huomioon, että tälläkään tavalla eivät kaikki yhteisviat välttämättä paljastu. Sen vuoksi malleihin sisällytettiin ns. jäännösyhteisvikoja kuvaavat viat saman- laisten redundanttisten laitteiden välille. Näiden todennäköisyydet arvioitiin käyt- täen hyväksi EPRI:n julkaisemia kokoe- mia järjestelmätason vioista/6/.

TAPAHTUMAPUU



Kuva 1. Riskianalyysin rakenne.

Inhimillisten virheiden todennäköisyyksien arviointi on toinen vaikea alue riskitutkimuksissa. Kuitenkin esimerkiksi koetuksissa, huolloissa ja kalibroinneissa mahdolliset virheet ovat saman luonteisia kuin normaalielämän kokemukset sähköjen tai avainten unohtumisista. Niiden arviointi on suhteellisen luotettavaa ja virheiden todennäköisyyttä pienentävät mahdolliset lukitukset, hälytykset ja jälkitarkastukset. Virheiden toistumista eri redundansseissa vähentää töiden eriaikaisuus, eri suorittajien käyttö, laitteiden sijainti kaukana toisistaan sekä suoritusmenetelmien kirjaaminen/7/.

Jo alkaneen häiriön aikana tehtävien operaattoritoimintojen luotettavuuden arvioinnissa otettiin huomioon mahdollinen virhediagnoosi jos oireet olivat samanlaiset eri transienteissa. Muuten arviointi perustui eniten siihen, kuinka usein kutakin häiriötä harjoitellaan simulaattorilla osana ohjaajien koulutusta, sekä siihen miten paljon ohjaajilla on aikaa kussakin tilanteessa tehdä oikeat toimenpiteet. Häätätilanneohjeiden laatu on luonnollisesti myös tärkeä, ja eräitä parannusehdotuksia syntyi simulaattorikokeiden seurauksena/8/. Riskianalyysin tuloksia on osaltaan käytetty hyväksi myös määrittäessä ohjaajien koulutusohjelmia.

Tuloksia

Ensimmäiset tulokset v. 1989 johtivat useisiin muutoksiin laitoksella. Tärkein vikatapahtuma tuolloin näytti olevan jäähdytyksen (ilmastoinnin) menetys instrumentointi ja kojeistotiloissa. Tapahtumasta seuraavia virhesignaaleja ja -toimintoja on vaikea ennakoida. Uusi jäähdytysjärjestelmä on suunniteltu.

Toinen tärkeä tekijä oli venttiiliviat hätäjäähdytysjärjestelmän minimikiertolinjoissa, koska näiden seurauksena veden imu lattiakaivosta saattaisi automatiikan ohjaamana kääntyä jälleen hätäjäähdytys-tankeille ja takaisin toistuvasti. Luotettavampia venttiileitä suunnitellaan.

Pääkiertopumppujen tiivisteiden kautta tapahtuvien vuotojen todennäköisyyttä on pienennetty uudelleensuunnittelulla. Sivumerivesipiiriin luotettavuutta (redundanssia) on parannettu helposti muuttamalla eräiden venttiilien perustiloja.

Laitemuutosten lisäksi on kehitetty ohjeita ja valvontaa mm. seuraavasti:

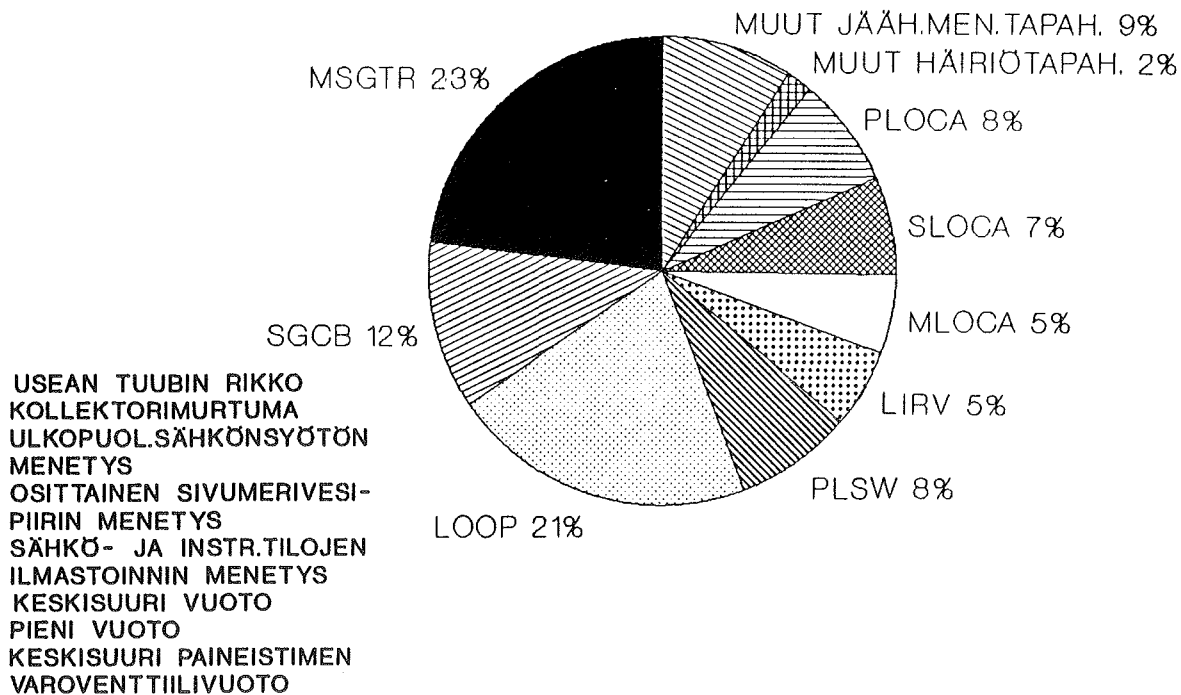
- jäälahduttimien ovien toiminnan varmistaminen
- suojarakennuksissa olevan irtomateriaalin valvonta ruiskutusveden virtausreittein varmistamiseksi

- tiettyjen venttiilien karojen ristiinkyt-kennän estäminen
- eräiden termostaattien sisällyttäminen määräaikaikalibrointeihin
- hätätilanneohje hätäjäähdytystankin uudelleen täyttämiseksi höyrystinvuototilanteessa
- hätätilanneohjeeseen paineistimen ruiskutus lisävesipumpuilla höyrystinvuototilanteessa
- ohje transienteille pikasulun estyessä (ATWS).

Sitten kun nämä muutokset otetaan huomioon on sydänvauriotaajuuden arvo n. 2 E-4/v. Tällöin suurimman riskin aiheuttavat höyrystinvuodot, kuten ilmenee kuvasta 2. Höyrystimen rakenteesta johtuen on määritelty kolme vuotoluokkaa höyrystinvuodoille. Huomattavia operaattoritoimintoja näissä häiriöissä ovat paineiden säädöt mm. paineistimen ruiskutusella sekä lisäveden johtaminen hätäjäähdytystankkiin.

Ne onnettomuusketjut joihin liittyy operaattoritoimintoja muodostavat n. 45% riskistä, yksin höyrystinvuotojen kautta n. 30%. Tärkeimmät toiminnot ovat häiriön aikana tehtäviä. Määräaikaisiin koetuksiin liittyvillä virheillä näyttäisi olevan pienempi osuus riskiin.

SYDÄNVAURION TAAJUUS 2.3E-4/a



Kuva 2. Sisäisten alkutapahtumien aiheuttaman sydänvaurion taajuuden jakautuminen.

Niiden onnettomuusketjujen osuus joihin sisältyy yhteisvikoja on n. 18%. Tärkein komponenttiryhmä tässä suhteessa on takaiskuventtiilit (8,7%), toisena dieselgeneraattorit (4,3%) ja kolmantena pumput (2,9%).

Laitevikojen puolella primääripiirin pääsulkuventtiilien luotettavan sulkeutumisen varmistaminen pienentäisi riskiä parhaimmillaan yli 30% (höyrystinvuotoihin liittyen). Paineistimen ruiskutuksen luotettavuuden parantaminen redundanssin lisäyksellä vaikuttaisi n. 11%, ja sivumeripiirin automatiikan parannus n. 7%.

Ulkoisen sähkön menetyksiin liittyen parannusmahdollisuuksia ovat mm. akkuvarmennuksen lisääminen pääkiertopumppujen tiivistesilinjoihin tietyille venttiileille, tai kaasuturpiinien nopean käyttöönoton varmistaminen.

Alustavan epätarkkuusanalyysin mukaan sydänvauriotaajuuden virhekerroin on noin 3. Vaikka yhteisviat eivät ole ratkaiseva riskitekijä keskimäärin, muuttuu tilanne heti jos jokin yhteisvika todetaan esim. koetuksissa läsnäolevaksi. Tällöin riski nousee moninkertaiseksi, mutta käyttöehtojen mukaan laitos tällöin ajetaan alas.

Työn yhteydessä kehitettiin myös alan menetelmiä ja ohjelmia, mistä näytteenä ovat oheisen viiteluettelon julkaisut. Kansainvälisesti tässä esitettyjä tuloksia julkistetaan lähteessä 9.

Yhteenvedon voidaan todeta, että riskianalyysi on tehokas työkalu laitoksen parannusehdotusten kohdistamiseksi tärkeisiin kohteisiin. Työ jatkuu lisäanalyysien mm. seisokkitilojen analyysillä, palojen ja tulvien analyysillä sekä ennen pitkää myös päästö- ja terveystieteiden analyysillä. □

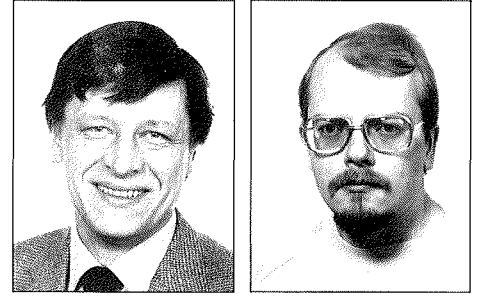
Lähteet

1. R. Andsten and J. K. Vaurio: Reliability Importance Measures and their Calculation, IVO Research Report, IVO-A-01/89, Imatran Voima Oy (1989).
2. Vaurio, J. K.: On Analytic Empirical Bayes Estimation of Failure Rates, Risk Analysis, Vol. 7, No. 3 (1987) 329—338.
3. Jänkälä, K. E. and Vaurio, J. K.: Empirical Bayes Data Analysis for Plant Specific Safety Assessment; Proc. Intl. Conf. PSA'87, Zurich, Switzerland, August 30 to September 4, 1987; ANS, ENS and SNS.
4. K. E. Jänkälä and J. K. Vaurio: Component Aging and Reliability Trends in Loviisa Nuclear Power Plant, PSA'89 — ANS/ENS International Topical Meeting Probability, Reliability and Safety Assessment, Proceedings, April 2—7, 1989, Pittsburg, Pennsylvania, USA.

5. K. E. Jänkälä and J. K. Vaurio: Dependent Failure Analysis in a PSA, to be presented at Society for Risk Analysis PSAM Conf., Beverly Hills, Feb. 4—7, 1991.
6. J. K. Vaurio: A Procedure for Parameter Common Cause Failure Assessment Proposed for IAEA Project RER/9/005, Workshop on Methodology and Data Base for VVER-PSA, 12—17 June 1988, Rez, Czechoslovakia, Final Report (1988).
7. Vaurio, U.M. and Vaurio, J. K.: Advanced Human Reliability Analysis Methodology and Applications; Proc. Intl. Conf. PSA'87, Zurich, Switzerland, August 30 to September 4, 1987; ANS, ENS and SNS.
8. J. K. Vaurio and U. M. Vaurio: Human Reliability Assessment in Loviisa 1, PSA, to be presented at Soc. Risk Analysis PSAM Conf., Beverly Hills, Feb. 4—7, 1991.
9. B. Mohsen and J. K. Vaurio: PSA as a Safety Improvement Tool for Loviisa NPS, to be presented at Soc. Risk Analysis PSAM Conf., Beverly Hills, Feb. 4—7, 1991.

Tkt Jussi K. Vaurio toimii Loviisan voimalaitoksella koulutusryhmän päällikkönä, p. 915-550 477.

Riskit pienemmiksi vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimuksella



Kansainvälisiin reaktoriturvallisuustutkimusten yhteistyöprojekteihin osallistuminen on välttämätöntä entistä tehokkaampien ja luotettavampien laskentamenetelmien kehittämiseksi voimayhtiöiden ja turvallisuusviranomaisten tarpeisiin. Juuri päättyneessä pohjoismaisessa reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmassa (NKA 1985—1989) kaksi osaohjelmamaa, AKTI ja AKTU, käsittelivät vakavia reaktorionnettomuuksia ja ympäristövaikutuksia. VTT osallistui molempiin osajohjelmiin mm. tutkimalla ympäristövaikutusten pienentämisen tehokkuutta.

Ydinvoimasta aiheutuvien riskien ja ympäristövaikutusten arviointi toteutetaan jakamalla kokonaisuus kahteen peräkkäiseen osatehtävään, joiden rajapintana paikan suhteen on suojarakennuksen seinämä. Reaktorisydämen vaurioitumiseen johtavien onnettomuusketjujen fyysikaalista ja ajallista etenemistä laitoksen sisällä lasketaan laajoilla tietokoneohjelmissa. Lopputuloksena saadaan onnettomuudesta aiheutuvan radioaktiivisten aineiden päästön koostumus ja ominaisuudet päästön vapautuessa suojarakennuksesta ilmakehään. Päästön fyysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ajasta ja paikasta riippuvina esitetään mahdollisimman tarkasti. Jälkimmäisessä työvaiheessa lasketaan ympäristövaikutuksia ja erilaisten suojaustoimenpiteiden merkitystä käyttäen arvioituja radioaktiivisten aineiden päästömääriä syöttötietona.

VTT:n ydinvoimatekniikan laboratoriossa suoritetaan aihepiirin tutkimusta tavoitteena entistä tehokkaampien ja luotettavien laskentamenetelmien kehittäminen maamme voimayhtiöiden ja turvallisuusviranomaisen erilaisiin tarpeisiin. Ympäristövaikutusten arvioinnissa käytetyt ohjelmat ovat pääosin VTT:ssä kehittyjä, jo 1970-luvulla käynnistyneen tutkimustyön tuloksena. Sen sijaan laitoksen sisällä tapahtuvien ilmiöiden tarkasteluun käytetyt ohjelmat ovat järjestään muualta, erityisesti USA:sta hankittuja. Ohjelmiin on täällä kuitenkin jouduttu tekemään huomattavaakin kehitystyötä, jotta kotimais-

ten laitosten erityispiirteet on voitu ottaa riittävästi huomioon. Harrisburgin laitoksella vuonna 1979 tapahtunut onnettomuus vaikutti merkittävästi aihepiirin tutkimuksen kasvuun. Maailmanlaajuisen kehityksen mukaisesti myös VTT:ssä käynnistyi erityinen tutkimusprojekti 1980-luvun alussa vakavien reaktorionnettomuuksien arvioimismenetelmien kehittämiseksi ja aihepiirin kokeellisen ja teoreettisen tietämyksen lisäämiseksi maassamme.

1990-luvulle tultaessa vakavien reaktorionnettomuuksien ja niiden ympäristövaikutusten tutkimusaihepiiriin tietämys ja laskentamenetelmien niin laadullinen kuin määrällinenkin puoli maassamme on hyvällä kansainvälisellä tasolla. Luonnollisesti yhä on tarvetta tietokoneohjelmien edelleen kehittämiseen ja luotettavuuden selvittämiseen, mutta tutkimuksen tuloksia on jo pitkään voitu käyttää hyväksi mm. laitosten uusien turvallisuusjärjestelmien suunnittelun tukena, lisensiointikysymyksissä, laitoksen käyttöhenkilöstön koulutuksessa ja onnettomuuden hallintamenetelmien kehitystyössä. Ympäristövaikutukset voidaan arvioida sitä luotettavammin, mitä varmemmalla pohjalla ympäristöön vapautuvien päästöjen laskennallinen arviointi on.

Kuten kaikille pienille maille, myös Suomelle on ollut itsestään selvyytenä aktiivinen osallistuminen aihepiirin kansainväliseen yhteistyöhön. Kaikki merkittävät ydinvoimatahot Suomessa ovat olleet mukana tässä yhteistyössä. Käytännössä VTT on usein toiminut Suomen edustajana tutkimuksen eri yhteistyöelimissä. Tällä hetkellä VTT osallistuu vakavien reaktorionnettomuuksien aihepiirin kokeellisiin ja teoreettisiin tutkimusohjelmiin mm. USA:ssa, Saksan liittotasavallassa ja Pohjoismaissa sekä työryhmätyöskentelyyn kansainvälisissä yhteistyöjärjestöissä, erityisesti OECD/NEA:ssa.

Hyödyllinen esimerkki kansainvälisen yhteistyön merkityksestä vakavien reaktorionnettomuuksien ja ympäristövaikutusten tutkimusaihepiirien tutkimuksessa on pohjoismainen reaktoriturvallisuustutkimuksen yhteistyö. Juuri päättyneessä kolmannessa nelivuotisohjelmassa (NKA 1985—1989) kuudesta osajohjelmasta kaksi (AKTI ja AKTU) koski mainittuja aihepiirejä. AKTI:n ja AKTU:n aihepiirit rajattiin toisistaan tutkimalla suojarakennuksen sisäpuolella ja ulkopuolella tapahtuvia ilmiöitä erikseen.

