

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA-

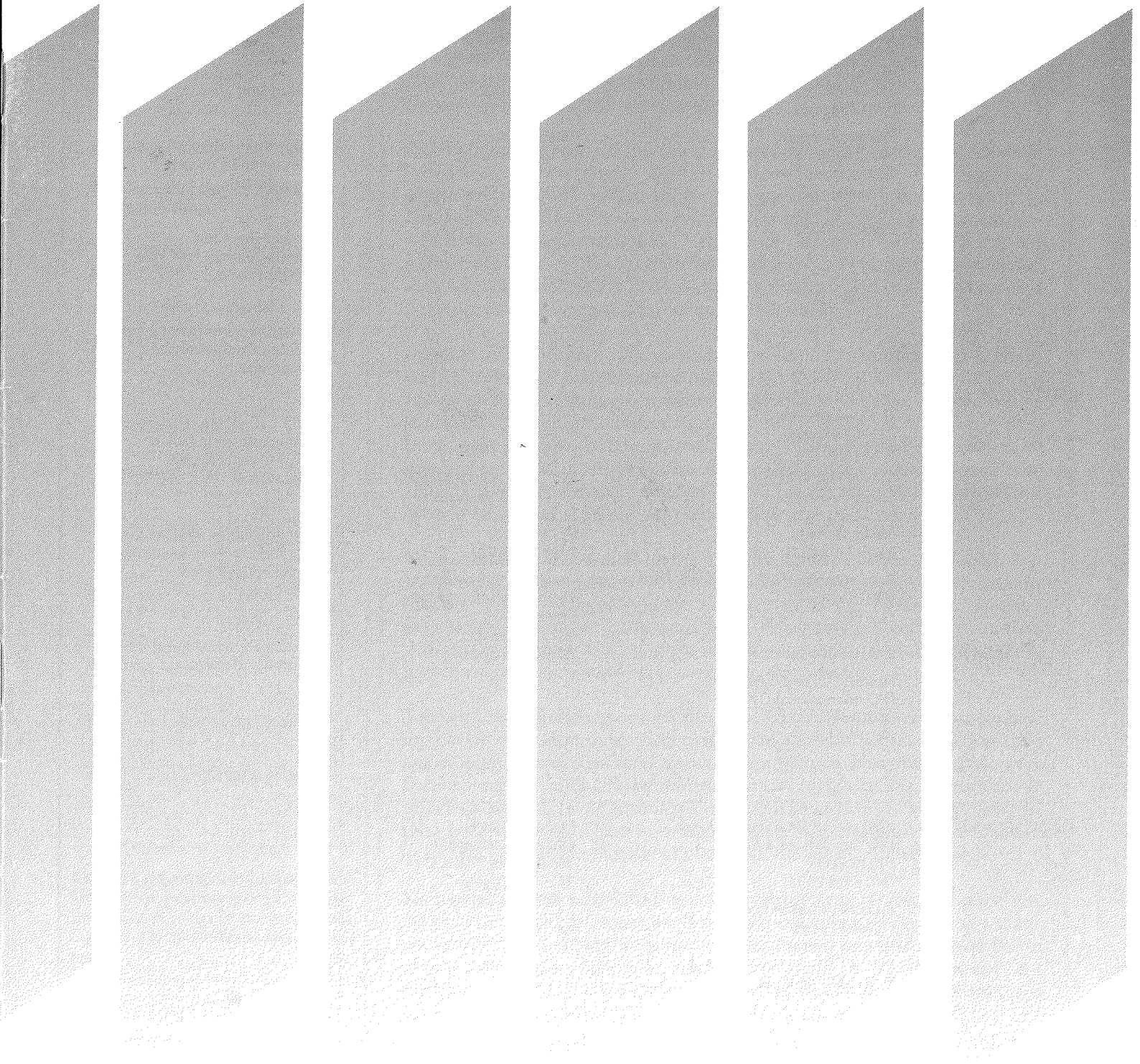
ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry.



ATS

YDINTEKNIikka

3/94
vol. 25



ATS

YDINTEKNIikka

3/94, vol. 25

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen seura -
Atomitekniska Sällskapet i Finland r.y.

TOIMITUS

Päätoimittaja
Tkt Seppo Vuori
VTT Energia
PL 1604
02044 VTT
P. 90-456 5067

Erikoistoimittaja
FK Osmo Kaipainen
Teollisuuden Voima Oy
Annankatu 42 C
00100 Helsinki
P. 90-6180 2522

Erikoistoimittaja
FL Risto Paltemaa
Säteilyturvakeskus
PL 14
00881 Helsinki
P. 90-7598 8313

Toimitussihteeri
DI Olli Nevander
IVO International Oy
01019 IVO Rajatorpantie 8
P. 90-8561 2613

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| Pääkirjoitus | 1 |
| Onko ydinvoimalaitosten tekninen käyttöikä rajallinen? | 2 |
| Nuclear plant life management - the view from France | 6 |
| Loviisan reaktoripaineastian haurastuminen ja sen hallinta | 8 |
| TVO I, II eliniän jatkamisen kannalta arvioitavista kohteista ja toimen- piteistä | 12 |
| Komponenttien vanhenemisen ja järjestelmien kunnossa- pitostrategioiden tutkimus | 14 |
| Voimayhtiön tiedottaja selvitystilanteessa | 18 |
| Lyhyesti maailmalta | 19 |
| English abstracts | 21 |

JOHTOKUNTA

Pj. TkL Eero Patrakka
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
P. 938-3811

Vpj. DI Olli Vilhamo
Säteilyturvakeskus
PL 14
00881 Helsinki
P. 90-7598 8311

Rahastonhoitaja TkL Eija Karita Puska
VTT Energia
PL 1604
02044 VTT
P. 90-456 5036

Sihteeri DI Petra Lundström
IVO International Oy
01019 IVO
(90) 8561 5422

Jäs. DI Eero Mattila
IVO International Oy
01019 IVO
P. 90-8561 2418

Jäs. TkL Rauno Rintamaa
VTT/Metallilaboratorio
PI 26
02151 Espoo
P. 90-456 6879

Jäs. DI Pertti Salminen
Teollisuuden Energiaaliitto
Eteläranta 12
00130 Helsinki
P. 90-6689 3011

TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri DI Aarno Keskinen
IVO International Oy
01019 IVO
(90) 8561 2535

Kans.väl. asioiden siht.
DI Jussi Palmu
Imatran Voima Oy
01019 IVO
P. 90-8561 4562

Ekskursios sihteeri
DI Tapio Saarenpää
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
P. 938-381 4312

TkL Jukka Laaksonen on Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusjohtaja, p. 90-7598 8379.

ATS YDINTEKNIikka (25) 3/94

Laitosten ikääntymisen tutkimus

Vuoden 1994 numeroiden teemat ovat:

- 1/94 Suomen energiapolitiikan vaihtoehdot
- 2/94 Ydinenergian tutkimuksen tulevaisuuden näkymät
- 3/94 Laitosten ikääntymisen tutkimus
- 4/94 ENC'94 Lyon

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin ATS:n jäseniltä: 200 mk

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

Toimituksen osoite:

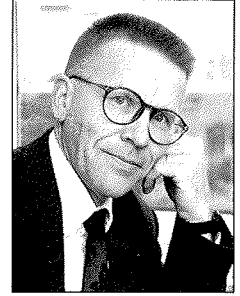
ATS Ydintekniikka
c/o Olli Nevander
IVO International Oy
01019 IVO Rajatorpantie 8
p. 90-8561 2613 (suora)
telefax 90-8561 3404

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

ISSN-0356-0473

Jukka Laaksonen

Kunnossa ja kypsyneenä kohti pitkää ikää



Nuorin ydinvoimalaitosyksikkö Suomessa täyttää marraskuussa 14 vuotta, jos ikää aletaan laskea sähköntuotannon käynnistymisestä. Vanhin on 17-vuotias. Laitosten todellinen syntymähetki on kuitenkin kauempana takana: monet laitteet on valmistettu ja asennettu yli 20 vuotta sitten.

Useilla tekniikan aloilla pääosa 20 vuotta vanhoista laitteista on jo poistettu käytöstä. Tästä syystä on ymmärrettävää, että ydinvoimalaitoksilla sattuvien häiriöiden jälkeen aletaan julkisuudessa tavallisesti arvailla ikääntymisen osuutta asiaan. Yleinen uskomus on myös, että ydinvoimalaitoksella on kiinteä 30 vuoden mittainen elinikä ja että elinkaaren loppupäässä onnettomuusriskit ovat suurempia kuin ensimmäisinä käyttövuosina. Näiden uskomusten ei tarvitse välttämättä pitää paikkaansa.

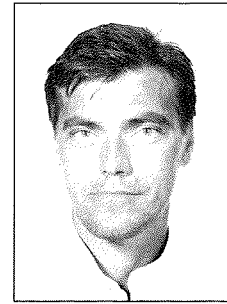
Hiljattain näin jossain ulkomaisessa lehdessä rinnastuksen ihmisen eliniän ja ydinvoimalaitoksen eliniän välillä. Ihmisen "suunniteltu" keskimääräinen elinikä lienee 30-40 vuoden välillä, jos ajatellaan biologista jatkuvuutta ja kokemuksia historiasta tai kehityksistä. Hyvällä "huollolla, määräaikaistarkastuksilla ja korjaustekniikalla" elinikä on kehittyneissä maissa pystytty kaksinkertaistamaan. Kunnostaan huolehtivat ihmiset kykenevät säilyttämään vireytensä ja terveytensä elämänsä ehtopuolelle asti. Miksei samaan tai vielä parempaan tulokseen päästäisi ydinvoimalaitoksilla.

Insinöörien lähtökohdat ydinvoimalaitoksen eliniän kasvattamisessa ja jatkuvan hyvän kunnan säilyttämisessä ovat varmasti helpommat kuin lääkäreiden vastaavat ihmisten suhteen. Erillisten osien kuntoa voidaan tarkkailla joko reaaliajassa tai rappeutumisen kannalta riittävän lyhyin väliajoin. Lähes kaikki osat voidaan vaihtaa, ja mahdolliset "hylkimisreaktiot" hallitaan tai saadaan selville edustavilla ennakoivilla testeillä. Laitteistojen teknisen kunnan ylläpito ei siis ole ongelma, edellyttäen että asiaan kiinnitetään tarpeellinen huomio eikä säästetä investointien osalta väärässä paikassa.

Ydinvoimalaitoksilla ei pidä tyytyä pelkkään kunnan ylläpitoon. Ikääntymisestä voidaan ottaa irti myös kokemuksen ja kypsymisen tarjoamat mahdollisuudet. Näihin mahdollisuuksiin kuuluvat jatkuvasti parantuva tietotaito laitteistojen käytössä ja kunnossapidossa, kehittyneet ohjeistot ja työrutiinit, yksittäisten laitteiden korvaaminen entistä paremmilla sekä turvallisuutta ja luotettavuutta kohottavat kokonaan uudet järjestelmät.

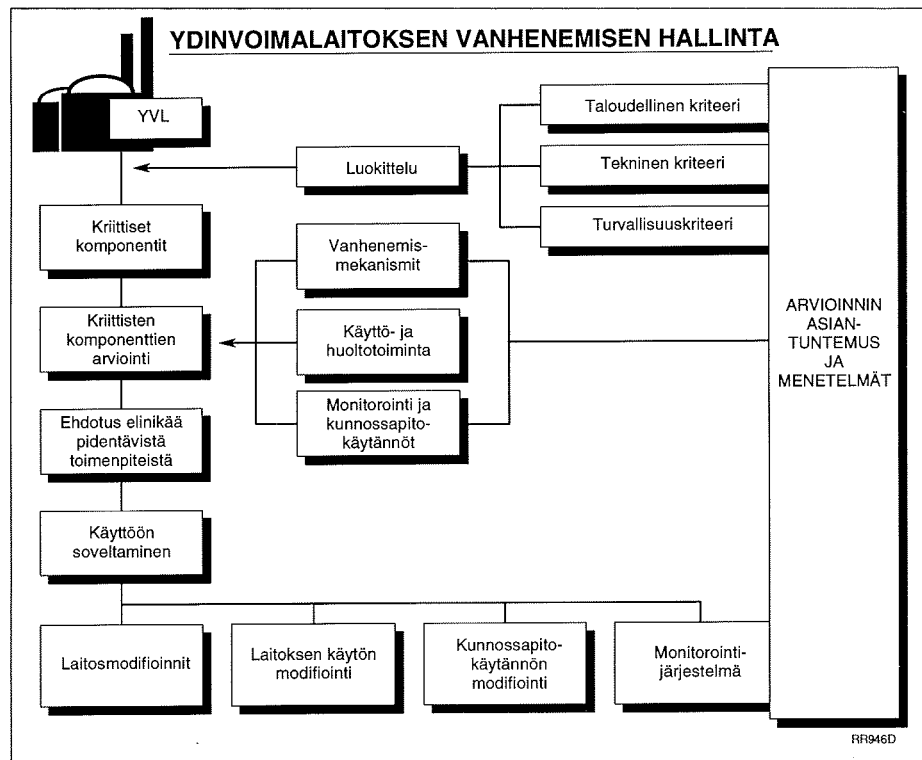
Suomen ydinvoimalaitosten turvallisuus ja käyttövarmuus ovat vuosien mitaan kehittyneet suotuisasti. Voimayhtiöissä vallitsevat asenteet ja käytännön toimet antavat aiheen odottaa samaa myös jatkossa. Kasvavat haasteet ovat kuitenkin edessä, kun pääkomponentit alkavat osoittaa kulumisen merkkejä ja sähkö- ja automaatiojärjestelmien laajamittainen uusiminen tulee ajankohtaiseksi. Uskon että näistä haasteista selvittää vielä niiden ammattilaisten voimin, jotka ovat olleet alalla pitkään ja ovat työhönsä hyvin motivoituneita.

Ydinvoimalaitosten käyttöikää ajatellen ratkaisevimpana tekijänä näen sen, pystytäänkö parinkymmenen vuoden sisällä odotettavissa oleva laaja sukupolvenvaihdos käyttäjien, valvontaviranomaisten ja teknisen tukihenkilöstön piirissä toteuttamaan kunnialla. Koulutusjärjestelmät ja -mahdollisuudet ovat nyt kauttaaltaan paljon korkeammalla tasolla kuin laitoksia rakennettaessa ja käyttöönottaessa. Löydetäänkö lahjakkaita koulutettavia?



Onko ydinvoimalaitosten tekninen käyttöikä rajallinen?

Ydinvoimalaitosten käyttöiän hallinta ja lisenssioidun käytön jatkaminen suunnitellun käyttöiän jälkeen on tullut yhä ajankohtaisemmaksi. On ennustettu, että vuoden 2010 jälkeen ydinenergian sähköntuotantokapasiteetti alkaa maailmanlaajuisesti vähetä. Suomessa käytössä olevien laitosten suunnitellut käyttöiät ovat 30 ja 40 vuotta. Käyttöiät täyttyvät noin vuosina 2008–2020. Systemaattinen ja kokonaisvaltainen lähestymistapa käyttöikäen vaikuttavien tekijöiden tunnistamisessa ja arvioimisessa antaa välttämättömän pohjan tarvittaville päätöksille sekä takaa taloudellisen ja turvallisen käytön. Käyttöikää koskevissa päätöksissä joudutaan hyvin usein turvautumaan laitoskohtaiseen tietoon, jonka hankkimisesta päätös on jouduttu tekemään 10–15 vuotta aiemmin. Tutkimus- ja kehitystoiminta pitkällä aikavälillä takaa varmin oikean tarvittavan tiedon hankkimisen käyttöikäen liittyvissä kysymyksissä.



Käyttöiän hallinnassa on tavoitteena tunnistaa tärkeät vanhenemisen mekanismit ja niiden vaikutukset ja ehkäistä ne pitkällä aikajänteellä, jotta turvallinen ja luotettava käyttö olisi edelleen mahdollista.

Oleelliset kysymykset käyttöiän hallinnassa ovat seuraavat:

- Mitkä ovat vanhenemismielessä kriittisiä kohtia?
- Mitkä ovat vanhenemismekanismit ja käyttöikää rajoittavat tekijät?
- Mitkä ovat vanhenemistä estävät tai hidastavat toimenpiteet?

Vastaukset kysymyksiin voidaan saada ainoastaan kehittämällä ja soveltamalla asiantuntemusta ja menetelmiä, joita tarvitaan kriittisten komponenttien luokittelussa, kriittisten komponenttien käyttöiän arvioinnissa sekä vanhenemistä vähentävien toimenpiteiden soveltamisessa käytäntöön. Tarpeelliset selvitykset kriittisten komponenttien osalta tulee tehdä etukäteen mahdollisimman varhain, jotta päätöksentekoon tarvittava tieto käyttöiän pidentämisen lisensioinnissa olisi saatavissa. Mitä pidemmältä aikaväliltä on tiedossa laitoskohtaista tietoa, sitä tarkempi ja vahvempi on pohja päätöksenteolle.

Kuva 1.

Periaatteellinen toiminta-kaavio ydinvoimalaitoksen käyttöiän hallinnasta, jonka oleellimmat osat ovat:

- 1) eliniän kannalta kriittisten kohteiden valinta tarkoituksenmukaisen valintatieteen perusteella
- 2) kriittisten kohteiden eliniän arviointi
- 3) eliniän vaikuttavien toimenpiteiden soveltaminen käytäntöön.

Teknisen käyttöiän perusta

Ydinvoimalaitoksen turvallisen ja luotettavan käytön eräs keskeinen lähtökohta on rakenteiden, systeemien ja komponenttien taattu toimivuus ja turvallisuus vanhenemisesta huolimatta sekä normaaleissa käyttöolosuhteissa että mahdollisissa häiriötilanteissa. Etenkin häiriötilanteisiin liittyviä rasitusvaikutuksia on mahdoton arvioida suunnitteluvaiheessa. Materiaalioinaisuuden muuttuminen käytön aikana on useimpien komponenttien kohdalla luonnollista ja niiden muutosten vaikutus käytettävyyteen voi olla huomattava ja ennalta tuntematon. Tämä merkitsee sitä, että turvallisuusmarginaali käyttöiän aikana muuttuu. Pyrkimyksenä on, että turvallisuusmarginaali pystytään mittaamaan ja ylläpitämään rajoissa, jotka viranomaiset ovat määrittäneet.

