

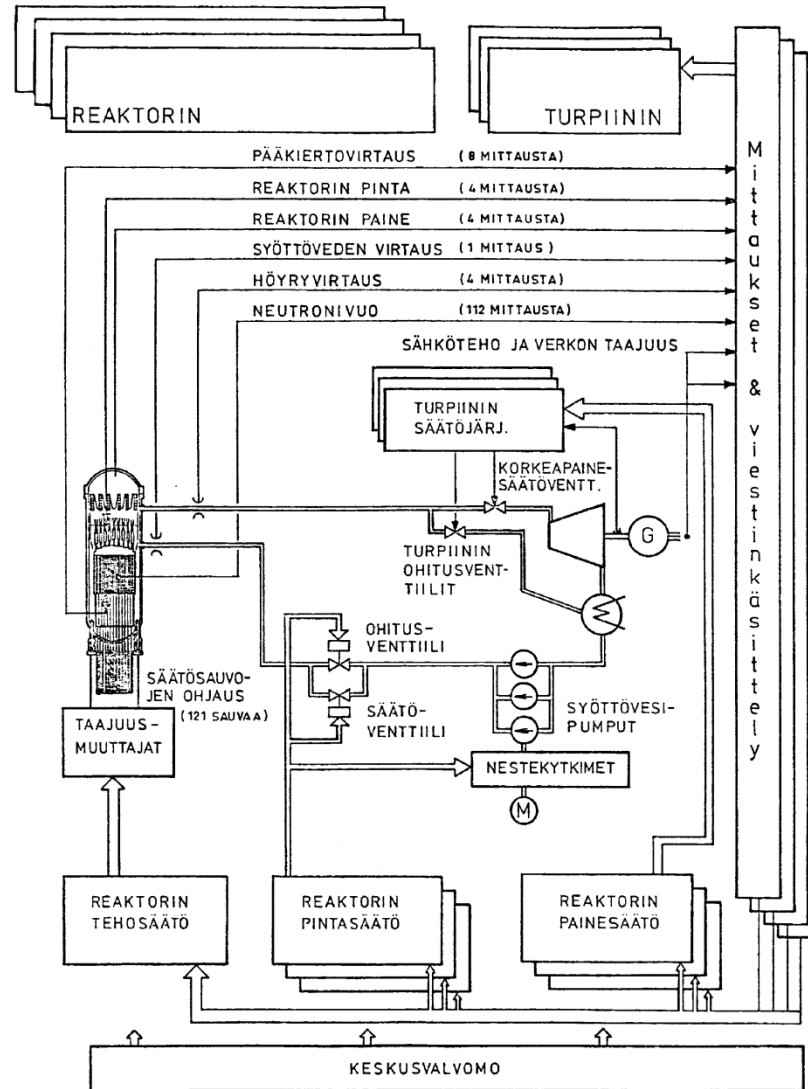
Lars-Erik Häll, personlig erfarenhet

- 1974 Dipl. Ing., Tekniska Högskolan i Helsingfors
- 1976 – 1980 Driftsättare, Asea-Atom (Västerås – Olkiluoto – Västerås)
- 1980 – 1993 Projektingenjör I&C, TVO Helsingfors, Olkiluoto
- 1988 – 1989 Koordinator för simulatorprojektet (Md, USA)
- 1994 – 1998 Chef I&C, stora moderniseringsprojektet
- 1999 – 2000 Siemens, Erlangen (tekniskt utbyte)
- 2001 – 2006 Finland 5, Olkiluoto 3 projektet
- 2007 - 2011 **TVO Nuclear Services**
- 2007 – 2008 Kozlodui 5/6 Safety Review
Guidance EU-PHARE projekt
- 2007 – 2012 OL4 projektförberedelser,
Toshiba Westinghouse koordinator
- **2012** **63 år, 30 år hos TVO, TVO 400 TWh**



