



Hanna Koskinen, Leena Salo & Iina Aaltonen (toim.)

## Tilannetietoisuutta tukevat näytöt prosessiteollisuuden valvomoissa



# **Tilannetietoisuutta tukevat näytöt prosessiteollisuuden valvomoissa**

Hanna Koskinen, Leena Salo & Iina Aaltonen (toim.)



ISBN 978-951-38-7312-7 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7313-4 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2009

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Toimitus Mirjami Pullinen

Edita Prima Oy, Helsinki 2009

Tilannetietoisuutta tukevat näytöt prosessiteollisuuden valvomoissa [Displays supporting situation awareness in process industry]. Toim. Hanna Koskinen, Leena Salo & Iina Aaltonen. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2495. 236 s. + liitt. 66 s.

**Avainsanat** situation awareness, human-system interface, large screen display, digital control room

## Tiivistelmä

Suomen ydinvoimalaitoksissa uudistetaan parhaillaan automaatiojärjestelmiä ja valvomokäyttöliittymiä. Näissä uudistuksissa digitaalinen tekniikka korvaa perinteisen analogisen tekniikan, ja valvomoissa siirrytään perinteisistä paneeleista ja pulpeteista työasemapohjaisiin käyttöliittymiin. Automaatiojärjestelmien ja käyttöliittymien muutokset vaikuttavat monin tavoin voimalaitosten henkilöstön toimintaan. Tutkimuksiin pohjautuvaa tietoa digitalisoinnin vaikutuksista operaattoritoimintaan on kuitenkin varsin vähän.

SAFIR-tutkimusohjelmaan kuuluvissa hankkeissa Valvomoiden käyttäjäkeskeinen kehittäminen – IDEC (*Interaction Approach to the Development of Control Rooms*) ja Operointikäytännöt ja käyttöliittymät digitaalisissa valvomoissa – O’PRACTICE (*Operator Practices and Human-system Interfaces in Computer-based Control Stations*) on vuosien 2005–2008 aikana tutkittu, miten käyttöliittymien digitalisointi vaikuttaa laitoksen turvallisuuteen ja miten digitaalisten käyttöliittymien tarjoamia mahdollisuuksia parhaiten hyödynnetään. VTT:n Toiminnan tutkimus ja systeemikäytettävyys -tiimin tarkoituksena on ollut muun muassa tutkia tilannetietoisuuden muodostumista ja yhteistoiminnan ja kommunikaation rakentumista digitaalisessa valvomossa.

Tässä julkaisussa esitellään viisi tutkimusta, jotka käsittelevät yleisesti digitalisoinnin vaikutusta operaattoritoimintaan ja erityisesti sitä, miten tiedon esittämiseen tarkoitettujen näyttöjen (suurkuvanäyttöjen ja työasemanäyttöjen) avulla voidaan tukea prosessin valvontaa.

Osa I: Operaattoritoiminta digitaalisissa valvomoissa esittelee ensimmäisen tutkimuksen, jossa selvitettiin digitaalisten työvälineiden vaikutusta operaattorityöhön konventionaalisissa voimalaitoksissa. Tulokset osoittivat, että digitalisointi vaikuttaa monin tavoin valvomotyöskentelyyn, ja ns. sekundääritehtävien lisäksi myös primääritehtävät muuttuvat valvomomuutosten myötä. Suurkuvanäyttöistä on ilmeisesti hyötyä yleiskuvan muodostamisessa, edellyttäen että näytöt ovat huolella suunniteltuja.

Osa II: Suurkuvanäytöt valvomoympäristössä sisältää kaksi tutkimusta. Suurkuvanäyttöjä koskevan kirjallisuuskatsauksen perusteella suurkuvanäyttö on laadullisesti erilainen kuin työasemanäyttö, minkä vuoksi työasemanäyttöjä koskevat käytettävyysuositukset eivät sellaisenaan ole sovellettavissa suurkuvanäyttöihin. Parhaimmillaan suurkuvanäytöt tukevat operaattoreiden tilannetietoi-

suutta sekä yhteistoimintaa ja yhteistyötä välittämällä tietoa prosessin pääparametreista ja muiden operaattorien toiminnasta.

Osan II toisessa tutkimuksessa esiteltävien suunnittelutyöpajojen tulosten mukaan operaattorit toivovat, että suurkuvanäytöt olisivat jonkinlainen paneelien ja prosessitietokonenäyttöjen synteesi, jossa yhdistyisivät molempien parhaat puolet. Työpajojen tulosten perusteella hahmoteltiin ns. suurkuvakonsepti, joka kertoo, mihin kysymyksiin suunnittelun on pyrittävä vastaamaan. Suurkuvanäytöt välittävät yleiskuvan laitoksen tilasta, tukevat tilannetietoisuutta, muutoksen nopeaa havaitsemista sekä yhteistyötä ja toimintojen koordinoitua. Niiden rooli, käyttötapa ja sisältö riippuvat laitoksen tilasta.

Osaan III: Uudet näyttökonseptit on koottu kaksi tutkimusta, joissa on pyritty selvittämään uudenlaisten näyttökonseptien soveltuvuutta prosessinohjaustööhön. Osassa III ensimmäisenä esitellään tutkimus, jossa arvioitiin Fortumin kehityssimulaattorille kehitettyä IRD-konseptiin (*Information Rich Design*) perustuvia suurkuvanäyttöjä, joiden avulla pyritään helpottamaan häiriöiden varhaista havaitsemista esittämällä historiatietoa trendikäyrien avulla, hyödyntämällä ryhmittelyperiaatteita käyrien ryhmittelyssä sekä esittämällä runsaasti tietoa pienessä tilassa. Tutkimuksen mukaan IRD-näytöt auttavat operaattoreita häiriöiden havaitsemisessa, tunnistamisessa ja diagnosoimisessa. Kaikkia IRD-konseptin ominaisuuksia (esim. trendikäyrien normalisointia) operaattorit eivät kuitenkaan pitäneet kovin hyödyllisinä. Tutkimuksessa pohditaan, miten uusien näyttökonseptien ideoita tulisi soveltaa valvomonäyttöjen suunnittelussa.

Osassa III toisena esitellään viidestä kirjassa esiteltävästä tutkimuksesta viimeinen HRP:n HAMMLABissa toteutettu tutkimus, jossa tutkittiin ns. EID-konseptiin (*Ecological Interface Design*) perustuvien näyttöjen toimivuutta erilaisissa ajotilanteissa. Tulosten mukaan EID-konseptiin perustuvat näytöt helpottavat prosessimuutosten huomaamista sekä parantavat operaattorin tilannekäsitystä. Toisaalta tietämyksessä vaativissa häiriötilanteissa operaattorit suoriutuvat paremmin prosessikaavioon perustuvien näyttöjen avulla, joissa komponenttien paikat ja virtaussuunnat erottuvat selkeämmin kuin EID-näytöissä. Ilmeisesti operaattorit tarvitsevat erilaisia näyttöjä erilaisissa laitostiloissa.

Ilmeisesti käyttöliittymien digitalisoinnin vaikutukset eivät ole yksiselitteisesti myönteisiä tai kielteisiä eivätkä uudentyyppiset näytöt ratkaise kaikkia tilannetietoisuuden rakentumiseen, häiriöiden havaitsemiseen ja operaattoreiden väliseen yhteistoimintaan liittyviä ongelmia. Kaiken kaikkiaan digitalisoinnin vaikutuksen ymmärtämisessä ja uusien tiedonesityseriaatteiden soveltamisessa valvomonkäyttöliittymien suunnitteluun ollaan vasta alkutaipaleella.

Tilannetietoisuutta tukevat näytöt prosessiteollisuuden valvomoissa [Displays supporting situation awareness in process industry]. Edited by Hanna Koskinen, Leena Salo & Iina Aaltonen. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2495. 236 p. + app. 66 p.

**Keywords** situation awareness, human-system interface, large screen display, digital control room

## Abstract

Finnish nuclear power plants are renewing their automation systems, control rooms and human-system interfaces. In control rooms there will be a change from analog technology to digital technologies and desktop-based workstations. These changes are challenging, and they have a great impact on operator practices. So far there is, however, quite little research on these effects.

These issues have been tackled by two projects included in the SAFIR, the Finnish research program on the nuclear power plant safety, IDEC (Interaction Approach to the Development of Control rooms) and O'PRACTICE (Operator practices and human-system interfaces in computer-based control stations). The main focus of the studies conducted by the VTT Human activity and systems usability -team has been to assess the safety impacts of the digital user interfaces and to study how to utilize novel technologies in the nuclear power plant context. We have, for example, studied the effect of digital technology on the development of situation awareness and communication and collaboration in the NPP CR.