Kuormaa kantavan komponentin kestävyden arvioimiseksi on tunnettava materiaalien ominaisuudet, kuormitukset, jännitykset ja erityisesti viat. Näiden lähtötietojen perusteella voidaan mitata yksittäisen komponentin turvallisuusmarginaali ja sen ajallinen muuttuminen. Lopullisen käyttöikäennusteen luotettavuus muodostuu analyysissä käytettävien lähtöarvojen luotettavuuden mukaiseksi.

Ydinvoimalaitosten teknisen käyttöiän määräävät erityisesti turvallisuuden ylläpitämiseen vaikuttavat tekijät. Seuraavassa tarkastellaan niitä tekijöitä, jotka ovat merkittäviä arvioitaessa laitoksen turvallisuutta ja teknistä elinikää ja sen mahdollista jatkamista.

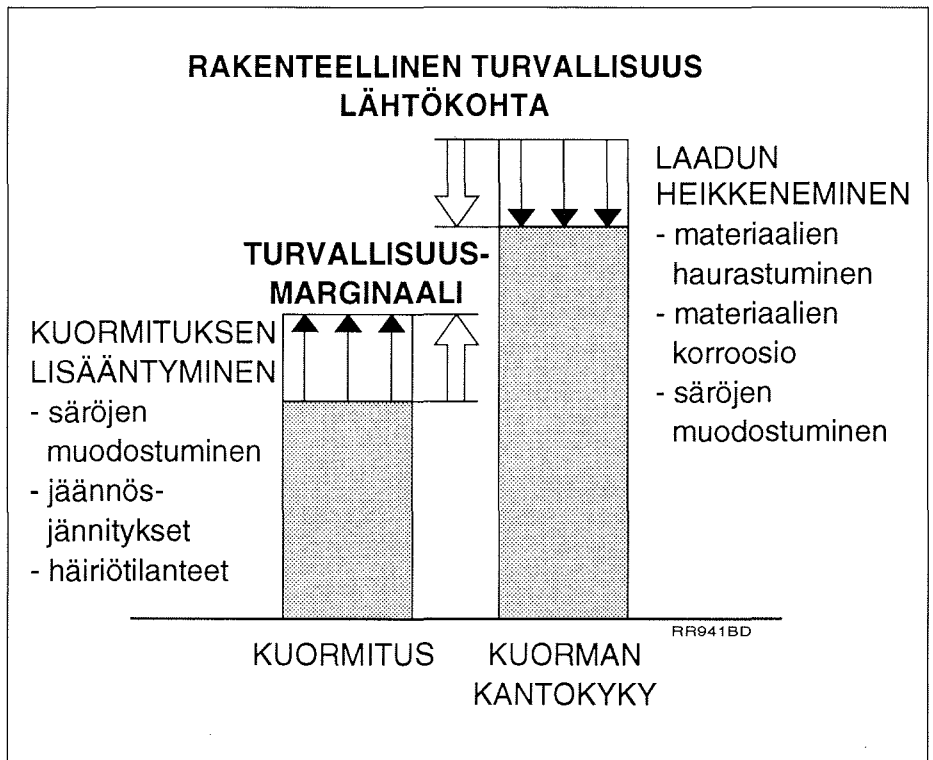
Käyttöikää rajoittavat tekijät

Komponenttien käyttöikää rajoittavat tekijät, jotka pienentävät komponenttien kykyä kantaa kuormaa käyttöolosuhteissa tai sellaisissa poikkeustilanteissa, joiden esiintymistodennäköisyys katsotaan suureksi. Yksittäisen komponentin kohdalla voidaan riittävä turvallisuusmarginaali ylläpitää oikein ajoitetulla huolto-, korjaus- ja vaihtotoiminnalla. Tästä syystä rajoituksen laitoksen käyttöiälle muodostavat komponentit, joiden vaihtaminen on teknisesti hyvin vaikeaa ja erittäin kallista. Tällaisia ovat esim. reaktoripaineastian sisäosineen, pääsulkuventtiilit, kiertovesipumput, suojakuori ja höyrytimet. Viimeisimmässä PLEX konferenssissa syksyllä 1993 esitettiin, että jopa reaktoripaineastian vaihto on mahdollista ja kustannukset olisivat luokkaa 50–80 Milj. US\$. Vertailun vuoksi mainittakoon, että jo rutiiniksi muodostunut höyrytimien vaihto maksaa 50–300 Milj. US\$. Näin ollen voidaan sanoa, että mikään yksittäinen laite tai komponentti ei viime kädessä määritä laitoksen lopullista käyttöikää, vaan pitkälti se on kiinni siitä, kuinka suuret ovat käyttöiän jatkamisen kokonaiskustannukset saatuaan lisätuloon nähden. Yleisesti tällä hetkellä on vielä vallalla käsitys, että reaktoripaineastian tekninen käyttöikä on myös laitoksen pisin mahdollinen taloudellinen elinikä.

Tyypillisimmät materiaalien vanhenemisilmiöt ja kohteet LWR-laitoksissa

Kaikkien materiaalien ominaisuudet muuttuvat käytön aikana. Ydinvoimalaitosmateriaalien vanheneminen sisältää lähes kaikkia vanhenemisilmiötä, joita ovat

- säteilyhaurastuminen



- terminen vanheneminen
- väsyminen
- ympäristön aiheuttamat murtumisilmiöt kuten korroosioväsyminen, jännityskorroosio, rearajakorroosio, eroosio-korroosio
- kuluminen

Materiaaleista riippuen kuormitukset ja ympäristörasitukset aiheuttavat muutoksia materiaaliominaisuuksissa, kuten

- sitkeyden alentumista (haurastumista)
- säröjen muodostumista
- säröjen kasvunopeuden kiihtymistä
- seinämän ohentumista
- pistesyöpymistä

Tyypillisiä esimerkkejä edellä mainituista vanhenemisilmiöistä laitosten komponenteissa on esitetty oheisessa kuvassa, josta nähdään, että useimmissa komponenteissa vaikuttaa samanaikaisesti enemmän kuin yksi vanhenemismekanismi. Lisäksi ympäristön ja mekaanisten kuormitusten yhteisvaikutus on kiihdyttävä tekijä useissa komponenteissa.

Parannuksia materiaalien testausmenetelmien luotettavuuteen

Luotettavat materiaaliominaisuuksien määrittämismenetelmät ovat erityisen tärkeitä

Kuva 2. Komponentin rakenteellisen turvallisuuden taattu, kun komponentin kuormankantokykyyn ja komponenttiin kohdistuvien kuormitusten väliin jää riittävä turvallisuusmarginaali kaikissa käyttötilanteissa koko suunnitellun käyttöiän ja mahdollisen jatkettavan käyttöiän ajan.

ydinvoimalaitoskomponenttien teknisen käyttöiän määrittämisessä. Sekä determinististen että todennäköisyyspohjaisten analyysien luotettavuus on suoraan riippuvainen käytettyjen lähtöarvojen oikeellisuudesta. Luotettava analyysi asettaa suuria vaatimuksia sekä mekaaniselle testausmenetelmälle että koetulosten soveltamiselle erityisesti tilastolliselta kannalta. Hyvä esimerkki testausmenetelmien luotettavuuden kehittämistarpeesta on vuosina 1988–1990 toteutetut yhteispohjoismaiset murtumismekaanisen testauksen vertailuohjelmat. Ohjelmien tulokset osoittivat, että testauksen suorituksesta johtuva hajonta oli lähes kaksinkertainen verrattuna materiaaliominaisuuksista johtuvaan hajontaan, vaikka kaikki osallistujat (7 testauslaboratoriota) käyttivät samaa standardia.

Erityisenä ongelma-alueena on säteilytettyjen materiaalien ominaisuuksien luotet-

| KOMONENTIT | MATERIAALI | VANHENEMISMEKANISMIT | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------------|-----------------------|-----------|---|--------------------|-------------------|------------------|-----------|----------------|------------------|-----------|
| | | Säteily | Terminen vanheneminen | Viruminen | Väsyminen HCF LCF Terminen väsyminen | Korroosioväsyminen | Jännityskorroosio | Raerajakorroosio | Korroosio | Pistekorroosio | Eroosiokorroosio | Kuluminen |
| 1. Reaktori | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 Reaktoripaineastia | | | | | | | | | | | | |
| 1.1.1 Paineastia | ferritiittinen hienoteräs austeniittinen pinnoite | == | — | | == | == | | | — | | | |
| 1.1.2 Sisäosat | | | | | | | | | | | | |
| 1.1.2.1 Ristikko- ja tukirakenteet | austeniittinen teräs | — | | | — | — | | — | | | | |
| 1.1.2.2 Pultit | austeniittinen teräs Ni-Cr-seos | — | | | — | — | | | | | | |
| 2. Höyrystin | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Paineastia | ferritiittinen hienoraeteräs | | | | — | — | | — | | — | | |
| 2.2 Putket | Inconel 690 Incoloy 800 | | | | — | — | | — | — | — | | — |
| 2.3 Päätylevyt | austeniittinen teräs ferritiittinen teräs | | | | — | — | | — | — | — | | |
| 3. Höyry- ja vesi- putkistot, paine- astiat, venttiilit | austeniittinen teräs ferritiittinen teräs austeniittinen pinnoite ferritiittinen teräs | | — | | — | — | | — | — | — | | |
| 4. Pääkiertopumppu | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 Runko | | | | | — | — | | — | | | | |
| 4.2 Akseli Juoksupyörä | seosteräs | | | | — | — | | — | | | | |
| 5. Turbiini | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 Runko | valuteräs | | | | | | | | — | | — | |
| 5.2 Siivekkeet | seosteräs | | | | — | — | | — | | | — | — |
| 5.3 Akseli | seosteräs | | | | — | — | | — | | | — | — |
| 6. Lauhdutinputket | austeniittinen teräs messinki titaani | | | | — | — | | — | — | — | — | |

Kuva 3.
Tyypillisimmät materiaalien vanhenemisilmiöt paine-
nevesi- ja kiehumusvesilaitosten keskeisissä kompo-
nenteissa.

tava arviointi. Yleisesti säteilyseuranta-ohjelmissa käytetään pieniä koesauvoja, joiden ominaisuuksien mittausta sinänsä ja tulosten korrelaatio todellisten komponenttien tapauksessa edellyttää laajaa tutkimusta. Ydinvoimalaitoskomponenteissa olevat viat ovat todennäköisesti matalia pintasäröjä. Useimmat materiaaliominaisuudet määritetään laboratorioissa kuitenkin syviä säröjä omaavilla koesauvoilla. Matalan särön tapausta ei voida kuitenkaan suoraan kuvata syvälle särölle mitattujen materiaaliominaisuuksien pohjalta. Särön syvyyden vaikutusta murtumisitkeyteen tutkitaan tällä hetkellä sekä kokeellisesti että laskennallisesti, jotta mataliin säröihin perustuvaa lähestymistapaa voitaisi soveltaa luotettavasti.

Voidaanko toivutushehkuksella pidentää paineastian teknistä käyttöikää

Toivutushehkuksella on eräs keino palauttaa säteilyn madaltama reaktoripaineastian alkuperäinen sitkeytaso. Kuitenkin on olemassa koetuloksia, jotka osoittavat paineestiamateriaalin haurastumisherkkyden joko pienentyvän tai kasvavan toivutushehkuksikäsitelystä. Säteilyhaurastuminen ja toivutushehkuksessa tapahtuva elpyminen ovat diffuusion kontrolloimia prosesseja, on mekanismien tarkka tunteminen välttämätöntä reaktoripaineastian turvallisuusmarginaalin pysyvyyttä ja siten käyttöikää pidennettäessä. Hyvä esimerkki siitä, että toivutushehkuksen kaikkia vaikutuksia ei vielä tunneta, on se, että mm. Novovoronezh 3 on jo jouduttu hehkuuttamaan kahdesti.

Toivutushehkuksen suorituksen liittyen on selvittävää mm. austeniittiseen pinnoitteeseen liittyvät muutokset ja perusaineen raerajahaurastumisherkkyden mahdollinen lisääntyminen toivutushehkuksista seuranneen säteilyn aikana.

Ympäristön aiheuttamat materiaalivauriot kuriin

Reaktorivesi kiihdyttää mekaanisten ja termisten kuormitusten vaikutuksesta muodostuvien vikojen ydintymistä ja kasvua. Alttiita ympäristövaikutuksille ovat mm. ruostumattomista materiaaleista valmistetut putkistot ja reaktorin sisäosat. Kyseisten ilmiöiden mekanismeja ei vielä ymmärretä yksikäsitteisesti, eikä särönkasvunopeuksia tunneta luotettavasti. Laitosten vanhetessa tulee esiin uusia ennakoimattomia ilmiöitä, joista esimerkkinä on säteilyn aiheuttama jännityskorroosio (IASCC) reaktorin si-

säosien materiaaleissa. Korkean palaman polttoaineen käyttöä tulee ensisijaisesti rajoittamaan polttoaineen suojakuorimateriaalien lisääntyvä korroosio.

Rakennemateriaalien ja vesikemian välisiä vuorovaikutuksia selvittämällä ja parantamalla ympäristöstä johtuvien murtumisoluiden mekanismien kuvauksia lisätään vaurioiden estämisen mahdollisuuksia ja antaa potentiaalia käyttöiän pidentämiselle.

Parannuksia NDT -menetelmien luotettavuuteen

Ydinvoimalaitosten käyttöseisokin aikana olisi kyettävä löytämään viat rakenteista ja määrittävä niiden koko sellaisella tarkkuudella, mikä mahdollistaisi laitteiden käyttöturvallisuuden arvioinnin. Korjaustoimenpiteistä joudutaan usein päättämään aineettariikkomattomien tarkastus eli NDE (nondestructive examination) -tulosten pohjalta. Päätösten helpottamiseksi olisi NDE-menetelmien tarkkuus ydinvoimalaitosolosuhteissa tunnettava ja luotettavuutta parannettava.

Vuoden 1994 alussa päättyneen kansainvälisen PISC-projektin tulokset ovat osoittaneet, että koko NDE-järjestelmä vaatii pätevoimisjärjestelmää, jotta riittävä luotettavuustaso voidaan saavuttaa.

Varmennusta komponenttien kuormitusten arviointiin

Tärkeimmät ydinvoimalaitosten rakenteellisen turvallisuuden vaikuttavat tekijät muotoutuvat suunnitteluvaiheessa, kun valitaan rakenneratkaisu ja -materiaalit sekä tehdään lujuustekninen mitoitus. Valmistuksen huolellisuus ja laadunvalvonta vaikuttavat myös rakenteelliseen turvallisuuteen. Lähinnä teknisen käyttöiän määrittästä sekä mahdollista rakenteiden uusimista ja konstruktio muutoksia varten käytetään konstruktivisia laskentavalmiuksia. Oleellista kuormitustenmäärittelyssä on, että kaikki reunaehdot analyyseissä huomioidaan mahdollisimman realistisinä. Usein tämä ei ole mahdollista johtuen niiden mallintamisen vaikeudesta ja toisaalta puhtaasti tiedon puutteesta. Tästä syystä usein on tarvetta mitata rasitukset suoraan komponenteista. Tyypillisiä tällaisia kohteita ovat esim putkiston osat, joita tapahtuu erilämpöisten vesien kerrostumista ja sekoittumista. Nämä kuormitukset aiheuttavat vaikeasti ennustettavia väsymisvaurioita.

Kansainvälinen yhteistyö

Kansainväliset organisaatiot kuten OECD Nuclear Energy Agency (NEA), International Atomic Energy Agency (IAEA) ja Commission of the European Communities (CEC) ovat perustaneet tämän vuosikymmenen alussa kukin omat asiantuntijatyöryhmänsä käyttöikään liittyviä kysymyksiä varten. NEA:n työryhmä International Expert Group on Plant Life Management (PLIM) keskittyy kysymyksiin lähinnä taloudellisista näkökulmista, kun taas IAEA:n työryhmä International Working Group on Life Management of NPP components (IWGLMNP) puhtaasti turvallisuuden näkökulmasta. Oleellista kummankin työryhmien esittämille periaatteille käyttöiän hallinnan toimintamalleiksi on keskittyä taloudelliseen tarkasteluun. Pohjana tälle esitetään, että keskeisten komponenttien turvallisuuden ja käyttövarmuuden varmistaminen vähintään käyttöseisokkien väliseksi ajaksi on puhtaasti taloudelliseen analyysiin perustuva ratkaisu.

Euroopan yhteisön direktoraatin DGXI Environment, Nuclear Safety, Civil Protection alaisuudessa toimii useita työryhmiä, joissa tarkastellaan käyttöön ja turvallisuuteen liittyviä kysymyksiä. Euroopan yhteisön myötävaikutuksella ja koordinoimana on käynnistetty kolme yhteistoimintaverkostoa (network), jotka suurelta osin liittyvät käyttöikään liittyviin kysymyksiin. Nämä yhteistoimintaverkostot ovat: NES - Network for Evaluating Steel Components (teräskomponenttien eheys ja kestävyys), ENIQ - European Network for Inspection Qualification (NDE-menetelmien luotettavuus) ja AMES - European Action Group on Materials Ageing Effects and Studies (materiaalien vanheneminen).

Suomella on kaikissa edellä mainituissa työryhmissä edustaja joko virallisena tai tarkkailijajäsenenä.

Tkt Rauno Rintamaa työskentelee johdava tutkijana VTT valmistustekniikan osastolla, p. 90-456 6879.

DI Pertti Aaltonen on VTT:n Valmistustekniikan osaston erikoistutkija, p. 90-456 6864.