Regulatorer

BWR-LAITOKSEN SÄÄTÖJÄRJESTELMÄT SUOJAUSJÄRJESTELMÄT



Regulatorer

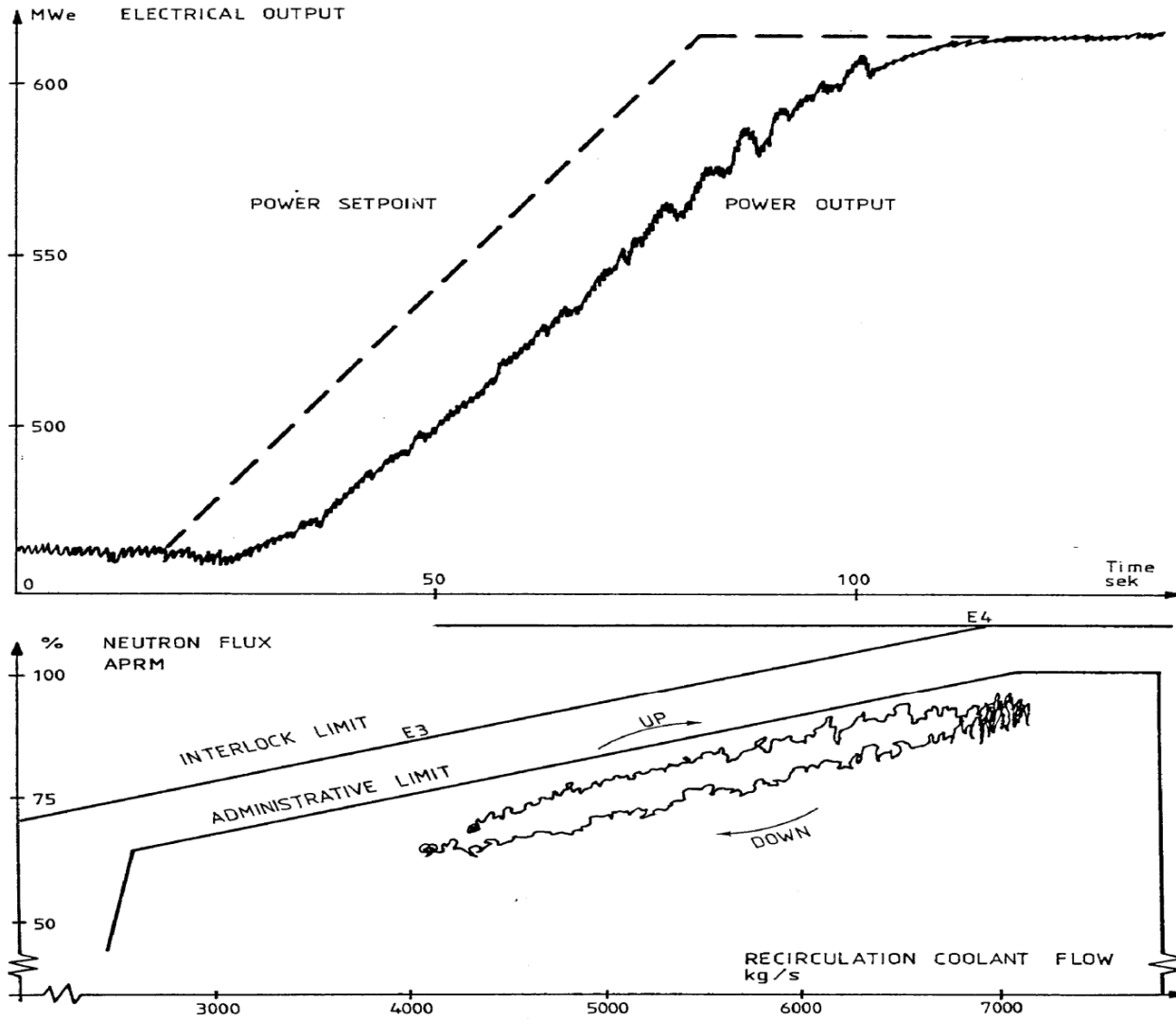


Fig. 4 ASEA - ATOM
TVOI BWR - 2000 Rapid Load Changes 19790129

TURRE: Byte av turbinens skydds- och reglersystem

Bakgrund: Funktionella krav och minskad störkänslighet

- genomfördes 1996 och 1997
- gammal hydraulik och elektronik ersattes av ett 3 kanaligt skyddssystem och ett oberoende 3 kanaligt reglersystem, manöverbildskärm i kontrollrummet
- hydraulik ersattes med elektronik i möjligt största omfattning
- provningsförfarandet förenklades

- drifterfarenheterna har visat, att moderniseringen har förbättrat anläggningarnas tillgänglighet

Ol1 – Ol2 – Stora projekt

- | | |
|---|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> Construction | 1974-1980 |
| ✓ 1. synchronization of Olkiluoto 1 (660 MW) in 1978 | |
| ✓ 1. synchronization of Olkiluoto 2 (660 MW) in 1980 | |
|
 | |
| <input type="checkbox"/> Modernization Project and 1. power uprate | 1982-1984 |
| <input type="checkbox"/> Interim Storage of Spent Fuel (KPA) | 1982-1987 |
| <input type="checkbox"/> Mitigation of Severe Accident | 1986-1989 |
| <input type="checkbox"/> Training Simulator | 1988-1990 |
| <input type="checkbox"/> Final repository for operating waste (VLJ) | 1988-1992 |
| <input type="checkbox"/> Studies for the final repository of spent fuel | 1980-1995 |
| <input type="checkbox"/> Modernization Project and 2. power uprate | 1994-1998 |
| <input type="checkbox"/> Infrastructure development (OL3. OL4) | 2002- 2007- |
| <input type="checkbox"/> Turbine Island Modernization | 2005-2006 |
| <input type="checkbox"/> Turbine and Reactor Modernization | 2009-2011 (power 885 MW) |



Datorer

I begynnelsen:

- Prosesdatorn behövdes för härdens övervakning och härdanalys samt manövreringen av styrtavarna (121 st) enligt på förhand beräknad sekvens
- Därtill status- och analogvärdesvisning på datorskärmar och störskriveri
- För driftsättningen utvecklade en datorbaserad ersättare för instrumentbandspelare, som också kom att fungera som störskrivare

Kontinuerligt jobb med moderniseringar:

- I början på 90 talet infördes ABB PMS vilket möjliggjorde utvecklandet av flödeshemavisning främst som stöd för symtombaserade störinstruktioner (EOP) samt ett TVO SPDS system
- I början av 2000 ersattes det ursprungliga processinterfacet med modern teknik. Kontrollrummets bakpanelers information överfördes till datorn.
- Härdanalysen, som för 35 år sedan var halvtimmesberäkningar sker nu i minutskalan trots mycket mer avancerade modeller.
- Millienium Bug !!!