Five studies are presented in this publication showing the effects of digitalization on operator practices and, more specifically, how different types of advanced displays can support the monitoring of power process.

Part I: Operator activity in digital control rooms presents the first study that shows how new types of digital user interfaces affect operator practices in a conventional power plant. The effects are diverse and not all of them are positive. For example, in addition to secondary tasks also primary tasks related to process monitoring and operation will be changed. Different types of large screen displays may help the development of an overview of the power process, provided that the displays are carefully designed.

Part II: Large screen displays in control room environment includes two studies. The literature review on the usage practices of large screen displays suggests that since large screens are qualitatively different from desktop-based screens, new types of interface metaphors and usability recommendations are needed. If carefully designed, large screen displays are able to support the build-up of accurate situation awareness and communication and collaboration between operators.

Based on the results of the three design workshops in the second study presented in part II, a draft of a large-screen display concept has been outlined. Operators thought that the large screens should be some kind of a hybrid of panels and tables and the displays of the process computer system synthesizing their best features. The large screens should support the development of an overview of the power process, development of situation awareness, rapid detection of failures and problem states and collaboration and co-ordination of activities. Their role and usage practice are dependent on the state of the power process.

In the Part III: New display concepts, there are included two studies that are aiming to evaluate the usability and applicability of new display concepts to support process control and monitoring activity. The first study presents the results of the evaluation of the Fortum IRD pilot which is the first application of the IRD concept to the design of displays for the operation of the nuclear power process. The results suggest that the Fortum IRD pilot displays have shown to be applicable to the detection, identification and diagnosing of failure states in the nuclear power process. The displays have many useful features such as the presentation of history information through trend graphs, the use of Gestalt grouping principles in element clustering and the information richness of graphs. On the other hand, the displays have also some features that make them poorly suited to their purpose. For example, although trend information was considered very useful, the usefulness of trend normalisation was doubted.

In the second study in part III displays based on the Ecological Interface Design (EID) concept were investigated in a simulator study and compared to more traditional displays. The EID displays appeared to support the understanding the global state of the process; some other features included in more traditional displays, in turn, provided effective support for operations and were in better agreement with the operators' conceptions of the process. Our results suggest that different types of displays are needed in different plant states.

The digitalization of CR human-system interfaces apparently has both positive and negative consequences, and new types of displays will not solve all the problems associated with the build-up of situation awareness, detection of process failures and collaboration between operators. But, so far, we have only scratched the surface of understanding how the digitalization of CRs and user interfaces affect operator work.



## Alkusanat

Tämä kirja sisältää viisi osaraporttia, jotka perustuvat SAFIR-tutkimusohjelman (*Safety of Nuclear Power Plants – Finnish National Research Programme*) Valvomoiden käyttäjäkeskeinen kehittäminen – IDEC (*Interaction Approach to the Development of Control Rooms*) ja Operointikäytännöt ja käyttöliittymät digitaalisissa valvomoissa – O’PRACTICE (*Operator Practices and Human-system Interfaces in Computer-based Control Stations*) -hankkeissa vuosien 2005–2008 aikana tehtyihin tutkimuksiin. IDEC-hankkeen keskeisenä tavoitteena oli kehittää toimintalähtöinen arviointimenetelmä ydinvoimalavalvomoiden toimivuuden ja käytettävyyden arvioimiseen. O’PRACTICE-hankkeessa tavoitteena taas on tukea digitalisoitujen valvomoiden käyttöliittymien suunnittelua ja kehittämistä tutkimalla yhteistoiminnan ja kommunikaation rakentumista ja tilannetietoisuuden muodostumista näyttöinformaation varassa sekä ohjeiden käyttöä.

Tutkimusten toteutuksesta vastaa VTT:n Systeemitutkimuksen osaamiskeskuksen toiminnan tutkimus ja systeemikäytettävyys -tiimi (tiiminvetäjä Leena Norros, Iina Aaltonen, Hanna Koskinen, Jari Laarni, Marja Liinasuo, Leena Salo ja Paula Savioja). Tiimin jäsenet ovat osallistuneet lukujen kirjoittamiseen seuraavasti: Leena Norros (luvut 4, 5 ja 6); Hanna Koskinen (luvut 4 ja 5); Jari Laarni (luvut 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 7); Leena Salo (luvut 2, 4, 5 ja 6) ja Paula Savioja (luvut 2 ja 6). Kirjan tekstien, kuvien, taulukoiden ja lähdeluettelon viimeistelystä painoasuun vastasivat Hanna Koskinen, Iina Aaltonen ja Leena Salo. Tässä kirjassa esiteltävien tutkimusten tuloksia on aiemmin esitelty useissa seminaareissa, tieteellisissä kongressijulkaisuissa sekä artikkeleissa.

Seuraavat henkilöt ovat antaneet merkittävän panoksen esitettyihin tutkimuksiin ja vaikuttaneet kirjassa esitettyihin ajatuksiin:

Fortum Nuclear Services: Esko Rinttilä, Ville Nurmilaukas, Joakim Bergroth, Ari Kautto, Pentti Markkanen ja Eero Vilander.

Fortum Loviisa: Samuli Savolainen, Henry Huovinen, Jukka Kukkula, Kalle Lipponen sekä työpajoihin ja testeihin osallistuneet operaattorit ja kouluttajat.

Fortum Naantali: Ari Anttila sekä haastatteluihin osallistuneet operaattorit.

Fortum Meri-Pori: Jarmo Koski sekä haastatteluihin osallistuneet operaattorit.

TVO: Olli Hoikkala ja Sanna Haapala sekä työpajoihin ja haastatteluihin osallistuneet operaattorit ja kouluttajat.

Vantaan Energia Martinlaakson voimalaitos: Marko Ahl sekä haastatteluihin osallistuneet operaattorit.

Helsingin Energia Hanasaari B: Jorma Karppi sekä haastatteluihin osallistuneet operaattorit.

STUK: Harri Heimbürger, Jukka Kupila ja Heimo Takala.

VTT: Jari Hämäläinen ja Olli Ventä.

Halden Reactor Project / Institutt for energiteknikk: Jon Kvaalem, Gisle Andresen, Alf-Ove Braseth, Christer Nihlwing, Gyrd Skraaning ja Robin Welch.

University of Toronto: Jordanna Kwok, Greg Jamieson ja Nathan Lau.

Toivottavasti tämä julkaisu tarjoaa hyödyllisiä näkemyksiä ja kokemuksia, joista on apua valvomoiden käyttöliittymien käyttäjälähtöisessä suunnittelussa niin meneillään olevissa kuin tulevissakin uudistushankkeissa.

Espoossa 31.11.2009

Jari Laarni

Erikoistutkija, VTT

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	5
Alkusanat .....	7
1. Johdanto .....	13
Osa I: Operaattoritoiminta digitaalisissa valvomoissa .....	17
2. Haastattelututkimus digitaalisten työvälineiden vaikutuksista operaattorityöhön .....	19
2.1 Johdanto .....	19
2.2 Havaintoja Hanasaaren B-voimalaitoksen valvomokäyttöliittymistä ja työskentelystä valvomossa .....	20
2.2.1 Työnjako ja yhteistyö valvomossa .....	21
2.2.2 Työvälineet prosessin hallinnassa .....	21
2.2.3 Tiedon löytyminen ja näyttöjen selkeys .....	23
2.2.4 Valvomomuutosten vaikutus työntekoon .....	23
2.3 Havaintoja Meri-Porin voimalaitoksen valvomokäyttöliittymistä ja työskentelystä valvomossa .....	24
2.3.1 Operaattorien tehtäväkuva ja yhteistyö valvomossa .....	25
2.3.2 Työvälineet prosessin hallinnassa .....	26
2.3.3 Tiedon löytyminen ja näyttöjen selkeys .....	28
2.3.4 Valvomomuutosten vaikutus työntekoon .....	28
2.4 Havaintoja Martinlaakson voimalaitoksen valvomokäyttöliittymistä ja työskentelystä valvomossa .....	29
2.4.1 Työnjako ja yhteistyö valvomossa .....	30
2.4.2 Työvälineet prosessin hallinnassa .....	31
2.4.3 Tiedon löytyminen ja käyttöliittymien selkeys .....	32
2.4.4 Järjestelmän käytön oppiminen .....	33
2.5 Havaintoja Naantalın voimalaitoksen valvomokäyttöliittymistä ja työskentelystä valvomossa .....	33
2.5.1 Työnjako ja yhteistyö valvomossa .....	34
2.5.2 Työvälineet prosessin hallinnassa .....	35
2.5.3 Tiedon löytyminen ja käyttöliittymien selkeys .....	36
2.5.4 Valvomomuutosten vaikutus työntekoon .....	37
2.6 Yhteenveto haastattelututkimuksen tuloksista .....	38
2.6.1 Digitalisoinnin vaikutukset operaattorien työhön .....	38
2.6.2 Operaattorien suhtautuminen työvälineiden muutokseen .....	38
2.6.3 Näyttöjen soveltuvuus valvomotyöhön .....	39
2.6.4 Suurkuvanäyttöjä koskevia huomioita .....	40
2.6.5 Koulutusta koskevia huomioita .....	41