NUCLEAR PLANT LIFE MANAGEMENT - THE VIEW FROM FRANCE

The importance of the Pressurized Water Reactor (PWR) nuclear plants in the whole of the electrical production facilities of EDF (more than 78 %) is a good reason why a special effort is devoted to assessing their life duration.

Plant life management strategies must include technical, economic and safety aspects and also the operational conditions.

Strategies adopted must allow for changes to various type of environment:

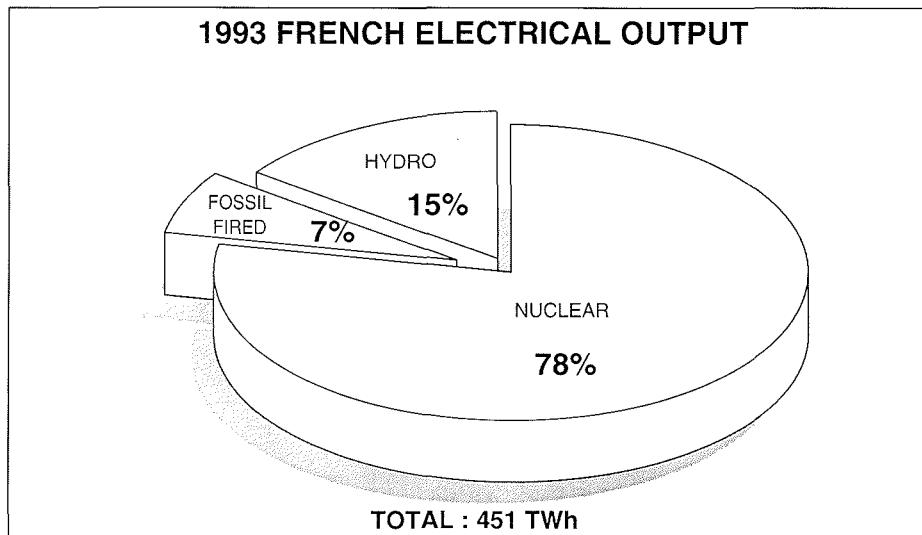
- public feeling towards the nuclear industry in 2010-2020,
- the long term configuration of industry and the timelessness of knowledge,
- the attitude of governmental organizations throughout the world.

A study program - the EDF's Lifetime Project - takes all of these aspects into consideration.

Raymond Godin, as Maintenance Adviser, is currently managing the Plant Life Extension Program for the Nuclear Power Plant Operation of Electricité de France. He has been active in the nuclear power plant industry since 1974 and has gathered wide and varied experience in this field.

During his tenure at Electricité de France in France, where he spent the 31 years of his career, he was involved in fossil-fired plant operation, nuclear plant maintenance and other related fields. He headed several departments of Electricité de France, in particular as Deputy Manager of the Central Technical Support Group, Maintenance Department Manager and Manager of the Overseas Support Services Department.

Mr Godin has had extensive formal training and education in mechanical, electrical and nuclear engineering, and holds a "Diplôme d'Ingénieur" from the "Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers", Paris, France, a "Diplôme d'Ingénieur" from the "Ecole Spéciale des Travaux Aéronautiques" Paris, France. He received his nuclear training from the "Institut des Sciences et Techniques Nucléaires", Saclay, France.



INTRODUCTION

Installed power in standardized PWR exceeds 57 000 MW.

The most striking characteristics of this group of units, which ensures its service in excellent conditions of availability (more than 80 % en 1993) are youth and homogeneity: youth, as the average age of the units in operation is less than 12 years for the 900 MW units and 6 years for the 1300 MW units; homogeneity, as all of these units comprise only two types of nuclear island and three types of turbine hall.

Hence, their renewal probably does not call for immediate decisions to be taken. However, when the time comes, the range of possible solutions may be restricted by choices which have been taken (or not) to date.

It is therefore important to focus right now on the possible lifetime of NPP'S, on the way in which this lifetime is managed and on the potential impact on it of the decisions taken today.

PWR units must provide competitive production while there is a rise in the maintenance expenditure needed to content with the effects of ageing and the evolution or changes in safety requirements. The problem of extending the life beyond and anticipated minimum can have a clear meaning only in the framework of research for an economical optimum that corresponds to the minimal cost of the kWh.

French legislation, which does not determine a service life in advance (unlike the US license) will probably enable some units to be operated longer than others. This dispersion will have beneficial effects: it will allow our PWR 57 000 MW generating capacity, commissioned in about fifteen years, to be decommissioned over a much longer period. The technical and financial effort corresponding to the replacement program will be easier.

A systematic study program was set up at EDF in 1986 under the name of "Lifetime Project".

TECHNICAL ASPECT

The behaviour analyses undertaken on the materials in order to comply with regulations (such as the decree of 26 February 1974 as well as with such standards as the ASME code and the RCC-M code) explicitly aims at preventing all the mechanical damage that may threaten the structures for a period of 40 years. These analyses are carried out from a detailed forecast of operating situations in which the devices may be placed during that period, and the owner-operator checks their validity continuously.

As a result, ageing indicators are available at any time; they permit long-term behaviour forecasts that are much more accurate than for previous generation materials.

PWR UNITS CONNECTED TO THE GRID (JANUARY 1994)

| 900 MW | NUMBER OF UNITS | 1 300 MW |
|--------|--|----------|
| 34 | NUMBER OF UNITS | 20 |
| 415 | ACQUIRED EXPERIENCE (REACTOR-YEARS) | 120 |
| 12 | AVERAGE REACTOR AGE (YEARS) | 6 |
| 30 770 | INSTALLED POWER (MW) | 26 370 |
| 2 184 | CUMULATIVE NET OUTPUT SINCE COMMISSIONING (TWh) | 838 |

Within the Lifetime-Project scope, some components were identified as "critical" in terms of the difficulty or cost of their replacement or of the extend of the repair actions which could prove necessary. (17 components are concerned: reactor vessel, main primary system pipes, steam generators, primary pumps casings, pressurizer, auxiliary pipes, control rod drive mechanisms, vessel internals, containment, reactor pit, anchors, turbine, generator, I & C, electrical cables, cooling towers and polar crane).

For each studies were made allowing for all available elements (design rules - manufacturing and operating experience feedback, results of complementary research actions) in order to assess their lifetime potential.

Of course, major causes of damage to components constituted by mechanical fatigue, ageing of materials, corrosion or erosion, etc.... are also taken into consideration.

Overall it appears that, subject to appropriate equipment operating, surveillance and maintenance conditions, the 900 and 1300 MW units should be able to ensure the expected service for a period probably exceeding 40 years.

EXPERT ASSESSMENT PROGRAMS

When NPP's are permanently retired, their expert assessment may help provide greater understanding of the ageing-related degradation mechanisms and the actual damage level (confirmation of hypothesis arising from R & D, validation of NDT by destructive examinations, validation of codes....).

Two large-scale programs have been started in France:

- on a steam generator removed from DAMPIERRE 1. Samples have been taken and expert assessments are in progress,
- at the CHOOZ A plant (300 MW-PWR) shut down on October 1991 after 24 years of service.

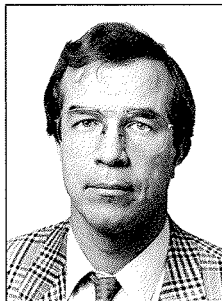
One program was defined in 1992. It covers the vessel (10 trough all samples), the primary system (bi-metallic liaisons - austenoferritic cast steel - inconel zones), internals, electrical cables, civil works, etc.... Expert assessments will go ahead until end 1994. →

900 MW PWR: 34 UNITS IN TEN YEARS

| | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| FESSENHEIM | ▲▲ | | | | | | | | | | |
| BUGEY | | ▲▲ | ▲▲ | | | | | | | | |
| TRICASTIN | | | | ▲▲ | ▲▲ | | | | | | |
| DAMPIERRE | | | | ▲▲ | ▲▲ | | | | | | |
| GRAVELINES | | | | ▲▲ | ▲ | | | ▲ | ▲ | | |
| SAINT-LAURENT | | | | | ▲▲ | | | | | | |
| BLAYAIS | | | | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | | | |
| CHINON | | | | | | ▲ | ▲ | | | ▲ | ▲ |
| CRUAS | | | | | | | ▲ | ▲ | ▲ | | |

1 300 MW PWR: 20 UNITS IN TEN YEARS

| | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| PALUEL | ▲▲ | ▲ | ▲ | | | | | | | |
| SAINT-ALBAN | | ▲ | ▲ | | | | | | | |
| FLAMANVILLE | | ▲ | ▲ | | | | | | | |
| CATTENOM | | | ▲ | ▲ | | | ▲ | ▲ | | |
| BELLEVILLE | | | | ▲ | ▲ | | | | | |
| NOGENT | | | | ▲ | ▲ | | | | | |
| PENLY | | | | | | | ▲ | | ▲ | |
| GOLFECH | | | | | | | ▲ | | | ▲ |



Ralf Ahlstrand

SAFETY ASPECT

Statement of the Safety Problem:

- the ageing of the components or materials would affect the performance of the systems important for safety. Through a surveillance, preventive and predictive maintenance policy the utilities manage the available margins. It is also important to have a very good approach for the "exceptional" maintenance (heavy-duty operations);
- the reference Frame of the safety requirements may change for different reasons:
 - experience feedback from events occurring and bringing to light certain specific potential risks,
 - new knowledge arising from studies (PRA, etc....).

Periodic Safety Reassessment

"Periodic Safety Reassessment" takes place about once in 10 years. This approach must enable EDF to control the whole plant justification process on a long-term basis. The Plant Life Project takes also those safety aspects into consideration. It is also very important to analyze the evolution of the international context and the safety requirements applicable to the future reactors.

The "Periodic Safety Reassessment" approach is a favourable context for controlling these changes.

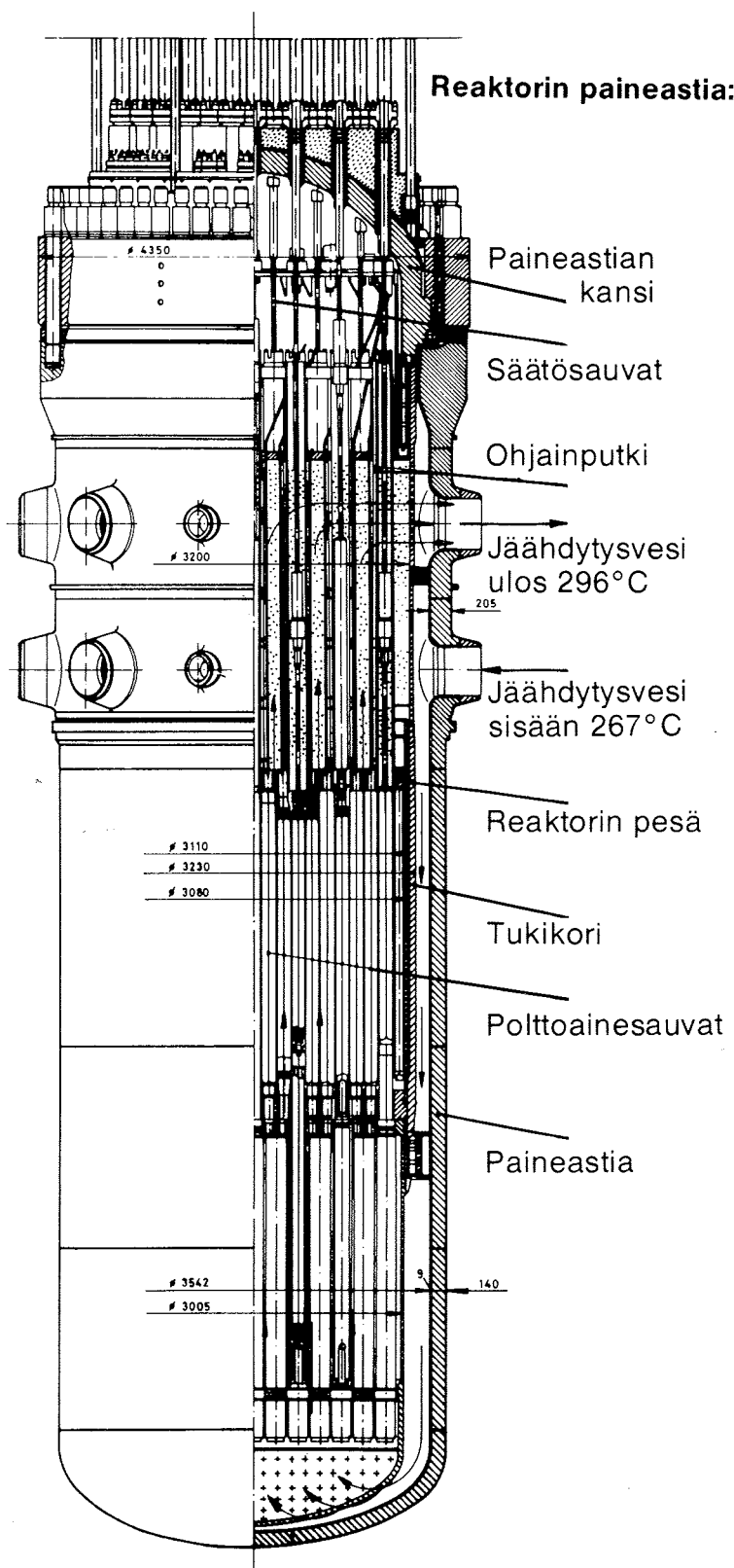
CONCLUSION

The consequences of keeping an "old" unit in operation are:

- the "routine" maintenance expenditures rise, "exceptional" maintenance expenditures are necessary,
- on the other hand, the utility may postpone the investment of the replacement generating unit.

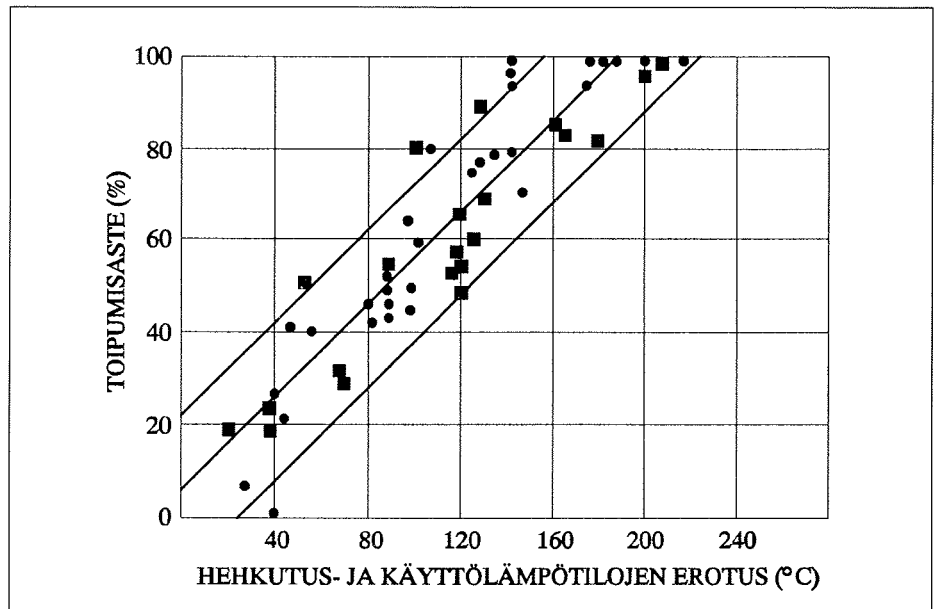
With a high level of safety - all the time - the decision to decommission a plant must be taken when the expenditure arising from continued operation becomes greater than the value of the services it renders.

Given the uncertainty on future expenditure, the operation would have to show a clear profit to justify keeping the unit in service.



LOVIISAN REAKTORIPAINASTIAN HAURASTUMINEN JA SEN HALLINTA

Loviisan ja muiden VVER-440 tyyppisten ydinvoimalaitosten RPA:n säteilyhaurastuminen on ollut kiusallinen ongelma. Ongelman hallitsemiseen ja ratkaisemiseen on kehitetty erilaisia menestyksellisiä osoittautuneita ratkaisuja. RPA:n lämpökäsittely on osoittautunut erittäin tehokkaaksi toimenpiteeksi, jonka avulla haurastumisongelma on mahdollista poistaa kokonaan. Loviisa 1 yksikölle reaktoripaineastian lämpökäsittely on suunniteltu suoritettavaksi vuonna 1996.



Uraaniytimen haljetessa reaktorin sydämessä vapautuu keskimäärin 2-3 neutronia. Neutronin törmätessä RPA:n (reaktoripaineastian) seinämän metalliatomiin voi suuri määrä metalliatomeja siirtyä paikaltaan jättäen tyhjän tilan jälkeensä. Tämä seinämässä tapahtuva atomien liike mahdollistaa materiaalia lujittavien hilavikojen, erkaumien sekä raerajoja haurastavien suotaumien muodostumisen. Tämän seurauksena teräs haurastuu. Säteilyhaurastumisen mekanismeista ei ole toistaiseksi yksikäsitteistä tulkintaa, koska neutronisäteilyn aiheuttamat hilavirheet ovat hyvin pieniä.

Säteilyhaurastumista voidaan kuitenkin mitata erilaisilla mekaanisilla materiaalikokeilla. Haurastumista käytön aikana seurataan RPA:n seurantaohjelman avulla. Seurantaohjelmaan kuuluu RPA-materiaalista valmistettujen koesauvojen säteilytys reaktorissa sekä niiden poistaminen ja testaaminen määräväleihin. Seurantaohjelman koesauvat säteilytetään lähempänä reaktorin sydäntä kuin RPA:n seinämä. Näin ollen ne antavat etukäteistietoa RPA-materiaalin haurastumisesta seinämän kohdalla.

Loviisan RPA:n seurantaohjelma

VVER-440 RPA:n halkaisija on kuljetusteknisistä syistä suunniteltu pieneksi. Suunnittelun lähtökohdaksi on ollut kuljetettavuus rautateitse entisen Neuvostoliiton alueella. Pienestä RPA:n halkaisijasta johtuen

vesitila reaktorin sydämen ja RPA:n seinämän välillä jää kapeaksi. Näin ollen neutronien vaimenemiselle jää suhteellisen vähäinen tila. RPA:n seinämään kohdistuva neutronivuo on tästä johtuen suurempi kuin vastaavissa länsimaisissa reaktoreissa yleensä.