Simulatorer

- **Simulering som en del av kärnbränslets dimensionering och användning, simulering för säkerhetsanalyserna**
- **Driftinriktad simulering, simulering för dimensionering**
- **Utbildningssimulatorerna**

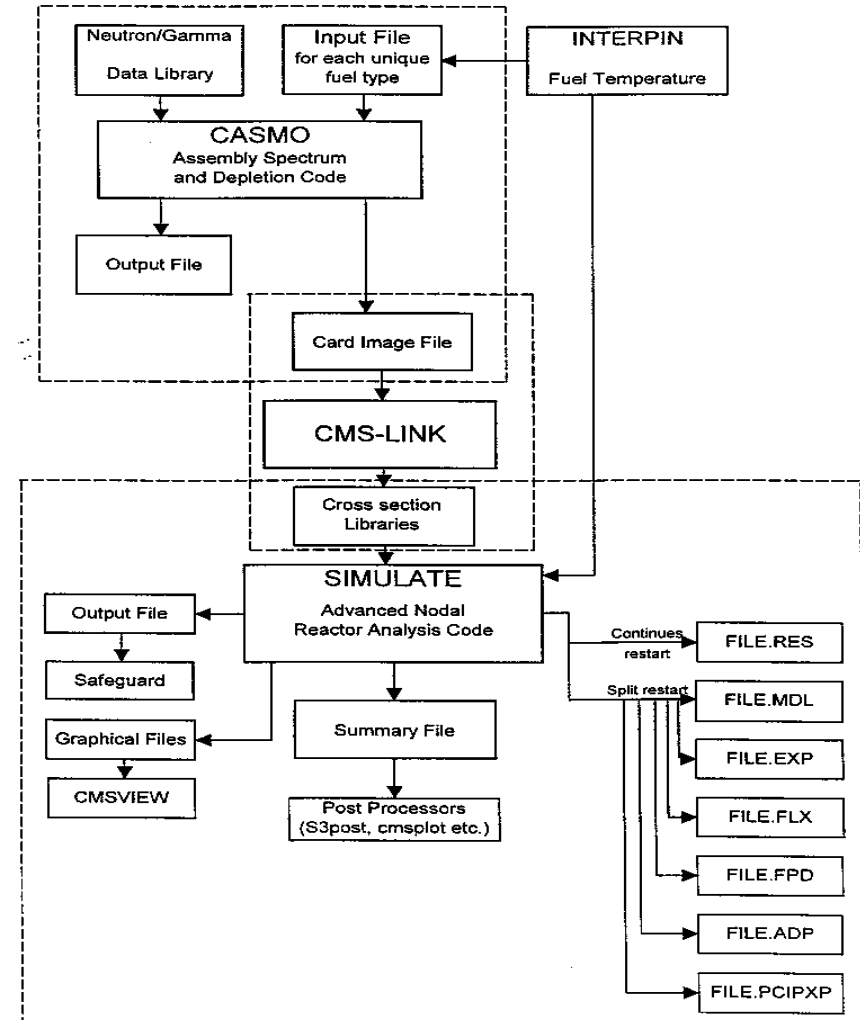


Kärnkraften börjar med bränsle

Bränslets dimensionering och konstruktion är en komplicerad teknisk process:

- dimensioneringen utförs av kärnbränsleleverantörerna i intimt samarbete med kunden
- med hjälp av en avancerad diffusionsmodell **CASMO** och simulering beräknas iterativt kärnklyvningsprocessen vilket ger ingångsdata för reaktorns laddnings- och driftplanering
- laddnings- och driftplaneringen är även en iterativ process med en enklare diffusionsmodell **SIMULATE**
- med **SIMULATE** simuleras även driftcykeln på förhand och planeras styrvstavssekvensen som sedan modifieras på basen av utbränningen under driftcykeln
- **SIMULATE** Online används för härdövervakning och optimering under drift (får ingångsdata om aktuella driftpunkten från processdatorerna)

Flow chart of Studsvik Scandpower Core Management system



Säkerhetsanalyser

- Dynamiska härd- och anläggningsmodeller används för att visa att säkerhetskraven är uppfyllda även vid driftstörningar och haverier (typiskt rörbrott av olika slag **LO**ss of **Coolant Accident**)
- STUK:s kärnkraftguider slår fast antaganden för säkerhetsanalyserna (tex N+2 redundans, vad som kan räknas till godo etc.), krav på validering av modellerna samt acceptanskriterier för resultaten + känslighetsanalyser
- av stor vikt är att modellerna är möjligast realistiska men för att vara på säkra sidan görs olika konservativa antaganden (läckageflödets storlek, pumpars kapacitet osv.)
- även möjligast realistiska analyser utförs för bedömningar gällande anläggningens drift
- olika reaktorleverantörer har sina egna modeller som även införskaffats av TVO för att kontrollera gjorda analyser och kunna göra egna analyser
- STUK och TVO gör även oberoende analyser med **APROS** (utvecklat av Fortum och VTT som är ett simuleringsverktyg innehållande modeller)
- för simulering av allvarliga haverier finns speciella modeller (MELCOR / MAAP)

Principer för säkerhetsanalyserna

Händelser analyseras som kan vara begränsande gällande bränsletemperatur, tryck etc.

A
N
A
L
Y
S
E
R

Initierande händelse (**P**rocess **I**nitiating **E**vent)

Utgångsläge: Sämsta tänkbara normala drifttillstånd

Antaganden om ytterligare fel:

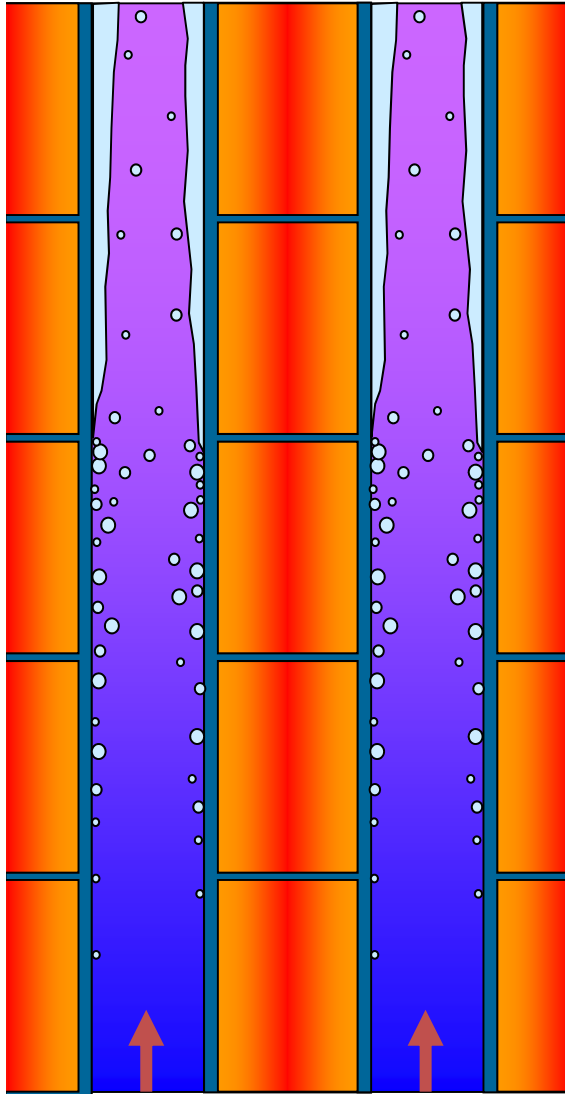
- enkelfel (tex. styrstav som fastnat, ventil som inte öppnar)
- system fungerar inte på grund av underhåll eller reparationer
- endast säkerhetsklassade system tillgodoräknas
- första utlösande villkor ignoreras

I vilken olyckskategori hamnar händelsen

(förväntad driftstörning, icke förväntad störning, dimensionerande haveri)

Bestämning av acceptanskriterierna

Det svåra i modelleringen, exempel



Värmeöverföring från bränslet

- Filmkokning
- Övergångsfasens kokning
- Bubbelskokning
- Underkyld kokning
- Värmeledning

Driftinriktad simulering

En hög verkningsgrad ger den billigast energin. Verkningsgraden kan följas upp och optimeras med en god modell av reaktor-turbinprocessen. TVO har genom åren satsat på en intensiv ”megawattsjakt”.

- Ett hjälpmedel i optimeringen är en så noggrann värmebalans som möjligt baserad på en god modell av processen.
- Modellen kan utnyttja uppmätta data för en finjustering av resultaten.
- TVO använder TEMPO som utvecklats i Halden i samarbete med bla. svenska kärnkraftföretag
- Simulering används även för dimensionering av nya processsystem och för studier av reglersystemens funktion (isynnerhet vid analys av störningar)

Något om träningssimulatorer

Simulatorträning som en tradition:

- ❑ Simulatorträning har varit en tradition i Finland från starten av kärnkraftanvändningen
- ❑ VTT principalsimulatorer användes för Lovisa och Olkiluoto grundträningen
- ❑ TVO operatörer tränades i Barsebäck 1 simulator fram till 1989
- ❑ TVO operatörer tränas nu i en egen anläggningsidentisk simulator i Olkiluoto sedan 1990

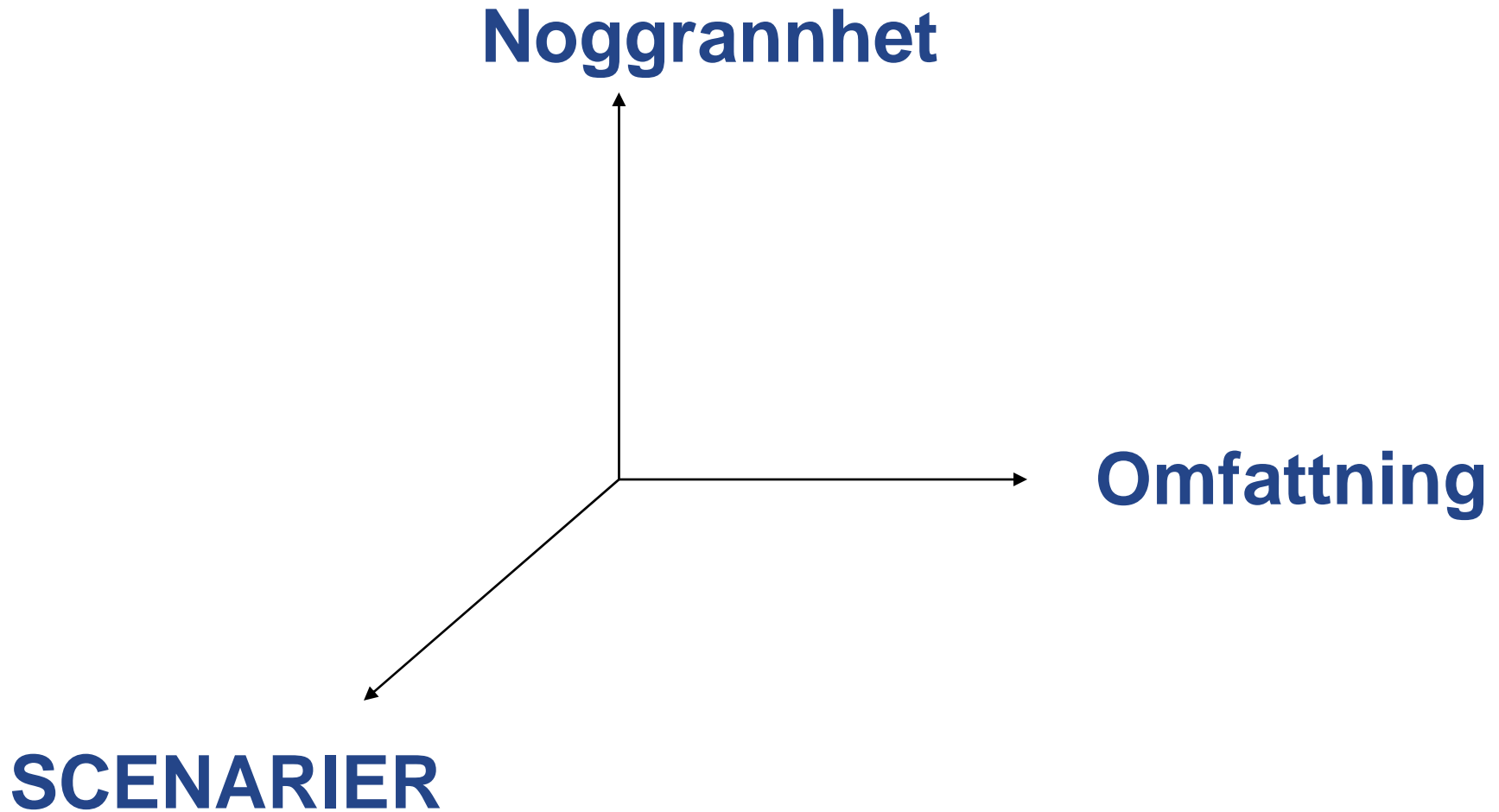
Simulatorträning som ett krav:

- ❑ STUK YVL guide 1.6 sektion 3.1.1 “Nya kärnkraftverk” slår fast:
”För en god grundträning skall en anläggningsidentisk fullskalesimulator finnas tillgänglig minst ett år före laddningen av bränslet i reaktorn inleds.”

Allmän användning av en simulator

- **träning av andra personalgrupper än kontrollrumsoperatörer**
- **utveckling av nya driftmoder och hantering av ovanlig driftsituationer**
- **en upprepning av störningar i anläggningen och validering av en korrekt funktion**
- **what-if undersökningar**
- **utveckling av kontrollrum och olika stödsystem för operatörerna**
- **aktiviteter relaterade till tekniskt stöd vid störningar och haverier**
- **generering av scenarier för beredskapsövningar av haverisituationer**
- **visningar av kontrollrummet och verksamheter i kontrollrummet**

Hur designa en träningssimulator ?

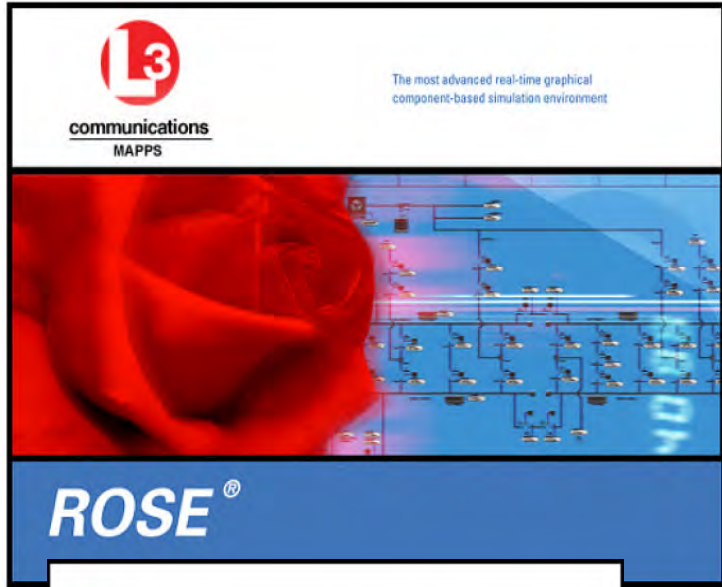


OL3 Simulator

Utveckling av kontrollrummet, CAD 3D simulering



Simulatorns programvara



L3 communications
MAPPS

The most advanced real-time graphical component-based simulation environment

ROSE[®]

$\chi = (1 - \beta) \chi^p + \sum_{a=1}^D \beta_a \chi^a$

of fission neutrons. The net result is the

$$-\frac{1}{2} h_x^i D_{ijk}^{j,i} \bar{\Phi}_{i+1jk} - h_y^j h_z^k \left(\frac{1}{2} h_x^i D_{ijk}^{j,i} \bar{\Phi}_{i+1jk} - \frac{1}{2} h_y^j D_{ijk}^{j,i} \bar{\Phi}_{ij+1k} - h_x^i h_z^k \left(\frac{1}{2} h_y^j D_{ijk}^{j,i} \bar{\Phi}_{ij+1k} + \frac{1}{2} h_z^k D_{ijk}^{j,i} \bar{\Phi}_{ijk+1} - h_x^i h_y^j \left(\frac{1}{2} h_z^k D_{ijk}^{j,i} \bar{\Phi}_{ijk+1} + \frac{1}{2} h_z^k D_{ijk}^{j,i} \bar{\Phi}_{ijk-1} \right) \right) \right)$$



Isis[™]

$$D_{i+1jk}^{j,i} + \frac{1}{2} h_x^i D_{ijk}^{j,i} \left(\frac{1}{2} h_x^i D_{ijk}^{j,i} + \frac{1}{2} h_x^{i-1} D_{i-1jk}^{j,i} \right)^{-1}$$

MAAP 4

$$\frac{1}{2} h_y^{j+1} D_{ij-1k}^{j,i} + \frac{1}{2} h_y^j D_{ijk}^{j,i} \left(\frac{1}{2} h_y^j D_{ijk}^{j,i} + \frac{1}{2} h_y^{j-1} D_{ij-1k}^{j,i} \right)^{-1}$$

$$\frac{1}{2} h_z^{k+1} D_{ijk-1}^{j,i} + \frac{1}{2} h_z^k D_{ijk}^{j,i} \left(\frac{1}{2} h_z^k D_{ijk}^{j,i} + \frac{1}{2} h_z^{k-1} D_{ijk-1}^{j,i} \right)^{-1}$$

$$+ h_x^i h_y^j h_z^k \Sigma_{ijk} \bar{\Phi}_{ijk} - h_x^i h_y^j h_z^k \Sigma_{zijk} \bar{\Phi}_{ijk}$$