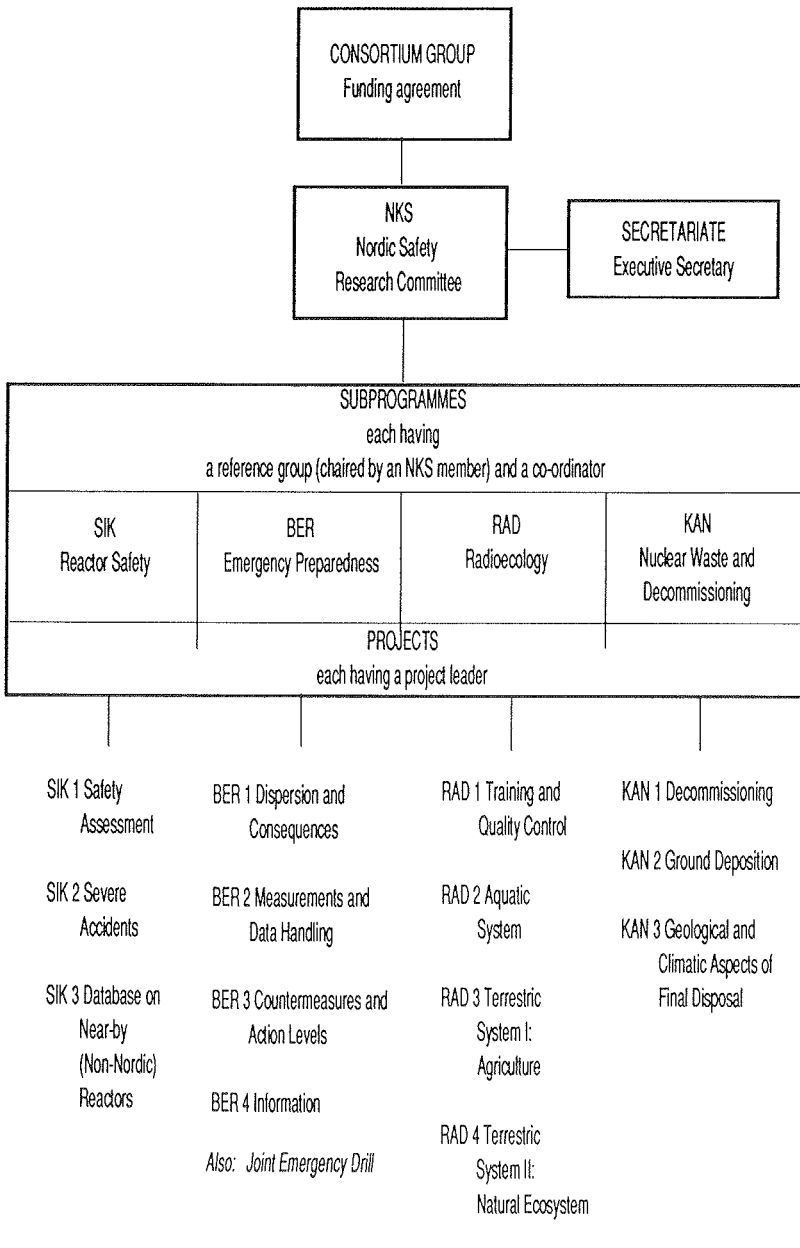
Vakavien reaktorionnettomuuksien kulku

AKTI-osaohjelma koostui kolmesta projektista. Lisäksi aihepiiriä koordinoi kaikista Pohjoismaista koostuva asiantuntijaryhmä. AKTI-130 -projektissa arvioitiin Pohjoismaissa käytössä olevien koko vakavan reaktorionnettomuuden tapahtumaketjuja laskevien tietokoneohjelmien luotettavuutta ja soveltuvuutta. Valikoituille Suomen ja Ruotsin ydinvoimalaitoksille suoritettiin vertailevia analyysejä ja arvioitiin ohjelmien matemaattisia malleja. Vakavien onnettomuuksien yhteydessä tapahtuvia kemiallisia ilmiöitä tutkittiin AKTI-150 -projektissa suorittamalla kokeellista tutkimusta mm. Oslon ja Kuopion yliopistoissa ja Chalmersin teknillisessä korkeakoulussa Göteborgissa. Kokeissa tutkittiin mm. booriin ja kesiumiin liittyviä kysymyksiä. Vakavaa onnettomuutta laskevaan tietokoneohjelmaan liitettiin fissiotuotteiden keskinäisiä reaktioita laskevia malleja. Aerosolien käyttäytymistä tutkineessa AKTI-160 -projektissa kehitettiin mm. tietokoneohjelmien malleja ottamaan huomioon aerosolien hygroskooppisuusomaisuudet suhteellisesta kosteudesta riippuvina. Ohjelmien soveltuvuutta arvioitiin suorittamalla vertailevia analyysejä käyttäen kokeellista dataa syöttötietona.

Uusimmassa vuosina 1990—1993 toteutettavassa pohjoismaisessa tutkimusohjelmassa vakaviin reaktorionnettomuuksiin liittyvää tutkimusta jatketaan SIK (Sikkerhed) -ohjelmassa. Suomen kannalta merkittävin aihepiiri on reaktorisydämen vaurioitumisvaiheen yksityiskohtainen tarkastelu ja eri tietokoneohjelmien arviointi ja keskinäinen vertailu. Myös Ruotsi osallistuu merkittävällä panoksella tähän työhön. Muita tutkimusaihepiirejä ovat kemiallisten ilmiöiden tutkimus, aerosolitutkimus ja tietokantojen käyttö operaattorin tukena onnettomuuden hallinnassa.

Ympäristövaikutukset

AKTU-ohjelma käsitteli radioaktiivisten aineiden kulkeutumista ympäristössä sekä niistä aiheutuvia säteilyannoksia ja terveyshaittoja tai taloudellisia vahinkoja. AKTU-osaohjelma jakautui kolmeen osaluueeseen, joista ensimmäinen käsitteli radioaktiivisten aineiden leviämistä ilmakehässä tai ravintoketjuissa ja onnettomuusmallien herkkyydentarkasteluja. Toisessa alueessa puolestaan selvitetiin kokeellisesti radioaktiivisten aineiden käyttäytymistä kaupunkityyppisessä ympäristössä tai ravintoketjuissa. Kolmannessa



Uuden tutkimusohjelman organisaatio ja aihepiirit.

osa-alueessa puolestaan selvitetiin sekä kokeellisesti että teoreettisesti malliennusteiden erilaisten vastatoimenpiteiden tehokkuutta pyrittäessä lieventämään reaktori-onnettomuuksien ympäristöseurauksia. Pohjoismaisen nelivuotisen tutkimusohjelman kuluessa tapahtui Tshernobylin reaktorionnettomuus. Tämä vaikutti oleellisesti AKTU-ohjelman sisältöön, jota voitiin varsin joustavasti muuntaa hyödyntämään myös onnettomuuden myötä ajankohtaisiksi tulleita kansallisia tutkimushankkeita. Eräänä osakohtena AKTU-ohjelmassa olikin pohjoismaisen Tshernobyli-mittausaineistoa sisältävän tietokantajärjestelmän luominen. Parhaillaan meneillään olevassa uudessa pohjoismaisessa tutkimusohjelmassa ympäristökysymyksiin liittyvää tutkimusta jatke-

taan kahden osahjelman piirissä. Ensin näkin reaktorionnettomuuksien varalta olevien valmiusjärjestelyjen ja menettelytapojen koordinoitiin ja yhdenmukaistamiseen liittyviä selvityksiä tehdään BER-ohjelmassa (Beredskap). Radionuklidien ympäristökulkeutumiseen liittyvää kokeellispainotteista tutkimusta jatketaan radioekologia-ohjelmassa (RAD).

VTT osallistui AKTU-puolella kahteen osatutkimukseen. Toinen käsitteli reaktorionnettomuudessa vapautuvan päästön partikkelikoon vaikutusta ympäristövaiikutuksiin. Ilmassa leviämisen aikana suurikokoiset partikkelit poistuvat gravitaation vaikutuksesta melko nopeasti päästöpilvestä — ilmiö voi kasvattaa säteilyta-
soa lähialueella ja muuttaa merkittävästi

pilven säteilevien komponenttien merkittävyttä etäisyyden funktiona. Tämän ilmiön käytännön merkitystä pienentää se, että jos päästö suojarakennuksesta ulos alkaa vasta usean tunnin kuluttua, ovat suuret partikkelit ehtineet poistua ilmatilasta.

Osatutkimus: ympäristön suojaustoimenpiteiden tehokkuus

Lähtökohdat




Ydinreaktorin sydämen sulamisen seurauksena voivat kertyneet fissio- ja aktivoitumistuotteet pahimmassa tapauksessa vapautua kaikkien suojarakenteiden ulkopuolelle ja aiheuttaa siten vaaraa ympäristölle. Väestö voi altistua säteilylle päästön ominaispiirteistä riippuen eri altistusreittejä. Väestön oikea-aikaisilla suojaustoimenpiteillä voidaan altistus joko kokonaan välttää tai ainakin pienentää sitä merkittävästi. Oikeiden vastatoimenpiteiden valinnassa auttaa tieto päästön koostumuksesta ja aikakäyttäytymisestä. Myös tieto laitospaikalla vallitsevasta säästä on tarpeen vastatoimenpiteiden arvioimisessa.

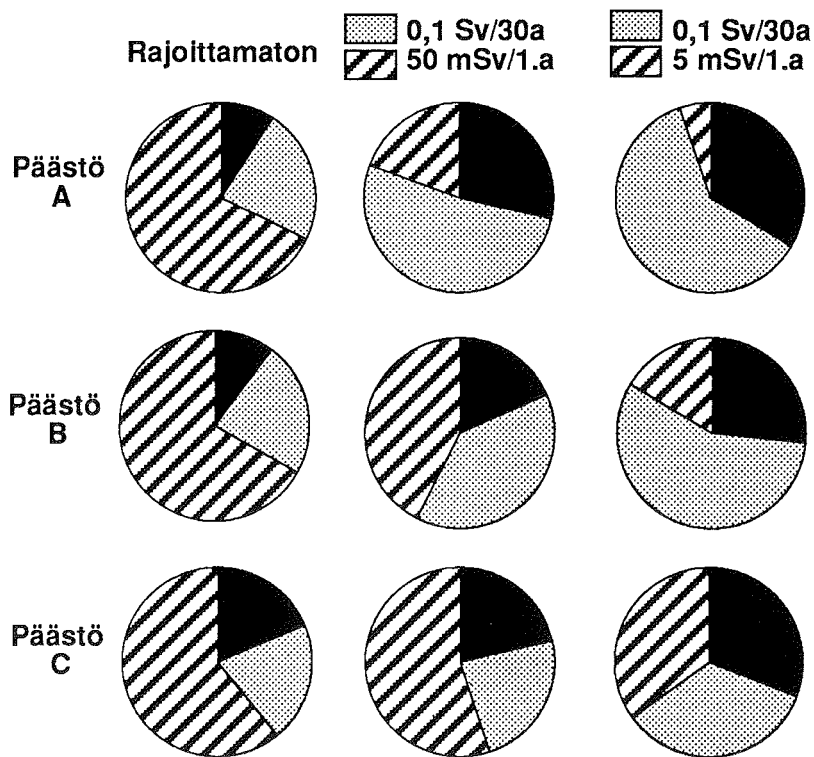
Altistusteinä onnettomuuden alkuvaiheessa voivat olla: suoraan päästöpilvestä tuleva ulkoinen säteily ja sisäänhengitetyn radioaktiivisuuden aiheuttama säteily sekä maahan laskeutuneesta radioaktiivisuudesta aiheutuva ulkoinen säteily. Päästön jo loputtua jää vallitseviksi altistusteiksi maaperästä tuleva ulkoinen säteily sekä nautittaviin ravintoaineisiin kulkeutuvien radionuklidien aiheuttama sisäinen säteily.

Vastatoimenpiteiden tehokkuuden arviointi

Onnettomuuden alku- ja varhaisvaiheessa suoritetuilla vastatoimenpiteillä voidaan vakavat välittömät terveysvaikutukset (säteilytauti ja kuolema) välttää, jos yksilöannokset pystytään pitämään säteilyn varhaisvaikutuksia aiheuttavien annostojen alapuolella. Myöhemmin on vielä pyrittävä pienentämään kohtuullisin keinoin väestöannosta, josta aiheutuu tilastollisesti tietty määrä terveydellisiä myöhäisvaikutuksia (syöpä).

Ensisijaisia varhais- ja alkuvaiheen vastatoimenpiteitä ovat: paikallisuojautuminen, evakuointi ja joditabletit: myöhäisvaiheessa saastuneen alueen puhdistus, väestönsiirto ja ruoan säännöstely. Vastatoimenpide pienentää terveydellisiä haittoja, mutta johtaa samalla rahallisiin kustannuksiin ja sosiaalisiin haittoihin. Edellytyksenä vastatoimenpiteen toteutukselle voitaneen pitää, että siitä aiheutuvat haitat jäävät vähäisemmiksi kuin koituvat edut. Tämän ratkaisemiseksi voidaan törmätä kysymykseen, paljonko ollaan valmiita maksamaan säästetystä annosyksiköstä. Helpompaa voikin olla määrittää laskennallisesti paljonko annosyksikön välttämiseksi aiheutuu kustannuksia ja vertailla näin vaihtoehtoisten vastatoimenpiteiden 'paremmuutta'. Vastatoimenpiteen kustannukset voivat vaihdella alueittain ja ajoittain, joten etukäteislaskelmien tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina.

-  Annos ensimmäisen viikon altistuksesta (suoritettu tiettyjä lyhyen ajan vastatoimenpiteitä)
-  Ulkoinen annos laskeumasta 30 vuoden kuluessa; rajoittamaton tai rajoitettu 0,1 Sv:iin per henkilö
-  Ravintoaineannos ensimmäisen vuoden altistuksesta; rajoittamaton tai rajoitettu 50 mSv:iin tai edelleen 5 mSv:iin



Annoskomponenttien suhteelliset osuudet pitkän ajan kuluessa kertyvässä kokonaisannoksessa, kun väestönsiirrolle sovelletaan tiettyä annoskriteeriä ja ravinnolle kahta vaihtoehtoista kriteeriä.

Laskentamenetelmä

Laskemalla tietystä päästöstä aiheutuvat säteilyannokset erilaisissa leviämistilanteissa ja painottamalla tuloksia näiden leviämistilanteiden vuosittaisilla esiintymistodennäköisyyksillä ja yhdistämällä tuloksiin väestö-, tuotanto-, investointi- tai elinkeinotoimintajakautuma saadaan esimerkiksi väestöannoksen tai investointien menetysten kumulatiivinen todennäköisyysjakauma ja edelleen mm. odotusarvot.

Käytetyt oletukset ja lähtötiedot

Sovelluslaskelmat tehtiin käyttäen Loviisan ydinvoimalaitoksen sijoituspaikkaa ja 1000 MW:n tehoisen reaktorin sydäninventaria. Päästöosuuksina tarkasteltiin kolmea ryhmää: A, B ja C, joissa kaikissa oletettiin ensinnäkin 100 %:n jalokauspäästö ja muille aineksille käytettiin ryhmässä seuraavia vapautumisosuuksia sydäninventaarista lasketuna:

| Päästö | I-Cs-Rb-Te-Sb | Sr-Ba-Rh-Zr-Tc-Mo, ym. |
|--------|----------------|------------------------|
| A | 0,1 (= 10%) | 0,01 |
| B | 0,01 (= 1%) | 0,001 |
| C | 0,001 (= 0,1%) | 0,0001 |

Vaihtoehtoisina päästökorkeuksina käytettiin 20 ja 100 metriä.

Varhaisvaikutusten estäminen

Yhteenvedon voidaan todeta, että terveydellisiä varhaisvaikutuksia ei voida täysin välttää käsitellyissä päästötilanteissa ja suojaustoimenpiteillä, kun kaikki leviämistilanteet otetaan huomioon. Kuitenkin esimerkiksi päästöjen B ja C osalta voidaan todeta, että paikallissuojautumalla ja käytetyillä evakuointitavoilla jää varhaisvaikutusten odotusarvo alle yhden tapauksen. Vastaava lukuarvo suurimmalle päästölle A on 20. Tämä eroavuus osoittaa, että varhaisvaikutusten määrä suojaustilanteissakin kasvaa nopeasti, jos jodin, kesiumin ja telluurin vapautumisosuudet nousevat yli 1 %:n. Pienimmän päästön C osalta voidaan todeta, että säteilynsairauksien määrä jää alle yhden, jos paikallissuojaututaan. Kuitenkin on leviämistilanne, jossa aiheutuu 12 sairaustapausta. Koska merkittäviä säteilyannoksia esiintyisi vain suppella alueella, evakuointietäisyyden ulottaminen yli 5 km:n ja vaihtoehtoiset evakuointiajat eivät vaikuta tuloksiin, mutta paikall-

lissuojautuminen vähentää terveysvaikutuksia joka tapauksessa merkittävästi.

Päästön B osalta todetaan saavutettavan vain vähäistä etua evakuoimalla yli 5 km:n etäisyyksillä. Toisaalta on olemassa leviämistilanne, jossa varhaisvaikutukset vähenivät suuresti, jos evakuoidaan 5–10 km:n etäisyydelle asti.

Päästöissä A voidaan säteilynsairauksia vähentää, jos evakuointietäisyys ulotetaan yli 10 km:n päähän.

Väestönsiirto ja ruoan säännöstely

Myöhemmässä vaiheessa saastuneella alueella asuvaan väestöön kertyy säteilyannosta pääasiassa maaperästä ulkoisena säteilynä sekä sisäisenä säteilynä saastuneella alueella tuotetun ruoan nautinnasta. Laskuissa väestö oletetaan siirrettävän pois saastuneelta alueelta, kun ulkoisen säteilyn annosraja täyttyy. Pienimmän päästön tapauksessa väestönsiirrolla ei ole vaikutusta väestöannokseen. Keskimäisen päästön tapauksessa väestönsiirrolla on hieman vaikutusta ja suurimmalla päästöllä vaikutus on huomattava — jopa 60 % annossäästö voidaan saavuttaa väestönsiirrolla.