Edellä mainitusta syystä johtuen Loviisan RPA:lle suunniteltiin erityisen laaja ja kattava seurantaohjelma. Ensimmäinen VVER-440 laitoksen seurantaohjelma suunniteltiin ja otettiin käyttöön Loviisassa. Itä-Euroopan VVER-440 laitoksissa ei ollut tuolloin seurantaohjelmaa lainkaan. Näissä seurantaohjelma otettiin käyttöön vasta myöhemmin.

Loviisan RPA:n seurantaohjelmaan kuuluu yhteensä vajaat 1000 koesauvaa. Suurin osa koesauvoista säteilytetään reaktorissa pienissä säiliöissä. Osa koesauvoista testataan ilman säteilytystä materiaalin referenssi- eli säteilyttämättömän tilan määrittämiseksi. Loviisan seurantaohjelman säteilytettävät koesauvat on jaettu 6:een ryhmään. Säteilytetyt, aktivoituneet koesauvat poistetaan määräväleihin ja testataan säteilyltä suojaavassa ns. kuumalaboratoriossa. Loviisan seurantaohjelmaan kuuluvat vetosauvat, Charpy-V iskukoesauvat sekä COD-sauvat (Crack Opening Displacement). Vetosauvoilla mitataan materiaalin myötöraja ja sen muuttumista säteilyn vaikutuksesta. Charpy-V kokeella mitataan materiaalin haurastumista instrumentoidussa iskukokeessa. COD-sauvoilla mi-

tataan materiaalin murtumissitkeys (K_{IC}) ja sen muuttumista säteilyn vaikutuksesta. Kahta ensin mainittua koetta käytetään yleensä reaktorien seurantaohjelmissa. Myöskin seurantaohjelmien standardit vaativat yleensä kyseisten kokeiden käyttöä. COD-koe, sen sijaan, on hyvin vaativa koe, joka antaa suoraan kvantitatiivisia tuloksia materiaalin murtumissitkeydestä. Koetuloksia voidaan soveltaa suoraan, ilman korrelaatioita, RPA:n lujuusanalyseissä. Tätä koetta ei edellytetä eikä yleensä käytetä länsimaisissa seurantaohjelmissa. Olenaisena osana seurantaohjelmaa ovat myöskin neutronidosimetrit ja lämpötila-anturit. Niiden avulla määritetään koesauvojen neutroniannos sekä varmistetaan säteilytyslämpötila.

Loviisan seurantaohjelman tuloksia

Ensimmäinen seurantaohjelmanäyte-erä poistettiin Loviisa 1:n RPA:sta vuonna 1978, yhden käyttöjakson jälkeen. Koesauvat testattiin vasta 1980, kun VTT:n kuumalaboratorio oli valmistunut. Tulokset olivat yllättäviä. Ne osoittivat, että teräksen, erityisesti hitsisauman, haurastuminen oli nopeampaa kuin suunnittelutietojen perusteella oli odotettu. Myöskin laitoksen toimittaja oli yllättynyt IVO:n tuloksista. Laitoksen pääsuunnittelijan käsitys RPA-materiaalin haurastumisesta seurustui pääasiassa tutkimusreaktoreissa säteilytettyjen koesauvojen testituloksiin. On ilmeistä, että säteilytysolosuhteet ovat syynä tulosten erilaisuuteen. Tutkimusreaktoreissa säteilytysläm-

pötilan hallinta on hankalaa – säteilyn takia – säteily saattaa nostaa koesauvojen lämpötilaa. Säteilystettäessä koesauvoja korkeammassa lämpötilassa materiaalin haurastuminen hidastuu. Tämä johtuu siitä, että materiaali toipuu itsestään, atomien liikkumisen helpottuessa. Näin ollen syntyneitä materiaalin hilavirheitä korjaantuu tavallaan itsestään. Toisaalta tulosten erilaisuus saattaa myöskin johtua siitä, että neuvostoliittolaisissa tutkimuksissa on käytetty puhtaampia materiaali-eriä kuin normaalissa RPA valmistuksessa valmistajatehtaalla. Teräksen haurastuminen on riippuvainen teräksessä olevista epäpuhtauksista. Erityisesti kupari ja fosfori on havaittu haitallisiksi säteilyhaurastumisen kannalta.

Loviisa 2 reaktori käynnistettiin 1980, eli samana vuonna kuin em Loviisa 1:n yllättävät tutkimustulokset valmistuivat. Ensimmäinen Loviisa 2:n RPA:n seuranta-näyte-erä poistettiin ja tutkittiin yhden käyttöjakson jälkeen vuonna 1981. Myöskin näissä kokeissa todettiin odotettua nopeampaa haurastumista. Haurastuminen oli kuitenkin hitaampaa kuin Loviisa 1:llä koska Loviisa 2:n sydänalueen RPA-teräs on puhtaampi kuin Loviisa 1:n.

VVER-440 laitoksen RPA:n perusaineen haurastuminen ei ole ongelma, koska perusaineen epäpuhtauspitoisuus on alhainen. Lisäksi perusaine on erittäin sitkeä ennen säteilytystä. Sen sijaan hitsin haurastuminen on ollut ongelmallista, johtuen sekä suhteellisen huonosta lähtötilasta, että odotettua nopeammasta säteilyhaurastumisesta. Hitsissä on yleensä suuremmat epäpuhtauspitoisuudet kuin perusaineessa. VVER-440 laitoksen RPA:n sydänalueella on vain yksi hitsisauma, joka on sydänalueen alareunassa, jossa neutronivuon on pienempi kuin keskellä sydänaluetta. Tämä hitsi on lisäksi kehän suuntainen, joten paineesta johtuvat, hitsiin kohdistuvat rasitukset ovat suhteellisen pienet.

Säteilyhaurastumisen hallinta

Haurastuneen RPA:n käyttö normaaliolosuhteissa ei ole ongelma, koska RPA on kuuma ja materiaali sitkeää. Sen sijaan häiriö- tai onnettomuustilanteissa, jonka yhteydessä reaktorin hätäjähdytysjärjestelmä käynnistyy ja RPA jäähtyy, haurastuneen materiaalin käyttäytyminen saattaa olla ongelmallista, jos rakenteessa on säröjä. Ensimmäisten seurantaohjelman tulosten perusteella päätettiin välittömästi

toimenpiteistä, jolla RPA:n turvallinen käyttö voidaan taata mahdollisimman pitkälle ajanjaksolle. Tärkein toimenpide oli sydämen pienentäminen Loviisa 1:llä vuonna 1980. Tuolloin poistettiin reunimaiset polttoaine-elementit reaktorin sydäimestä. Ne korvattiin suoja- eli ”dummy”-elementeillä. Reaktorin suunnittelu mahdollisti muutokset niin, että alkuperäinen reaktoriteho voitiin säilyttää. Tämän toimenpiteen seurauksena annosnopeus pieneni noin 6:een osaan pahiten haurastuneessa RPA:n kehäsuunnassa. Materiaalin haurastuminen hidastui luonnollisesti myöskin huomattavasti. Sama toimenpide toteutettiin Loviisa 2:lla vuonna 1981. Muilla VVER-440 laitoksilla sydämen pienennys on toteutettu vasta myöhemmin vuosina. Niissä länsimaisissa laitoksissa, jossa RPA:n säteilyhaurastuminen on ollut ongelmallista, annosnopeutta RPA:n seinämässä on pienennetty siirtämällä käytettyjä polttoaine-elementtejä sydämen reunalle (ns. vähävuotoinen sydän).

Loviisa 1:llä (ja osittain Loviisa 2:lla) on lisäksi tehty muutoksia, joilla on pehmenetty paineastiaan kohdistuvaa lämpörasitusta mahdollisen jäähtymis-tensientin aikana ja pienennetty transienttien aiheuttamaa paineastian murtumis-riskiä. Tärkeimmät muutokset ovat seuraavat:

- Rengastilaan syöttävien hätäjähdydytysakkujen veden lämpötila nostettiin arvoon 100°C.
- Hätäjähdytysveden lämpötila nostettiin arvoon 55°C.
- Korkeapaineisten hätäjähdytyspumppujen nostokorkeutta alennettiin.
- Korkeapaineisten hätäjähdytysveden syöttöä pienennettiin.
- Paineistimen ulospuhallusventtiilin kapasiteettia suurennettiin.

Edelleen kummankin laitoksen RPA on tarkastettu useita kertoja ultraääni- ja pyörvirtamenetelmillä sekä TV-kameralla. Ultraäänitarkastuksia on tehty sekä RPA:n sisä- että ulkopuolelta. Tarkastuksia on tehty huomattavasti laajempina kuin alkuperäinen määräaikaistarkastusohjelma sekä kansainväliset standardit olisivat edellyttäneet. Erityisesti on keskitytty pinnoitteen sekä pinnoitteen alaisen vyöhykkeen tarkastukseen. Tehtyjen tarkastusten perusteella voidaan olla varmoja siitä, että RPA:n kriittisillä alueilla ei ole säröjä.

Säteilyhaurastumisen hallintaan liittyvät olennaisena osana RPA:n lujuusanalyysit. Lujuusanalyysien sekä murtumismeka-

niikan avulla voidaan arvioida RPA:n käyttäytymistä normaalissa käyttötilanteessa, painekokeessa sekä häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Analyysissä käytetään hyväksi RPA:n seurantaohjelmassa määritettyjä materiaalin murtumissitkeysarvoja eri lämpötiloissa (K1c). Analyysien tuloksina voidaan esimerkiksi määrittää kriittinen särökoko RPA:lle käyttöajan, eli neutroniannoksen, funktiona. Edelleen voidaan määrittää turvallinen käyttöikä RPA:lle olettamalla erikokoisia hypoteettisia vikoja paineastian kriittisiin kohtiin. Vikojen koko voidaan konservatiivisesti arvioida määräaikaistarkastuksessa arvioidun vikojen havaitsemistodennäköisyyden perusteella. Lisäksi RPA:n ehdollinen murtumistodennäköisyys voidaan määrittää todennäköisyyspohjaisen murtumisanalyysin perusteella.

RPA:n lämpökäsittely

RPA:n säteilyhaurastuminen on reversiibeli tapahtuma; materiaalin sitkeys-ominaisuudet voidaan palauttaa alkuperäiseen tilaansa lämpökäsittelyn avulla. Hehkuettaessa RPA-terästä noin 200°C käyttölämpötilaa korkeammassa lämpötilassa materiaali toipuu täydellisesti kuten kuvasta 2 käy ilmi. Toipumismekanismia ei tunneta vielä täydellisesti, kuten ei myöskään itse säteilyhaurastumismekanismiakaan. Eri-laisia malleja on kuitenkin kehitetty ilmiön selittämiseksi. On ilmeistä, että säteilyn aiheuttamat kuparierkaumat kasvavat, muuttuen samalla koherenteiksi. Samalla vakanssit ja muut hilavirheet annihiloituvat ja korjaantuvat.

Tärkeintä on kuitenkin, että materiaalin mekaaniset ominaisuudet, erityisesti teräksen sitkeys, palautuvat alkuperäiseen tilaansa. Tämä on todettu lukuisissa mekaanisissa kokeissa. Meillä on myöskin tehty omakohtaisia tutkimuksia joissa, esitettyä toipumisilmiötä on voitu vahvistaa.

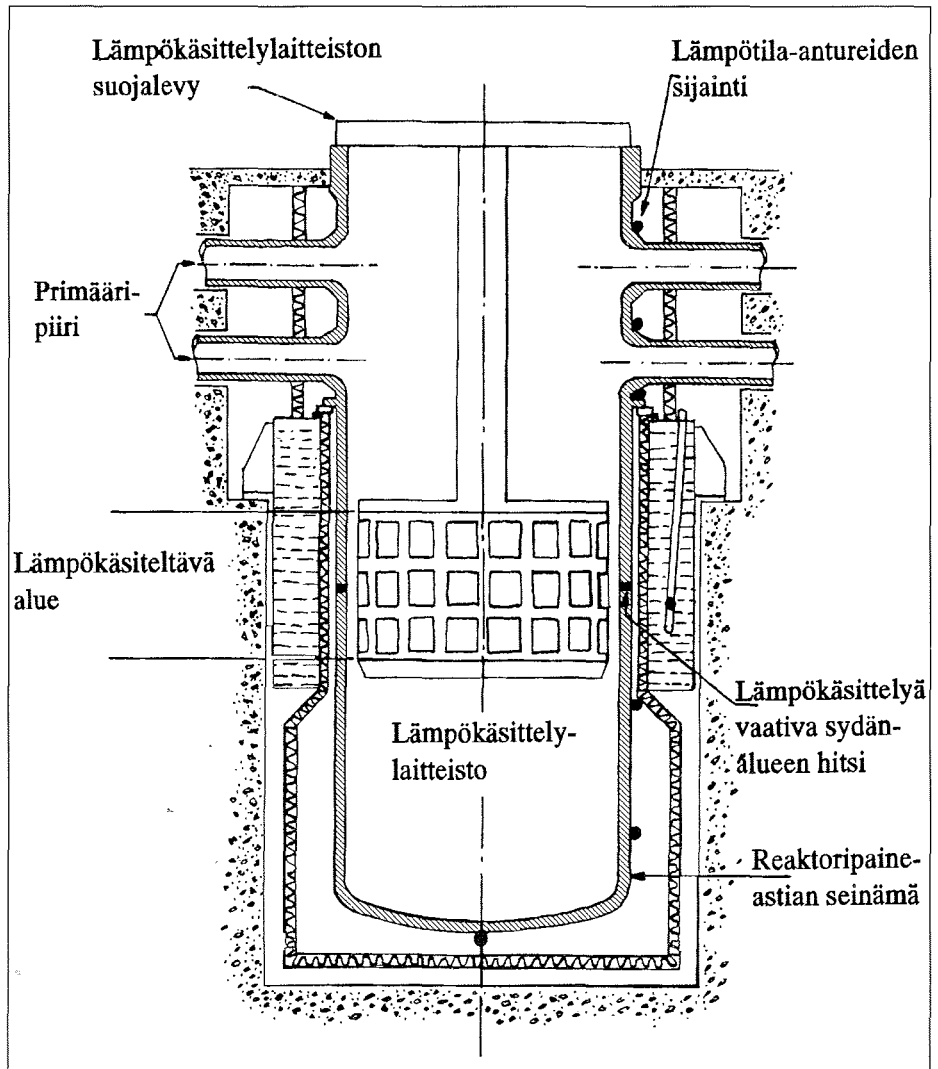
RPA-materiaalin elvyttäminen lämpökäsittelyllä ei ole suinkaan uutta teknologiaa. Ensimmäinen RPA:n lämpökäsittely tehtiin jo vuonna 1967 USA:ssa. Tuolloin lämpökäsiteltiin armeijan omistuksessa ollut tutkimusreaktori SM-1A. Ensimmäinen kaupallisen reaktorin lämpökäsittely tehtiin vuonna 1987 Neuvostoliitossa (Novovoronesh 3, VVER-440). Entisen Neuvostoliiton alueella sekä Itä-Euroopassa on tällä hetkellä tehty yhteensä 14 vastaavia VVER-440 RPA:n lämpökäsittelyjä. Näin

ollen lämpökäsittely on jo rutiinitoimenpide VVER-440 laitoksilla. Syy siihen, että näin iso määrä VVER-440 paineastioita on hehkutettu on, että kyseisissä laitoksissa sydämen pienennys tehtiin liian myöhäisessä vaiheessa. Loviisan RPA:t ovat huomattavasti sitkeämmässä tilassa kuin edellä mainitut lämpökäsittelyt reaktorit.

VVER-440 laitoksella lämpökäsittely tehdään vedestä ja sisäosista tyhjennetylle RPA:lle laskemalla sähkövastuksilla varustettu lämpökäsittelylaitteisto reaktorin sydänalueen tasolle kuvan 3 mukaisesti. Lämpökäsittely tehdään sydänalueen alareunalla sijaitsevalle hitsille. Lämpökäsitteltävän alueen kokonaisleveys on vain noin 1,5 m. Lämpöjännitysten minimoimiseksi lämpötilan nosto- ja laskunopeus on pieni (20-30°C/min). Pitolämpötila on nykyään 475°C. Tätä lämpötilaa pidetään yllä 100 tuntia. Varsinainen lämpökäsittely, lämpötilan nosto ja lasku mukaanlukien on yhteensä noin 7 päivää. Huolellisesti suunniteltaessa lämpökäsittely ei lisää laitoksen seisokkiaikaa merkittävästi.

Suomessa on kehitetty menetelmä, jonka avulla RPA:n seinämästä leikatuista pienistä näytepaloista voidaan määrittää materiaalin sitkeystransiitiokäyrä. Näytepaloista valmistetaan pieniä minikoesauvoja (3×4×27,5 mm) sähkökipinätyöstöllä kuuma-laboratoriossa. Näytteet koetetaan pienessä iskukoneessa ja transiitiokäyrä voidaan määrittää. Minisauvojen ja standardin mukaisten Charpy-V koesauvojen välillä on kehitetty korrelaatio. Näin ollen voidaan minisauvojen ja korrelaation avulla määrittää RPA-materiaalin sitkeystilä koska tahansa.

VTT ja IVO ovat yhdessä osallistuneet Saksalaisen Greifswaldin ydinvoimalaitoksen 1:n ja 2:n yksikön RPA-tutkimuksiin. Kummankin yksikön RPA on lämpökäsittely, 1:llä yksiköllä 1988 ja 2:lla yksiköllä 1990. RPA:sta leikattiin useita, noin 30×70×5 mm kokoisia näytteitä sekä ennen lämpökäsittelyä että sen jälkeen. Näytteet kuljetettiin Suomeen ja niistä tehtiin minisauvoja VTT:n kuumalaboratoriossa Otaniemessä. Näytteet testattiin ja niistä määritettiin materiaalin transiitolämpötila. Koetulokset osoittivat, että molemmat RPA:t olivat toipuneet hyvin lämpökäsittelyssä. Näin ollen on voitu vahvistaa autenttisten RPA:sta leikattujen näytteiden avulla aikaisemmat seuranta- ym. tutkimusohjelmien tulokset oikeiksi. Greifswaldin ydinvoimalaitokset poistettiin kuitenkin Saksan



yhdistymisen jälkeen käytöstä. Tämä ei suinkaan johtunut RPA:n haurastumisesta, vaan yleisesti huonosta turvallisuus-kulttuurista Greifswaldin laitoksilla.