Osa II: Suurkuvanäytöt valvomoympäristössä..... 43

3.	Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa – kirjallisuuskatsaus .....	45
3.1	Johdanto .....	45
3.2	Mitä suurkuvanäytöt ovat? .....	47
3.3	Suurkuvanäyttöjen keskeiset ominaisuudet.....	49
3.4	Suurkuvanäyttöjen käyttökohteet.....	50
3.5	Suurkuvanäyttöjen käytötavat.....	51
3.6	Suurkuvanäytöt ja tiimin yhteistyö .....	52
3.7	Suurkuvanäyttöjen hyödyt ja haitat.....	53
3.7.1	Suurkuvanäyttöjen hyödyllisyys .....	53
3.7.2	Näyttöpinta-alan hyödyntäminen.....	54
3.7.3	Suurkuvanäyttöihin liittyviä käytettävyyssongelmia .....	55
3.7.4	Suurkuvanäyttöihin liittyviä teknisiä ongelmia.....	57
3.8	Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa .....	57
3.9	Suurkuvanäyttöjen suunnitteluohjeita .....	59
3.9.1	Näyttöjen lukumäärä.....	61
3.9.2	Näyttöjen sijoittelu tilaan .....	61
3.9.3	Näyttöjen sisältö .....	62
3.9.4	Tiedon esitystavat .....	63
3.9.5	<i>Information Rich</i> -näyttökonsepti.....	64
3.9.6	Sisällön hallinta .....	66
3.9.7	Vuoron yhteistoiminta .....	67
3.9.8	Suurkuvanäyttöjen käyttö .....	67
3.10	Tulevaisuuden haasteet.....	68
3.10.1	Haasteita .....	69
3.10.2	Ratkaisuja ongelmiin.....	69
3.11	Yhteenvedo ja johtopäätökset .....	71
4.	Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset.....	73
4.1	Johdanto .....	74
4.2	Menetelmät .....	75
4.3	Tulokset .....	76
4.3.1	Loviisan suunnittelupalaverin tulokset (20.6.2007).....	77
4.3.2	Olkiluodon suunnittelupalaverin tulokset (26.9.2007).....	87
4.3.3	Suurkuva-workshop VTT:llä (1.10.2007) .....	92
4.4	Johtopäätökset .....	94
4.4.1	Yleistä.....	94
4.4.2	Suurkuvanäytön määrittely.....	95
4.4.3	Suurkuvakonseptin kehittäminen .....	96
4.4.4	Suurkuvanäyttöjen hyödyt .....	96
4.4.5	Suurkuvanäyttöjen hallinta ja käyttö.....	97
4.4.6	Suurkuvanäyttöjen sijoittelu ja valvomo-layout.....	98
4.4.7	Suurkuvanäyttöjen sisältö.....	98
4.4.8	Tiedon esittäminen suurkuvanäytöillä.....	98
4.4.9	Suurkuvanäyttöjen suunnittelu .....	99
4.4.10	Suunnittelutyöpajojen toteutuksen arviointi.....	99
4.5	Suurkuvakonseptin perusjäsenitys .....	100
4.5.1	Käyttötapa .....	101
4.5.2	Informaatioisisältö.....	103
4.5.3	Keskusteluihin perustuva suurkuvakonseptin luonnos.....	105

Osa III: Uudet näyttökonseptit..... 107

5.	Evaluation of the Loviisa IRD-pilot.....	109
5.1	Introduction .....	110
5.1.1	Background.....	110
5.1.2	Key design features of the IRD concept .....	110

5.1.3	The starting point for the development of the Fortum IRD pilot .....	113
5.1.4	Research method .....	113
5.2	Interviews of the designers .....	114
5.2.1	Interview of the IFE designers .....	114
5.2.2	Interview of Fortum designers and operator designers .....	121
5.3	Design workshops .....	124
5.3.1	Problems with the Fortum pilot .....	125
5.4	Usability test of the Fortum pilot .....	126
5.4.1	Method .....	127
5.4.2	Results concerning operators' performance .....	130
5.4.3	Results concerning operators' thoughts on IRD key features and Fortum pilot .....	133
5.4.4	Intermediate conclusion .....	141
5.5	Heuristic evaluation of the usability of the Fortum IRD pilot .....	142
5.5.1	Numeric evaluation of the visual usability of the IRD displays .....	142
5.5.2	Qualitative assessment of the visual usability of the IRD displays .....	143
5.5.3	Intermediate conclusion .....	146
5.6	General discussion .....	146
5.6.1	Evaluation of the IRD concept .....	146
5.6.2	Fortum IRD pilot .....	148
5.7	Conclusions .....	151
5.7.1	Usefulness of IRD design principles .....	151
5.7.2	Evaluation of the Fortum pilot .....	152
6.	<b>The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions .....</b>	<b>154</b>
6.1	Introduction .....	154
6.2	Methodological approach in EID experiments .....	155
6.2.1	Reasons for a dual research strategy .....	155
6.2.2	Research questions .....	156
6.3	Method .....	157
6.3.1	Conceptual basis of analysing operator performance .....	157
6.3.2	How to analyse practices empirically .....	161
6.3.3	Experimental design and its adaptation to qualitative analysis of practices .....	164
6.3.4	Data collection and analysis methods .....	165
6.4	Hypotheses .....	182
6.5	Results .....	184
6.5.1	Performance in process control .....	184
6.5.2	Working practices of the crews .....	194
6.5.3	Crews' experience of the process control interface .....	209
6.6	Discussion of results .....	215
6.6.1	User experience of the displays .....	215
6.6.2	Crews' performance in process control .....	216
6.6.3	Connections between habit of action, display and situation .....	217
6.6.4	Systems Usability of the displays .....	218
6.6.5	Limitations of the study .....	220
6.7	Conclusions .....	221
7.	<b>Yhteenveto .....</b>	<b>223</b>
	<b>Lähdeluettelo .....</b>	<b>225</b>

## Liitteet

- Liite A: Esimerkkejä sovelluksista
- Liite B: Suurkuvanäyttöjen suunnitteluohjeita
- Liite C: Suurkuvanäytöt ja visuaalinen ergonomia
- Liite D: Esimerkki suunnittelutyöpajan kulusta
- Liite E: Suunnittelutyöpajan tehtävät
- Liite F: Suurkuvakonseptin perusjäsenys
- Liite G: Suurkuvakonseptin hahmottelua
- Liite H: Screenshots from the IRD displays
- Liite I: IRD-tests: time schedule
- Liite J: Observational findings for each scenario and for each crew
- Liite K: Debriefing questions
- Liite L: Positive comments concerning the Fortum IRD pilot displays
- Liite M: Summary of debriefing discussions
- Liite N: Heuristic evaluation form
- Liite O: Functional situation model (FSM) of scenario Out3
- Liite P: Orientation interview
- Liite Q: Debriefing interview

# 1. Johdanto

Suomen ydinvoimalaitosten automaatiojärjestelmiä uudistetaan parhaillaan. Näiden laitosten automaatiojärjestelmien muutosten yhteydessä myös valvomot uudistuvat, kun analogiset valvomotaulut ja -pulpetit korvataan tietokonepohjaisilla työasemilla. Automaatiojärjestelmä- ja käyttöliittymä uudistukset vaikuttavat monin tavoin voimalaitosten henkilöstön toimintaan. Nämä muutokset vaikuttavat esimerkiksi siihen, miten operaattorit tekevät havaintoja ja tulkintoja prosessin tilasta ja sen muutoksista sekä miten heidän yhteistyönsä rakentuu.