Oheisessa kuvassa on esimerkinomaisesti esitetty eri altistusreittien osuudet pitkän ajan kuluessa kertyvästä kokonaisannoksesta. Jos mitään myöhempiä vastatoimenpiteitä ei suoriteta aiheutuu saastuneista maataloustuotteista päästöstä riippumatta selvästi suurin annoskomponentti. Jos ulkoinen säteilyannos rajoitetaan taustasäteilyn tasolle ja ravintoaineannos 50 mSv:iin henkilöä kohti, on ulkoinen säteilyannos merkittävin komponentti, jos päästö on suurempi tai yhtä suuri kuin B ja C. Jos ravintoaineannos rajoitetaan edelleen 5 mSv:iin kasvaa sen osuus kokonaisannoksesta vasta päästössä C yhtä suureksi kuin muiden annoskomponenttien. Kuva osoittaa, että suojaustoimenpiteiden tehokkuus on päästöistä riippuva. □

DI Klaus Kilpi on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion prosessitekniikan jaoston erikoistutkija, p. 90-648 931.

DI Jukka Rossi on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion turvallisuustekniikan jaoston tutkija, p. 90-648 931.



Kansainvälisen säteilysuojelukomitean suosituksia uusitaan

Kansainvälisen säteilysuojelukomitean (ICRP) perussuosituksukset ovat kolmetoista vuotta olleet pohjana muille säteilysuojelun kansainvälisille suosituksille ja kansallisille määräyksille ja suosituksille. ICRP on vuosittain tarkastellut suositustensa perusteita ja aika ajoin julkaissut täydennyksiä alkuperäisiin suosituksiin. ICRP on valmistellut parin vuoden ajan suositustensa kokonaisuudistusta ja on ensimmäisen kerran lähettänyt suositusluonnoksensa myös laajalle kansainväliselle kommenttikierrokselle. Mahdollisuutta vaikuttaa suositusten sisältöön käytettiin monissa alan järjestöissä ja muissa yhteisöissä antamalla runsaasti palautetta. ICRP:n pääkomissio kokoontui kesäkuussa käsittelemään tätä palautetta antaakseen lisäohjeita luonnostyöryhmälle suositustekstin saattamiseksi lopulliseen muotoon tämän vuoden marraskuussa pidettävää komission kokousta varten. Uusien suositusten odotetaan ilmestyvän vuoden 1991 alkupuolella.

Tämän hetkisen luonnoksen mukaan ICRP tulee esittämään yleiset säteilysuojeluperiaatteet sellaisessa muodossa, että ne kattavat sekä säteilyn käyttötilanteet, jotka lisäävät säteilyannosta ja terveysrisiä että tilanteet, joissa vain vastatoimenpitein voidaan rajoittaa säteilyannosten saantia.

Nämä yleiset periaatteet tulevat kattamaan säteilyn käytön tai vastatoimenpiteiden oikeutuksen, säteilysuojauksen optimoinnin ja yksilön suojan. Periaatteiden täsmällinen muotoilu ei ole vielä tiedossa.

Silloin kun on kysymys ”säteilynkäyttöti-

lanteista”, huolehditaan yksilönsuoja-periaatteen toteutumisesta pitämällä yksilöiden säteilyannokset annosrajojen alapuolella; vastatoimenpidetilanteissa taas pitämällä yksilöannokset determinististen vaikutusten kynnyksannosten alapuolella.

ICRP korostaa näiden kaikkien kolmen periaatteen yhtäaikaista toteutumisen tärkeyttä. Annosrajat (dose limits) tulevat entistä selvemmin olemaan vain riittävän yksilönsuojan takaamisenväline ”säteilynkäyttötilanteissa”. Säteilylähteen käytön suunnittelussa optimoinnille tulee asettaa annosrajoitimia (dose constraints), jotka ovat annosrajaa alhaisempia ja joilla pyritään takaamaan se, ettei lähteen jatkuva käyttö eikä useiden lähteiden samankertainen vaikutus johda yksilöille asetetun annosrajan ylityksiin. On erityisesti huomattava, ettei annosrajoja ole suunniteltu käytettäväksi ”vastatoimenpidetilanteissa”, siis tilanteissa, joissa radioaktiiviset aineet ovat jo ympäristössä (radon; onnettomuuden jälkitilanne) kun on päätettävä annosten pienentämisestä vastatoimenpitein. Tällaisessa tilanteessa painotuu se, että vastatoimenpiteellä on saattava aikaan enemmän hyvää kuin haittaa (oikeutus) ja mahdollisimman paljon hyvää (optimointi) ko. olosuhteissa.

Riskit ja annosrajat

Huolimatta siitä, että oikeutus, optimointi ja annosrajoittimet saavat entistä enemmän painoa, on ICRP kuitenkin katsonut, että annosrajoja tulee alentaa koska nykyisen tiedon valossa ionisoivan säteilyn aiheuttamat riskit ovat kohtuullisella varmuudella kolme kertaa suuremmat kuin vuosikymmen sitten ajateltiin.

Komissio on hyväksynyt säteilysuojelutarcoituksessa käytettäväksi säteilyn indusoiman, kuolemaan johtavan, syövän todennäköisyydeksi elinaikana $5 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ nimellipopulaatiolle, jossa on kaikki ikäryhmät ja $4 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ työikäiselle (20—64 v.) populaatiolle. Arvot perustuvat viiden eri populaation pohjalta, multiplikatiivista enustemallia käyttäen saatuihin, kuolemaan johtavien säteilyn aiheuttamien syöpätapausten todennäköisyyksiin. Tehokkuuskerrointa 2 on käytetty otettaessa huomioon korjausmekanismit alhaisille annoksille ja annosnopeuksille.

Komissio tulee uusissa suosituksissa selvittämään miten säteilyannoksen aiheuttaman detrimentin eri attribuutit vaikuttavat annosrajojen valintaan. Tällaisia attribuutteja ovat

- todennäköisyys, että henkilö saa säteilyä aiheutuvan, kuolemaan johtavan, syövän;
- miten monta vuotta elämästä menetetään verrattuna odotettuihin elinvuosiin jos henkilö saa syövän;
- miten riski jakautuu jos säteilyä saadaan eri ikäisinä;
- ei kuolemaan johtavien syöpien ja perittyjen häiriöiden tuoma lisä detrimenttiin.

Tarkasteltuaan erilaisten vuotuisten säteilyannosten seurauksia, komissio on päättänyt esittämään työntekijöille 20 mSv/a, laskettuna 5 vuoden keskiarvona, hyväksyttävän ja ei-hyväksyttävän rajana. 20 mSv/a annosraja tulee todennäköisesti jäämään lopullisiin suosituksiin, mutta aika, jona keskiarvo lasketaan saattaa vielä muuttua eikä ole vielä selvää, millä sanonnalla puolestaan estetään useamman vuoden annoksen saaminen yhtenä vuotena.

Erillisistä annosrajoista yksittäisille elimille lienevät enää tarpeellisia vain silmän linssi (150 mSv/a), iho (500 mSv/a) ja kädet (500 mSv/a). Nykyinen raja väestön yksilöille 1 mSv/a tullaan säilyttämään, mutta todennäköisesti keskiarvon laskemisaika pienenee 5 vuoteen nykyisestä eliniästä.

Raskaana olevan työntekijän suhteen komission tarkoitus on rajoittaa äidin saamaa annosta siten, että syntymätöntä lasta käsitellään kuten väestön yksilöä. Tämä saavutetaan ICRP:n käsityksen mukaan rajoittamalla raskaana olevan naisen vatsan pintaan ulkoisesta säteilystä tuleva annos 2 mSv raskauden ilmoittamista seuraavaksi ajaksi ja rajoittamalla radionuklidien saantia. Keskustelu radionuklidien saannin rajoittamisesta on kuitenkin vielä kesken.

ICRP ei ole ehdottanut elinikäistä annosrajaa.

Annoskäsitteitä

Annos ekvivalentti (dose equivalent) pysyy edelleen laatutekijällä painotettuna absorboituneena annoksena. Tämän pistemäisessä kohteessa saatavan annoksen ohella on säteilyn terveysvaikutusten kannalta tarpeen käyttää elimen tai kudoksen keskimäärin saamaa painotettua absorboitunutta annosta. Tämän vuoksi ICRP on esittänyt säteilyn painotustekijöitä, W_R , (radiation weighting factors), jotka perustuvat eri säteilylajien suhteelli-

seen biologiseen tehokkuuteen (RBE), ja käsitettä **ekvivalentti annos** (equivalent dose), H_T , elimessä tai kudoksessa T: $h_T = W_R D_T$ missä D_T on absorboituneen annoksen keskiarvo elimessä tai kudoksessa.

Kudospainotustekijöiden, W_T , ryhmittely ja numeroarvot muuttuvat, käsite kuvaa kuitenkin edelleen eri elinten ja kudosten suhteellista säteilyherkkyyttä. Asianomaisilla W_T :llä painotettujen eri elinten ekvivalentti annosten summaa kutsuttiin ennen efektiiviseksi annosekvivalentiksi (effective dose equivalent), joka nyt on yksinkertaistettu **effektiiviseksi annokseksi** (effective dose).

Loppupäätelmä

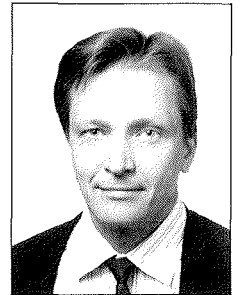
Alkuvuodesta saatavilla olleeseen ICRP:n suositusten kahdeksanteen luonnokseen saatujen lukuisten kommenttien vuoksi on odotettavissa merkittävä määrä muutoksia silloiseen tekstiin. Vaikkakin korjausehdotuksista valtaosa koski esitystapaa ja tekstiin haluttiin selvennyksiä on ennenaikaista vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä lopullisesta tekstistä. Voidaan kuitenkin todeta, että ICRP:n kolme periaatetta tulevat säilymään ja niiden käyttöalue tulee laajenemaan säteilykäyttötilanteista myös vastatoimenpiteitä vaativiin tilanteisiin. Säteilykäyttötilanteita koskevat työntekijöiden vuosiannosrajat tulevat alenemaan mitä todennäköi-

simmin 20 mSv/a. Numeroarvoja vastatoimenpidetilanteisiin ei tulla antamaan perussuosituksissa vaan niitä (radon, onnettomuustilanteet) tullaan käsittelemään erillisissä suosituksissa. □

FL Anneli Salo on säteilyturvakeskuksen valvontaosaston päällikkö, p. 90-70821.

Pekka Järvinen, IVO

Ydinlaitoksilta kohtalokas perintö?



Iso-Britanniassa pitkään jatkuneen ydinlaitosten ympäristön leukemiakeskustelun viimeisin näytös tapahtui keväällä, kun uusi tutkimus paljasti Sellafiel-din polttoaineenkäsittelylaitoksen ympäristössä havaittujen lasten leukemioiden liittyvän lasten isien ennen raskauden alkamista saamaan säteilyaltistukseen. Jos kyseessä on todellinen syy-seuraussuhde, on säteilybiologiasta saatu uutta, aikaisemman käsityksen kumoavaa tietoa. Kysymysmerkkejä tarvitaan kuitenkin vielä.

Brittiläinen tv-yhtiö Yorkshire Television esitti vuonna 1983 ohjelman ”Wind-scale: the Nuclear Laundry” sittemmin Sellafieldiksi nimensä muuttaneen ydinpolttoaineen käsittelylaitoksen ympäristössä todetusta lasten leukemioiden normaalista suuremmasta esiintymisestä.

Sellafieldin laitoksella on ollut surullinen historia. Alueella olleella plutoniumin tuotantolaitoksella oli vuonna 1957 suuri tulipalo, jossa ympäristöön vapautui suuri määrä radioaktiivisia aineita. Täysi selvyys tapahtuneen onnettomuuden laajuudesta julkistettiin vasta 1980-luvulla. Laitoksella on toimintansa aikana ollut myös useita pienempiä käyttöhäiriöitä, joissa Irlannin mereen on päässyt radioaktiivisia aineita. Myös laitoksen normaalityönsä sovellettu ALARA-periaatteen tulkinta on aiempina vuosina poikennut pohjoismaisesta käytännöstä.

1980-luvun alkuvuosina päästöjä on pienennetty huomattavasti.

Syöpätutkimukset Britannian ydinlaitosten ympäristössä

Lasten syöpiä käsitellyttä televisio-ohjelmaa seuranneen suuren julkisen kohun vuoksi maan hallitus asetti komitean tutkimaan asiaa. Puheenjohtajansa mukaan nimetyn ns. Blackin komitean vuonna 1984 ilmestyneessä raportissa todettiin, että ylimääräisiä lasten leukemioita todella esiintyi alueella. Syöpiä ei kuitenkaan voitu selittää Windscale/Sellafield-laitoksen päästöillä, vaikka sekä tapahtuneiden päästöjen määrittämisen epävarmuus että pienten säteilyannosten vaikutusten epävarmuus otettiin huomioon. Komitea suositteli jatkotutkimuksia syöpäisten selvittelemiseksi.

Myöhemmin on tehty selvityksiä myös muiden Iso-Britannian ydinlaitosten ympäristön lasten syöpätapausten. Joillain paikoilla on todettu yliesiintymistä. Vastaavia ryvähäisiä tunnetaan myös muualta kuin ydinlaitoksen ympäristöstä. Selityksenä on esitetty mm. virusinfektioita ja radonia. Myös asukkaiden ravintotottumuksia ja elintapoja on tutkittu, mutta selkeää syytä syöpäisten esiintymiselle ei ole onnistuttu löytämään.

Gardnerin tulokset /1,2/

Eräs Blackin komitean suositamista jatkotutkimuksista on saatu päätökseen. Jo Blackin komitean työssä mukana olleen Martin Gardnerin tarkoituksena oli selvittää, oliko syöpälasten elinoloissa tai heidän vanhempiansa raskautta edeltäneissä ja raskaudenaikaisissa oloissa jostain tunnettuja leukemiariskiä kohottavia tekijöitä.

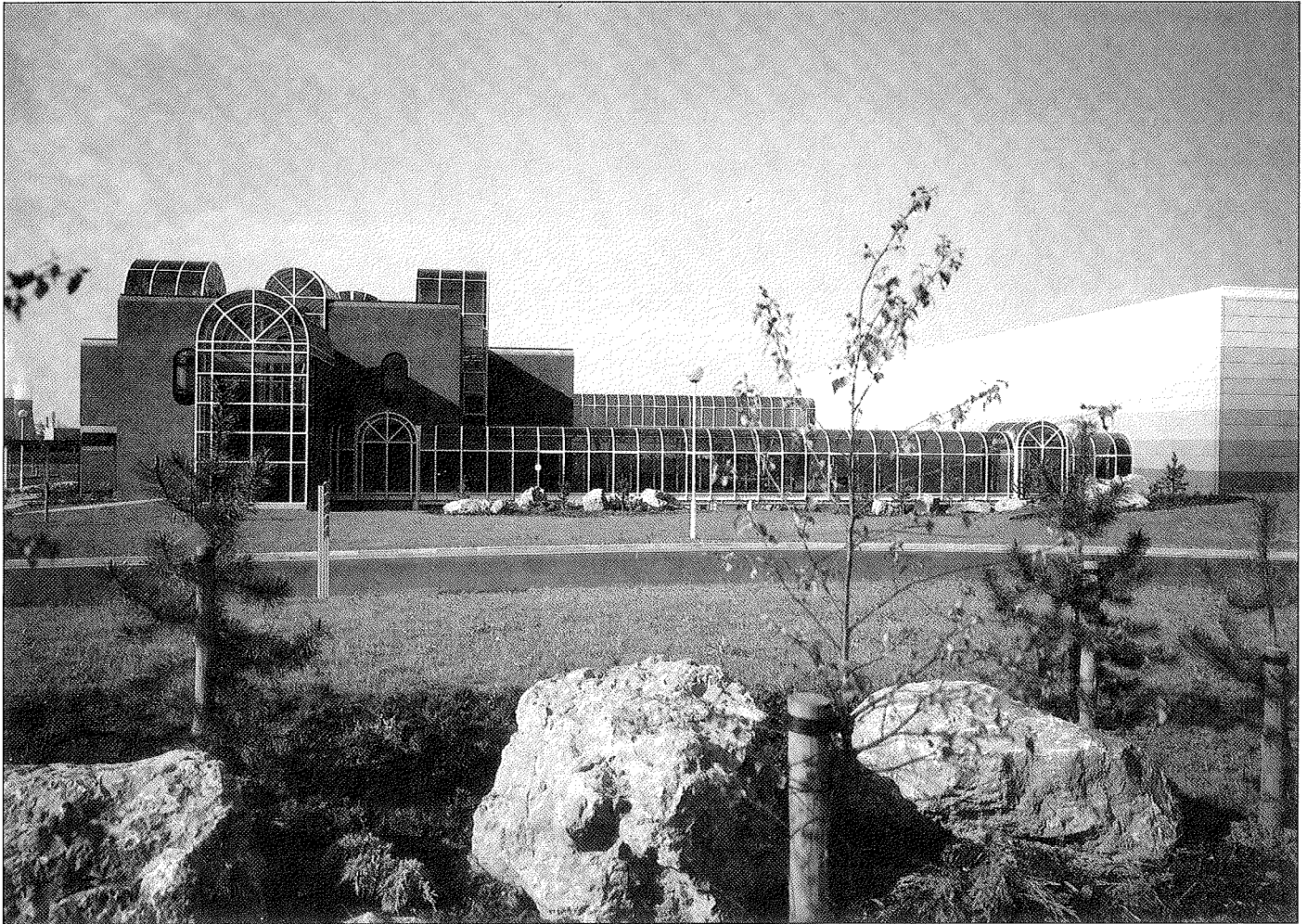
Tutkimuksessa Gardner selvitti lasten äitien raskaudenaikaisia sairauksia, lääkinnällisen säteilyn käyttöä, perheiden elintapoja ja ravintotottumuksia sekä Windscalen laitoksella työskennelleiden isien säteilyannoksia.