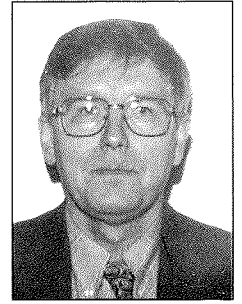
Yhteenveto

RPA:n haurastumisesta johtuen suomalainen alan asiantuntemus on kehittynyt varsin korkealle tasolle kansainvälisestäkin. IVO:ssa haurastumisongelmaa on hoidettu laajalla alalla, sisältäen materiaali-, lujuus-, prosessi-, käyttö- ja turvallisuustekniikan sekä termohydrauliikan ja reaktorifysiikan. Suuri apu on tullut VTT:ltä, jossa eräillä osa-alueilla, kuten kuumalaboratoriotut-

kimuksissa, murtumismekaniikassa ja dosimetriassa on kehitytty alan kansainväliselle huipulle. Tästä ovat osoituksena lukuisat luottamus- ja asiantuntijatehtävät kansainvälisissä organisaatioissa kuten IAEA, IGRDM, AMES, NESC, ASTM ja WANO.

DI Ralf Ahlstrand on IVO INTERNATIONAL Oy:n tuotepäällikkö, p. 90-8561 2479.

TVO I, II ELINIÄN JATKAMISEN KANNALTA ARVIOITAVISTA KOHTEISTA JA TOIMENPITEISTÄ



Ydinvoimalaitosten eliniällä voidaan tarkoittaa joko muodollista käyttöluvan päättymistä tai teknistä laitoksen ikääntymistä siten, että korjaaminen vaatimukset täyttävään kuntoon ei ole joko mahdollista tai taloudellista. Seuraavassa esitellään Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon laitoksilla soveltama vanhenemisen vaikutusten eliminointiin tähtäävä toimintastrategia.

Laitoksen eliniän määrittely ja sen jatkaminen peruskorjauksen ja uudelleen lisensoinnin muodossa on ennen kaikkea amerikkalainen ja heidän lisensiointikäytäntönsä liittyvä tarkastelutapa.

Suomessa käyttöluvut on toistaiseksi myönnetty amerikkalaista käytäntöä lyhyemmäksi jaksoksi eikä käyttöluvan jatkamismenettely sisällä yleensä mittavia yhdellä kertaa suoritettavia modernisointioperaatioita.

TVO:n laitosyksiköillä on laitosten vanhenemisen vaikutusten eliminointistrategiana jatkuva laitosten peruskorjaus- ja modernisointiprosessi, jonka tavoitteena on pitää laitokset sekä turvallisuus- että käytettävyyssmielessä hyväkuntoisina. Onnistuessaan valitun toimintatavan tuloksena saavutetaan mm. hyvä käytettävyyden ja välttämättä yllättäviltä käyttöhäiriöiltä.

Laitosyksiköiden pitäminen hyväkuntoisina ja jatkuva modernisointiprosessi edellyttävät mm. hyvää vanhenemisilmiöiden teoreettista ja käytännön tuntemista, laitoksen eri osien systemaattista kunnon valvontaa ja tarvittavien toimenpiteiden oikea-aikaista toteutusta. Mainittujen asioiden hallinta vaatii voimayhtiön eri organisaatioiden ja asiantuntijoiden saumatonta ja laajamittaista yhteistyötä.

Seuraavassa on lyhyesti tarkasteltu TVO:n laitosyksiköiden eri osakokonaisuuksille ominaisia vanhenemisilmiöitä sekä kuvattu näiden aiheuttamia toimenpiteitä ja toimintamallia, jonka puitteissa elinikäarviointeja tehdään. Tarkastelu ei kata kaikkia osa-alueita eikä kaikkia eliniän arviointimuotoja.

LAITOSYKSIKÖIDEN ERI ALUEITA VANHENTAVISTA TEKIJÖISTÄ JA NIIDEN EDELLYTTÄMISTÄ TOIMENPITEISTÄ

Reaktoripaineastian sisäosat

Sisäosat on pääosin valmistettu austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä ja osin nikkelivaltaisista seoksista. Merkittävimpiä kunnon seurantaan vaativia vanhenemisilmiöitä ovat BWR-ympäristölle ominainen raerajajännityskorroosio (IGSCC) ja säteilyn indusoima jännityskorroosio (IASCC).

Molempien osalta toteutetaan kyseisessä mielessä kuormitetuimmat kohteet sisältävää tarkastusohjelmaa. Tarkastuksia tehdään vuosittain.

TVO:n laitosten sisäosat ovat melko yksinkertaisesti vaihdettavissa, joten korjauksen vaihtoehtona on komponentin vaihto.

Ennakoivana toimenpiteenä on molemmilla laitosyksiköillä vaihdettu mm. sydänristikot.

Reaktoripaineastia ja siihen hitsatut osat

Reaktoripaineastia on valmistettu ASME-standardin mukaisista paineastiateräksistä. Sisäpinnassa on hitsattu pääosin austeniittinen ruostumaton, osin nikkelivaltainen, pinnoite. Reaktoripaineastiaan on lisäksi hitsattu sisäpuolisia tukia ja yhteisiin putkiston hitsuksen mahdollistavat liitoskappaleet, ns. "safe-endit".

Mahdollisia vanhentavia kuormituksia ovat säteilyn haurastava vaikutus, termiset kuormitukset ja lähinnä eräissä nikkelivaltaisissa hitsiaineissa havaittu jännityskorroosiotaiutus.

TVO:n reaktoripaineastioiden saama säteilyannos on niin pieni, että merkittävää haurastumista ei ole odotettavissa. Asiaa seurataan surveillance-näytteiden avulla.

Reaktoripaineastioille toteutetaan vuosittain määrääaikaistarkastusohjelmaa, jossa mainitut erityiskuormitetut kohteet on huomioitu.

Reaktorilaitoksen konetekniset laitteet

Mittavan tarkastus- ja toimenpideohjelman on vaatinut reaktorijärjestelmissä mahdollinen raerajajännityskorroosio (IGSCC). Kyseinen jännityskorroosio on mahdollista kuumaa reaktorivettä sisältävissä korke-

hiilisissä stabiloimattomissa austeniittisissä materiaaleissa. Käytännössä esiintymispaikka on hitsien muutosvyöhyke. IGSCC-taiutus kasvaa teräksen hiilipitoisuuden mukana. Veden epäpuhtaudet, etenkin kloridit ja sulfidit lisäävät IGSCC-säröilytaipumusta.

TVO:n laitosyksiköiden alkuperäiset putkistomateriaalin ominaisuudet olivat IGSCC-säröjen muodostumisen kannalta raja-alueella. Korkeahiilisimmät putkierät ovat jonkun muun epäedullisen tekijän vaikutuksessa IGSCC-riskialueella.

IGSCC-säröjen havaitsemiseksi toteutetaan laajaa tarkastusohjelmaa. Vuosittain tarkastetaan n. 100...150 hitsausliitosta/laitosyksikkö. Ohjelmassa on priorisoitu IGSCC-ilmioille altteimmat hitsausliitokset. Ennaltaehkäisevänä IGSCC-toimenpiteenä on toteutettu laajoja putkivaihtoja. TVO I:llä on vaihdettu noin 200 m ja TVO II:lla noin 280 m primääriputkistoa. Uusi putkimateriaali on immuuni IGSCC:lle. Vaihdetut putket ovat olleet pääosin induktiotaivutettuja esivalmisteita, joten määrääaikaistarkastettavien hitsien määrää on voitu vähentää. Tämä pienentää vuosittain saatavia säteilyannoksia. Putkivaihdot tehdään suurehkoina kokonaisuuksina. Potentiaalisimmat ongelma-alueet on jo vaihdettu.

Vesikemiapuolella merkittävänä IGSCC-parannuksina ovat olleet lauhduttimien vaihto tiivitehitsattuihin titaanilauhduksiin ja eräät lauhdenpuhdistuksen parannukset.

Reaktoripuolen merkittävillä laitteilla, esim. venttiileillä, säätösauvakoneistoilla jne., on omat ennakkohuolto-ohjelmansa. Ennakkohuollon ja peruskorjauksen tai vaihdon taajuuteen vaikuttavat saadut käyttö- ja tarkastuskokemukset.

Turpiinilaitoksen konetekniset laitteet

Turpiinilaitoksen merkittävimpänä vanhenemisilmiönä voidaan pitää eroosiokorroosiota. Eroosiokorroosio ilmenee voimakkaassa kostean höyryn tai veden virtauksessa lämpötila-alueella n. 50...200°C. Erityisesti hiiliteräs on altista eroosiokorroosiolle. Eroosiokorroosioalttius häviää teräksen kromipitoisuuden kasvaessa siten, että normaali ruostumaton 18 Cr/8 Ni teräs on jo immuuni eroosiokorroosiolle.

TVO:n laitosyksiköillä eroosiokorroosioseuranta aloitettiin jo laitosten takuuai- kana. Tarkastusohjelmasta paisui koke-

musten myötä varsin mittava. Nykyään ohjelma on jossain määrin suppenemaan päin, sillä toteutetut putkisto-, paineastia- ja lämmönvaihdin vaihdot ruostumattomaksi teräkseksi ovat poistaneet ongelman suurilta alueilta. Laitosyksikköä kohti putkistoa (d = 100 mm...600 mm) on vaihdettu n. 1,3 km, pinnoitetta on tehty yli 1000 m² ja lukuisia paineastoita ja lämmönvaihtimia on vaihdettu.

Ennaltaehkäisevänä toimenpiteenä KP-turpiinin jälkeisiin "alivirtausputkiin" on asennettu kosteudenerottajat.

Myös turpiinien vanhenemisilmiöistä merkittävin on eroosio-korroosio. Valmistajan suosituksen mukaisesti tehdyt turpiinin avaukset ja korjaukset noin joka kuudes vuosi ovat olleet riittäviä. Tällä hetkellä näköpiirissä on MP-turpiinien modernisointi, joka toteutetaan vuosina 1996...1998. Modernisoinnissa uusitaan tai peruskorjataan erodoituneet osat ja uusitaan roottorit juoksu- ja johtosiipineen paremman hyötysuhteen omaaviin.

Esilämmittimien materiaalimuutoksen yhteydessä on yleensä kasvatettu lämpöpintaa ja parannettu siten prosessin hyötysuhdetta.

Myös turpiinilaitoksen merkittävimmille laitteille sovelletaan kokemusten mukaan ohjattavaa ennakkohuoltojärjestelmää.

Merivesijärjestelmät

Merivesijärjestelmien kuormittavana tekijänä ovat muodossa tai toisessa ilmenevät merivesikorroosioilmiöt.

Näiden johdosta on vuosien varrella vaihdettu valtaosa alumiinimessinkilämmönvaihtimista titaanivaihtimiksi.

Merivesiputkistoissa merkittävän työmäärän on aiheuttanut kumipinnoitteiden irtoaminen. Tarkastuksia on tehty vuosittain. Tällä hetkellä suurin osa alkuperäisistä pehmeäkumipinnoitetuista putkista on vaihdettu pulveriepoksi-pinnoitettuihin.

Transienttiseuranta

Reaktoripaineastialle ja tärkeimmille reaktorijärjestelmille on tehty väsymisanalyysi, jossa on konservatiivisesti laskettu mahdollisten laitostapahtumien väsymis-kuormitusvaikutus. Tätä kautta on tehty ns. laitostapahtumabudjetti, jossa on määritely montako kyseisentyypistä laitostapahtumaa voidaan hyväksyä olettaen,

että laitoksen käyttöikä on 40 vuotta. Laitostapahtumien määrää seurataan. Käytännössä TVO:n laitoksilla toteutuvien laitostapahtumien lukumäärä on selvästi alle budjetin "sallimien" vuotuisten tapahtumien.

Sähkö- ja instrumenttitekniset laitteet

Kuten koneteknisillä laitteilla on suurilla sähköteknisillä laitteilla ennakkohuolto-, tarkastus- ja peruskorjausohjelmansa. Tyyppillisiä tällaisia kohteita ovat suurten pumpujen moottorit, generaattori, suuret muuntajat jne. Yksittäisten vuosittaisten tarkastusten kohteista generaattori on merkittävin. Tällä hetkellä toteutetaan generaattorien peruskorjausohjelmaa. TVO II:lle on asennettu uusi generaattori. TVO II:n vanha generaattori peruskorjataan ja asennetaan TVO I:lle.

Oman laajan seurantakohteen muodostavat suojarakennuksen kaapelit ja muut sähkölaitteet, joiden vanhentavina tekijöinä ovat korotettu käyttölämpötila ja tietynasteinen säteililytaso.

Instrumenttitekniikan alueella tekninen kehitys on edennyt laitosten rakentamisen ajoista erittäin paljon. Perusongelmana on, että vanhojen laitteiden varaosia ei useinkaan ole saatavissa ja korvaavat laitteet ovat tekniikaltaan täysin erilaisia. Näinollen joudutaan usein selvittämään uusien ja kehittyneempien laitteiden ja järjestelmien soveltuvuutta vanhaan kokonaisuuteen.

Rakennukset

Rakennusten kuntoa valvotaan määrääikaistarkastuksin. Turvallisuuden kannalta merkittävin seurantakohte on suojarakennus ja siinä erityisesti betonin kunto, esijännitysterästen kunto ja tiivistelevyn toiminta. Toinen käytettävyyden kannalta merkittävä valvontakohte on turpiinin perusta. Kolmantena erityisseurannan kohteena ovat merivesikanavien rakenteet.

ELINIÄN SEURANTAA, ARVIOINTIA JA TOIMENPITEITÄ TOTEUTTAVA ORGANISAATIO

Periaatteessa yllämainittuja toimenpiteitä toteuttaa koko yhtiön organisaatio tehtäviensä mukaisesti.

Käytännössä systemaattinen ja kaikinpuolinen laitoksen kunnosta huolehtiminen ja jatkuva "modernisointi" edellyttää, kuten

aiemmin mainittiin, laajaa yhteistyötä eri organisaatioyksiköiden kesken.

Perustyon kyseisellä alueella tekevät sekä teknisen osaston että tuotanto- osaston laite-, järjestelmä- ja tekniikkavastuuhenkilöt, jotka tuntevat parhaiten oman osa-alueensa toimenpidetarpeet.

Erityisalueille on perustettu työryhmiä, joi-
sa on yleensä mukana kyseisen alueen em.
vastuuhenkilöt sekä tarkastuksista huolehtivia henkilöitä.

Tällaisia työryhmiä ovat mm.:

- venttiiliryhmä
- koneryhmä
- sisäosatyöryhmä
- eroosio- ja korroosio-/korroosiotyöryhmä
- transienttiseuranta
- tärinävalvontaryhmä jne.

Elinikä-asioita koordinoidaan ja aktivoidaan erillisen elinikäryhmän toimesta. Ryhmään kuuluvat konetekniikan-, sähkötekniikan-, instrumenttitekniikan-, rakennustekniikan- ja kunnossapidon edustajat. Elinikätyöryhmän tavoitteena on ylläpitää systemaattista taulukkoa laitoksen kaikkien järjestelmien vaatimista toimenpiteistä n. 10 vuoden tähtäyksellä. Taulukko on ennuste, jossa toimenpiteet pyritään ajoittamaan nykytiedon mukaan oikeille vuosille. Aikataulu ja toimenpidetarpeet täsmäntyvät toimenpideajankohdan läheisyydessä.

Vuosihuoltojen pitkän ja keskipitkän tähtäyksen suunnittelua suorittaa vuosihuoltojen PTS-työryhmä, joka käyttää hyväkseen mm. elinikätyöryhmän yhteenvotaulukoita. Varsinainen vuosihuoltojen keskipitkän- ja pitkän tähtäyksen strategia suunnitellaan tämän työryhmän toimesta.

ELINIKÄARVIOINTIEN TULOKSISTA

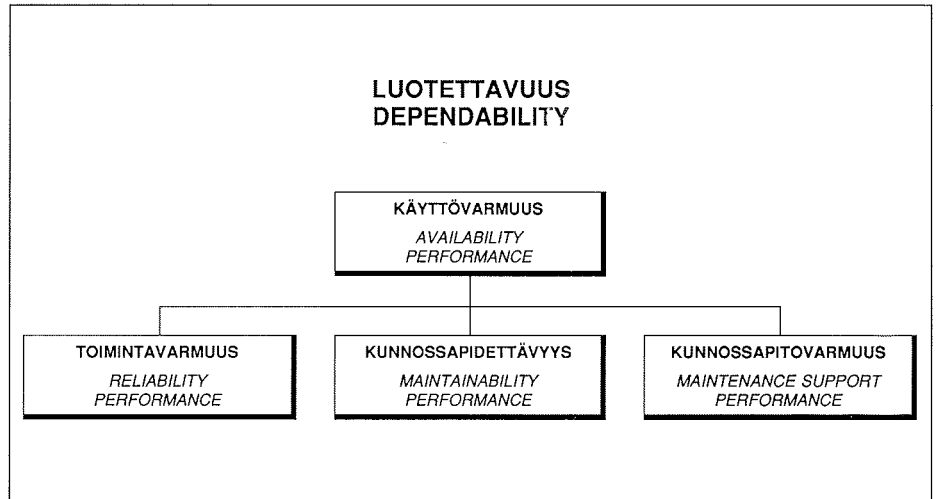
Eri osa-alueet kattavat läpikäynnit ovat tuoneet esiin lukuisia seuranta- ja toimenpidetarpeita ja arvioita niiden toteutusajankohdasta. Läpikäynneissä ei ole havaittu mitään sellaisia seikkoja, jotka rajoittaisivat TVO I ja TVO II laitosyksiköiden teknistä tai taloudellista käyttöikää suunnitteluvaiheessa työhypoteesina käytettyyn 40 vuoteen.