Tässä kirjassa esitettyjen tutkimusten on tarkoitus palvella uusien näyttöjen ja käyttöliittymien suunnittelua sekä operointikonseptin kehittämistä digitalisoituja valvomoita varten. Digitalisoidulla valvomolla tarkoitetaan ohjauskeskusta, joka tällä hetkellä perustuu työasemapohjaisiin käyttöliittymiin, suurkuvanäyttöihin, kosketusnäyttöihin, korkea-asteiseen automaatioon, älykkäisiin hälytysten käsittelyjärjestelmiin sekä uudensuuniteluihin tietokonepohjaisiin ohjeisiin (esim. EPRI, 2004). Operointikonsepti taas kuvaa, miten laitoksen ohjaamisesta vastuussa oleva vuoro on järjestäytynyt ja miten se valvoo ja ohjaa laitoksen toimintaa niin normaali- kuin poikkeusoloissa (esim. EPRI, 2004). Oletuksemme on, että operointikonsepti tulee ratkaisevasti muuttumaan automaatiojärjestelmien ja käyttöliittymien uudistamisen myötä. Nämä muutokset eivät koske ainoastaan käyttöliittymien hallintaan liittyviä ns. sekundaaritehtäviä vaan myös ns. primaritehtäviä, jotka suoraan liittyvät laitoksen prosessien valvontaan ja ohjaamiseen.

Parhaimmillaan tietokonepohjaiset käyttöliittymät tukevat tilannetietoisuutta ja päätöksentekoa ja palvelevat vuoron tehtävien suorittamista. Tietoa on mahdollista jalostaa yhä pidemmälle, ja sitä voidaan esittää käyttäjälle niin, että se vastaa tapaa, jolla sitä käytetään. Käyttäjä voi myös siirtyä joustavasti yleisestä tiedosta yksityiskohtaiseen ja takaisin. Käyttöliittymä voi olla entistä joustavampi ja vastata entistä paremmin tehtävän vaatimuksia ja käyttäjän mieltymyksiä. Käyttöliittymät eivät myöskään ole enää tiettyyn fyysiseen paikkaan sidottuja. Myös raja tiedon esittämiseen tarkoitettujen näyttöjen ja ohjauslaitteiden välillä on jokseenkin epäselvä.

Toisaalta on mahdollista, että digitaalisessa valvomossa operaattorien on aikaisempaa vaikeampaa säilyttää yleiskuva laitoksen toiminnasta ja koordinoida toimintaansa muiden operaattoreiden kanssa. On myös todennäköistä, että itse käyttöliittymän hallintaan ja navigointiin liittyvät tehtävät tulevat lisääntymään,

kun siirrytään analogisesta digitaaliseen, henkilökohtaisiin työasemiin perustuvaan valvomoon. Näiden muutosten seurauksena operaattorien ja vuoron tietoisuus laitoksen ja prosessin tilasta saattaa heikentyä, mikä lisää virheiden mahdollisuutta. Käyttöliittymämuutoksilla voi myös olla seurauksia, joita on vaikea ottaa etukäteen huomioon: tehtävät voivat muuttua ennakoimattomalla tavalla, ja voi myös syntyä kokonaan uusia tehtäviä. Käsitystemme mukaan näitä ongelmia voidaan ratkaista kehittämällä uudenlaisia näyttöjä ja tapoja esittää tietoa.

Osassa kirjan tutkimuksista hyödynnetään osallistuvan suunnittelun eri menetelmiä ja tekniikoita, jotka perustuvat suunnittelijoiden, tutkijoiden ja loppukäyttäjien väliselle vuoropuhelulle. Erityisen hyödylliseksi on osoittautunut menetelmä, joka perustuu tutkijoiden ja asiantuntijoiden väliselle keskustelulle. Olemme järjestäneet ns. tulevaisuustyöpajoja, joissa eri osapuolet voivat keskustella niistä ongelmista ja haasteista, joita heillä on nykyisessä työympäristössään. Tavoitteena on rohkaista osallistujia tarkastelemaan omaa tilannettaan tulevaisuuden näkökulmasta ja miettimään, minkälaista heidän työnsä olisi, kun siihen liittyvät ongelmat olisi ratkaistu. Työpajojen tavoitteena on myös ollut tukea osallistujien refleksiivistä ajattelua pakottamalla kukin osallistujaryhmä vuorollaan kuuntelijan rooliin. Vaikka menetelmä on osoittautunut varsin toimivaksi, uusia keinoja operaattorien keskustelun kannustamiseksi tarvitaan.

Viimeisessä tutkimuksessa hyödynnetään systeemikäytettävyyden arviointimenetelmää, jossa keskeisenä vaatimuksena on, että käyttöliittymä tukee operaattorin perustehtävää ja sen kehittymistä (esim. Norros & Savioja, 2006). Tutkimuksessa käytetään hyväksi erilaisia tiedonkeruu- (esim. orientaatiohaastattelut, eksperttiarviot, operaattorin toiminnan havainnointi, operaattorien keskustelut ja debriefing-haastattelut) ja analysointimenetelmiä (esim. tiedonesitystapojen luokittelu, funktionaalinen mallinnus, toiminnan kulun kuvaus sekä työorientaation ja toimintatapojen analyysi). Analysoinnin lähtökohtana oli luokittelu, jossa eroteltiin kolme tiedonesitystapojen muotoa: 1) tietoesitys, joka välittää tietoa järjestelmän toiminnallisesta päämäärästä tukemalla tai heikentämällä järjestelmän osien välistä yhteyttä ja kokonaisuuden hahmottamista 2) tietoesitys, joka komponenttien ja osajärjestelmien muutoksia kuvaamalla välittää tietoa prosessin ajallisista tapahtumista sekä 3) tietoesitys, joka välittää tietoa teknisten komponenttien spatiaalisista suhteista ja niiden toiminnasta.

Tässä kirjassa keskitytään tiedon esittämiseen tarkoitettuihin näyttöihin, työasemanäyttöihin ja suurkuvanäyttöihin sekä siihen, miten näiden näyttöjen avulla voidaan tukea prosessin valvontaa. Kirja käsittää viisi tutkimusraporttia, jotka perustuvat SAFIR-tutkimusohjelman (Safety of Nuclear Power Plants – Finnish National Research Programme) Valvomoiden käyttäjakeskeinen kehittäminen – IDEC (Interaction Approach to the Development of Control Rooms) ja Operointikäytännöt ja käyttöliittymät digitaalisissa valvomoissa – O’PRACTICE (Operator Practices and Human-system Interfaces in Computer-based Control Stations) -hankkeissa vuosien 2005–2008 aikana tehtyihin tutkimuksiin.

Ensimmäinen osa, Operaattoritoiminta digitaalisissa valvomoissa, esittelee neljä haastattelututkimusta, joissa selvitettiin digitaalisten työvälineiden vaikutusta



operaattoriyöhön konventionaalisissa voimalaitoksissa. Tutkimusten tulokset osoittivat, että digitalisoinnin vaikutukset ovat paljon suuremmat kuin mitä on ehkä ajateltu ja että ns. sekundääritehtävien lisäksi myös primääritehtävät muuttuvat valvomomuutosten myötä. Kaiken kaikkiaan operaattorit suhtautuivat käyttöliittymien digitalisointiin positiivisesti. Digitaalisten näyttöjen ongelmana on, että vain osa tiedoista voidaan esittää samanaikaisesti – mikäli operaattori haluaa lisää tietoa näkyviin, hänen on selattava näyttöjä. Näyttöjä suunniteltaessa onkin mietittävä, miten saada toisaalta kuhunkin näyttöön niin paljon tietoa, että tarve selata näyttöjä vähenee; toisaalta miten estää se, etteivät näytöt tiedon määrän kasvaessa muutu sekaviksi.

Operaattoreiden suhtautuminen suurkuvanäyttöihin oli ristiriitaista: Käytössä olevista suurkuvanäytöistä oli hyötyä yleiskuvan muodostamisessa, mutta toisaalta ne eivät teknisiltä ominaisuuksiltaan sekä käytettävyydeltään ja ergonomialtaan olleet parhaita mahdollisia. Kaiken kaikkiaan näyttää siltä, että suurkuvanäyttöjen suunnitteluun on kiinnitettävä enemmän huomiota, jotta niistä olisi todella lisäarvoa operaattoreille. Ei riitä, että pöytäasematietokoneiden näyttöjen kuvaa on mahdollista esittää suurkuvanäytöllä: on tärkeää, että suurkuvanäytöllä esitetään niille räätälöityjä kuvia.