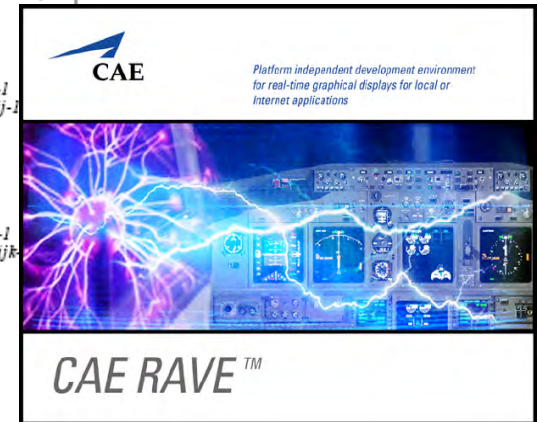
$$= h_x^i h_y^j h_z^k \chi \frac{1}{\gamma} \Sigma_{fijk} \bar{\Phi}_{ijk}$$



L3 communications
MAPPS

Dynamic utility for easy creation and validation of cycle-specific reactor data

Chorus[™]

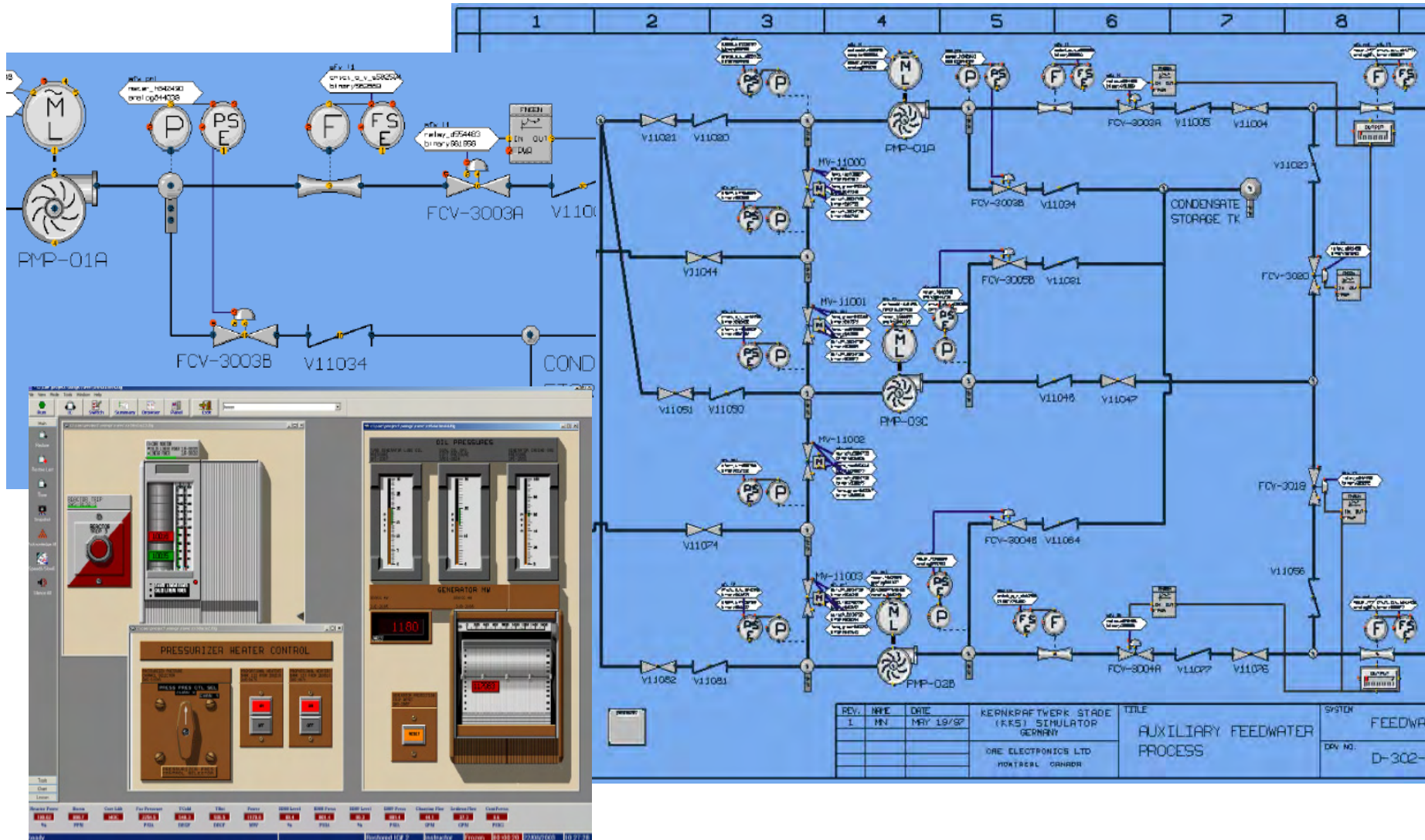


CAE

Platform independent development environment for real-time graphical displays for local or internet applications

CAE RAVE[™]