TkL Juho Hakala on Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon laitosten konetekniikan toimiston päällikkö, 938-381 4200.

KOMPONENTTIEN VANHENEMISEN JA JÄRJESTELMIEN KUNNOSSAPITO-STRATEGIOIDEN TUTKIMUS



Ydinvoimalaitosten komponenttien vanhenemista ja kunnossapitoa on tutkittu pienimuotoisesti ydinvoimalaitosten rakenteellisen turvallisuuden tutkimusohjelmassa sekä Säteilyturvakeskuksen ja voimayhtiöiden rahoittamana. Sovellusesimerkkejä ovat tähän mennessä olleet eristysventtiilit ja niiden moottorikäytöt sekä suojausautomaation laitteet. Tutkimuksissa on tunnistettu komponenttien toistuvat vioittumistavat ja niitä vastaavat ehkäisevät kunnossapito- ja kunnonvalvontatarpeet. Tutkimuksissa tehdyt vika- ja korjaushistorian analyysit on yhdistetty luotettavuuskeskeisen kunnossapidon päätöslogiikkaan käyttökokeuspohjaiseksi luotettavuuskeskeiseksi kunnossapitomenetelmäksi. Päätöslogiikka ottaa huomioon turvallisuus-, käytettävyys- ja kustannusnäkökohdat. Kunnossapitohistorian analysointijärjestelmät, kunnossapidon tehokkuuden optimointimenettelyt ja päätöksenteon mallipohjaiset tukimenetelmät soveltuvat kehityssään ja vakiintuessaan hyvin osaksi elävää laitoksen käyttöiän hallintaohjelmaa.



Käyttövarmuus, kunnossapito ja käyttöiän hallinta

Ydinvoimalaitosten käyttövarmuutta voidaan varmistaa ja parantaa teknisillä ja organisatorisilla toimenpiteillä. Hyvien tulosten saavuttamiseksi on tarpeellista hyödyntää asiantuntemusta useamman tekniikan alueilta ja tarvittaessa yhdistää sitä. Näitä alueita ovat kunnossapito- ja käytötekniikka, luotettavuustekniikka, materiaali- ja konetekniikka, tietotekniikka, sähkö- ja automaatiotekniikka, järjestelmäsuunnittelu sekä työn psykologia ja johtamistieteet.

Käyttövarmuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat toimintavarmuus, kunnossapidettävyys ja kunnossapitovarmuus. Käyttövarmuus kuvaa laitteen, järjestelmän tai laitoksen kykyä suoriutua tehtävästään ilman vika-aikaa tai tuotantokatkoja. Käyttövarmuutta mitataan käytettävyydellä. Käytettävyyteen, kuten käyttöiän hallintaan, voidaan vaikuttaa onnistuneilla kunnossapitostrategioilla. Hyvistä kunnossapitostrategioista johdetuilla tehokkailla kunnonvalvonnan, ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon toimilla ja ajoituksilla voidaan vähentää vioittumisia tai nopeuttaa vikojen havaitsemis- ja korjausaikoja ja hallita järjestelmien käytettävyyttä.

Ulkomaisissa ydinvoimalaitosten käyttöiän hallintaa käsittelevissä tutkimusohjelmissa otetaan yleensä huomioon sekä taloudelliset että turvallisuusnäkökohdat. Tutkimusohjelmat ovat usein tähänneet käyttöiän pidentämissä mahdollisuuksien selvittämiseen. Käyttöiän pidentämiseen tähtäävissä tutkimusohjelmissa keskitytään kalliiden ja vaikeasti vaihdettavien komponenttien tut-

kimuksiin. Kaikissa ohjelmissa tutkitaan reaktorin paineestaa ja primääriputkistoa. Muiden kriittisten komponenttien valintaan vaikuttavat laitostyyppiin lisäksi tutkimusohjelman laajuus ja tavoitteet.

Onkin havaittavissa, että tutkimusohjelmissa joiden tavoite ei ole niinkään taloudellisesti suuntautunut vaan vanhenevien laitosten turvallisuuden varmistaminen, tutkittavien kohteiden määrä on suurempi ja monipuolisempi. Tällöin kunnossapidon monipuolinen kehittäminen ja myös laitojen käyttöiän ja tuottavuuden hallinta saa keskeisemmän aseman. Useimmiten ei kuitenkaan ole kovin hyödyllistä vetää rajaa turvallisuutta ja tuottavuutta edistävän kunnossapitotutkimuksen välille, koska korkean toimintavarmuuden säilyminen ylläpitää myös turvallisuutta.

Kunnossapidon ja käyttövarmuuden arvioinnin ja kehittämisen vaiheet

Vanhenevan ydinvoimalaitoksen käyttövarmuuden ja kunnossapidon arviointi ja kehittäminen voidaan jakaa käyttöiän hallinnan kannalta seuraaviin vaiheisiin ja tavoitteisiin:

a) Vanhenemis- ja käyttövarmuustutkimuksen kohdistaminen

Tavoitteena on tunnistaa ja valita järjestelmällisesti turvallisuutta, käyttövarmuuden ja taloudellisuuden kannalta kriittisiä komponentteja ja järjestelmiä tutkimusten ja muiden käyttöiän hallintatoimien kohteiksi.

Eräitä suppeampia tai laajempia vikaantumis- ja vanhenemismekanismien ja kun-

nossapidon tehokkuuden tutkimuksia on jo tehty kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) ja VTT:n sekä pohjoismaisen ydinturvallisuustutkimuksen (NKS) projekteissa. Esimerkiksi seuraavia kohteita ja komponenttiryhmiä on tutkittu Suomessa tai Ruotsissa:

- eristysventtiilit ja niiden sähköiset toimilaitteet,
- säätösauvakoneistot,
- dieselgeneraattorijärjestelmä,
- suojausautomaatio-, instrumentti- ja sähkölaitteet,
- syöttövesipumput ja esilämmittimet.

b) Vikaantumis- ja vanhenemismekanismien ymmärtäminen

Tavoitteena on edistää vanhenemis- ja vikaantumismekanismien ymmärtämistä ja aikaista havaittavuutta. Tämä tapahtuu vika- ja kunnossapitoanalyysien, mallintamisen ja vikojen diagnosoinnin parantamisen avulla.

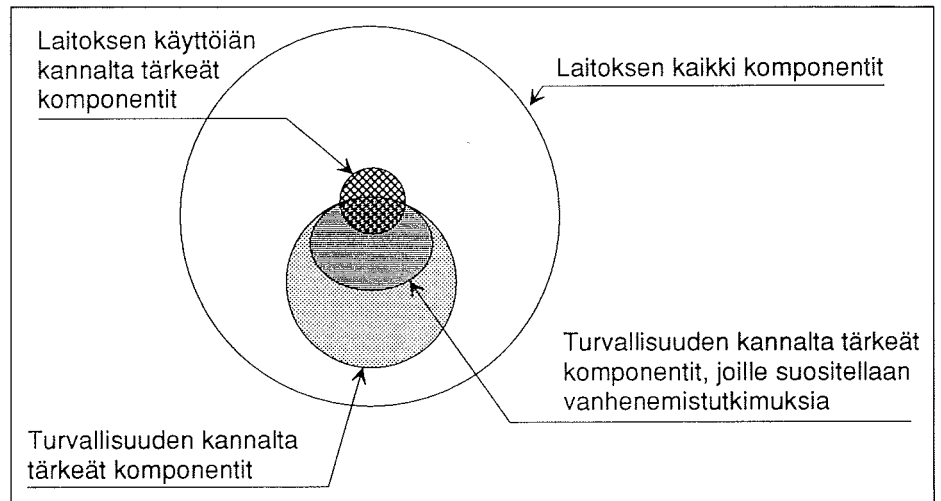
c) Tarvittavien kunnossapitostrategioiden suunnittelu

Tavoitteena on komponenttien vikaantumisen ja vanhenemisen syiden ja vaikutusten ehkäiseminen kunnossapitostrategioiden kehittämisen avulla. Sitä varten tarvitaan a) oikeaa vanhenemis- ja käyttövarmuustutkimusten kohdistamista ja b) hyvää vikaantumis- ja vanhenemismekanismien ymmärtämistä. Kunnossapitostrategioita kehitetään kunnossapidon tietojärjestelmien historiatietojen analyysin, todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin ja mallintamisen sekä systemaattisten päätösanalyysimenetelmien paremman hyväksikäytön avulla.

Järjestelmien kunnossapitostrategioiden arviointi- ja optimointimenettelyt

Järjestelmällinen kunnossapidon tarveanalyysi

Luotettavuuskeskeinen kunnossapito (engl. RCM = Reliability Centered Maintenance) on yksi strategia, jossa järjestelmällisen menettelyn avulla suunnitellaan tekniselle järjestelmälle sopiva ja tehokas kunnossapito-ohjelma. RCM käyttää päätöksentekologiikkaa kohteen kunnossapitovaatimusten tunnistamiseksi perustuen vikojen aiheuttamiin turvallisuus- ja toimintaseurauksiin sekä vikaantumismekanismeihin. Luotettavuuskeskeisen kunnossapito menettelyn periaatteet on julkaistu siviili-ilmailun MSG-3 käsikirjassa ja muunmuassa



useissa EPRL:n (Electric Power Research Institute) ja EDF:n (Electricite' de France) julkaisuissa.

Suomessa on kehitetty käyviin laitosten "käyttökokemus pohjaisen luotettavuuskeskeisen kunnossapidon" malli. Analyysimallia on sovellettu sulku- ja eristysventtiilien toimilaitteille. Mallissa yhdistyvät kehittyvien ja toiminnallisten vikojen käyttökokemuksista tunnistaminen ja tilastol-

linen käsittely sekä luotettavuuskeskeisen kunnossapidon päätöslögiikka. Toimilaitetta ja sen sähkönsyöttö- ja automaatiolaitteita sekä toimilaitteen liityntää mekaaniseen venttiiliin on käsitelty toiminnallisena järjestelmänä, joka on jaettu tutkittaviin osiin. Usean vuoden käyttöhistorian jatko-analyysin avulla on tunnistettu osatasolla toistuneita vikamekanismeja. Osassa tapauksista venttiilit eivät ole toimineet oikein venttiilin asentoa muutettaessa. Ehdotettuja



parannuksia ovat toimilaitteen moottorin tehon ja momenttilaukaisujen rekisteröinti venttiiliä aktivoitaessa sekä eri aktivointien "sormenjälki" tietojen vertailu. Venttiili-toimilaitteyhdistelmän rakenteeseen sallimiin tapauksiin ehdotettiin karvoimien mittausta ja rekisteröintiä. Nämä kunnonvalvontatoimet auttavat löytämään aikaisiin kehittyviä vikoja ennenkuin ne johtavat venttiilien toiminnalliseen vikaan tarvetilanteessa.

Käyttökokemuspohjaisen RCM:n tyyppisen menettelyn laajempi soveltaminen pohjoismaisissa voimalaitoksissa vaatii vielä vika-, kunnossapito- ja kunnonvalvontatietojen keruujärjestelmien ja kunnossa- ja käynnissäpidon tietojärjestelmien kehittämistä. Tarkoituksena on saada tietojärjestelmät vastaamaan paremmin järjestelmällisen vika-analyysin ja kunnossapidon suunnittelun sekä tuottavuuden seurannan tarpeita. Samalla pitää saada kunnossapito-ohjelman muutostarveanalyysin ja sen dokumentoinnin vaatima työ-määrä pidetyksi kohtuullisena. Tämä onnistuu sovellustutkimusten yhteydessä saaduista kokemuksista oppimalla ja käyttäjätavallisten tietokanta- tai taulukkolaskentaohjelmistojen sovelluksia hyväksikäyttämällä. Järjestelmän tehokas kunnossapito-ohjelma sisältää toimintakokeita, rikkomattomia tarkastuksia, huoltoja, ennakoivia osien vaihtoja, kunnonvalvontaa, korjaavaa kunnossapitoa ja muutostöitä tai osan näistä toimista sopivasti keskenään tasapainotettuina.

Kunnossapidon tehokkuuden tunnusluvut

Erilaisia kunnossapidon tehokkuuden tunnuslukuja voidaan laskea ja niiden ajallista kehitystä voidaan seurata kunnossapidon tietojärjestelmän historiatietojen käsittelyn

avulla. Tunnusluvut antavat "hälytyksen" silloin kun määritellyistä tavoitearvoista poiketaan. Tällöin hälytyksen tuottanut laite pannaan esimerkiksi toimenpideharkintaan tai tehostettuun seurantaan. Järjestelmien ja laitteiden käytettävyyttä ja kunnossapitotaajuutta sekä korjaavan ja ehkäisevän kunnossapidon suhde ovat esimerkkejä käyttöönotetuista kunnossapidon tunnusluvuista.

Valituille komponenttiryhmillä tehty vikojen ja kunnossapidon historiatietojen tarkka jatkoanalysointi usean vuoden ajalta sisältyy tehokkaaseen laitoksen käyttöön hallintaohjelmaan. Vika- ja vaikutusanalyysi ja sitä täydentävä korjaavan kunnossapidon vaikutusanalyysi ovat tehokkaita menetelmiä vika- sekä korjaushistorian syvällisempää jatkoluokittelua ja -analysointia varten. Tällaisen vikaantumis- ja vanhenemismekanismien sekä korjaustietojen jatkoanalyysin pohjalta saadaan oikeampaa tietoa toistuvista vioista perusteltaessa tilastollisesti kunnossapito-ohjelman mahdollisia muutostarpeita. Tilastolliset menetelmät, tunnusluvut ja trendiseuranta tarjoavat myös aikaisempaa parempia mahdollisuuksia arvioida kunnossapidon onnistumista ja eräissä tapauksissa laadun parantamiseen.

Kunnonvalvonnan, ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon tasapainotus

Ongelmana on löytää tasapaino ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon välillä, mikä riippuu järjestelmän tärkeydestä. Tasapainoon vaikuttavat lisäksi laitosmuutokset. Tavoitteena on kohtuullisten kustannusten rajoittamisessa puitteissa ylläpitää maksimaalista järjestelmän käytettävyyttä, mihin

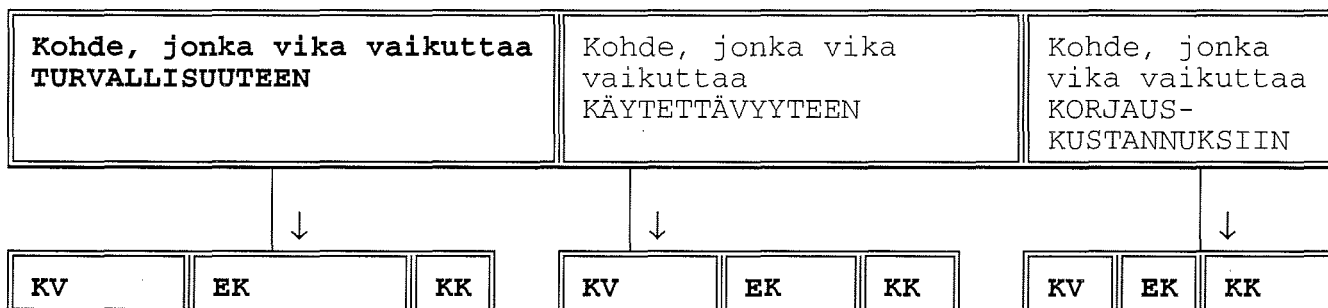
vaikutetaan laitoksen kokemuksista oppimisen ja järjestelmän iän mukaan elävällä kunnossapito-ohjelmalla.

Järjestelmällisen kunnossapitoanalyysin, kuten käyttökokemuspohjaisen luotettavuuskeskeisen kunnossapito-analyysin, tuloksena saadaan järjestelmälle sopiva kunnossapito-ohjelma. Tässä ohjelmassa jotkut kunnossapitotoimet lisääntyvät ja jotkut toiset vähenevät verrattuna käytössä olevaan ohjelmaan. Tulos riippuu toimien arvioidusta vaikutuksesta turvallisuuteen, käytettävyyteen ja kunnossapitokustannuksiin niiden todellisessa käyttö- ja kunnossapitoympäristössä.

Yhtenä ongelmana koetaan usein teknisten järjestelmien ja komponenttien ehkäisevästä kunnossapidosta saatavan hyödyn arviointi. Ehkäisevän kunnossapidon tarkoituksena on varmistaa ja ylläpitää kohteen toimintavarmuus ja havaita kehittyvät viat aikaisin. Mutta sekä ehkäisevän että korjaavan kunnossapidon turvatoimet aiheuttavat järjestelmälle epäkäytettävyyttä. Kunnossapidon jälkeen voi laitteistoon jäädä vikoja, jotka vaarantavat järjestelmän toimintakykyä, jos viat ovat "läpäisseet" laitoksen tarkastusmenettelyt. Yksi kehittämisen arvoinen lähestymistapa on pyrkiä tunnistamaan ja antamaan esimerkkejä sattuneiden tai potentiaalisten yhteisvikamekanismien syntyisestä, ja ehdottaa toimenpiteitä niiden välttämiseksi. Kunnossapidettävien laitteiden ja ihmisen välinen vuorovaikutus ja sen kehityspotentiaali pitää myös oppia ymmärtämään aikaisempaa paremmin.