Gardnerin tutkimus tehtiin tapaus-verrokkivertailuna. Tutkimuksessa identifioitiin Länsi-Cumbrian alueella v. 1950–85 aikana alle 25 v ikäisinä leukemiaan tai lymfoomaan sairastuneet alueella syntyneet henkilöt eli tapaukset. Näille haettiin verrokkeja sekä alueellisesta että paikallisesta väestöstä. Jokaiselle syöpätapaustalle valittiin kahdeksan verrokkeja. Tapauksia oli yhteensä 107 ja verrokkeja 1001.

Menetelmänä oli erilaisten pareittaisten vertailujen tekeminen suhteellisen riskin selvittämiseksi. Elintapojen erojen vaikutusta selvitettiin myös. Verrokeista tutkittiin samat seikat kuin tapauksistakin ja tilastollisin menetelmin selvitettiin syövän korrelaatioita eri variaabeleiden kanssa.

Yllättävä löydös

Vertailussa nousi esiin mahdollisena syöpiä selittävänä tekijänä isän raskauden alkamista edeltänyt säteilyannos. Syövän ilmaantumisen riski kasvoi säteilyannoksen kasvaessa. Suurimmat isien säteilyannokset olivat 100–180 mSv. Ne oli saatu 6–7 v aikana. Vastaava lasten leukemiariski oli 6–8-kertainen verrattuna verrokkeihin. Raskauden alkua edeltäneiden 6 kk aikana saaduilla säteilyannoksilla saatiin myös vastaava korrelaatio. Tuona aikana saatuja yli 10 mSv annosta vastaava riskisuhde oli 7–8.



Sellafield on brittein saarten ydinenergian kehityksen keskus. Siellä ovat Länsi-Euroopan ensimmäiset ja yhä käytössä olevat rauhanomaiset tehoreaktorit. Toisaalta siellä on BNFL:n jälleenkäsittelylaitos, joka on maailman suurimpia.

Pohdintaa

Jos Gardnerin löydös säteilyperäisen leukemian siirtymisestä sukusolujen kautta on todellinen, on saatu uutta tietoa säteilybiologiasta. Koe-eläimillä on todettu yhteys vanhempien säteilyaltistuksen ja jälkeläisten kasvainten määrän välillä, mutta Gardnerin tulos on ensimmäinen ja päinvastainen kuin aiemmista ihmisten tutkimuksista saatu.

Aiemmat kokemukset esim. Hiroshiman pommituksen uhrien jälkeläisistä eivät tue nyt tehtyä havaintoa. Hiroshimassa oli kyseessä kerta-annos ja nyt pitkän ajan sisällä saatu annos. Yleensä on havaittu pitkän ajan kuluessa saadun säteilyannoksen aiheuttavan lievempiä vaikutuksia kuin äkillisesti saadun vastaavan säteilyannoksen. Lisäksi voidaan olettaa Hiroshiman uhrien ja Windscale/Sellafieldin työntekijöiden asenteissa lasten hakkimiseen olleen eroja. Gardnerin löydöksethän osoittavat vahvaston korrelaation välittömästi raskautta edeltäneen ajanjakson ja leukemiariskin välillä. Artikkeleista ei selviä, miten isien kokonaisaltistus ja raskauden alkamista välittömästi edeltäneen ajan altistus korreloivat, joten on mahdotonta päätellä, kummalla on suurempi merkitys.

Joulukuussa 1989 julkaistussa Yhdysvaltain tiedeakatemian säteilykomitean ns.

BEIR V -raportissa todetaan tutkimustulosten osoittavan, että ihmisillä säteilyvaurioiden periytyvyys on pienempää kuin mitä eläinkokeiden perusteella on aiemmin päätelty.

Sellafieldin työntekijöiden keskuudessa ei ole voitu todeta leukemiariskin kasvua altistuksen funktiona.

Tutkimuksessa ei ole pystytty selvittämään työntekijöiden sisäisestä altistuksesta saamia säteilyannoksia. Toinen tekijöiden esiin tuoma mahdollinen heikkous on vajavuudet erilaisten sekoittavien tekijöiden analysoinnissa. Esimerkiksi odottavien äitien tupakoinnin on joissain tutkimuksissa havaittu korreloivan lasten leukemialmaantuvuuden kanssa. Gardnerin tutkimuksessa ei ole esitetty tietoa vanhempien tupakoinnista. Yleisestikin epidemiologisten tutkimusten ongelmana on mahdollisten sekoittavien tekijöiden tunnistaminen ja selvittäminen.

Parempaa tietoa asiasta on odotettavissa, kunhan vielä kesken olevat selvitykset sisäisestä altistuksesta valmistuvat. Suunnitteilla on myös kohorttitutkimus ydinlaitosten työntekijöiden lasten syöpäilmaantuvuudesta.

Säteilyn osuus kuitenkin kyseenalainen

Joidenkin tutkimusten mukaan on jopa havaittu syöpien yliesiintymistä myös sellaisilla paikkakunnilla, jotka ovat olleet ehdolla ydinlaitosten sijoituspaikoiksi, mutta joille ei laitosta kuitenkaan ole rakennettu. Näissä tapauksissa ei säteily voine olla syytä. Gardnerin tutkimus sai riskitekijäksi isien ennen raskauden alkamista saaman säteilyn, paikkavertailu antaa aihetta epäillä, että säteily on riskitekijä jo ennen säteilyaltistuksen tapahtumista! □

Lähteet

- 1 Gardner M J & al.; Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria, *British Medical Journal* 300:423-429
- 2 Gardner M J & al.; Methods and basic data of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria, *British Medical Journal* 300:429-434

DI Pekka Järvinen on projektipäällikkö Imatran Voima Oy:n tutkimus- ja kehitysryhmän ympäristönsuojeluosastolla, p. 90-5084 555.

ATS luovutti ympäristökannanottonsa pääministeri Holkerille

ATS luovutti 18.10.1990 pääministeri Harri Holkerille kasvihuoneilmiötä ja ydinvoimaa koskevan ympäristökannanotton. Samassa yhteydessä Holkerille ojennettiin talvisateenvarjo kasvihuoneilmiön seurauksena syntyvien talvisten vesisateiden varalle. Seuraavassa julkaisemme kannanotton kokonaisuudessaan.

Herra Pääministeri,

Suomen Atomiteknillinen Seura r.y. on huolestunut Suomen energia- ja ympäristöpolitiikan ilmeisestä ristiriitaisuudesta ja esittää, että ydinenergian osuutta lisättäisiin perusvoiman tuotannossa. Ympäristön ohella ydinvoima turvaa edullisen ja vakaahintaisen sähkön saatavuuden pitkällä aikavälillä.

Energia- ja ympäristöpolitiikan yhteensovittaminen on eräs keskeisiä ongelmia, joihin on löydettävä kestävä ratkaisu. Energian tuotannon ja käytön vaikeimmat ympäristöongelmat liittyvät savukaasupäästöihin.

Ydinenergia otettiin Suomessa laajaan käyttöön vuosina 1977...81, jotta öljyriippuvuus vähenisi ja voitaisiin tuottaa edullista sähköä, jossa tuontipolttoaineen hintavaikutus on vähäinen ja jonka tuotanto ei kuormita ympäristöä. Suomalaisella ammattitaidolla toteutettu ydinvoima on osoittautunut edulliseksi. Sen käyttöönotolla Suomen vuotuisia rikkidioksidipäästöjä vähennettäisiin yli 100 000 tonnilla. Päästövähennyksen määrä on merkittävä verrattuna esimerkiksi Suomen nykyisiin rikkidioksidin kokonaispäästöihin, jotka ovat 242 000 tonnia.

Ympäristön kannalta olisi edullisinta katkaa tulevaisuudessa kaikki erillinen sähkön tuotanto ydinenergialla ja vesivoimalla. Jos ydinenergiaa ei tuotettaisi tulevaisuudessa ollenkaan, olisivat Suomen rikkidioksidipäästöt 40 prosenttia, typenoksidipäästöt 20 prosenttia ja hiilidioksidipäästöt yli 100 prosenttia suuremmat kuin edullisimmassa ydinvoimavaihtoehdossa.

Suomen teknillistieteelliset akatemit julkaisivat kuluvan vuoden tammikuussa raportin: "Kasvihuoneilmiö ja Suomi",

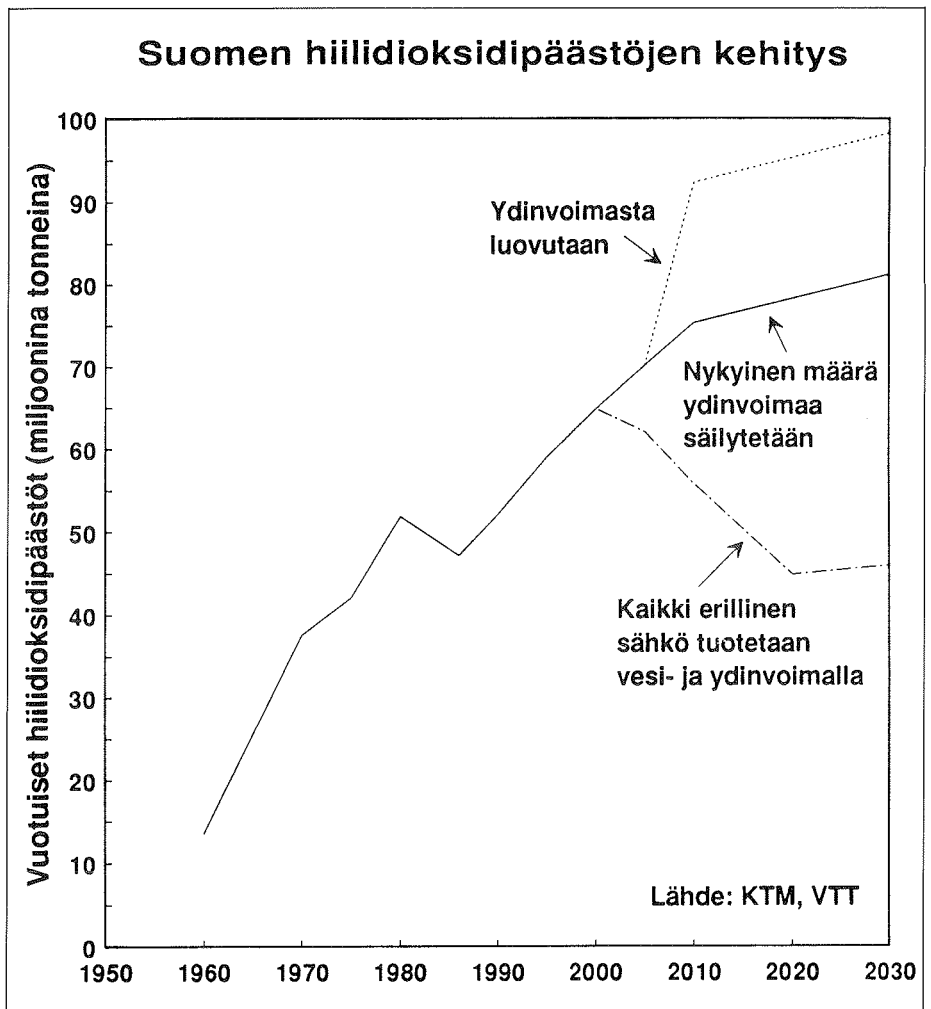
jossa todetaan, että fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt muodostavat ilmastonmuutoksen kannalta suurimman maailmanlaajuisen riskin. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvat rikki- ja typenoksidipäästöt aiheuttavat laajoilla alueilla Euroopassa maaperän ja vesistöjen happamoitumista, jonka seurauksena metsiä on vaurioitunut ja kalakantoja hävinnyt.

Suomessa ei toistaiseksi ole esiintynyt yhtä vakavia luontovaurioita kuin Keski- ja Itä-Euroopassa tai Kuolan alueella, mutta omien päästöjemme ohella kaukokulkeutumalla maahamme saapuva hapan laskeuma muodostaa metsillemme jatkuvan uhan. Ongelman vakavuutta korostaa se,

että metsät ovat arvokkainta kansallisuusomaisuuttamme ja suomalaisten hyvinvointi on riippuvainen metsäteollisuudesta.

Vaikka ilmastonmuutos onkin maailmanlaajuinen ongelma ja happamoituminen koskee koko Eurooppaa, on Suomenkin tehtävä osuutensa päästöjen vähentämiseksi. Tähän on olemassa periaatteessa kolme keinoa:

- energian säästö ja siten fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen
- nykyistä parempien puhdistustekniikoiden kehittäminen ja käyttöönotto
- energiajärjestelmän rakenteellinen muuttaminen.



Kaikki kuvassa esitetyt kehitysarviot pohjautuvat KTM:n ns. perusskenaarion energiankulutusennusteeseen. Keskimmaisessä vaihtoehdossa perusvoiman lisäys oletetaan tuotetuksi kivihiihellä ja ydinvoimasta kokonaan luovuttaessa koko korvaava sähköntuotanto oletetaan tapahtuvaksi kivihiihellä ja vesivoimalla. Puun ja selluteollisuuden jätelipeän poltosta aiheutuvat päästöt eivät ole mukana, sillä puun kasvun ja korjuun on oletettu pysyvän tasapainossa.



Energian säästössä Suomessa on jo saavutettu merkittäviä tuloksia ja uusien rikkidioksi- ja typenoksidipäästöjen vähentämispäätösten myötä puhdistustekniikkaa otetaan käyttöön nopeassa tahdissa. Näiden keinojen mahdollisuudet ovat kuitenkin rajalliset, kuten typenoksiditoimikunta joutui raportissaan toteamaan.

Jäljelle jää energiajärjestelmän rakenteellinen muuttaminen. Rakenteellisista keinoista merkittävimmät ovat polttoainien korvaaminen päästöttömillä energialähteillä ja siirtyminen puhtaampiin polttoaineisiin kuten maakaasuun. Päästöttömiä energialähteitä on useita: ydinenergia, vesivoima, tuulivoima ja aurinkoenergia. Käytännössä lähivuosikymmeninä näistä

vain ydinenergian käyttöä voidaan lisätä Suomessa merkittävästi. Rakenteellisista keinoista tehokkain onkin sähkön perustehon tuottaminen ydinenergialla.

Nyt olemme tilanteessa, jossa ydinenergian osuus laskee ennen 1990-luvun loppua 20 prosenttiin maamme sähköntuotannosta. Riippuvuus tuontipolttoaineiden hinnasta lisääntyy ja päästöjen vähentämisen mahdollisuudet heikkenevät.

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA r.y.

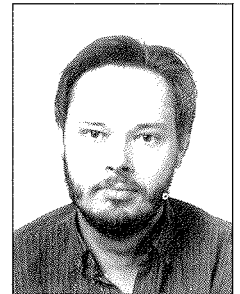
Ilkka Mikkola
puheenjohtaja

Rainer Salomaa
varapuheenjohtaja

Jorma K. Miettinen
ympäristötyöryhmän puheenjohtaja

Jorma Aurela, IVO

Loviisan pitkä kesä 1990



Loviisan laitoksen tämän kesän tapahtumat on käsitelty oheisessa kirjoituksessa. Se on kirjoitettu pakinan muotoon, mutta faktat ovat kyllä faktoja. Juttu ei kata kaikkea laitoksella sattunutta, vaan mukaan on otettu asiaa valikoitua.

Loviisan toisen laitoksen valvomossa on hiljaista. Hallinnollisista ylösajortuineista viimeinen, tarkastus laimennuslupaa varten, on menossa. Tarkastuksen jälkeen voimalaitosjohtaja kirjoittaa nimensä laitoksen päiväkirjaan merkiksi siitä, että primääripiirin laimennus voi alkaa kriittisyyden saavuttamiseksi. Laitos on lähdeissä käyntiin vuosihuoltoseisokin jälkeen.

Olen mukana näissä tarkastuksissa, jotka

kestävät inhimillisesti ottaen kauan, joskus jopa vuorokausia. Ja vuorokauden aikana on useimmiten sydänyö. Niin nytkin. Viimeiset tarkastukset, joita tekee lähinnä käyttökonekunta, valmistuvat joidenkin tuntien päästä. Ja toisaalta taas kunnossapito tekee viimeisiä auki olevia töitä. Itse selvittelen tehtyjä toimenpiteitä säteilyturvakeskuksen edustajille, joiden lupa on myöskin edellytys laitoksen käynnistykseen. Mutta tarkastukset ja työt valmistuvat vain ajan kanssa!

Niinpä minulla on aikaa ajatella. Revisio on nyt päättymässä, mutta milloin se oikeastaan alkoi? Loviisan vuosihuolto siirrettiin tänä vuonna alkamaan vasta elokuun alussa mm. siksi, että revisioon osallistuvat voisivat edes joskus viettää kesälomansa kesällä. Silti minusta tuntuu, ettei koko tämä touhu alkanut elokuun alussa, vaan toukokuun lopussa.

28. toukokuuta, tavallisena maanantai-aamuna klo 10.28 repesi Loviisa ykkösen

syöttövesijärjestelmässä virtausmittauslaippa. Laitos ajettiin välittömästi pikasulkuun, ja tilanne oli ohi alle puolessa tunnissa. Turbiinisalin lattialla oli 50 kuutiota vettä, joka ei ollut radioaktiivista. Seuraavien päivien aikana tehtiin molemmilla pysäytetyillä laitoksilla korjaustarkastus- ja parannustöitä, joita sitten luonteavasti jatkettiin vuosihuoltoseisokeissa lyhyiden käyttöjaksojen jälkeen.