Kirjan toinen osa, Suurkuvanäytöt valvomoympäristössä, sisältää kaksi osaraporttia, joista ensimmäisenä esiteltävä käsittelee suurkuvanäyttöjä koskevaa kirjallisuuskatsausta. Katsauksen tarkoituksena on arvioida suurkuvanäyttöjen käyttöä ja käytettävyyttä erityisesti valvomo-olosuhteissa olemassa olevan kirjallisuuden perusteella. Katsauksessa pohditaan, mikä rooli suurkuvanäytöllä on (tämän päivän tai lähitulevaisuuden) digitalisoiduissa valvomoissa tai ns. hybridivalvomoissa, joissa hyödynnetään sekä analogista että digitaalista tekniikkaa. Toisaalta katsauksessa pohditaan sitä, mikä rooli eri tekniikoin tuotetuilla ”suurkuvilla” on tulevaisuuden (älykkäissä) valvomoissa. Tutkimuksen mukaan suurkuvanäyttö on laadullisesti erilainen kuin työasemanäyttö, ja sen vuoksi työasemanäyttöjä koskevat käytettävyyssuositukset eivät sellaisenaan ole sovellettavissa suurkuvanäyttöihin. Yleisesti ottaen suurkuvanäyttöjen tulisi tukea päätöksentekoa välittämällä yleiskuva prosessin tilasta sekä tietoa muutoksista, häiriöistä ja hälytyksistä tavalla, joka on helppo havaita, auttaa käyttäjää siirtymään nopeasti hänen tarvitsemansa tiedon luo sekä tukee yhteistoimintaa ja yhteistyötä välittämällä tietoa siitä, mitä muut ovat tekemässä.

Osan toisessa osaraportissa esitellään suurkuvanäyttöjä koskevien suunnittelutyöpajojen tulokset. Työpajoissa hahmoteltiin suurkuvanäyttöjen roolia digitaalisen valvomon käyttöliittymien osana. Osallistujien mukaan suurkuvanäytöt ovat välttämättömiä digitaalisessa valvomossa yleiskuvan saamiseksi. Toiveena oli, että suurkuvanäytöt olisivat jonkinlainen paneelien ja prosessitietokonenäyttöjen (PTK-näyttöjen) synteesi, jossa yhdistyisivät molempien parhaat puolet.

Tutkimuksessa esitellään myös ns. suurkuvakonseptin luonnos. Suurkuvakonsepti on kuvaus siitä, mihin tehtäviin suurkuvanäyttöjä käytetään kussakin laitos-tilanteessa, ketä se palvelee, mitkä ovat sen käyttötavat sekä mitä ja miten tietoa sillä esitetään. Tutkimuksen mukaan suurkuvien rooli, käyttötapa ja sisältö riip-

puvat laitoksen tilasta. Lisäksi suurkuvanäytöillä on neljä keskeistä funktiota: ne välittävät yleiskuvan laitoksen tilasta, tukevat tilannetietoisuutta, muutoksen nopeaa havaitsemista sekä yhteistyötä ja toimintojen koordinoitua. Suurkuvakonseptista on hyötyä paitsi näyttöjen suunnittelussa myös toteutettujen ratkaisujen ja esitettyjen näyttökonseptien arvioinnissa.

Kolmannessa osassa, Uudet näyttökonseptit esitellään ensimmäisenä tutkimus, jossa arvioitiin Fortumin kehityssimulaattorille kehitettyjä IRD-konseptiin (*Information Rich Design*) perustuvia suurkuvanäyttöjä, joissa pyritään helpottamaan häiriöiden varhaista havaitsemista esittämällä historiatietoa trendikäyrien avulla, hyödyntämällä ryhmittelyperiaatteita käyrien ryhmittelyssä sekä esittämällä runsaasti tietoa pienessä tilassa. Tutkimuksen mukaan IRD-näytöt auttavat operaattoreita häiriöiden havaitsemisessa, tunnistamisessa ja diagnosoinnissa. Kaikkia IRD-konseptin ominaisuuksia (esim. trendikäyrien normalisointia) operaattorit eivät kuitenkaan pitäneet kovin hyödyllisinä. Fortumin IRD-näytöt ovat sekoiutus uutta ja vanhaa: uusia IRD-konseptiin perustuvia ominaisuuksia sekä vanhoja prosessitietokonenäyttöjen ominaisuuksia. On mahdollista, että näytöt, jotka perustuisivat vielä selvemmin IRD-konseptin ideoihin, olisivat hyödyllisempiä.

Kolmannessa osassa toisena esitellään OECD / Halden Reactor Projectin (HRP) HAMMLABissa toteutettu tutkimus, jossa vertailtiin käyttöliittymäkonseptteja. Tutkimuksen keskeisenä tavoitteena oli selvittää ns. Ecological Interface Design -konseptiin (EID) perustuvien näyttöjen toimivuutta erilaisissa ajotilanteissa. EID-konseptin näytöissä tietoa havainnollistetaan graafisin symbolein, joiden avulla olennaiset prosessin tilan muutokset havaitaan yhdellä silmäyksellä. EID-näyttöjen tulisi tämän vuoksi helpottaa prosessimuutosten huomaamista sekä parantaa operaattorin tilannekäsitystä. Tulokset tukevat osittain tätä oletusta. Toisaalta vaativissa häiriötilanteissa suoriutuminen oli parempaa, kun käytettiin prosessikaavioon perustuvia näyttöjä, joissa komponenttien paikat ja virtaus-suunnat erottuvat selkeämmin kuin EID-näytöissä.

EID-kokeiden tulokset osoittavat, että ohjaajien toimintatavat ovat yhteydessä näyttöjen informatiivisuuden laatuun ja että ohjaajat pystyvät sopeuttamaan toimintansa informaatioesityksen mukaan. Toisaalta häiriötilanteissa näyttöihin kohdistuu erilaisia vaatimuksia kuin normaalijotilanteessa. Onkin ilmeistä, että operaattori tarvitsee erilaisia näyttöjä erilaisissa laitostiloissa.

**Osa I:  
Operaattoritoiminta digitaalisissa  
valvomoissa**



## 2. Haastattelututkimus digitaalisten työvälineiden vaikutuksista operaattorityöhön

Leena Salo ja Paula Savioja

### 2.1 Johdanto

Suomalaisissa ydinvoimalaitoksissa tehdään tällä hetkellä valvomouudistuksia, joissa siirrytään analogista tekniikkaa sisältävistä ns. hybridivalvomoista digitaalisiin valvomoihin. Syksyllä 2005 SAFIR-tutkimusohjelman IDEC-tutkimushankkeen osana suoritetun haastattelututkimuksen motiivina oli kerätä tietoa operaattorien työskentelystä digitaalisissa valvomoissa. Tutkimuksessa haastateltiin yhteensä viittatoista operaattoria, vuoropäällikköä ja kenttähenkilökuntaan kuuluvaa työntekijää neljässä suomalaisessa voimalaitoksessa: Fortumin Meri-Porin ja Naantalin voimalaitoksissa, Vantaan Energian Martinlaakson voimalaitoksessa sekä Helsingin Energian Hanasaaren B-voimalaitoksessa.

Haastattelututkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten voimalaitosten valvomoiden uudistukset ja digitaaliset työvälineet vaikuttavat operaattoreiden työn sisältöön ja vaatimuksiin. Haastattelujen avulla pyrittiin muodostamaan kuva siitä, mikä on operaattorin perustehtävä sekä miten työvälineet tukevat operaattorin työn suorittamista eli kuinka hyvin laitteet auttavat työntekijää muodostamaan kuvan prosessin tilasta ja hallitsemaan prosessia. Erityisenä kiinnostuksen kohteena oli se, miten suurkuvanäyttöjä käytetään, minkälainen rooli suurkuvien käytöllä on prosessin valvonnassa sekä minkälaisia kokemuksia valvomotyöntekijöillä on suurkuvanäyttöjen käytöstä.

Seuraavissa luvuissa esitetään ensin voimalaitoskohtaisia tuloksia ja sen jälkeen lyhyt yhteenveto kaikkien tutkittujen voimalaitosten tuloksista. Kahdessa voimalaitoksessa (Hanasaari ja Meri-Pori) valvomotekniikka oli kokonaan digitaalista ja käytössä oli suurkuvanäyttöjä. Kahdessa voimalaitoksessa (Naantali ja Martinlaakso) valvomon työvälineistä osa oli analogisia ja osa digitaalisia, eli valvomot olivat ns. hybridivalvomoja. Haastateltavista osa oli kokeneita (jopa 20

## 2. Haastattelututkimus digitaalisten työvälineiden vaikutuksista operaattorityöhön

vuoden työkokemus valvomossa), kun taas osalla haastateltavista oli selvästi vähemmän kokemusta valvomotyöskentelystä (noin 1,5–2 vuotta). Tutkimuksessa haastateltiin kahtatoista operaattoria, yhtä laitoksenhoitajaa sekä kahta vuoropäällikköä.