Toinen kehittämisen arvoinen lähestymistapa on pyrkiä tunnistamaan aikaisempaa paremmin ehkäisevän kunnossapidon avul-

KUNNOSSAPITOSTRATEGIA. AJATUSMALLI KUNNOSSAPITOTOIMIEN TASAPAINOTUKSESTA



KV=KUNNONVALVONTA EK=EHKÄISEVÄ KUNNOSSAPITO AU=KORJAAVA KUNNOSSAPITO

LUOTETTAVUUSKESKEINEN KUNNOSSAPITO

TOIMINNALLISTEN JA KEHITTYVIEN
VIKOJEN TUNNISTAMINEN



TURVALLISUUS, KÄYTETTÄVYYS- TAI
KUSTANNUVAIKUTUKSET

VIKOJEN PALJASTAMISTAVAT,
VANHENEMINEN JA RIIPPIVUUS AJASTA



TEHOKKAIDEN KUNNOSSAPITO-
TOIMENPITEIDEN VALINTA

- TOIMINTAKOKEET
- RIKKOMATTOMAT TARKASTUKSET
- HUOLLOT
- KOMPONENTTIVAIHDOT
- KUNNONVALVONTA
- KORJAAVA KUNNOSSAPITO
- MUUTOSTYÖT



KUNNOSSAPITO-OHJELMA

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
Sähkö- ja automaatiotekniikan laboratorio

la havaittuja kehittyviä vikoja. Näin voidaan löytää ne ehkäisevät kunnossapitoimet, jotka ovat tehokkaita estämään vikojen kehittymistä toiminnallisiksi vioiksi tai vaurioiksi. Ehkäisevien kunnossapitoimien jaksotuksien perusteita voi myös tämän ja tilastollisen analyysin avulla tarkistaa. Liiallista ehkäisevää kunnossapittoa voi olla esimerkiksi ennakoiva osien vaihto tai laitteiden purkaminen tarkastuksia varten, jos kohteissa ei juuri ollenkaan esiinny vikoja. Tällaisia ehkäiseviä kunnossapitotöitä voidaan usein korvata kunnonvalvonnalla. Edellytyksenä tällaisille kunnossapito-ohjelman muutoksille on kehittyvien vika- ja vanhenemismekanismien hyvä tunteminen.

Kunnonvalvontaan ei aina tarvita kalliita kunnonvalvontajärjestelmiä. Esimerkiksi etukäteen ymmärrettyjä vikamekanismeja paljastavien prosessi- tai säätöparametrien muutosten jatkuva seuranta komponenteissa, tai kunnonvalvontaan soveltuvan näytön avulla, voi olla hyödyllistä. Tällaisilla valvontatavoilla voidaan havaittujen poikkeamien avulla löytää kehittyviä vikoja esimerkiksi sähkömekaanisissa komponenteissa ja pyörivissä koneissa, vaikka ne koko ajan täyttäisivätkin hyvin prosessin vaatimukset käyttöhenkilöstön niitä valvoessa. Eräs esimerkki tällaisesta kunnonvalvonnasta on syöttövesipumpun hydraulisen kytkimen säätölaitteen asennon mittaaminen ja seuranta ajan funktiona ja toimintapisteiden vertailu referenssarvoihin.

Todennäköisyyspohjainen mallintaminen

Vikojen asteettaista kehittymistä, kuten särön kasvua tai materiaalin kulumista ajan funktiona, ei voida tavallisesti havaita tarpeeksi hyvin. Laitoksen alasajosta, laitteiden jäljellä olevasta käyttöiästä, tarkastusjaksoista, ehkäisevästä kunnossapidosta tai laitteiden vaihdosta, joudutaan usein päättämään epätäydellisen tarkastus- tai mitaustiedon avulla. Alasajo- ja kunnossapitostrategioita optimoitaessa todennäköisyyspohjainen lähestymistapa ottaa huomioon vikojen kehittymisen ymmärtämisen ja tarkastustietojen epävarmuuden ja epätäydellisyyden. Vaikkakin erilaisten vanhenemismekanismien mallit ovatkin tapauskohtaisia, samanlaisia ratkaisutekniikoita voidaan soveltaa näihin ongelmiin. VTT on kehittänyt todennäköisyyspohjaisia optimointimalleja ja niiden ratkaisutekniikoita yhdessä IIASA:n (International Institute of Applied Systems Analysis) kanssa. Mahdollisia mallien tulevaisuuden sovelluskohteita ovat päätöksenteko jatkettusta käytöstä, kun on havaittu säröjä höyry-

timen putkissa tai hitsisaumoissa tai merkittäviä kulumishiukkasia pyörivien koneiden voiteluöljyssä. Tällaisien mallien kehittämistä ja soveltamisesta on myös se hyöty, että ne auttavat keräämään täydellisemmin tarvittavia lähtötietoja tulevien käytön ja kunnossapidon ongelmatilanteiden ja laitteiden jäljellä olevan käyttöiän päätöksiksi varten. Ne auttavat myös ymmärtämään ja hahmottamaan paremmin sellaisiin päätöksiin vaikuttavia tekijöitä etukäteen.

Päätösanalyysit kunnossapitovaihtoehtojen valintaan

Tärkeä kunnossapitostrateginen valinta tehdään tasapainotettaessa ehkäisevää kunnossapittoa revisioiseisokin ja käyttöjakson välillä. Tällöin pitää ymmärtää kohteen kunnossapidon turvallisuus-, käytettävyyden, kustannus-, resurssi- ja laatuvaikutukset eri käyttötiloissa. Näitä kriteerejä pitää painottaa oikein järjestelmän luonteesta riippuen. Jos kohteelle on tehty elinjakson kustannusanalyysi (LCC), niin sitä voidaan hyödyntää eri päätösvaihtoehtojen kustannusvaikutusten tarkasteluun samoin kuin todennäköisyyspohjaista turvallisuusanalyysiä (PSA) kohteen epäkäytettävyyden turvallisuusvaikutusten arviointiin. Tällaisissa valintatilanteissa tarjoaa päätösanalyysi järjestelmällisen ja läpinäkyvän lähestymistavan päätöskriteerien hahmottamiseksi ja painottamiseksi sekä valintapäätösten perustelemiseksi. Päätösanalyysiä voi myös kehittää jäljellä olevan käyttöiän arviointiin, kun päätösongelmana on valinta laitteen uusimisen ja tehostetun kunnossapidon välillä.

Lähtulevaisuuden näkymät

Edelläkuvattujen tutkimustaiheiden tutkimuksen on suunniteltu jatkuvan yhteispohjoismaisessa tutkimusprojektissa NKS/RAK-1 (1994-97) ja suomalaisessa tutkimusohjelmassa "ydinvoimalaitosten

rakenteellinen turvallisuus". Ensin selvitetään voimayhtiöiden ja viranomaisten kehitystarpeita ja tuodaan esiin kehitysmahdollisuuksia haastattelututkimuksen avulla. Haastattelututkimus tehdään pohjoismaisissa voimayhtiöissä, viranomaisorganisaatioissa ja tutkimisyksiköissä vuoden 1995 alkupuolella. Kehityspotentiaalin selvittämiseksi on tarkoitus myös tehdä kehityssuuntien vertailu toisiin teollisuusaloihin. Tässä yhteydessä valitaan sopivia ydinvoimalaitoskomponentteja ja järjestelmiä käytännön sovellustutkimusten kohteiksi.

Aiheesta enemmän:

Simola, K., Laakso, K., Pekkonen, A. Ulkomaiset ydinvoimalaitosten käyttöiän hallintaa käsittelevät tutkimusohjelmat. VTT tiedotteita 1400. Espoo 1992. 72 s.

Simola, K., Laakso, K. Analysis of failure and maintenance experiences of motor operated valves in a Finnish nuclear power plant. VTT research notes 1322. Espoo 1992. 57 s. + liitt.

Hänninen, S., Laakso, K. Experience based reliability centered maintenance - An application on motor-operated valve drives. STUK-YTO-TR 45. Helsinki 1993. 51 s. + liitt.

Simola, K., Hänninen, S. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen suojautautomaation laiteketjun vanhenemistutkimus. STUK-YTO-TR 58 Helsinki 1993. 42 s.

Pulkkinen, U. Statistical models for expert judgement and wear prediction. VTT publications 181. Espoo 1994. 65 s. + liitt.

Tkt Kari Laakso on VTT Automaation erikoistutkija, p. 90-456 6465.



VOIMAYHTIÖN TIEDOTTAJA SELITYSTILANTEESSA

Tiedotuksen tarkoituksena ei ole vain kiillottaa yrityksen vaakunakilpeä, vaan myös antaa lehdistölle oikeaa ja tarpeellista tietoa juuri oikeaan aikaan. Energiayhtiön tiedotus ei ole eikä saa olla julkisuuskulissi, jonka takana toimitaan toisin kuin puhutaan. Oikea tiedottaminen perustuu sekä hyvään vuorovaihtukseen julkisten tiedotusvälineiden kanssa että nopeaan kykyyn reagoida muuttuviin tilanteisiin.

Julkisuus ei ole ainoastaan sitä, että siinä olisi jokin vastakkain asettelu esimerkiksi tiedottajat versus toimittajat, vaikka usein siltä tuntuukin. Tällainen malli on vulgaari pelkistys julkisuuden käyttäytymiseen vaikuttavista seikoista. Julkisuus on useiden tahojen - tiedon tuottajien, tiedon välittäjien, lukijoiden - voimakasta vuorovaihtusta, jossa kaikki osat tarvitsevat toisiaan. Ilman yrityksiä ei olisi talousuutisia. Yritykset tarvitsevat palstatilaa, koska niille on tärkeää, että heidän toiminnastaan kerrotaan yleisölle. Lehtien tarve on kirjoittaa niistä asioista, joista lehden lukijat ovat kiinnostuneita. Tässä tapauksessa yhteinen tekijä on asiasta kiinnostunut lukija, joka panee lehdet ja yritykset toimimaan.

Julkisuuden liikkeellepaneva voima onkin ihmisten uteliaisuus ja tiedontarve heidän läheisiksi kokemistaan tapahtumista. Tämä on se voima mikä pitää julkisuutta yllä. Utelaisuuden tarve ja sen tyydyttäminen on yhteiskunnassa noussut niin arvostetuksi asiaksi, että sille on annettu lainvoima, mikä ilmenee oikeutena julkaista vapaasti omia ajatuksiaan mistä tahansa maailman ilmiöistä. Tällä oikeudella on perustuslain suojaa.

Kotiläksyt tehtyinä

Julkisuuspeliä on hauska pelata, kun kaiken aikaa ymmärtää miten julkisuuspeliin osallistujat käyttäytyvät, ja kun kykenee arvioimaan mitä seuraavaksi tapahtuu. Tällöin itsekkin osaa asettua oikealle pelipaikalle eikä joudu toisten jallitettavaksi. Siinä tapauksessa, kun arvio tulevasta tapahtumasta osuu pieleen tapahtuu sellainen vääjäämätön ilmiö, että hukkaa pallon eikä tiedä mitä täytyy tehdä. Silloin on jouduttu selitystilanteeseen.

Tiedottajana voi joutua vaikka kuinka vaikeaan tilanteeseen, ja siitä selvittää vaihatta, jos syntyvän tilanteen on osannut ennakoita oikein. Mutta helpoistakin asioista tulee ylitsepääsemättömiä, jos arvio on mennyt pieleen tai ei ole osannut arvioida koko asiaa ollenkaan.

Hukkasit pallon

Selitystilanteen yksi tunnusmerkki on se, että on menettänyt aloitteen.

Esimerkiksi:

- "Tässä Topi Terävä Toimelioiden Toimittajien Tietopalvelusta, näin juuri aluehälytyskeskuksen screeniltä, että teillä on siellä tulipalo?"

- "Ai jaa, niin voi olla. Niin varmastikin, kun paloautokin taisi juuri mennä ohitse."
- "No voisitko kertoa missä palaa ja miten laajat vauriot on kysymyksessä."
- "No kun..... mää en tiedä mitään, et tota niiku voisit sää noin ystävällisesti kertoa mitä sää tiedät niin mäkin tietäisin....jotakin."
- "No hälytyskohde on pääkonttori"
- "Jaa sitten kuuluu helpottavalta, on saatanut munkkirasva kärehtää"
- "No mitä siellä on tapahtunut. Sano nyt suoraan. Kyllä sä sen tiedät kumminkin."
- "Enkä tiedä, mutta me järjestämme tiedotustilaisuuden, en osaa sanoa vielä tarkkaa aikaa, mutta heti kun se on meille selvä, niin me pannaan faxi jauhamaan. Nähdään sitten."
- "Kyllä sä voisit kumminkin kertoa jo nyt mitä on tapahtunut, kun meillä olis vähän kiire ja tota ymmärräthän sä, että teidän voimalaitokselle on niin pitkä matka ja kerro nyt kaikki mitä sä tiedät."
- "Usko jo nyt, että mä en tiedä, mutta infossa tavataan."

Tilanne hallintaan

Tällaisestakin tilanteesta voidaan selvittää kunnialla, kun saavutetaan tilanteen hallinta. Mikä tarkoittaa sitä, että on itse tietoinen tapahtumien oikeasta kulusta ja samaan aikaan tietää mitä siitä tapahtumasta halutaan tietää, mikä merkitsee sitä, että tietää myös sen, mitä tapahtumasta kysytään. Silloin pystytään jälleen ennakoimaan tapahtumien kulkua ja elämä alkaa hymyillä.

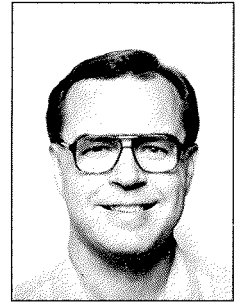
Selitystilanteisiin ei jouduta, kun tiedottaja tietää mitä omassa talossa tapahtuu, ja osaa arvioida oikein mitä siitä ulkopuoliset haluavat tietää ja erottaa vielä ne asiat, jotka ovat tapahtumasta julkisia niistä asioista, joista tulee vaieta.

Vaietakin voi

Vaienenemisen ongelma on siinä, että vain niistä asioista voi vaieta, joista ei kysytä. Jos pyrkii vaienemaan niistä asioista joista esitetään kysymyksiä, niin silloin joudutaan jälleen kerran selittämään tai sitten on kerrottava suoraan asioiden oikea laita.

Julkisuuden kanssa pelaamisessa - kuten muussakin ihmisten keskinäisessä toiminnassa - kotiläksyt on oltava tehtyinä tai sitten sönkkäät ja sinua viedään kuin litran mittaa.

FK Osmo Kaipainen on Teollisuuden Voima Oy:n tiedottaja,
p. 90-6180 2522.



Lyhyesti maailmalta

Armenia ottaa käyttöön maanjäristyksen vuoksi pysäytetyn ydinvoimalaitoksen. Metsamorin laitoksen kaksi yksikköä (ent. Armenia 1 ja 2) pysäytettiin viisi vuotta sitten, koska niiden ei katsottu kestävän enää uusia maanjäristyksiä. Nyt ne käynnistetään muutaman kuukauden sisällä. Maailman ydinlaitosten käyttäjien yhdistys (WANO) vieraili viime viikolla Metsamorissa sopimassa Armenian liittymisestä WANOon, jotta laitos saisi turvallista ja luotettavaa käyttöä varmistavaa tietoa. Laitoksen säätöjärjestelmiä, instrumentointia ja ATK-järjestelmiä täytyisi parantaa mahdollisimman pian. Metsamor sijaitsee 18 kilometrin päässä maan pääkaupungista Jerevanista. Nyt maassa pääasiassa vesivoimalla tuotettu sähkö riittää kuudeksi tunniksi päivässä kesäaikana ja talvella kahdeksi tunniksi. Metsamorin laitokseen kuuluu kaksi VVER 408 MW (V-270) yksikköä vuosilta 1979 ja 1980. Maanjäristyksen jälkeen on yksiköiden rakenteita vahvistettu.

NucNet 23.8.1994

Iso Britanniassa säteilyalalla työskentelevät elävät pidempään ja ovat terveempiä, syö-pätapaukset mukaanlukien, kuin muissa ammateissa työskentelevät keskimäärin. Oxfordin yliopiston kansanterveysosaston Dr. Lucy Carpenterin johtamassa tutkimuksessa selvitettiin 75 000 ydinalalla työskennelleen terveyshistoria vuodesta 1946 vuoteen 1988.

Nuclear Europe Worldscan 7/8 1994

Japanissa kasvatetaan salaattia ja tuetaan kalastusta ydinvoimateollisuuden avustuksin. Pohjois-Japanissa sijaitseva Rokkashon jälleenkäsittelylaitos on yhteistyössä seudun maanviljelijöiden kanssa rakentanut valtavia kasvihuoneita salaatin viljelyyn. Kylmässä ilmastossa viihtyy muutoin vain juurekset. Kalastajat ovat voineet rakentaa riuttoja kalojen houkuttelemiseksi lähivesiin. Avustukset ovat riittäneet myös jakelukeskusten perustamiseen ja kalatutkien hankintaan.

NucNet 24.8.1994

Japanissa suunnitellaan erästä maailman suurimmista jalkapalloilukeskuksista ja Japanin nostamista jalkapalloilun huipumaaksi. Keskuksessa olisi 15 ulkoilukenttää ja yksi sisäkenttä sekä asuntolat pelaajille. Tokion yksityisomisteinen sähköyhtiö (TEPCO) aikoo rahoittaa hankeen. Yhtiöllä

on vireillä hakemus Fukishiman valtavan ydinvoimalaitoskompleksin laajennuksesta kahdella 1 365 MW yksiköllä ja suuren hiilivoimalaitoksen laajennus kahdella 600 MW yksiköllä.

Nucleonics week 25.8.1994

Kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA) on julkaissut listan ydinsähkön osuudesta eri maiden sähkötuotannossa. Eniten ydinsähkөөn tukeutuvat Liettua, Ranska, Belgia ja Slovakia. Ydinsähkөөä tuotetaan 30 maassa, joista 18 maassa tuotanto-osuus ylittää 25 %:

| | |
|---------------|--------|
| Liettua | 87,2 % |
| Ranska | 77,7 % |
| Belgia | 58,9 % |
| Slovakia | 53,6 % |
| Slovenia | 43,3 % |
| Unkari | 43,3 % |
| Ruotsi | 42,0 % |
| Etelä-Korea | 40,3 % |
| Sveitsi | 37,9 % |
| Bulgaria | 36,9 % |
| Espanja | 36,0 % |
| Taiwan | 33,5 % |
| Ukraina | 32,9 % |
| Suomi | 32,4 % |
| Japani | 30,9 % |
| Saksa | 29,7 % |
| Tsekki | 29,2 % |
| Iso-Britannia | 26,3 % |

Meksikosta on tullut OECD:n 25. jäsenmaa. Meksikko aikoo osallistua aktiivisesti OECD:n ydinenergiajärjestön (NEA) toimintaan. Maassa on yksi ydinvoimalaitos, Laguna Verde 1 BWR-yksikkö, joka tuottaa 3 % maassa tuotetusta sähköstä.