Putkirikosta kirjoitettiin yli 800 artikkelia, mikä on aivan varmasti liian paljon, jos otetaan huomioon tapahtuman turvallisuusmerkitys. Energiapolitiikan ja tiedotusvälineiden logiikka kuitenkin paisutti putkirikosta mediatapahtuman. Näin on myös käynyt Loviisan polttoaineketjun loppuosalle sen jälkeen, kun Venäjän federaation parlamentti antoi ehdotuksensa ulkomaisen ydinjätteen jättämisestä federaation ulkopuolelle. Kuljetukset Tselyabinskiin jatkuvat, ja seuraava juna lähtee Loviisasta lokakuussa. Lisäksi myös suomalaiset pääsevät tutustumaan paikkaan

lokakuussa 1990 — mutta siitä lisää ATS Ydintekniikan tämän vuoden viimeisessä numerossa...

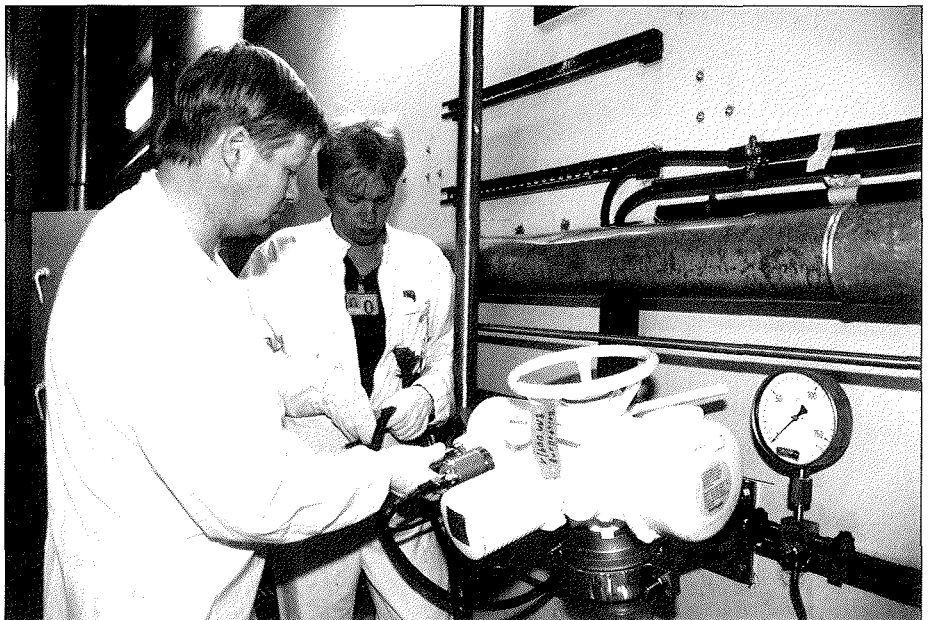
Keskustelemme ”stukkilaisten” kanssa kesän tapahtumista. Olemme kahvilla hiljaisen laitoksen suuressa neuvotteluhuoneessa, jossa kolme ihmistä on vähän. Odotamme, että tarkastukset jälleen etnisivät. Keskustelemme, ja hörpimme kahvia, jota ilman ei voimalaitoksen käytöstä kai tulisi mitään? Putkirikko on ainakin tarjonnut aiheen moniin kahvipöytäkeskusteluihin, niin tähänkin, ja toisena luonnollisena keskusteluaiheena ovat kesän revisioiden laajat korjaus- ja muutostyöt.

Molemmilla laitoksilla korjattiin höyrystimien syöttöveden jakoputkia. Ykkösyksiköllä kahden höyrystimen korjaus kesti odotettua pitempään, ja revisio piteni suunnitellusta. Kakkosella IVO:n yhdessä saksalaisen Siemens-KWU:n kanssa tehty työ meni helpommin, ja myös muuten vuosihuolto pysyi suunnitellun raameissa.

Primaaripiirin muita töitä olivat esimerkiksi molemmilla laitoksilla jatkuneet toimilaitteiden ja läpivientien saattaminen onnettomuusluokitelluiksi (LOCA & MSLB) ja vakaviin onnettomuuksiin varautumisen järjestelyt, jotka jatkuvat vielä vuoden 1991 loppuun asti. Tällöin Loviisan VVER 440-reaktorit mallia 213 ovat trimmatut hyvin pitkälle verrattuna sisäriinsä muualla. Säteilyannokset revisiossa jäivät pienemmiksi (kollektiivinen annos LO 1 976 mSv ja LO 2 1715 mSv) lähinnän kakkosyksikön pitkän vuosihuollon vuoksi.

Kakkosyksikön neljännen koneen lauduttimien uusinta oli myös vaativa työ. Nyt kaikkien Loviisan turbiinien lauduttimet ovat joko titaanista tai ruostumattomasta teräksestä.

Palaan valvomoon, jossa asiat ovat edenneet. Esimerkiksi tänä vuonna käyttöön-



Loviisan voimalaitokselle asennettiin vuosihuollossa useita kymmeniä uusia toimilaitteita, jotka on luokiteltu kestämään jäähdytteenmenetysonnettomuuden (LOCA) ja pähöyryputken katkeamisen aiheuttamat olosuhteet.

otetun varahätäsyöttövesijärjestelmän käyttöehdot on käyty läpi. Tämän jonkun ”pappilan hätävaraksi” ristimän järjestelmän myötä Loviisan reaktoreiden jälkilämmönpoiston luotettavuus parani sellaisissa tapauksissa, jolloin turbiinisalia kohtaisi paha tulipalo, ja tällöin menetettäisiin mm. hätäsyöttövesijärjestelmä. Järjestelmä koostuu kahdesta pumpusta, joilla on oma dieselgeneraattorinsa, ja niihin liittyvistä putkistoista siten, että neljälle höyrystimelle saadaan syöttövedtä tämän uuden järjestelmän muista erillisistä säiliöistä.

Operaattorit tekevät työtään eleettömästi. Eräässä vaiheessa tätä yötä heille tuotti päänvaivaa eräs takaiskuventtiili hätälisävesijärjestelmässä. Se vuoti selvästi, minä vuoropäällikkö ja reaktorimestari

saattoi havaita uuden prosessitietokoneen värinäytöltä. Mikä neuvoksi? Erilaisten mekaanisten maanittelujen jälkeen venttiiliä ”huuhdellaan väärinpäin”, ja tämän jälkeen se kolahtaa asiallisesti kiinni. Tämä käy ilmi, kun seurataan jälleen hitaasti PTK:n näytölle tulostuvaa punaista juovaa. Se pysyy suorana ajan kuluessa. Ei enää vuotoa, venttiili pitää! Ydinvoimalaitoksen kallein voimavara, neuvokas käyttäjä, on jälleen näyttänyt kyntensä.

Vähä vähältä homma valmistuu. Viimeiset työmääräimet, jotka ovat käynnistys-esteitä, saapuvat valvomoon kuitattaviksi. Simuloinnit, komponenttien perustilat, turvallisuustekniset käyttöehdot, tehdyt koestukset ja monet muut tehtävät on hoidettu, ja esteitä ei enää ole. Laitos voidaan käynnistää. Ja vanhemmilta operaattoreilta kuulen, että jos laitos pysyy verkossa viikon käynnistyksen jälkeen, voidaan odottaa sen myös verkossa pysyvän. Parhaimmasta, mutta yleensä vain teoriaksi jäävässä tapauksessa jopa seuraavaan vuosihuoltoon asti. Sähköä tuotetaan tällöin Loviisan laitoksen kahdella yksiköllä hyvänä vuonna yli seitsemän terawattituntia ilman merkittäviä päästöjä ympäristölle. Näissä mielteissä voin sitten käydä nukkumaan vuorokaudenaikana, jolloin muut yleensä heräävät.... □



Pinnoituksen jälkeistä koneistusta Loviisa 2:n nelosturbiininin korkeapainepesässä kesällä 1990.

DI Jorma Aurela on Loviisan voimalaitoksella turvallisuusinsinööri, p. 915-550 576.



ENS:n heinäkuun kokousten antia

Helsingin heinäkuu oli viileä, mutta kaunis. Sää suosi ENS:in meille vieraisille koostuneita kokousedustajia. Heinäkuun neljäs ja viides päivä pidettiin Board'in ja Steering Committeeen kokoukset sekä yleiskokous. Päätöksiä tehtiin keskustellen, mutta yksimielisesti.

Hallinnollisten asioiden puolella tilit hyväksyttiin ja myönnettiin vastuuvapaudet. Tuloslaskelma osoitti n. SFR 510.000 loppusummaa, vastaten Suomen kyhnysä n. FIM 1.500.000. Tulos saatiin tasapainoon jo kolmantena vuonna peräkkäin ENC '86:n näyttelyn tuotoilla. Jäsenmaksut eivät riitä. Lisää paineita on tulossa uusista itäisistä ydinteknillisistä seuroista. Nuclear Europe Worldscan'in jakelu kaikkien kansallisten seurojen jäsenille on melkoinen kustannuserä. Lisäksi toiminta on laajentunut vuosien varrella. Näin huokaili raportissaan rahastonhoitaja Jean Couture. Eipä poika kuitenkaan esittänyt toiminnan leikkaamista, vaan mielikuvitusta tulolähteiden kehittämiseen. Eräs lähde on tietenkin ENC '90. Jäsenmaksua joudutaan rukkaamaan: onhan se ollut sama SFR 6,— jäseneltä aina vuodesta 1975 saakka. Inflaatiotarkistuksiakaan ei ole tehty. Päätettiin nostaa jäsenmaksua SFR 9:ään jäseneltä vuonna 1991 ja 9,50:een vuonna 1992 niin, että katto perimiselle on 1500 jäsentä per seura. Näin saadaan kitisten nykyinen inflaatio katetuksi. Tuleville vuosille mietitään sitten uudet maksut ja ansaintakeinot.

Neuvostoliiton tultua viime vuonna jäseneksi on uusia seuroja idästä kolkuttelemassa ovella: DDR, Unkari, Puola, ehkä Bulgariakin.

Nuclear Europe Worldscan on jatkanut menestyksellistä toimintaansa ydinenergia-alan laatulehtenä. Taloudellisten vaikeuksien aallonpohja on ilmeisesti ohitettu ja Tshernobylin jälkeisen mainoslaman jälkeen alan teollisuus on alkanut näyttää taas ilmoittelussakin virkoamisen merkkejä. Sulkasadon aikanaan vuotuisten numeroiden määrä pudotettiin kuuteen kaksoisnumeroon. Eipä silti, se taitaa olla sopiva ilmestymistahti jatkossakin.

ENC '90:n järjestelyt sujuvat hyvin, huolimatta konferenssin ja näyttelyn siirrosta viime vaiheessa Genevestä Lyoniin. Tämä on kuitenkin aiheuttanut sihteeristöissä moninkertaisen työpaineen. Konferenssin puolelle odotetaan n. 3000 maksavaa osallistujaa. Näyttelytila on varsin hyvin myyty — sitä on yhteensä 7000 m². Joistakin peruutuksista ja mm. Suomen osallistumattomuudesta huolimatta odotetaan taasen jonkinsuuruista ENS:n taloutta paikkaavaa ylijäämää.

PIME, eli informaatiomateriaalia esittelevä asiantuntija-workshop järjestetään kolmannen kerran, tällä kertaa Annecy'ssä Ranskassa 27—30.1.1991. Ohjelma on muotoutumassa. Jälleen kerran näyttää varsin hyvältä: videoita, painotuotteita ja muuta demomateriaalia, case-study'ja jne. Suomestakin on hyvät ehdotukset liikkeellä. Tilaisuuteen odotetaan n. 150 osanottajaa. Edeltävänä sunnuntai-iltapäivänä järjestetään projektin Women and Nuclear Energy kokous, joka sitten raportoi PIME'ssä. ATS:n siipien suojiin hiljattain perustetun naisjaoston, Energiakanavan, edustajat ovat paikalla ja esittävät myös Case-study'n PIME'ssä.

Programme Committee'n konferenssit käytiin taas läpi. Lisätietoja saa sen suomalaiselta jäseneltä, professori Lasse Mattilalta VTT:n YDI:stä.

NucNet'in, eurooppalaisen ydinalan informaatioverkon feasybility study etenee. Tarkoituksena on saada verkko pyörimään 1.1.1991 alkaen. Järjestelmään kuuluisivat Bernissä ENS:n sihteeristön yhteydessä oleva keskustuomisto sekä jäsenmaiden kansalliset organisaatiot. Alussa toimittaisiin tehokkailla telefaxeilla ja puhelimilla, myöhemmin luotaisiin tietokonepohjainen verkko. NucNet raportoi julkisessa keskustelussa tarvittavaa informaatiomateriaalia: häiriö- ja onnettomuusselvittelyn ohella ydinalan positiivisia tapahtumia, selvityksiä, taustatietoja ja tosiasioita alan julkisen keskustelun kiistakysymyksiin jne. Yleisesti ottaen kaikkien jäsenmaiden organisaatioiden johtotaso ja viestintäpuoli näkevät NucNet'in tärkeäksi. Sen sijaan teknillisellä puolella näyttää esiintyvän epärointiä, samoin byrokratian piirissä. Kysytään, eikö WANO riitä. WANOn vastaus on, ettei se hoida informaatioasioita eikä voi tätä tehtäväkenttää ottaa itse hoitaakseen, mutta tekee mielellään yhteistyötä NucNet'in kanssa. Seuraavan kerran järjestelmän perustamiseen liittyviä kysymyksiä käsitellään 25. syyskuuta Lyonissa ENC

'90:n yhteydessä. Feasibility Study'iin osallistuvat Suomessa IVO, TVO ja PEVO. Yhteyshenkilö on SVY:n toimitusjohtaja Antti Hanelius. Suomen kanta tässä vaiheessa on se, että osallistumme NucNet'iin koeajalla ja katsomme sitten, osoittautuuko järjestelmä elinkelpoiseksi ja odotuksia vastaavaksi.

Steering Committee keskusteli vilkkaasti ENS'issä valmistellusta lausunnosta **Ydinenergian mahdollisuudet hiilidioksidipäästöjen pienentämisessä**. Lausunto hyväksyttiin, puheenjohtaja Jean van Dievoet esitti sen kokousten lehdistötilaisuudessa ja painettuna se on ilmestynyt Nucleuksessa englannin- ja suomenkielisenä kannanottopaperina. Lyhyesti viesti on se, että ydinenergialla on teollistuneessa maailmassa tärkeä rooli hiilidioksidipäästöjen pienentämisessä. Jos Euroopan sähkötuotannossa kaksinkertaistettaisiin ydinvoiman osuus seuraavien 20 vuoden aikana, vähenisivät hiilidioksidipäästöt lähes puoleen nykyisestä tasostaan. Lausunto on lyhennettömänä toisaalla tässä lehdessä.

Tämän artikkelin laatija esitti raportin ENS'in **Informaatiokomitean** hankkeista. Eräiden edellämainittujen kohteiden lisäksi kerrottiin **Nucleuksen** eteenpäinmenosta. Sen käyttö laajenee. Käännöksiä eri kielille tehdään. Suomessakin sitä jaetaan suomen- ja englanninkielisinä versioina kuusi kertaa vuodessa n. 1000 osoitteeseen: poliittisille ja yritystason päätöksentekijöille, tiedotusvälineille jne.

Programme Women and Nuclear Energy on vauhdissa. Seuraava asiaa käsittelevä Workshop on Annecyssä PIMEn yhteydessä. Siellä esitetään analyysit jäsenmaiden tilanteesta ja sovitaan jatkotoimista. Suomessa ydinnaiset ovat perustaneet ATS:n piiriin jaoston Energiakanavan nimellä. Saattaapa olla, että kiinnostuneet miehetkin hyväksyttäisiin kanavaan. Puheenjohtaja on DI Lena Hansson VTT:n Metallista ja sihteeri Sirpa Vertanen Perusvoimasta. ENS:n projektin tarkoituksena on osoittaa ydinenergianaisten toimien yleisölle, että alalla työskentelee tavallisia ihmisiä — miehiä ja naisia — tosin pitkälle koulutettuja ja vastuuntuntoisia. Lisäksi tarkoituksena on keskustella ydinasioista ”isoäidin kielellä” tavanomaisen teknisen mongerruksemme sijasta.

Uusina hankkeina Informaatiokomiteassa harkitaan kahta aihetta. **Nuoret ja ydinenergia:** jäsenmaissa suoritetaan vertailu siitä, mitä on tehty ja mitä pitäisi tehdä.

Toinen aihe on **ydinvoimaa koskevien mielipidetiedustelujen harmonisointi Euroopassa.**

Informaatiokomitean seuraava kokous on 5.11.1990 Helsingissä.

Ylioppilasvaihto jatkuu suhteellisen matalalla liekillä, mutta kuitenkin. Suomesta yksi opiskelija sijoittuu Englantiin, yksi SLT:aan. Englannista yksi opiskelija on Suomessa.

Puheenjohtaja van Dievoet totesi Steering Committee'n kokouksen päätteeksi, että ENS'illä on muun muassa seuraavat merkittävät tehtävät edessään lähivuosina: ensinnäkin, miten saadaan Itä-Euroopan uudet jäsenmaat asianmukaisella tavalla sovitetuiksi ENS'in toimintaan. Toiseksi, miten lyhyellä aikavälillä selvitetään ydinenergia hengissä yli nykyisten vaikeuksien ja miten sen jälkeen saadaan keskipitkällä aikavälillä aikaan sen renessanssi. Lisäksi olisi huolehdittava pitkän aikavälin

vallankumouksellisesta teknisestä evoluutiosta — revolution/evolution. □

Varatuomari Juhani Santaholma on Perusvoima Oy:n varatoimitusjohtaja ja ENS:n Informaatiokomitean puheenjohtaja, p. 90-6090 6015.