### 2.2 Havaintoja Hanasaaren B-voimalaitoksen valvomokäyttöliittymistä ja työskentelystä valvomossa

Helsingin Energian Hanasaaren voimalaitos B otettiin käyttöön vuonna 1974. Voimalaitos käyttää energianlähteenä kivihiihtä ja tuottaa sähköä (220 MW) ja kaukolämpöä (445 MW). (Helsingin Energia 2009.) Voimalaitokseen rakennettiin kokonaan uusi digitaalinen valvomo vuonna 2000 vanhan analogiatekniikalla toteutetun valvomon tilalle. Uudessa digitaalisessa valvomossa operaattoreilla on käytössään näyttöpäätteitä sekä kolme suurkuvanäyttöä (ks. kuva 1).

Hanasaaren voimalaitoksessa haastateltiin yhteensä neljää henkilöä: yhtä laitoksenhoitajaa, yhtä vuorokonemestaria sekä kahta valvomonhoitajaa.



Kuva 1. Hanasaaren voimalaitos B:n valvomossa operaattoreilla on käytössään näyttöpäätteitä sekä kolme suurkuvanäyttöä.

### **2.2.1 Työnjako ja yhteistyö valvomossa**

Hanasaaren voimalaitoksella haastatellut henkilöt kertoivat, että valvomomuutoksen myötä laitosta ajavien henkilöiden määrä on vähentynyt. Kun vanhan valvomon aikaan laitosta ajoi kaksi kattilalaitoksen hoitajaa ja kaksi turbiinilaitoksen hoitajaa, nyt ajamisen suorittaa kaksi laitoksenhoitajaa yhdessä. Työnjako laitoksenhoitajien välillä on joustava: usein kumpikin ajaa omaa laitosyksikköään, mutta työ voidaan jakaa tilanteen vaatiessa myös toisin. Laitoksenhoitajat tekevät yleensä operoinnit itsenäisesti, mutta toiselle operaattorille on mainittava, mitä on tekemässä. Vaikka työnjaossa ei yleensä ole ongelmia, on sattunut tilanteita, joissa kaksi laitoksenhoitajaa on ohjannut samaa kohdetta.

Laitoksenhoitajien tärkeimpiä yhteistyökumppaneita ovat toinen samaan vuoroon kuuluva laitoksenhoitaja, vuoromestari sekä kenttähenkilökunta. Valvomon uudistuksella ei haastateltavien mielestä ollut vaikutusta yhteistyön sujumiseen valvomossa. Tosin yhden laitoksenhoitajan mukaan uusilla välineillä on helppompaa seurata tarkasti, mitä toinen laitoksenhoitaja tekee, sillä on mahdollista ottaa esille samat näytöt, jotka toisella on käytössään. Ennen fyysinen välimatka operaattoreiden välillä oli pidempi, mikä teki toisten toiminnan seuraamisen vaikeammaksi.

### **2.2.2 Työvälineet prosessin hallinnassa**

Operaattoreiden tärkeimpiä työvälineitä uudistetussa valvomossa ovat näyttöpäätteet, suurkuvat sekä langoitettulla tekniikalla toteutettu hätäpysäytysjärjestelmä. Haastateltavat olivat tyytyväisiä valvomotekniikan uudistuksen mukanaan tuomiin parannuksiin. Yhden haastateltavan mielestä uusi systeemi on vanhaa fiksumpi, mikä tekee työstä helpompaa. Kaikki eivät kuitenkaan olleet yksimielisiä siitä, kumpi järjestelmä on parempi prosessin tilan hahmottamisen kannalta. Joidenkin mielestä uudessa valvomossa prosessin tila on mahdollista hahmottaa nopeammin, koska kaikki tiedot on esitetty yhdessä paikassa. Tiedot on myös esitetty täydellisemmin, koska alajärjestelmien kuvista on mahdollista etsiä tarkempaa tietoa. Vanhassa järjestelmässä tiedot olivat hajallaan, mikä teki tilanteen hahmottamisen vaikeammaksi ja lisäsi tarvetta liikkua paikasta toiseen. Toiset taas pitivät enemmän vanhan järjestelmän tavasta esittää prosessi kokonaisuutena. Vanhan järjestelmän avulla oli mahdollista nähdä kaikki tieto samalla kertaa. Kun käyttöliittymään tottui, oli mahdollista nähdä prosessin tila yhdellä silmäyksellä, kun taas uutta järjestelmää käytettäessä on selattava läpi useita näyttöjä. Nykyään prosessin tilan hahmottamista helpottavat kuitenkin esimerkiksi suurkuvanäytöt, joille on mahdollista asettaa tärkeimpien parametrien trendejä sekä yleisnäytöt, joista näkee hyvin prosessin tilan yleisellä tasolla. Prosessin tilan hahmottamisessa oleellisia ovat tietysti myös kenttähenkilökunnan havainnot sekä vuoron vaihtumistilanteessa edellisen vuoron kommentit prosessista.

Erityisesti vuoron alussa operaattoreilla on tapana käydä yksitellen läpi lähes kaikki näytöt saadakseen tuntuman prosessin tilaan.

Laitoksenhoitajat pitävät suurkuvanäytöillä yleensä pääsääntönäyttöjä molemmilta laitosyksiköiltä, trendejä tärkeimmistä parametreista (esim. höyryn lämpötila, kattilan paine) sekä hälytysnäyttöä. Vuoroilla on omia käytäntöjä siitä, mitä suurkuvanäytöillä pidetään esillä. Suurkuvia katsotaan erityisesti vuoronvaihtoja hälytystilanteissa. Vuoronvaihdossa suurkuvalta nähdään laitoksen tila yleisellä tasolla ja hälytystilanteessa siltä nähdään nopeasti, mistä on kyse, minkä jälkeen tilannetta selvitetään tarkemmin pienemmiltä näytöiltä. Myös normaalitilanteissa suurkuvia vilkuillaan silloin tällöin. Operoinnissa suurkuvia ei käytetä, sillä operointia niiden avulla pidettiin hankalampana kuin operointia pienemmillä näytöillä, mikä johtui suurkuvan ja operaattoreiden fyysisestä etäisyydestä.

Suurkuvanäyttöjen etuna pidettiin sitä, että niiltä saa nopeasti tietoa tarvitsematta selata läpi pikkunäyttöjä. Ne lisäävät valvomossa tiedon esittämiseen käytettävissä olevaa pinta-alaa verrattuna tilanteeseen, jossa kaikki tieto olisi ainoastaan pienillä näytöillä. Lisäksi suurkuvat näkyvät koko valvomoon, jolloin niistä on hyötyä muillekin kuin laitoksenhoitajille. Yleisesti ottaen haastateltavat olivat tyytyväisiä suurkuvanäyttöihin. Näyttöjen sisältöä pidettiin hyvänä kuten myös mahdollisuutta laittaa niille näkyviin minkä näytön tahansa. Operaattorien mukaan siis samat näytöt kuin pienemmillä ruuduilla sopivat suurkuvanäyttöjen sisällöksi, eikä niille kaivattu räätälöityjä sisältöjä. Yksi haastateltava mainitsi suurkuvien heikkoudeksi näyttöjen epätarkkuuden.

Haastateltavien mielestä operointi uudistetussa valvomossa on paljon helpompaa kuin ennen. Hiirellä operointia pidetään kätevämpänä kuin nappuloiden painelemista. Kun vanhassa valvomossa operoinnit tehtiin käsin, oli samalla vaikea seurata muualla tapahtuvia asioita. Nykyään, kun kaikki tapahtuu samassa paikassa, on tilanteen laajempi seuraaminen operointien aikana helpompaa ja tilanne pysyy paremmin hallinnassa. Itse työn sisältö on kuitenkin pääpiirteissään pysynyt samana, vaikka operointitapa onkin muuttunut ja automaation rooli on kasvanut. Edelleen laitoksenhoitajan tehtävä on valvoa prosessia ja tehdä tarvittaessa muutoksia muun muassa tehoon. Tavoitteena on tuottaa lämpöä ja sähköä ja pitää tuotantolaitteet kunnossa.