OL3 Simulatorn, utveckling av modellerna

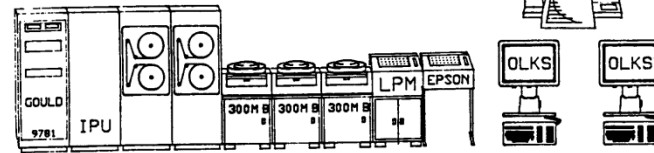


Simulatorer

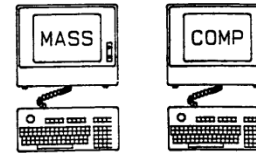


TVO OLKS

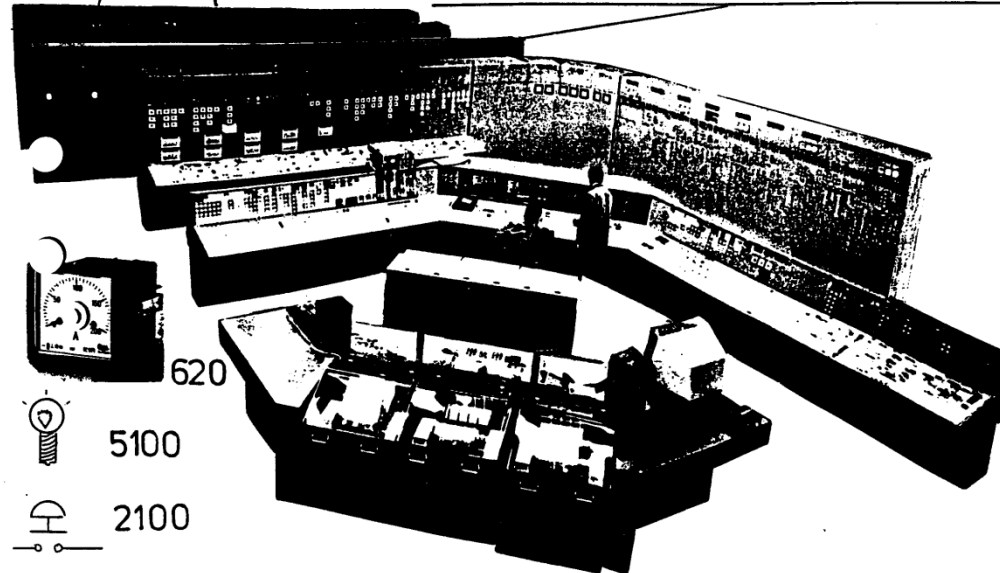
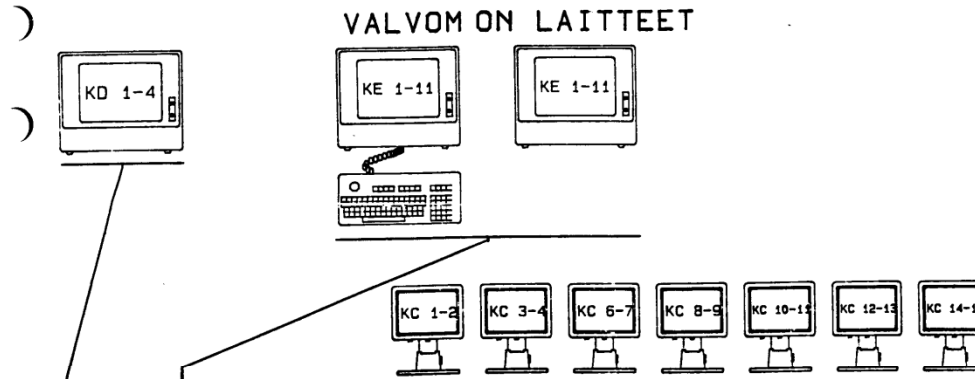
TIETOKONEET