Arto Hamberg, ABB Atom

USCEA INFO 90
April 22-25, 1990
Dallas, Texas

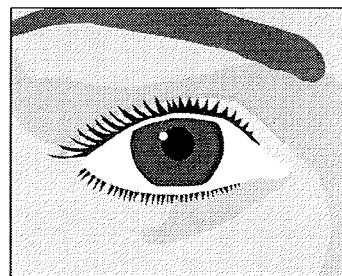
The Swedish nuclear policy is no global megatrend

Sweden has frequently been cited in international anti-nuclear circles as the proof that a modern industrialized society can decommission nuclear power without sacrificing economy, ecology or employment. This message has had its Swedish supporters too. One of them is the Minister of Environment who, until early this year while she still was responsible for both the environment and the energy policy, described the decommissioning almost as a recommendable way to stimulate the economy. I shall not only prove that this is a false description. I shall present a set of arguments intended to make credible that the Swedish government eventually will be forced to change its nuclear position altogether.

I shall do so by looking at the Swedish energy situation from different angles, i.e. the political, what has been decided until today? I shall look at the role of nuclear power in the electricity system and at the performance of the nuclear power in this system. Further I shall look at the present and estimated future need of electricity, at the electricity dependence of the industry and what this industry means for the Swedish economy and employment. I shall include some environmental aspects and finally I shall give some examples from public polls which indicate that the Swedish public is about to recognize all these facts.

Swedes begin to

Safe
Economic
Ecological



Nuclear from a new perspective

The official nuclear policy is to phase out of nuclear power starting about 1995 and the last nuclear power plant shall be disconnected from the grid by the end of the year 2010.

Pro nuclear: Electricity is a vital necessity

The consumption of electricity and the gross national product are strongly linked in Sweden as in other countries. Swedes are among the highest per capita consumers of electricity in the world. Swedes are the highest per capita consumers of nuclear electricity.

There are several reasons behind this but I shall restrict myself to one example, the structure of the industry. Industry consumes close to 40 percent of the electricity produced. Mining, iron & steel, heavy chemicals and the pulp & paper industries consume about 75 percent of the industrial consumption.

These industrial branches have electricity as a major production factor. They are very important for the Swedish economy. The net export income from the pulp & paper industry triples that of the car in-

dustry. Iron & steel, mining and the heavy chemicals industry together bring in almost as much as pulp & paper.

These industries are not only important money-makers, they are important employers. According to a study made by the Swedish National Energy Administration, a government organization, up to one fifth of the employment opportunities in the industry can be expected to be lost by 2010 with the present policy. These two factors have raised the concern of the labor unions who have become increasingly active in the political debate over energy and nuclear power.

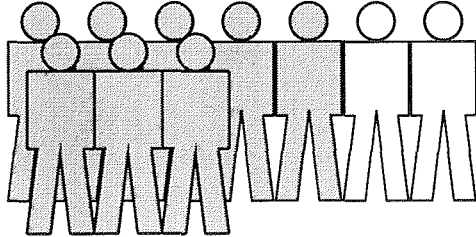
Pro nuclear: There are no alternatives

According to the government a substantial part of the nuclear electricity production is to be compensated for by conservation. This becomes less credible with time. In spite of sincere efforts to conserve electricity the demand is expected to increase at a minimum rate of 1 % per year in the 1990s. The present 138 TWh will be at least 150 TWh at the turn of the century. This according to the government owned utility Vattenfall's forecast.

Swedish National Energy Administration:

One fifth

of the employees of the industry will lose their jobs by year 2010 due to the nuclear phase out



Most of the available alternatives for production of electricity have been eliminated while the nuclear debate has been rolling on. Restrictions were put on new hydro already in the early 1970s and hydro was definitely ruled out in 1986. The decision to phase out nuclear was made in 1980. Taken verbatim the decision of the Parliament in 1988 to restrict the release of carbon dioxide to the 1988 level rules out coal, oil, natural gas and peat.

What remains is wood chips, wind and solar. Over the years substantial amounts of money, well over 1,5 billion USD a year during the 1980s, have been used for development of renewable energy alternatives. The result so far has been

Much money
Many years
Minor progress

Pro nuclear: Sweden isn't much different from the rest of Europe — or the world

Historically this statement is supported by a comparison of how the consumption of total energy and electricity respectively have developed from 1973 to 1988 in Sweden and the other European countries. There is a strong similarity. The demand for electricity has increased while the amount of total energy consumed has been slightly reduced, at least if one used the official Swedish statistics in which one kWh of electricity is counted as equal to one kWh of thermal energy from oil, coal or gas.

With this in fresh memory it is striking to see how the development from 1988 to year 2000 of the two parts of Europe, the small Sweden and the large community, is supposed to differ. The growth of electricity consumption in Sweden but in Sweden only, is supposed to stop

The Political Dilemma:

- Strong manifestations against
- No credible alternatives
- Time is running out

without increasing total energy use. This is credible provided one gives credibility to the Swedish forecasts which have been presented by the government.

Pro nuclear: Nuclear Power is well managed

From 1972 until now the nuclear production has increased from zero to about 47 percent which makes nuclear equal to hydro. The remaining few percent are produced from oil, coal, natural gas or burning wood. This mix of electric generation capacity makes the system reliable, economic and ecological.

A substantial investment has been made in nuclear power. Most of the energy this

investment was meant to produce remains to be produced. If the government's nuclear policy is implemented much of the potential energy would remain unproduced. The political opposition has called this a tragic waste of capital in a situation when capital is a scarce resource. One can only agree.

The average capacity factor achieved, proves that the nuclear power plants are very reliable producers of electricity. The radiation exposure to the plant personnel proves that the plants are well managed and offer good working conditions.

The radioactive emissions during operation are extremely small and all the Swedish nuclear power plants have been backfitted with reactor containment venting systems that will keep the surrounding land uncontaminated even if a very unlikely core melt accident would occur.

The program for waste treatment and final disposal is proceeding according to plans. There is a transportation system,

an intermediate storage of spent fuel, CLAB, and a final repository of medium and low level waste in operation. The construction of a demonstration facility for final disposal of spent fuel, at 500 meters below the surface of the bed-rock, will commence in 1992.

All this is achieved without giving up the economy of the nuclear electricity. Nuclear together with hydro is also from economical point of view a hard to beat combination for electricity production.

Altogether nuclear power can serve as a standard setter for other activities in the society and more and more Swedes **SEE** nuclear power as Safe, Economic and Ecological.

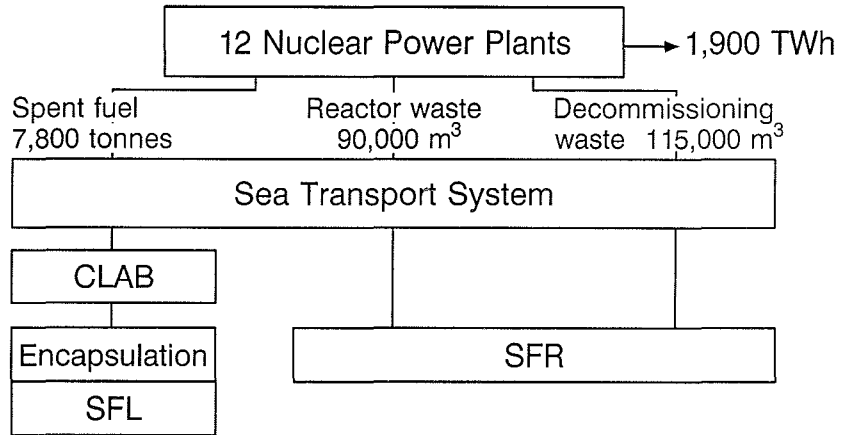
Pro nuclear: The increasing concern for the environment

I don't see any need to go into the details of pollution from SO_x, NO_x, CO₂ et cetera. The local and global impact on the environment of these and other effluents are widely discussed and are well known. A well managed nuclear power program has none of these disadvantages.

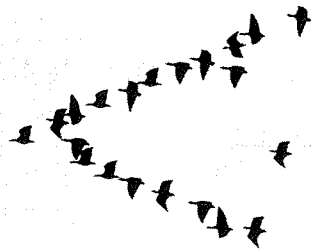
Instead I shall give an example how a well intended ambition can lead to a result which is opposed to the original intent. What I have in mind is frequently repeated statement that it's always better to conserve a kWh than to invest in new capacity.

The oil replacement policy in Sweden has followed two alternative action strategies, to substitute oil with electricity and to conserve oil through a reduced demand for heating of buildings.

The Swedish Waste Management System



Comecon: A weak economy is a threat against the environment



Both strategies have contributed to the reduction of oil consumption but from environmental point of view the conservation strategy has been literally fatal. This has been revealed by a government committee that has had the task to study the development of allergical reactions in Sweden.

In 1965 about 700 Swedes died due to asthma. In 1985 this figure is close to 1300. The primary reason given by the committee is indoor pollution due to insufficient ventilation of houses which have been made too tight in order to save energy.

Already in 1984 the so called Cancer Committee estimated the lung cancer deaths caused by radon in buildings to about 400 per year, a figure which is estimated to be double that of the 1950s and still on its way up.

The chairman of the Allergy Committee has publicly stated that an electricity generating capacity corresponding to between two and three 1000 MW nuclear power plants are necessary if the ventila-

tion in Swedish buildings is increased to the level required by reasons of health.

What this example proves is that

**"A kWh not used
is not always equal to
an environment not abused".**

The campaign to conserve energy through insulation of buildings and reducing leakage through windows and doors has in reality caused the most severe national environmental catastrophe in decades.

Pro nuclear: Strong Economy Improves Ecology

That the possibility to upkeep high environmental standard is depending on the economy has been strikingly demonstrated in news from the East European countries. Large areas are extremely polluted and the pollution is not restricted by national borders. There is a growing concern in Sweden over the situation in the Comecon countries.

More and more people think that something should be done and see the cost of decommissioning nuclear power as a waste of resources which could have an alternative use in the improvement of environmental conditions in Sweden or elsewhere.

Pro nuclear: A new perception of risks

The increased concern for the environment has had an influence on how the public grades different risks. When asked to choose the two most severe environmental threats the response was:

| | |
|--------------------------------|-----|
| Threats against the ozone | 61% |
| Devastation of the rainforests | 44% |
| Acid rain in Sweden | 35% |
| Pollution of the seas | 32% |
| Nuclear waste | 19% |

A number of non-nuclear risks override those of nuclear. Those polled were asked to grade a number of alternatives from low or no risk = 1 to high risk = 5.

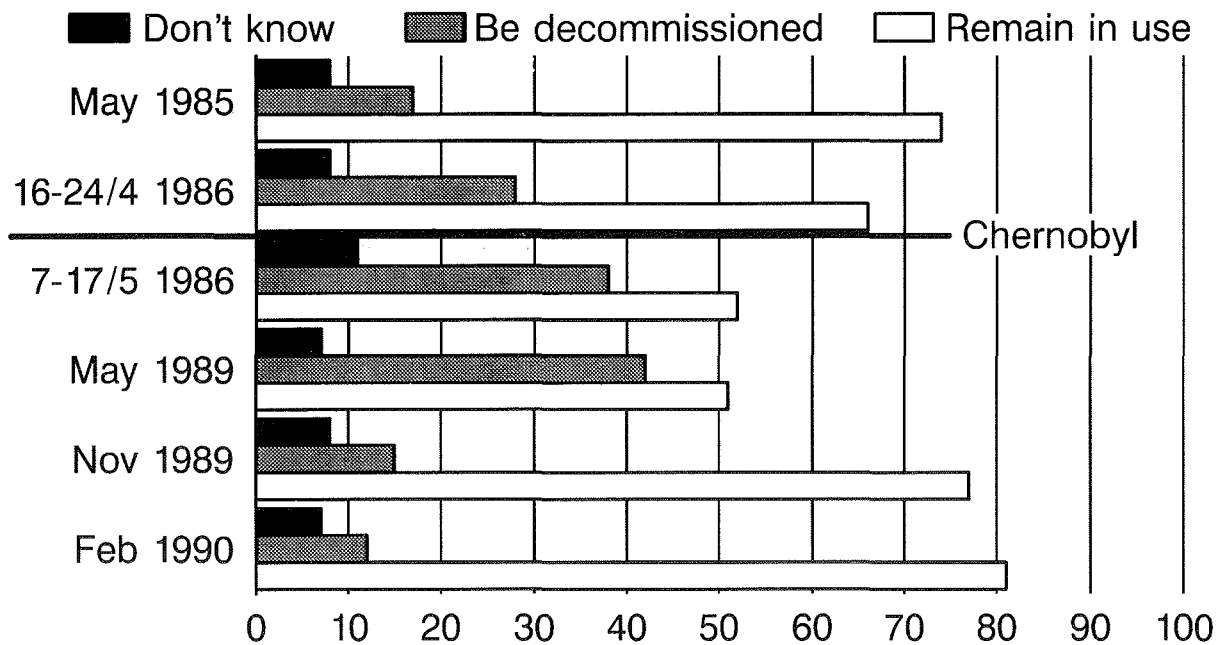
From high to low:

| | |
|---------------------------|------|
| Pollution from industries | 4.18 |
| Traffic exhausts | 3.93 |
| The use of coal and oil | 3.66 |
| The greenhouse effect | 3.51 |
| Use of nuclear power | 3.00 |
| Use of natural gas | 2.26 |

Pro nuclear: The public opinion is changing

According to a study published by the University in Gothenburg last fall, the public's attitude to nuclear power has been continuously improving during the past decade. Chernobyl certainly caused a set back but didn't change the general trend. The acceptance of nuclear power has increased year by year during the past ten years.

Do You Believe the Swedish NPPs Will Still Remain in Use after Year 2010?



This positive development became more obvious during the past year. The support for the government's policy rapidly declined. In February this year a total of 57 percent supported the use of nuclear power after the year 2010 which is a 6 percent increase since November 1989.

Pro nuclear: Nuclear phase out an increasingly difficult political dilemma

The main reason behind this drastic reduction of the confidence of the public in the Government's ambition to phase out nuclear is the open debate within the Socialdemocratic party which was initiated in August by four Labour Union leaders. An increased activity from the electricity consuming industry has also contributed.

The debate which commenced in August within the Socialdemocratic party and between the party and the labour unions was allowed to go on publicly in the media for some months. It came to an end when "the Gang of Four" was established, i.e. the Prime Minister Ingvar Carlsson, the Minister of Environment Birgitta Dahl, the Chairman of the Swedish Federation of Labour Unions, Stig Malm and the Minister of Industry, Rune Molin, respectively, formed a government committee with the purpose to find a, for the Party as well as for the Unions, acceptable energy policy.

The political agenda for the coming two years is tight. The Congress of the Socialdemocratic party is due to commence

in September 1990. Long before this "The Gang of Four" must have reached an agreement if the Government shall be able to get support for its energy policy from the Congress. This is necessary as the Government is obliged to give the Parliament opportunity to review the energy policy by the end of 1990 or early 1991. The Party also needs to gather its forces well before September 1991 in order to win the next election to the Parliament.

It is already now clear that time to construct replacement capacity for two nuclear units by 1995/1996 has run out. Even the available time to what previously has been considered to be a more acceptable starting point of a phase out is running short.

What should be brought up for discussion is not whether the phase out of nuclear power shall start in 1995 or 1998, what should be discussed is the nuclear phase out as such. Some observers claim that this is what "the Gang of Four" is really working at. A safe prediction of the future is that the coming decade will substantially change the present political truths.

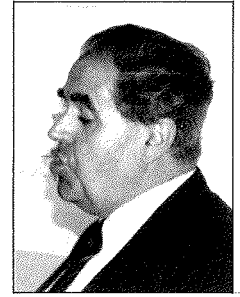
We have lost many battles but we can still win the war

I suppose my presentation of the Swedish energy policy sounds bizarre. It can't be true that a sensible people decides to close half of its capacity to produce electricity and at the same time decides not to use any of the available alternatives.

I agree to one hundred percent. In the end a policy like this can't be implemented, a change must come. What the industry tries to accomplish is to make this change come earlier.

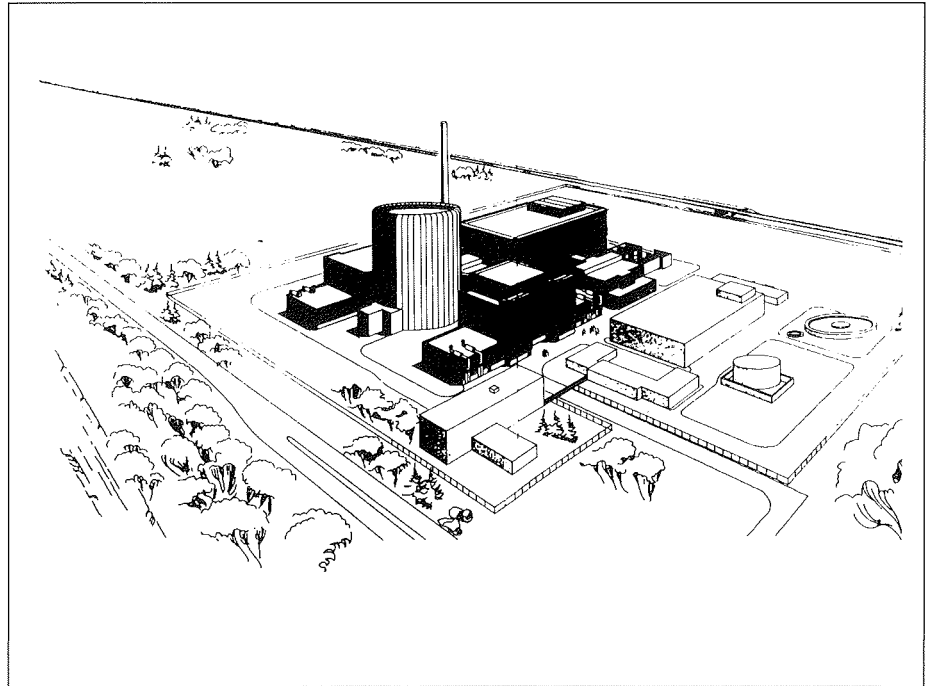
It is not the nuclear industry that has the leading role in this work. The nuclear industry has been a catalyst and inspirator. The electricity consuming industry and the employees of this industry through the labor unions exercise the most efficient influence. The recent positive development in Sweden has not primarily been achieved through nuclear information activities but through a persistent discussion of energy, economy, employment and ecology. □

Arto Hamberg is Assistant Vice President of ABB Atom AB.