Hälytyksiin reagoiminen on haastateltavien mielestä uudistetussa valvomossa nopeampaa kuin ennen, koska vanhassa valvomossa piti aina ensin siirtyä oikealle kohdalle pulpettia tai paneelia. Vanhan järjestelmän hyvä puoli oli kovaääninen ”lörppö”, joka kiinnitti hyvin operaattorien huomion hälytystilanteessa. Yhden operaattorin mukaan erityisesti yövuoron aikana lörppö olisi hyödyllinen edelleenkin. Uudessakin valvomossa turhia hälytyksiä tulee paljon, mikä vaikeuttaa tärkeiden hälytysten huomaamista.



### 2.2.3 Tiedon löytyminen ja näyttöjen selkeys

Haastateltavien mukaan uudesta järjestelmästä löytyy kaikki se tieto, mitä laitoksen ohjaamisessa tarvitaan. Tiedot löytyvät tarpeeksi nopeasti, jos vain tietää, mitä on hakemassa. Riittävän hyvä prosessituntemus on avainasemassa tiedon löytymisessä. Haastateltavat pitivätkin kykyä löytää tietoa järjestelmästä ammattitaitoon kuuluvana asiana. Kokemattomille operaattoreille on suuri haaste opetella, mistä mikin tieto löytyy. Myös kokeneemmilla operaattoreilla saattaa etenkin pitkien lomien jälkeen olla vaikeuksia tiedon löytämisessä. Myös harvoin esiintyvissä tilanteissa tiedon löytäminen voi olla haastavaa. Näyttöjen oppiminen ja muistaminen vaativat näyttöjen aktiivista selaamista varsinkin opettelu alkuvaiheessa mutta kertausmielessä myös myöhemmin.

Näyttöjä pidettiin riittävän selkeinä, vaikka myönnettiin, että tottumattomille kuvat voivat olla hankalia ymmärtää. Joitain ongelmia operoinnissa oli syntynyt sen myötä, että operaattorit olivat operoineet vahingossa esimerkiksi kiireestä johtuen väärää laitetta tai laitossyksikköä. Operaattoreiden mielestä laitteet ja järjestelmät voisivat erottua selvemmin toisistaan. Jotkut operaattorit totesivat, että näyttöjen kautta ei välity tuntumaa siihen, kuinka suurista laitteista (putkista ym.) on kyse, vaikka tietämys kokoluokista on oleellista turvallisen operoinnin kannalta. Prosessin syvälinen tunteminen ja myös kokemus kenttätyöskentelystä ovat erittäin tarpeellisia prosessin kokonaiskuvan hahmottamisen kannalta.

### 2.2.4 Valvomomuutosten vaikutus työntekoon

Laitoksenhoitajien mielestä automaatioasteen nouseminen on helpottanut työskentelyä valvomossa ja nopeuttanut joidenkin tehtävien suorittamista, vaikka työ on pysynytkin sisällöltään melko samanlaisena. Edelleen asiat tapahtuvat samassa järjestyksessä riippumatta siitä, suorittaako tehtävän operaattori vai automaatio. Samoihin asioihin on edelleen kiinnitettävä huomiota monitoroinnissa ja operoinnissa. Automaation lisääntymisen hyvänä puolena pidettiin sitä, että operaattorien on mahdollista kiinnittää huomionsa kullakin hetkellä oleellisiin asioihin eikä huomiota tarvitse suunnata manuaalisten operaatioiden suorittamiseen. Esimerkiksi ylös- ja alasajoissa on tärkeää, että operaattorit pystyvät keskittymään tilanteen kokonaishallintaan yksittäisten operaatioiden sijasta. Automaation lisääntyminen on joidenkin mielestä jonkin verran lisännyt työn määrää ja työkentän laajuutta, sillä kun ennen yhden operaattorin vastuulla oli yhden laitossyksikön kattila- tai turpiinipuoli, nykyään operaattorien täytyy pystyä hallitsemaan koko laitosta.

Automaatiota pidettiin toiminnaltaan luotettavana, mutta toisinaan operaattorien pitää puuttua sen toimintaan. Prosessituntemuksen lisäksi operaattorien täytyykin tuntea hyvin myös automaation toiminta pystyäkseen havaitsemaan mahdolliset poikkeavuudet. Operaattoreiden mielestä kiusausta siihen, että luottaa liikaa automaatioon eli antaa automaation hoitaa tehtävänsä ilman valvontaa,

ei saisi syntyä. Yhden haastateltavan mielestä automaatiouudistuksen lievä haittapuoli on ollut se, että se on vähentänyt tarvetta liikkua valvomossa. Fyysisen rasituksen puuttuessa vireystilan ylläpitäminen varsinkin yövuorojen aikana voi olla henkisesti rasittavaa.

Osa haastateltavista oli sitä mieltä, että uuden järjestelmän käytön opettelu ei ollut erityisen vaikeaa, vaikka uusien käyttötapojen ja käytäntöjen opettelu sekä niihin tottuminen vei toki aikansa. Toisten mielestä uudessa järjestelmässä (ja prosessissa) taas on aina uutta opettelemista. Vaikeinta oli oppia löytämään tietoja järjestelmästä. Haastateltavien arvioiden mukaan uuteen järjestelmään tottumiseen kului aikaa puolesta vuodesta vuoteen. Nuorten katsottiin olevan etulyöntiasemassa uuden järjestelmän käytön oppimisen kannalta, koska heillä on keskimäärin enemmän kokemusta tietokoneiden käytöstä. Haastateltavat olisivat kaivanneet uuden valvomon käyttöönoton yhteydessä enemmän tietoja uuden käyttöliittymän sekä automaatiokaavioiden ja automaation toimintaa kuvaavista näytöistä.

### **2.3 Havainnot Meri-Porin voimalaitoksen valvomokäyttöliittymistä ja työskentelystä valvomossa**

Fortumin Meri-Porin hiilivoimalaitos, jonka teho on 560 MW, on toimintaperiaatteeltaan lauhdelaitos. Laitos otettiin käyttöön vuonna 1993. (Fortum 2009a.) Valvomo on toteutettu digitaalitekniikalla, ja siellä on myös kolme suurkuvanäyttöä, joista haastattelujen aikaan vuonna 2005 oli käytössä yksi (kuva 2).

Meri-Porin voimalaitoksella haastateltiin yhteensä neljää henkilöä. Haastateltavista kolme oli vuoromiehiä ja yksi vuoro esimies. Kaikki haastateltavat olivat työskennelleet valvomossa yli kahdeksan vuotta. Kenelläkään ei ollut käyttökokemusta analogisista valvomojärjestelmistä.

## 2. Haastattelututkimus digitaalisten työvälineiden vaikutuksista operaattorityöhön



Kuva 2. Meri-Porin voimalaitoksen valvomossa operaattoreilla on käytössään näyttöpäätteitä sekä suurkuvanäyttöä.

### 2.3.1 Operaattorien tehtäväkuva ja yhteistyö valvomossa

Meri-Porin voimalaitoksella haastatellut henkilöt kertoivat, että operaattorit työskentelevät yhtä paljon valvomossa ja kenttätehtävissä, mikä koettiin hyväksi ratkaisuksi sekä työn mielekkyyden ja työssä jaksamisen että prosessituntemuksen ylläpitämisen kannalta. Yksi haastateltava mainitsi, että käytännön huono puoli järjestelyssä on se, että valvontatyöstä ei kerry yhtä paljon kokemusta kuin jos työskentelisi valvomossa jatkuvasti. Operaattorit vaihtavat välillä joksikin aikaa vuoroa, jossa työskentelevät. Tämä koettiin hyväksi asiaksi, sillä muiden vuorojen toimintatavoista voi tarvittaessa ottaa oppia.

Haastateltavien mielestä operaattorin perustehtävä eli työn keskeisin sisältö on seurata prosessia ja hallita sitä päätteiden avulla tavoitellen oikean tehomäärän tuottamista turvallisesti. Työssä haastavinta on nimenomaan valvomotyö (verratuna kenttätööhön) ja siinä erityisesti erikoistilanteet, kuten ylösajot, joiden aikana on paljon samanaikaista seurattavaa ja muistettavaa. Työn haastavuuteen vaikuttaa tapahtumien ”näkyttömyys”: prosessin kaikki tapahtumat eivät ole nähtävillä näyttöjen kautta vaan operaattoreiden täytyy prosessituntemuksen avulla tulkita tietoja ja täyttää aukkopaiikkoja. Itse operointitekniikan eli hiiren käytön hallitsemista ei pidetty vaikeana. Automaation lisääntymisen myötä joi-

takin tehtäviä on siirtynyt kentältä valvomoon, mutta haastateltavien mielestä operaattorien tehtävät kokonaisuudessaan ovat hieman vähentyneet automaation lisääntymisen myötä.