KOULUTTAJAN JÄRJESTELMÄ

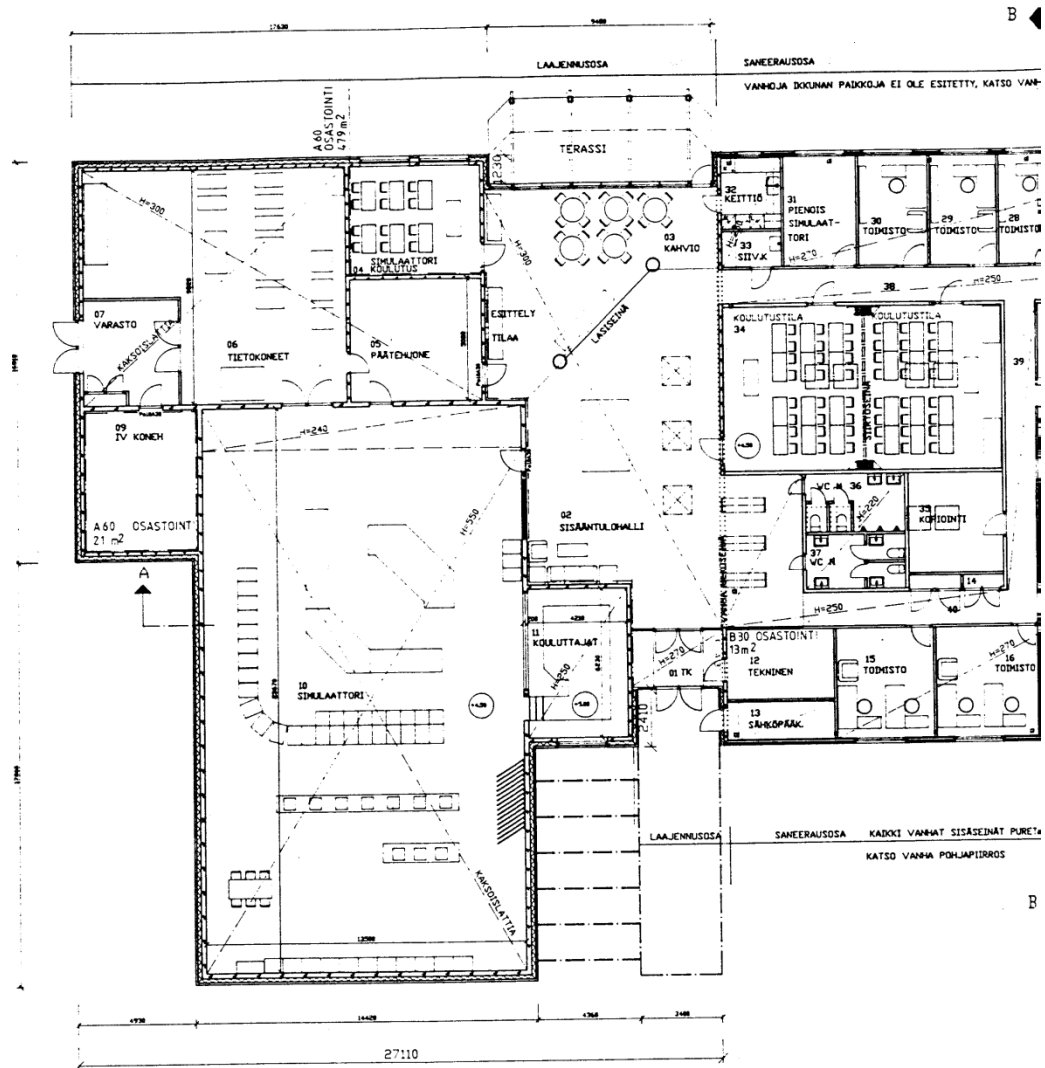


VALVOMON LAITTEET



-  5100
-  2100

Simulatorer



RAKENNUK

Simulatorer



TVO kouluttaa 10 mmk:lla vuodessa

Koulutussimulaattori käyttöön

■ Jatkuvan koulutuksen merkitystä, ajankohtaisuutta ja laatua korostettiin Eurajoen Olkiluodossa perjantaina, kun Teollisuuden Voiman uusi koulutuskeskus ja -simulaattori vihittiin käyttöön. Koulutuskeskuksen kustannukset ovat olleet noin 75 miljoonaa markkaa, josta simulaattorin ja tietokoneohjelmistojen osuus on yli puolet. Keskus mahdollistaa myös vierailijamäärien kasvattamisen. Vieraiden määrän uskotaan nousevan noin 15 000:een vuodessa eli kaksinkertaiseksi nykyisestä.

Koulutuskeskuksen vihki Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Antti Vuorinen simuloimalla uudella laitteistolla laitoksikön tahdistamisen sähköverkkoon.

Koulutussimulaattori vastaa täysin TVO:n ydinvoimaloiden valvomoita niin ulkonäöltä kuin laitteiltaan. Simulaattoria voidaan käyttää sekä peruskoulutuksessa että mitä erilaisimpien käyttötilanteiden harjoittelemisessa. Sillä voidaan harjoitella myös toimintaa epätavallisissa käyttötilanteissa ja varautua toimenpiteisiin onnettomuustilanteissa.

TVO:n henkilöstön simulaattorikoulutus on annettu tähän asti Ruotsin Studsvikissa maan ydinvoimayhtiöiden koulutuskeskuksessa. Teollisuuden Voima käyttää koulutukseen tavattomasti enemmän rahaa kuin Suomen teollisuus keskimäärin. Yhtiön vuotuinen koulutusbudjetti on ollut noin 10 miljoonaa markkaa eli noin 20 000 markkaa henkilöä kohti. Viime vuosina koulutuspäiviä on ollut henkilöä kohti keskimäärin kahdeksan.

Koulutuksen merkitys ydinvoimalaitosten käytössä nostettiin vihkiäispuheissa erittäin suureksi. Erityisen keskeisenä pidetään laitosten valvomoissa työskentelevän vuorohenkilökunnan koulutusta. Valtion teknisen tutkimuskeskuksen tutkimusjohtaja Pekka Silvennoinen toivoi, että simulaattoria voidaan käyttää myös tutkimustyöhön.

Osastopäällikkö Ami Rastas TVO:sta kiinnitti huomiota kokemuksista oppimisen merkitykseen. Hän sanoi yhtiön koulutus-toiminnan olevan ulkonaisilta puitteiltaan hyvässä kunnossa.

– Jatkossa panostamme koulutuksen laatuun ja siihen, että opetetaan kulloinkin oikeita asioita. On päästävä kokonaan eroon koulutustilaisuuksista, joissa tieto siirtyy kouluttajan papereista koulutettavien muistiinpanoihin käymättä kummankaan aivoissa, Rastas sanoi.

Simulaattoreita Neuvostoliittoon

TVO:n simulaattorin toimittaneen amerikkalaisen Link Miles Simulation Corporation -yhtiön pääjohtaja Dean Crawford kertoi tiedotustilaisuudessa, että yhtiö toimittaa kaksi simulaattoria myös Neuvostoliittoon lähelle Moskovaa. Tilaus koskee kahta tuhannen megawatin ydinvoimalan koulutussimulaattoria. Toimitukset tarvitsevat vielä Yhdysvalloissa venttiliä, koska kysymys on ennen muuta tietokonetekniikasta ja -ohjelmistoista.



No, lähiihän se käyntiin, tuumaavat Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Antti Vuorinen (vas.) ja instrumentointi-insinööri Lars-Erik Häll Teollisuuden Voimasta, kun Vuorinen simuloi ydinvoimalaitoksen tahdistamisen sähköverkkoon.

Maaillalla on käytössä yli sata ydinvoimalaitosten koulutussimulaattoria. Amerikkalaisyhtiö on

rakentanut niistä 60. Crawford sanoo, että simulaattoreita tullaan rakentamaan lähitulevaisuudessa

paljon. Yksi syy on jo olemassa olevien simulaattoreiden atk-tekniikan vanhentuminen ja uusien

tietokone-ohjelmistojen suomat monipuoliset mahdollisuudet häiriötilanteiden harjoittelemiseen.



ONKALO, Underground characterisation facility

Freshwater pool

Accommodation village

Visitor Centre

Contractor area

Road network

Fire station

Gas turbine power plant

Maintenance centre, main warehouse and laboratory

Intermediate storage facility for spent nuclear fuel

Ship lane

Power lines

Main gate

Training centre

Repository for low and medium-level waste

Administration
Power plant technology
Nuclear safety
ICT and documentation management
Posiva