Nucleonics week 9.6.1994

Norjassa katosi radioaktiivista talliumia. Energia Institutista Haldenista lähetettiin 27. kesäkuuta junalla Buskerudin keskussairaalaan 1 GBq erä Tl-201:tä. Lähetys katosi matkalla ja sitä ei ole löydetty elokuun alkuun mennessä. Norjan säteilysuojeluviranomaisen apulaisjohtaja Finn Ugleveit on huolestunut katoamisesta ja siitä, että valtion rautatiet ilmoitti katoamisesta myöhään. Rautateiltä vaaditaan selvitystä tapahtumasta ja yleensäkin radioaktiivisten lähetysten hoidosta. Em. lähetystä hoitaa koulutettu ryhmä, mutta kesäomat oli aiheuttanut henkilömuutoksia. Tallium-201:n puoliintumisaika on 73 tuntia ja sitä käytetään merkkiaineena esim. sydämen isotooppikuvauksissa.

Nucleonics week 4.8.1994

Norjalaiset ovat huolissaan ikiroudan sulamisesta. Venäjä suunnittelee Novaja Zemljalle ydinjätteen loppusijoituslaitosta, jossa jäte haudattaisiin 100–200 metrin syvyydelle ikiroutaan, joka ulottuu 300 metriin. Asia on hyväksyttävää, mikäli jäte on keski- tai matala-aktiivista, mutta korkea-aktiivinen jäte sensijaan sulattaisi ikiroutaa ja aktiivisuutta saattaisi kulkeutua pohjaveden mukana mereen. Myös Ruotsin ja Suomen ydinturvaviranomaiset ovat siinä määrin huolestuneet Venäjän ydinjätehuollostosta, että IAEA järjestäne aiheesta kokouksen keväällä 1995.

Nucleonics week 25.8.1994

Ruotsin Ringhals 1 BWR 780 MW yksiköllä tapahtui jodipäästö turbiinilaitoksen huonetilaan huoltoseisokin yhteydessä. Päästö oli suurempi kuin odotettiin. Kolme henkilöä sai raportointirajan ylittävän sisäisen annoksen. Näistä suurin vastasi 0,09 mSv efektiivistä annosekvivalenttia. Tapahtuman vakavuusluokka on 0.

IAEA INES 13.7.1994

Ruotsissa suunnitellaan jälleenkäsitellyn ydinpolttoainejäte-erän vientiä rikastettavaksi Tomsk-7 laitokselle Siperiaan. Studsvikissä on säilytettävänä 27 tynnyriä pulverimuotoista Belgian Mollissa käsiteltä U-235-oksidiä, joka on peräisin Ägestan koereaktorista 60-luvulta. Jäte haluttaisiin poistaa varastosta lojumasta ja hyödynnettäväksi. Ruotsin ydinturvaviranomainen (SKI) tarkastaa suunnitelman hyväksyttävyyden ja hallitus tekee lopullisen päätöksen. Erä kuljetettaisiin laivalla Pietariin, josta junalla Siperiaan. Asian hoitoa haittaa epäilyt Tomskin laitoksen turvallisuudesta.

Nucleonics week 11.8.1994

Ruotsin Oskarshamn 1 yksikön kunnostus etenee. Reaktoripaineastian alapäässä olevien syöttövesiputkien läpivientien säröjen korjaamiseksi paineastia dekontaminoitiin alkuvuonna 1994. Paineastia tyhjennettiin ja varustettiin säteilysuojin, jolloin sen sisällä voidaan nyt työskennellä ensimmäistä kertaa sitten valmistumisvuoden 1972. Säteilutaso reaktoripaineastian sisällä on alle 0,5 mSv/h.

Nucleonics week 18.8.1994

Ruotsissa hukkui huoltosukeltaja. Elokuun alussa Oskarshamnin ydinvoimalaitoksen jäädytysveden poistoputkistoa tarkastanut sukeltaja eksyi putkiston sisällä ja löydettiin hukkuneena 40 minuuttia myöhemmin. Ruotsin ydinturvaviranomainen (SKI) ei käsittele asiaa, joka katsotaan konventionaaliseksi työtatapaturmaksi.

Nucleonic week 18.8.1994

Ruotsin Ringhals 1 BWR 780 MW yksikön tehoa on korotettu 40 MW. Muutos toteutettiin asentamalla uudet roottorit malapaineturbiiniin kahdeksan viikon pituisen vuosihuollon aikana. Tehonkorotus vastaa pienen kaupungin sähkönkulutusta.

NucNet 5.9.1994

Ruotsin ydinturvaviranomainen (SKI) on edellyttänyt Ringhals 4 PWR Westinghouse-yksikön reaktorin säätösauvojen tarkistusta ennen ylösajolupaa vuosihuollosta. Säätösauvojen havaittiin takertelevan sisäänmenossa. Yksi 48:sta sauvasta ei mennyt täysin reaktorisydämeen ja kokeiltaessa muita havaittiin sisäänmenovastuksen vaihtelevan huomattavasti eri sauvoilla.

NucNet 5.9.1994

Saudi Arabia haluaisi valmistaa merivedestä juomavettä ydinvoimalla. King Abdul Azizin tiede- ja teknologiakaupunki (KACST) ja yliopisto suorittavat meriveden- ja ydinpainepoistolaitoksen alustavan soveltuvuustutkimuksen yhdessä IAEA:n kanssa. KACSTissa tutkitaan ydinenergian käyttöä rauhanomaisissa sovellutuksissa, kuten teollisuudessa, lääketieteessä ja isotooppi-tutkimuksissa tarkoituksena luoda valmius mahdolliselle ydinvoimalaitoshankkeelle.

Nucleonics week 25.8.1994

Slovakia ryhtyy keräämään rahastoa ydinjätehuollon toteutumisen varmistamiseksi. Varat kerätään jätteen tuottajilta, pankeilta lainoina ja valtion budjettivaroista, ja ne käytetään aikanaan ydinvoimalaitosjätteiden ja käytetyn polttoaineen loppusijoittamiseen sekä käytöstä poistettujen ydinlaitosten purkamiseen. Asiaa koskeva laki on juuri hyväksytty.

NucNet 5.9.1994

Sveitsin Wolfenschienin kunta on hyväksynyt keski- ja vähäaktiivisen ydinjätteen loppusijoituslaitoksen alueelleen. Kuntalaiset äänestivät 322 puolesta ja 189 vastaan NAGRA:n hankkeelle, kun hyvitykseksi luvattiin 3,5 miljoonaa Sveitsin frangia vuosittain seuraavien 40 vuoden ajan.

Nuclear Europe Worldscan 7/8 1994

Sveitsin ydinvoimalaitosten nimellistehoja korotetaan. Leibstadt 1 045 MW BWR yksikön teho kasvaa 2.2 % eli 23 MW parhaillaan vuosihuollossa tehtävällä matala-

paineturbiinimuutoksella. Gösgen 990 MW PWR yksikön tehoa kasvatetaan 2,8 % samoin turbiinimuutoksella 1995 vuosihuollossa. Sveitsiläiset äänestivät vuonna 1990 uusien ydinvoimalaitosten rakentamista vastaan, joten tarvittavaa lisäsähkötehoa saadaan maan viittä ydinvoimalaitosyksikköä tehostamalla. Sveitsin hallitus antoi vuonna 1991 periaatteellisen suostumuksen tehonkorotuksiin.

Nucleonics week 18.8.1994

USA:ssa heinät häiritsivät pahasti ydinvoimalaitoksen käyttöä. Delaware-joen vedessä oli niin runsaasti heinää ja muuta moskaa, että Salem 1 ja 2-yksikköjen tehoa jouduttiin alentamaan 73 prosenttiin. Tämäkään ei riittänyt Salem 1 PWR 1106 MW yksikön kohdalla, vaan se jouduttiin pysäyttämään kokonaan heinien tukittua lauhduttimen jäädytysjärjestelmän pumput. Pysäytyksessä sattui vaaratilanteita. Tapahtuman vakavuusluokka on yksi.

IAEA INES 16.5.1994

USA:n Energiaministeriö (DOE) on tehnyt merkittävän valinnan päättäessään käytetyn ydinpoltoaineen pakkausjärjestelmästä. Ministeriö on tutkinut kahden vuoden ajan vaihtoehtoja ja päätenyt monikäyttöiseen terässäiliöön (MPC). Ruostumatonta terästä oleva säiliön sulkemisen tiiveys on kaksosvarmennettu. Säiliöön sopii useita polttoainenuppuja ja se voidaan sijoittaa erilaisten pakkausten sisään kuljetusta, varastointia tai loppusijoitusta varten.

NucNet 5.9.1994

Venäjän työttömiä ydinasetiedemiehiä siirryttyä kehittämään synteettisten timanttien valmistusta. Hanke kuuluu ohjelmaan, jolla entistä ydinasehenkilöstöä ohjataan rauhanomaisiin tehtäviin. Ohjelma saa rahoitusta EU:lta, Japanilta ja USA:lta. Muita hankkeita ovat isotooppien laser-erutus, ydinainevälikäsitelystelmien kehitys ja akustisten tuntoelinten kehitys ydinlaitosten turvallisuuden valvontaan.

NucNet 2.6.1994

Venäjä on tilannut Ranskan SGN-konsernilta kaksi käytetyn ydinpoltoaineen kuivavarausta. Smolenskiin rakennetaan 5 000 tonnin varasto ja Kurskiin 8 000 tonnin varasto. Polttoaineen jälkilämmön poisto perustuu jäädytysilman luonnonkiertoon nippujen sisällä ja välissä. Varastoista käytetty RBMK-ydinpoltoaine siirretään aikanaan jälleenkäsiteltäväksi ja loppusijoitettavaksi.

NucNet 15.6.1994

Venäläiset atomienergiaministeriön valvomat organisaatiot (7) ovat muodostaneet Saksan Siemensin kanssa yhtiön nimeltään Nuclearcontrol. Yhtiön tarkoituksena on varustaa venäläiset ydinvoimalaitokset Siemensin instrumentoinnilla ja säätöjärjes-

telmillä. Siemens omistaa 31 % osakkeista.

Nucleonics week 14.7.1994

Venäjä ja Japani neuvottelevat kelluvan ydinjätteenpuhdistuslaitoksen rakentamisesta. Tarjouspyynnöt on tarkoitus lähettää pian. Japani rahoittaa hanketta. Laitos sijoitettaisiin Zvedaan, Venäjän kaukoitään, missä sijaitsee ydinsukellusveneiden purkutelakka. Laitoksen tulisi olla toiminnassa jo keväällä 1995.

Nucleonics week 14.7.1994

Venäjän Kuolan ja Smolenskin ydinvoimalaitosten työntekijät ovat olleet lakossa, koska eivät ole saaneet palkkaa kuukausiin.

Nucleonic week 11.8.1994

Venäjän ja NEA:n yhteinen reaktorionnettomuussydänsulaprojekti alkaa. Rasplav-laitos (sula ven.) rakennetaan Kurchatov-instituuttiin Venäjälle. Tarkoituksena on tutkia sydämen sulamisen vaikutuksia ja ilmiöitä reaktorimateriaaleista valmistetussa ja sisältävässä paineastissa, joka on kooltaan kymmenesosa ison VVER-laitoksen reaktoripaineastiasta. Paineastia kuumennetaan 2 500°C sulamislämpötilaan sähkömagneettisesti tai induktiokuumenuksella. Kokeessa huomioidaan TMI-onnettomuusreaktorin paineastiatutkimusten tulokset samoin kuin NEA:n muiden onnettomuustutkimusten tulokset; mm. ECCS kokeet LOFT:ssa USA:ssa. Rasplav-projekti kestää kolme vuotta ja maksaa noin 7 milj. dollaria.

Nuclear Engineering International 8.1994

Venäjällä tapahtui 31.8. pieni radioaktiivinen päästö polttoaineenpaloittelessa Tseljabinskin Majakin käytetyn ydinpoltoaineen jälleenkäsittelylaitoksella. Käsitteilylinjan alkupäässä paloitellaan polttoainesaunaniput ja leikkausoperaatioissa paloi eräiden polttoainesaunujen suojakuoria puhki mistä aiheutui radioaktiivisten kaasujen vapautumista. Säteily suojausjärjestelmät toimivat suunnitellusti, työympäristö ei kontaminoitunut, henkilöstö ei saanut säteilyannoksia ja ympäristöpäästökin ilmastointijärjestelmän kautta oli 4,36 % raja-arvosta. Tapahtuman alustava INES vakavuusluokka on 0 tai 1. Julkisuudessa on INES 3:kin esiintynyt.

NucNet 5.9.1994

Ins. Pekka Lehtinen on Säteilyturva-keskuksen ydinturvallisuusosaston tarkastaja, p. 90-759 881.

English abstracts

FIT AND MATURED TOWARDS LONG LIFE

Laaksonen (page 1)

The newest power plant unit in Finland is 14 years old, the oldest 17 years. Questions concerning life extension are already arising.

The safety and reliability of the Finnish nuclear power plants has through the years developed favorably. As the plants get older we face further challenges. The technical problems of life extension can be resolved as long as enough attention is paid to them in an early enough stage, and money is spent in the right place and right time. However, the goal should not only be to maintain the plants in good mechanical condition. Experience gained, accruing know-how and new management tools give possibilities to make the plants even safer and more reliable than they were at the time of their first start-up.

Apart from the technical challenges, a great concern is the peaked age structure of the present generation of plant personnel, authorities and technical support experts. How can we ensure that a new generation is ready to take the responsibility and build on our experience?

LIMIT OF THE OPERATION LIFE OF NPP

Rintamaa, Aaltonen (page 2)

Ensuring the safety and reliability of ageing nuclear power plant is one of the more important tasks facing both the nuclear industry and safety authorities. As a nuclear power plant ages, its reliability and the safety margins provided by the design tend to decrease and its operation and maintenance costs are likely to increase unless an awareness of the need to manage age related degradation is imparted to and acted upon by the plant maintenance and operations personnel. In Finland the design lives of NPPs will be reached in the time period from 2008 to 2020. Ageing man-

agement can best be accomplished by a comprehensive multi-disciplinary management programme. The main objective of such an ageing management programme is to ensure that significant ageing mechanisms and their effects are detected and mitigated in a timely manner so as to ensure continued and reliable plant operation.

THE REACTOR PRESSURE VESSEL EMBRITTLEMENT PROBLEM OF LOVIISA PLANT

Ahlstrand (page 8)

Many years the embrittlement of pressure vessel has been a inconvenient problem for VVER-440 plants. The core design and small pressure vessel of VVER-440 has made the embrittlement rate of the RPV steel the most critical ageing phenomenon at Loviisa plant. However, the work for handling and even solving the problem has been satisfactory. The test results from both test reactor irradiations and small test specimens cut out of the annealed RPV (Greifswald 1) have confirmed that the heat treatment, annealing process gives excellent recovery. The annealing for Loviisa 1 unit has been designed to perform at outage 1996.

EVALUATION AND MEASURES OF THE LIFE EXTENSION OF

TVO I AND II POWER PLANT

Juho Hakala (page 12)

A continuous and wide preventive maintenance and renovation is chosen to the life extension strategy at TVO I and II units. This requires extensive concentration on all ageing phenomena on theoretical level as well as on following their development at the power plant. The work related to ageing is partly performed by persons who are responsible for systems and components in the power plant organisation, partly by the working groups, which are organized for those purposes. The evaluation of the ageing phenomenon of the power plant systems, of large components and of dif-

ferent technical fields has revealed several needs for measures. Partly those are already performed. However the evaluation has not revealed any such ageing phenomena, which would limit the power plant life time to originally planned 40 years.

RESEARCH ON COMPONENT AGEING AND MAINTENANCE STRATEGIES

Kari Laakso (page 14)

A systematic analysis of fault and maintenance history of significant components should be included in a living plant life management program. Case studies have been performed for motor operated closing valves and their electrical drives and equipment in reactor protection systems. Combined use of the analysis of developing fault mechanisms and functional failures and decision tree logic of reliability centered maintenance has been developed.

The aim is identification of effective maintenance tasks for equipment in operating plants. VTT has also developed probabilistic optimization models and their solution techniques. Examples of applications to be tested are shutdown and repair decisions based on defects detected in steam generator welds. The continuation of the developments and applications is under way.

POWER COMPANY'S INFORMATION OFFICER - TELL, DO NOT EXPLAIN

Kaipainen (page 18)

Publicity means strong interaction between information providers, distributors and readers in which the curiosity of readers is the driving force.

The better the information officer is familiar with the interests of the public, the better he is capable of anticipating the information needs. Thus, the aim of information distribution is that the information officer brings up a subject which is of interest to the public and by making so takes the initiative to himself. This being the case, not much explaining will be required.

ATS:N KANNATUSJÄSENET

ABB Strömberg Power Oy
Fagerberg Processarmatur Oy Ab
Finn-Atom Oy Ab
Fintact Ky
Imatran Voima Oy
Kemira Oy
Mercantile Oy Ab
NAF Oy
Neste Oy
Nokia Oy AB Voima
Perusvoima Oy
Pohjolan Voima Oy
PRG-Tec Oy
Rados Oy
Saarnio & Riekkola Oy
Siemens Osakeyhtiö
Soffco Oy Ab
Suomen Atomivakuutuspooli
Suomen Malmi Oy
Sähkölähteenmäki Oy
Teollisuuden Voima Oy
YIT-Yhtymä Oy