Siemens is ready to compete with its Boiling Water Reactor for the next Finnish nuclear power station

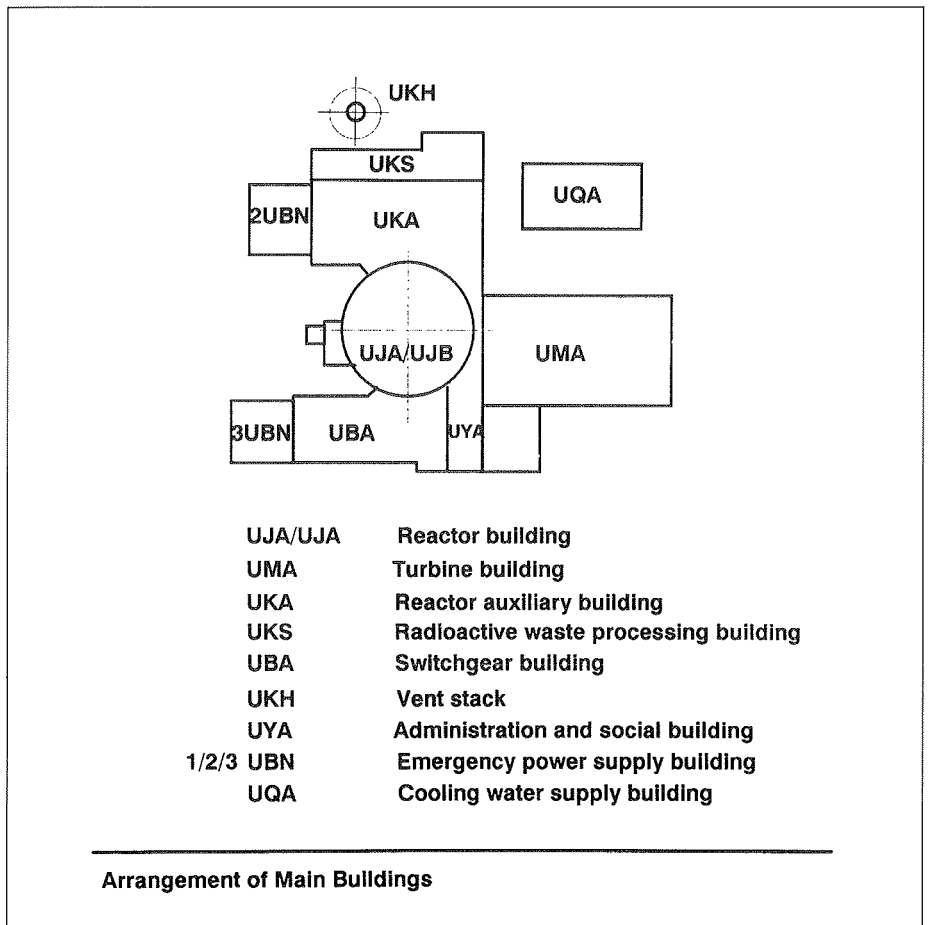
According to their experiences TVO and Siemens agreed upon the performance of a feasibility study for a Siemens Boiling Water Reactor at the Olkiluoto site. The goal of this feasibility study is to define the characteristics of the power station according to Finnish requirements related to the reference plants Gundremmingen and Kaiseraugst. In prolongation of the feasibility study, which includes the production of a preliminary safety analysis report, a binding offer will be supplied. The study done so far reveals the accordance of the Siemens Boiling Water Reactor with Finnish requirements.



The section Kraftwerkunion (KWU) of Siemens AG had been founded 20 years ago by AEG and Siemens. AEG supplied the know how for boiling water reactors into the common enterprise. During the time, 11 power stations with boiling water reactors including experimental and prototype-stations were erected. 7 of the erected plants are in commercial operation. The availability of the plants with capacities between 600 and 1300 MWe is very favorable. The statistics in the last years show, that these plants are within the top ranking groups of power plants throughout the world.

The 1000 MWe Boiling Water Reactor of Siemens AG

The section Kraftwerkunion (KWU) of Siemens AG had been founded 20 years ago by AEG and Siemens. AEG supplied the know how for boiling water reactors into the common enterprise. During the time, 11 power stations with boiling water reactors including experimental and prototype-stations were erected. 7 of the erected plants are in commercial operation. The availability of the plants with capacities between 600 and 1300 MWe is very favorable. The statistics in the last years show, that these plants are within the top ranking groups of power plants throughout the world.



| | | | |
|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| Power | | Reactor core | |
| Thermal reactor output | 3058 MW | Fuel | sintered UO ₂ |
| Gross electrical output | 1121 - 1146 MW | Number of assemblies | 648 |
| Reactor coolant system | | Fuel rods per fuel assembly | 9x9-1 |
| Reactor operating pressure | 70,6 bar | Arrangement | square lattice |
| Coolant inlet/outlet temperature RPV | 215 °C / 286 °C | Active length of fuel rods | 3710 mm |
| Reactor pressure vessel | | Outside diameter of fuel rods | 10,75 mm |
| Inside diameter | 6185 mm | Overall in-core uranium weight | 112,5 Mg |
| Height | 22246 mm | Enrichment of first core | 2,19 (3,14; 2,59; 1,84; 1,16) % U ²³⁵ |
| Weight without internals | 674 Mg | Equilibrium core burn-up | 40,000 MWd/t |
| Reactor coolant pumps | | Average linear heat generation rate | 152,6 W/cm |
| Number and type | 8 axial pumps with integrated oil supply | Number of control rods | 157 |
| Discharge head | 26,3 m | Type of control rod drive | electromotoric |
| Design flow rate | 2,124 m ³ /s | Control rod speed | 3 cm/s |
| Motor power | 820 kW | | |
| Containment | | | |
| Type | prestressed concrete containment | | |
| Inside diameter | 29 m | | |
| Design pressure/temperature | 4,3 bar/146 °C | | |
| 1000 MW BWR Main NSSS-Data | | 1000 MW BWR Main Core-Data | |

The first boiling water reactor named VAK was erected in Kahl (West-Germany) and went into operation in 1961. The 250 MWe power station Lingen started operation in 1968 and contained for the first time a very important characteristic, the fine motion control rod drive. This mechanism separates the drive force for normal movement and for fast insertion in the case of a scram. The fine motion for normal operation protects the fuel elements and allows considerable power change rates. This feature was taken over by other reactor suppliers.

The power station Brunsbüttel went into operation in 1977. It contained for the first time in the world the reactor vessel internal recirculation pumps. This feature eliminates the external piping-and pump-arrangements and forms basis for reduced building volumes and relaxed consideration of loss of coolant accidents. Also this feature was adopted by other reactor suppliers. The variation in recirculation flow in the boiling water reactor is used for change of the power rate. Up to 1 %/s change in power rate can be achieved, thus the boiling water reactor can be used for frequency control.

The power plants from Würgassen (KWW) to Krümmel (KKK) contain a pressure suppression system with steel containment. The Gundremmingen plant (KRB II) with 2 × 1300 MWe uses a concrete containment. This plant serves as reference for Olkiluoto.

Perusvoima Oy (PEVO), the foundation of Imatran Voima Oy (IVO) and Teollisuuden Voima Oy (TVO), is responsible for the next Finnish nuclear power station. Two site alternatives are under discussion. If Olkiluoto will be chosen, the nuclear power station will be a boiling water reactor.

TVO operates at Olkiluoto 2 units each with 700 MWe of the boiling water reactor type. The experience and the availability of the stations are very favorable. According to this background, TVO covers within PEVO the projects with boiling water reactors.

The development of the boiling water reactor during the last years with regard to safety made such a progress, that the conformance with Finnish requirements has already been reached.

Especially the following safety features should be mentioned:

- Redundancy and physical separation of the safety systems
- High load accommodation for seismic forces, air craft crash, failure of pressure bearing components inside the plant
- Provisions for fire protection
- Provisions for physical protection
- Provisions against beyond design accidents

Besides these safety related developments, the operational plant behavior is of importance. The low radiation dose rates for the employees should be mentioned in this context.

High effective filtering equipment as part of the off gas system and waste water system result in very low radiation effluents well below of permission values.

These above mentioned developments are associated with reduced failure rates of fuel elements. Progress of fuel technology results in extremely low fuel failures according to the experiences.

At the end of the technical part of this presentation, the measures for quality assurance should be mentioned.

Related to the importance of a certain cycle or component, a sophisticated quality assurance programme will be applied. This yields high quality from engineering to fabrication and operation. In prolongation to that, inservice inspections grant the preservation of the quality standard.

Concerning nuclear energy, long lasting relations between Siemens and Finnish customers can be referred to. The KWU-Group of Siemens as a well-known supplier of nuclear fuel as well as a reliable partner for service to be performed at Finnish nuclear power plants during annual revision, thereby contributing to the high availability and safe operation of these plants. For the plant at Loviisa Siemens designed, delivered and erected the instrumentation and control systems and also supplied the refuelling machine. For the TVO plant at Olkiluoto, Siemens supplies the reload fuel assembly batches and several other core components as well as neutron flux monitors. Since more than five years, Siemens is involved in the annual refuelling outages, performing inspection and maintenance work. In addition Siemens got a contract on supply and erection of a containment venting system, which was successfully completed.

The experience of the Finnish utilities with Siemens deliveries and the products which are available gives to our opinion a good chance for Siemens for the next Finnish nuclear power station. □

Sihteerin sana — ENS yleiskokous Suomessa

European Nuclear Society (ENS) on monille meistä tuttu vain lehtensä Nuclear Europe Worldscanin kautta, mutta järjestö toimii monella muullakin tavalla. Näkyvin toimintamuoto lehden lisäksi on European Nuclear Conference, neljän vuoden välein järjestettävä laaja — jopa 10 000 osanottajan — kokous ja näyttely. ENS toimii myös ydinenergian yleisen hyväksyttävyyden puolesta, tästä esimerkkeinä Nucleus-tiedote, PIME-kokoukset (Public Information Materials Exchange) ja ensi vuoden alussa toivottavasti toimintansa aloittava NucNet, nopea ja tarkka ydinenergiauutisia ja objektiivista tietoa välittävä tietoverkko. ENS:ssa on 19 jäseneturansa kautta lähes 18 000 jäsentä 16:sta maasta.

ENS:n yleiskokous pidettiin 5.—7. heinäkuuta Helsingissä. ATS vastasi kokousjärjestelyistä ja saadun palautteen perusteella varsin onnistuneesti. Virallisten kokousten lisäksi ohjelmassa oli lehdistötilaisuus ja vierailu Loviisan voimalaitokselle. Yksi tärkeimmistä virallisten kokousten asioista oli ENS:n talous. Nykyisen tason ylläpito ENS:n toiminnassa vaatii uusia tulolähteitä, jäsenmaksuja joudutaan korottamaan ensimmäistä kertaa sitten ENS:n perustamisen vuonna 1975. Kannatusjäsenien määrän lisääntyminen helpottaisi myös tilannetta, tässä vihje jäsenille, joiden yritykset eivät vielä ole ENS:n kannatusjäseniä.

Yleiskokouksen kutsuttuina puhujina olivat VTT:n tutkimusjohtaja Pekka Silvennoinen ja Neuvostoliiton ydinteknisen seuran pääsihteerin, Kurtshatov-instituutin varajohtaja Andrei Gagarinski. Esitelmiä referoidaan toisaalla tässä lehdessä, tärkein sanoma kuitenkin oli, että meidän ei tule, emmekä me voi luopua ydinvoimasta, jos haluamme ympäristöä mahdollisimman vähän rasittavan energiatulevaisuuden. Lisäksi Silvennoinen painotti nopean päätöksenteon tärkeyttä: päätöksenteon lykkääminen merkitsee jälleen hiilivoimapäätöstä.

Ympäristön ja ydinvoiman suhdetta käsittelee myös ENS:n puheenjohtaja Jean P. van Dievoet esitellessään lehdistötilaisuudessa ENS:n tekemää tutkimusta ydinenergian mahdollisuuksista hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen Euroopassa. Vastoin yleistä luuloa ydinenergialla on tässä suhteessa suuri merkitys. Ydinvoimasta luopuminen Euroopassa vuoteen 2010 mennessä johtaisi hiilidioksidipäästöjen kaksinkertaistumiseen nykyisestä ja vastaavasti ydinenergian määrän kaksinkertaistaminen leikkaisi noin puolet nykyisistä päästöistä.

Tutustuminen Loviisan voimalaitokseen vakuutti kokouksen osanottajat idän ja lännen osaamisen toimivasta yhdistämisestä.

Suomen kesä ja luonto saivat paljon uusia ystäviä ja ATS ja muut järjestelyihin osallistuneet runsaasti kiitoksia onnistuneesta kokouksesta. □

Kevään ja kesän kokouksissa on Seuraan hyväksytty 24 uutta jäsentä, joukossa myös kaksi nuorta jäsentä. Olisi suotavaa, ettei kiinnostus Seuraan rajoittuisi vain teknis-tieteellisiin piireihin, vaan muutkin ydinvoiman eteen aktiivisesti työtä tekevät kokisivat Seuran omakseen.

| | |
|---|---------|
| TkL Pertti Aarnio | TKK |
| DI Timo Hakulinen | TKK |
| TkT Jukka Heikkinen | VTT/YDI |
| DI Heidi Lindroth | IVO |
| Ins. Lauri Pietikäinen | IVO |
| DI Kerttu Pollari-Malmi | STUK |
| FK Veli Riihiluoma | STUK |
| DI Esko Rinttilä | IVO |
| FL Tero Varjoranta | STUK |
| FM Magnus Halin | IVO |
| Tekn.yo. Arto Isolankila (nuori jäsen) | STUK |
| DI Petra Lundström | IVO |
| DI Päivi Mäkinen | IVO |
| Ins. Tapani Eurasto | STUK |
| Uutispäällikkö Arto Henriksson | IVO |
| DI Matti Kaunisto | TVO |
| DI Mikko Kosonen | TVO |
| Ins. Reino Kuikka | TVO |
| Ins. Juhani Kääriälä | TVO |
| DI Teemu Manninen | IVO |
| Ins. Martti Oksa | TVO |
| Tekn.yo. Jari Snellman (nuori jäsen) | IVO |
| DI Matti Tenngren | IVO |
| Ins. Jouko Turpeinen | IVO |

DI Jussi Palmu on IVO:n ympäristönsuojeluosaston projektipäällikkö ja ATS:n sihteeri, p. 90-508 4562.

Ytimekkäät

PEVON ORGANISAATIO VAHVISTUI

Dipl.ins. Erkki Sipilä Imatran Voima Oy:stä siirtyi 1.9.1990 alkaen komennukselle PEVOon. Hän toimii PEVOssa projekti-insinöörinä teknillisen johtajan Heikki Raumolinin sektorilla eri laitosvaihtoehtojen kehittämisen ja vertailemisen vaatimissa koordinoitavissa.

Dipl.ins. Sipilä on vuodesta 1971 alkaen toiminut suunnittelu- ja projektitehtävissä sekä Loviisan projekteissa että konventionaalisissa voimalaitoshankkeissa; viimeksi ennen PEVOon siirtymistään Ympäristöliiketoiminnan yhdyskuntajätteen hyödyntämisen projektipäällikkönä.

TVO RAHASTOINUT 1,8 MILJARDIA YDINJÄTEHUOLTOON

Teollisuuden Voima Oy jätti syyskuun lopussa kauppa- ja teollisuusministeriölle uusitun kustannusarvion Olkiluodon ydinvoimalaitoksen jätehuollosta. Arvio on perustana rahastoitaessa varoja valtion ydinjätehuoltoon. Kustannusarvio kattaa kaikki ydinjätehuollon tulevat kustannukset laitossyöksiköiden purkaminen mukaanluettuna. Olkiluodon voimalaitoksen jätehuolto maksaa lähes neljä miljardia markkaa, josta puolet on jo rahastoitu. Jätehuoltoratkaisujen jatkokehittäminen sekä varastojen ja sijoitustilojen rakentaminen ovat viime vuosina vähentäneet TVO:n rahastointitarvetta.

Varat ydinjätehuollon tulevia kustannuksia varten rahastoidaan valtion ydinjätehuoltorahastoon. Kauppa- ja teollisuusministeriö määrää vuosittain, millä summalla rahastoa on kartutettava. Tätä varten TVO esittää joka vuosi ajan tasalla olevan arvion Olkiluodon jätehuollon tulevissa kustannuksissa. Uusin kustannusarvio on 3,8 miljardia markkaa. Tähän mennessä rahastoa varten on kerätty 1,8 miljardia markkaa. Kustannusarvion ja rahaston ero katetaan valtiolle annettavilla vakuuksilla siihen saakka, kunnes rahasto saavuttaa täyden arvonsa aikavälillä 2000—2005. Kaikkiaan ydinjätehuollon vaikutus Olkiluodon voimalaitoksen sähkön hintaan menneet ja tulevat kustannukset huomioiden on 1,4 penniä tuotettua kilowattituntia kohden.

Osmo Kaipainen, TVO

Lyhyesti maailmalta

Euroopan yhteisön 12 maassa on yhteensä yli 150 toimivaa ydinvoimalaitosyksikköä yhteisteholtaan noin 125 000 MW. Rakenteilla on 13 000 MW lisätehoa. Yksiköiden sähköntuotanto oli vuonna 1989 740 teravattituntia, kun koko maailman ydinsähköntuotanto oli 1 670 teravattituntia. Ydinsähkön osuus sähköntuotannosta oli EY-maissa 36 % ja koko maailmassa 17 %.

ATW News, lokakuu 1990

Irakin ydinlaitoksiin ei aiota tehdä uusia IAEA:n safeguards-tarkastuksia Kuwaitin miehityksen seurauksena, ilmoitetaan Wienistä. Maan ydinlaitokset ovat: neuvostoliittolainen IRT-5000 (5 MW_t) tutkimusreaktori, ranskalainen Tammuz 1 (40 MW_t) tutkimusreaktori, IQC-luonnonuranapolttoaineen valmistuslaitos kapasiteetiltaan 20 tonnia vuodessa ja IQZ-uraanivarasto, jossa mm. 100 tonnia uraania. Edellinen IAEA:n safeguards-tarkastus tehtiin huhtikuussa 1990.

Nucleonics Week 9.8.1990

Irak on rakentamassa sentrifugilaitosta uraanin rikastamiseksi. Asia tuli ilmi elokuussa 1990 sveitsiläisvalmistajien sentrifugiputkien päätyjä ja työkaluja sisältäneiden lähetysten paljastuttua. Kollit ovat edelleen Frankfurtin lentokentällä. Irak voi saada sentrifugiteknologiaa myös Brasiliasta bilateraalisen sopimuksen nojalla. Asiantuntijoiden mukaan Irakilla ei olisi tällä hetkellä asetarkoituksiin riittävän pitkälle rikastettua uraania eikä tarvittavaa tietämystä.

Nucleonics Week, 23.8.1990

Irakiin tulisi tehdä IAEA:n erikoistarkastus, missä selvitettäisiin mahdollisen uraanin sentrifugirikastuslaitoksen olemassaolo. Mikäli Irak ei suostu tarkastukseen, niin asia vietäisiin YK:n turvallisuusneuvoston käsittelyyn. Ehdotus tehtiin kansainvälisessä safeguards-kokouksessa Genevessä syyskuussa 1990.

Nucleonics Week 20.9.1990

Itävallan ympäristöministeri Marlies Flemming uhkaa häätää YK:n alaisen kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) päämajan Wienistä, mikäli järjestö ei lopeta ydinvoiman käytön edistämistä. Järjestön pitäisi Flemmingin mukaan ryhtyä edistämään aurinkoenergian ja muiden uusiutuvien energialähteiden käyttöä sekä suojaamaan ihmisiä säteilyl-

tä. Flemming on laajalti tunnettu ydinvoiman vastustaja.

Nucleonics Week 20.9.1990

Kanadan Darlington 2 CANDU 881 MW -yksikkö valmistui sähköntuotantoon heinäkuussa 1990. Käyttöönottoa viivästytti ABB:n toimittaman generaattorin roottorista löytyneet säröt. Tilapäisenä korjaustoimenpiteenä roottorin aukoista hiottiin teräviä nurkkia pois. Rakennusvaiheessa olevien 1-, 3- ja 4 -yksikköjen roottorissa on sama suunnitteluvirhe. Voimayhtiö valmistautuu mahdollisesti tarvittaviin roottorinvaihtoihin ja neuvotteluihin ABB:n kanssa roottorien 30 vuoden elinajan takaamisesta.

Nuclear Engineering International, elokuu 1990

Neuvostoliiton ydinlaitosonnettomuuksista ennen Tshernobyliä on saatu lisätietoja epäviralliselta taholta:

- Syyskuussa 1957 räjähti nestejätessä Cheljabinskin jälleenkäsittelylaitoksella aiheuttaen ympäristön saastumisen.
- Toukokuun 7. 1966 ryöstäytyi teho Melekess 62 MW BWR -prototyypillä aiheuttaen henkilöstölle säteilyannoksia
- Vuosina 1964—1979 sattui Belojarsk 1 RBMK 108 MW -yksiköllä useita polttoainevaurioita aiheuttaen henkilöstölle säteilyannoksia
- Tammikuun 7. 1974 räjähti teräsbetoninen kaasusäiliö Leningrad 1 RBMK -yksiköllä aiheuttaen aktiivisen päästön
- Helmikuun 6. 1974 räjähti tertiäripiiri Leningrad 1 -yksiköllä aiheuttaen kolmen henkilön kuoleman ja aktiivisen nestepäästön ympäristöön sisältäen suodatusjätettä
- Lokakuussa 1975 suli 25 polttoainekannavaa Leningrad 1 -yksiköllä aiheuttaen 1,5 miljoonan curien päästön ilmakehään. (Myöhempi tieto: 1 kanava vaurioitui ja lyhytikäisiä nuklideja pääsi jonkin verran ilmakehään)
- Vuoden 1977 aikana vaurioitui puolet Belojarsk 2 RBMK 200 MW -yksikön polttoainekannavista aiheuttaen henkilöstölle säteilyannoksia korjaustöissä vuoden ajan
- Joulukuun 31, 1978 sattui tulipalo Belojarsk 2 -yksiköllä. Turpiinitalin katon romahtaminen vaikeutti reaktorin hallintaa. Kahdeksan henkilöä sai säteilyannoksia jäähdytteen sisäänpumpuamisessa reaktoriin

— Syyskuussa 1982 tapahtui Tshernobyli 1 -yksiköllä osittainen sydämen sulaminen. Aktiivista materiaalia joutui laitosalueelle ja Pripjatin kaupunkiin. Henkilöstölle aiheutui säteilyannoksia korjaustöistä

— Lokakuussa 1982 tapahtui räjähdys Armenia 1 VVER 440 -yksikön generaattorissa aiheuttaen tulipalon turpiinitaliin

— Kesäkuussa 27, 1985 sattui 14 työntekijän kuoleman aiheuttanut tapaturma Balakovo 1 VVER 1000 -yksikön käyttöönotossa paineistimen varoventtiilin puhaltaessa 300 °C höyryä työskentelyalueelle.

Tiedot perustuvat insinööri Grigori Medvedevin kirjaan "The Chernobyl Chronicle". Kirjoittaja on työskennellyt 20 vuotta Neuvostoliiton ydinvoimateollisuuden palveluksessa.

Nucleonics Week, 31.5.1990

Ranskan monikansallinen Superphenix 1240 MW hyötöreaktori on pysäytetty primääripiirin natriumjäähdytteen puhdistamiseksi hydriidi- ja oksidiepäpuhtauksista, joita tuli reaktorin argon-suojakaasukerrokseen särkyneestä kompressorista. Jäähdytettyä on 3 500 tonnia ja sen puhdistaminen kestää ainakin vuoden 1990 loppuun. Laitosyksikkö on ollut pysäytettynä erilaisten vikojen vuoksi suurimman osan ajasta sitten vuoden 1985 käynnistytyn. Yksikön lopullisesta käytöstäpoistosta on keskusteltu.

Nucleonics Week, 18.10.1990

Ruotsin ABB Atom AB on lopettanut yhteistyönsä USA:n Westinghousen kanssa ja yrittää nyt yhdessä Combustion Engineeringin (C-E) kera. C-E on eräs maan johtavista energia-alan yrityksistä ja on mm. ydinvoimalaitostoimittaja.

Nuclear News, elokuu 1990

Ruotsin Oskarshamn 1 BWR 462 MW Asea-Atom -yksikön reaktoripaineastian vaihtaminen on taloudellisesti kannattavaa mikäli samalla nostetaan yksikön teho kaksinkertaiseksi eli 900 MW:in. Voimayhtiöiden tekemän selvityksen kustannusarviossa on huomioitu tehon noston vaatimat muutokset koko laitoksen loppusijoitus. Muutostyöstä aiheutuvat säteilyannokset pysyisivät sallituissa rajoissa.

Nucleonics Week, 4.10.1990

Saksan liittotasavallan vanhin käytössä oleva ydinvoimalaitos Obrigheim 340 MW PWR on määrätty täydennyskorjauksiin. Laitos on tunnettu luotettavasta palvelusta 21 vuoden ajalta. Täydennyskorjaukset maksavat yli 50 miljoonaa markkaa.

Nuclear News, elokuu 1990

Saksan liittotasavalta suunnittelee täydellisen safeguards-menettelyn vaatimista kaikkien ydinlaitteiden, -materiaalien ja ydinteknologian viennille.

Nucleonics Week, 23.8.1990

Tšekkoslovakia on tilannut Siemens/KWU:lta kaukolämpöreaktorin soveltuvuustutkimuksen. Laitos olisi teholtaan 200 MW ja se sijoitettaisiin ilmansaasteista kärsivään Pilsenin kaupunkiin.

Nuclear News, elokuu 1990

Tšekkoslovakian Bohunice 1 ja 2 VVER 440 -yksiköiden reaktorien turvajärjestelmien analysointi on tilattu Saksan liitto-

tasavallan Siemens AG:lta. Selvityksen tuloksena voimayhtiö saanee esityksen tarvittavista parannustoimenpiteistä. Suojarakennuksettomien yksiköiden muutostyöt voivat maksaa jopa 60 % yksiköiden rakentamiskustannuksista.

Nucleonics Week, 23.8.1990

USA:n Fort St. Vrain 330 MW HTGR -yksikkö on päätetty poistaa käytöstä värittömästi ja muuttaa luonnonkaasua käyttäväksi samantehoiseksi voimalaitokseksi. Coloradossa sijaitseva yksikkö otettiin käyttöön vuonna 1979 ja se oli alunperin tarkoitus sulkea vasta kolmenkymmenen vuoden käytön jälkeen. Muutostyö kestää viisi vuotta.

Nuclear News, elokuu 1990

USA:n North Anna 2 PWR 915 MW Westinghouse -yksikkö on saavuttanut PWR-luokan jatkuvan käytön maailmanennätyksen, 469 vuorokautta. Yksikkö pysäytettiin vuosihuoltoon elokuun 20. päivänä. Yksikkö saavutti samalla pikasuuttoman käytön ennätyksen, 1514 vuo-

rokautta. Kaikkien laitystyyppien jatkuvan käytön ennätys on Fort Calhoun BWR -yksiköllä, 477 vuorokautta, vuodelta 1988.

Nucleonics Week, 23.8.1990

USA:n lähes käyttämättömän Shoreham 1 BWR 809 MW General Electric -yksiön purkamista ryhdytään suunnittelemaan. New Yorkin lähellä sijaitseva vuonna 1986 käynnistetty laitos ei saanut pysyvää käyttö lupaa, kun havaittiin, että alueen väestön evakuointi onnettomuustilanteessa olisi mahdotonta.

Nucleonics Week, 23.8.1990

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

English abstracts

Special issue: Risks of nuclear power

Safety — the basic condition of the use of nuclear energy

Antti Vuorinen (page 1)

Safety research based on the operation experience has led to a more complete understanding of potential accidents at nuclear power plants. At the same time, it has been possible to take into account measures against the accidents more efficiently. In addition to theoretical analysis, efforts have been made to assure all the essential events with experimental studies as accurately as possible. Also in Finland, based to these studies and analysis, remarkable improvements in nuclear power plants have been made.

The health effects of the ionizing radiation are today considered greater than some years ago. It's evident that the discussion will continue for a long time and opinions may change in the next 10 years period. In spite of the conclusion of the discussion, the main problems concerning the acceptability of the use of nuclear energy will be how to demonstrate in a trustworthy manner the prevention of severe accidents and the safe realization of nuclear waste management.

One cannot survive the Life

Antti Hanelius (pages 6—7)

The higher than ever living standard has drastically diminished causes for physical risks but not the sum of threats and fears. The imaginary risks have partly taken the place. The probabilistic risk assessment has not cleared the fears towards nuclear power. The controversy between the low risk probability and these irrational fears has become a subject to psychological and sociological assessment of the risks. This is a challenge for nuclear experts because the flow of correct information on the real risks of nuclear power, compared with all other risks, has to be kept on.

Risks of nuclear power on dayly life

Reino Virolainen (pages 7—8)

Do the existing nuclear power stations pose an undue or intolerable risk to public life and health? Is the use of nuclear power stations acceptable in the light of risk studies? The discussion of nuclear safety usually divides the opinions.

The probabilistic risk assessment (PRA) is based on comprehensive, multiphased mathematical models which are not easily

conceivable by non-experts. An extensive probabilistic risk study, NUREG-1150, which explores the risks of five American nuclear power stations, is conducted by U.S.NRC. This study for its part makes us to understand the impact of risks of nuclear power stations on the dayly life of man.

Radiation safety of nuclear power plant workers

Olli Vilkkamo (pages 9—10)

Doses to workers at the nuclear power plants in Sweden and Finland are generally low. The main causes of this situation include appropriate design and layout as well as successful operation of and radiation protection at the plants.

In a Nordic project it was investigated whether the optimization principle recommended by the International Commission on Radiological Protection is being applied at the Nordic nuclear power plants or can its use be extended. The paper summarizes the main results of the study.

The study revealed that many radiation protection actions involve rather high costs: Anyhow, general guidance on the optimization can be given.

About radiation for the man in the street *Björn Wahlström (pages 11—13)*

"Radiation is something that all people are anxious about, except the experts". The author explains radiation matters in the way he would talk to his teenage children. This communication level is suggested to over-build the gap between experts and laymen.

International Nuclear event Scale *Kirsti Tossavainen (pages 14—16)*

The International Nuclear Event Scale has been introduced for the classification of nuclear power plant events according to their nuclear and radiation safety significance. The Scale first undergoes about a year long trial period in several countries. Finland is participating in the trial use of the Scale. On the Scale, events are divided into levels from 1 to 7 of which events at Level 7 are the most serious. Furthermore, Level 0 (Below Scale) is used for events with no safety significance. Some features of the event rating are described.

Optimization of technical specifications by use of probabilistic methods

Kari Laakso, Tuomas Mankamo, Mikko Kosonen & Antti Piirto (pages 17—19)

The technical specifications of a nuclear power plant set the limits and conditions for the safe operation. These operational safety rules were originally defined on the basis of deterministic analyses and engineering judgement. Cumulating experience has proved it necessary to consider problems and make specific modifications to these rules.

Developments in probabilistic safety assessment (PSA) have provided a new tool to analyze, present and compare the risk effects of proposed rule modifications. The main application areas studied in the Nordic project were operational decisions in failure situations, preventive maintenance during power operation and surveillance tests of standby safety systems. The project is part of the safety program 1985—89 sponsored by NKA, the Nordic Liaison Committee for Atomic Energy. The work has been financed by the Nordic Council of Ministers and by the participating Swedish and Finnish institutions, power companies and regulatory bodies.

TVO I/II PSA programme

Risto Himanen (pages 20—22)

Probabilistic risk analyses have been performed for Finnish nuclear power plants soon in the licencing phase, but on system level only. Systematic large scale analyses, called PSA (Probabilistic Safety

Assessment) were required by the Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety (STUK) in 1984. TVO I/II PSA programme was initiated in 1984 by the utility a couple of weeks before the requirement of STUK. The first step was the probabilistic analysis of core melt due to loss of reactor coolant, internal transients and loss of external 400 kV grid. The analysis of fires and floods will be finished in 1990. The shutdown and operational mode change PSA will be reported by June 1991. Probabilistic analysis of containment integrity and radioactive releases will be performed after the shutdown analysis finished.

Among the 11 main goals of the programme are identification and prioritization of those human interactions and dependences which are most important to the core melt probability. The utility's own technical and operational staff has performed due to educational purposes 80 per cent of the analyses. Utility's PSA-team work showed to be an excellent tool in getting a deeper understanding of the operation of the safety systems.

Minor defects were detected in Operational Procedures and plant documentation. Some tasks were earlier not considered worth of procedures, but they turned out to be important in the quantitative analysis. Extremely detailed modelling of the dependences in the auxiliary power systems revealed possible problems due to complexity of the system and lacking diversity not identified in earlier PSA:s for similar plants.

The results of PSA will be used for example in planning of simulator training cases. Optimization of Technical Specifications is also possible when using the PSA-models in connection with special computer codes. The TVO plant model based on fault tree linking has been made suitable for living-PSA from the very beginning of the project. The documentation system of the analysis has been planned hierarchical and thus suitable for living-OSA applications, too. It contains a main report in 7 folders and about 80 folders system analyses and technical reports plus numerous references to the plant documentation.

Nordic reactor safety research

Klaus Kilpi, Jukka Rossi (pages 26—28)

It is necessary to participate in the coprojects in the field of international reactor safety research in order to develop more and more efficient and reliable assessment methods for power utilities and safety authorities. The subprograms called AKTI and AKTU of the recently completed Nordic reactor safety research program (NKA 1985—1989) involved severe reactor accidents and offsite consequences. VTT participated in both subprograms and a substudy of the mitigation of offsite consequences is briefly referred to.

The recommendations of international commission on radiological protection are being revised

Anneli Salo (pages 29—30)

The recommendations will refer to practices which add doses and increase risks; and intervention which results in procedures intended to avoid doses which would otherwise have been received. A generalised set of protection principles is applicable to both, in that:

- (a) decisions involving exposure to radiation should result in more good than harm.
(JUSTIFICATION)
- (b) the best levels of protection in the circumstances should be achieved.
(OPTIMISATION OF PROTECTION)
- (c) the likelihood of harm should be kept below unacceptable levels.
(INDIVIDUAL PROTECTION)

New data and new interpretation of earlier information now indicate with reasonable certainty that the risks associated with ionising radiation are about three times higher than they were estimated to be a decade ago.

Having looked at the consequences of exposure to different annual doses, the Commission has proposed the dose limit of 20 mSv per year, averaged over a defined period of 5 years for workers. The averaging time is still under discussion.

A fateful inheritance from nuclear power plants?

Pekka Järvinen (pages 30—31)

During the 80's, the potential causes of the cancer clusters identified around British nuclear installations have been discussed ardently. The latest study throws into doubt some findings of the research on the atomic bomb survivors. The findings of the Gardner study and some of the remaining problems before the question can be considered as settled are described.

The Swedish nuclear policy is no global megatrend

Arto Hamberg (pages 36—39)

Sweden has one of the most peculiar energy strategies in the world with the planned shut down of all the nuclear power plants in the near future. In the article, nine pro-nuclear arguments are given in order to prove that these plans are irrelevant or even impossible to realize. It cannot be true that Sweden decides to close half of its electricity production capacity and at the same time decides not to use any of the available alternatives.