Kokemusta kenttätyöskentelystä pidettiin välttämättömänä valvomotyöskentelyn oppimisen kannalta. Vasta kentällä työntekijöille hahmottuvat laitteiden oikeat mittasuhteet ja fyysinen sijainti, jotka eivät välttämättä välity valvomonäyttöjen avulla. Vaaratilanteiden välttämiseksi operaattoreiden täytyy tuntea laitteet, jotta he tietävät, kuinka nopeasti esimerkiksi venttiileitä voi avata ja miten venttiilin avaaminen vaikuttaa muuhun prosessiin. Kenttätyöskentelyn aikana on myös mahdollista saada muunlaista tietoa prosessista kuin mitä valvomossa on saatavilla. Erilaiset äänet ja näkyvät signaalit antavat lisätietoa ja ymmärrystä prosessin tilasta.

Voimalaitoksen ohjaus on tiimityötä, sillä ongelmatilanteita ratkaistaan yhdessä valvomo- ja kenttähenkilökunnan kesken, ja myös tehtäviä suunnitellaan yhteistyössä. Valvomotyöskentelyssä vuoromies ohjaa laitosta normaalitilanteissa yksin, mutta myös vuoropäällikkö osallistuu ohjaamiseen ja ajoittain kenttämiehetkin voivat suorittaa operointeja kiireisissä tilanteissa. Varsinkin ylösajotilanteissa, joissa tapahtuu yhtä aikaisesti paljon asioita eri paikoissa, yhden operaattorin on vaikeaa hallita koko prosessia. Operaattoreiden onkin välttämätöntä tietää, mitä muu valvomo- ja kenttähenkilökunta tekevät. Jos joku muu kuin ohjaamisesta vastuussa oleva operaattori osallistuu operointien suorittamiseen, on siitä ilmoitettava, jotta vältetään tilanteet, joissa samaa laitetta ajaa useampi kuin yksi henkilö.

### 2.3.2 Työvälineet prosessin hallinnassa

Operaattorien tärkeimpiä työvälineitä Meri-Porin voimalaitoksen valvomossa ovat prosessin ohjaamiseen käytetyt monitorit, suurkuvanäytöt (joista haastattelun aikaan ainoastaan yksi kolmesta oli toiminnassa), erilliset sähkönjakelu- ja LVI-näyttöpäätteet sekä langoitettulla tekniikalla toteutettu hätäpysäytysjärjestelmä. Valvomojärjestelmät ovat alusta alkaen olleet digitaalisia, mutta päivityksiä on kuitenkin tehty.

Prosessin tilan seuraamiseen operaattorit käyttävät lähinnä pääkuvia, hälytysnäyttöjä ja trendejä, joista seurataan jatkuvasti tärkeimpiä parametreja. Lisäksi näytöille avataan kuvia sellaisista järjestelmän osista, joista tiedetään, että niissä saattaa tapahtua muutoksia tai esiintyä vikoja. Vaikka yksittäistä koko prosessin kattavaa kuvaa ei olekaan olemassa, pystyy yhden haastateltavan mukaan kokonaiskuvan silti saamaan nykyisten näyttöjen avulla ”kuten palapelistä”. Operointien yhteydessä otetaan ohjausikkunan lähettyville esille trendinäyttö, josta voidaan seurata muutosten etenemistä ja ohjausten vaikutusta prosessiin. Kun trendinäyttö otetaan valmiiksi esille, ei ohjauksen aikana ole tarvetta siirtyä edestakaisin näyttöjen välillä.

Vaikka prosessissa on paljon muuttuvia tekijöitä, kertoo järjestelmä haastateltavien mielestä hyvin, mihin suuntaan prosessi on etenemässä. Hälytysrajat on asetettu siten, että operaattoreilla on aikaa toimia ennen kuin ongelma ehtii kehittyä vakavaksi. Hälytysnäytöllä onkin tärkeä rooli prosessin tilan seuraamisessa. Toisaalta häiriötilanteissa hälytysnäyttö saattaa täytyä nopeastikin, mikä vaikeuttaa häiriön syyn selvittämistä. Siksi turhien hälytysten karsimista toivottiin. Laajoissa häiriötilanteissa myös hälytysten kuittaamista pidettiin työläänä. Haastateltavien mukaan olisi ihanteellista, jos operaattori pystyisi reagoimaan prosessin tapahtumiin ennen hälytystä, mutta tämä ei ole yleensä mahdollista, koska seurattavien parametrien suuri määrä vaikeuttaa poikkeamien huomaamista. Tunnollista prosessin tarkkailua pidettiin kuitenkin tärkeänä sen sijaan, että operaattori heittäytyisi kokonaan automaation ja hälytysten varaan.

Haastateltavien mukaan vuoronvaihtotilanteessa operaattorit luovat ensin yleissilmäyksen tilanteeseen ja siihen, mitä vuoron aikana tulee tapahtumaan, paitsi jos vuoron ensimmäisenä tehtävänä on tehdä tehonmuutos. Tilanteeseen tutustutaan käymällä läpi hälytykset sekä kaikki prosessikuvat lähtien pääprosessista ja edeten apujärjestelmiin. Edellisen vuoron kanssa myös keskustellaan ja luetaan läpi päiväkirjat. Erään haastateltavan mielestä näyttöjen läpikäyminen on tärkeää, koska se antaa tunteen, että on hoitanut velvollisuutensa. Lisäksi joillakin operaattoreilla on tapana käydä läpi kaikki näytöt ennen työpäivän päättymistä, jotta seuraavana päivänä ei saisi moitteita seuraavan vuoron operaattoreilta siitä, että ei ollut huomannut ja raportoinut jotakin asiaa.

Pienten näyttöjen lisäksi valvomossa käytetään suurkuvanäyttöä, josta esimerkiksi valvomossa vierailevat kenttämiehet (joilla siis on myös operaattorin koulutus ja oikeus tehdä operointeja) näkevät prosessin tilanteen. Suurkuvanäytöllä pidetään yleensä näkyvillä hälytysnäyttöä. Haastattelujen aikaan valvomossa oli käytössä vain yksi kolmesta suurkuvanäytöstä, koska useita vuosia sitten vioittuneita kahta näyttöä ei ollut korjattu. Haastateltavien mielipiteet suurkuvanäyttöjen hyödyllisyydestä vaihtelivat. Toiset halusivat, että vioittuneiden näyttöjen tilalle saataisiin toimivat näytöt, kun taas toiset eivät kaivanneet suurkuvia lainkaan. Suurkuviiin negatiivisesti suhtautuneiden haastateltavien mielestä suurkuvat olivat epätarkkoja eikä niiltä pystynyt seuraamaan prosessin tilaa yhtä hyvin kuin pieniltä näyttöiltä, koska ne olivat niin kaukana operaattoreista.

Suurkuvanäyttöjen hyötynä pidettiin kuitenkin sitä, että niiden avulla on mahdollista seurata prosessin tilaa kauempaakin kuin vain pienten monitorien äärestä. Valvomossa vierailevat kenttämiehet (ja myös vuoropäällikkö) pystyvät suurkuvanäyttöjen avulla seuraamaan prosessin tilaa (lähinnä hälytyksiä) ja huomauttamaan operaattoria tarvittaessa, jos tältä on jäänyt jokin hälytys huomaamatta. Erityisesti erikoistilanteiden, kuten ylösajojen ja myös yövuorojen aikana, on edullista, jos useat silmäparit voivat samaan aikaan seurata suurkuvanäyttöiltä prosessin toimintaa. Myös opetustilanteissa suurkuvista voisi olla hyötyä, koska niiden avulla voi näyttää samalla kertaa tietyn asian isolle joukolle. Joidenkin haastateltavien mielestä olisi hyödyllistä, jos suurkuvanäyttöjä olisi käytössä enemmän ja jos niille olisi mahdollista laittaa näkyville prosessikuvia ja prosessin

perussuureita. Erään haastateltavan mukaan suurkuvanäytöiltä olisi helpompaa tarkistaa prosessin perussuureet kuin pieniltä näytöiltä ja niiden arvot jäisivät myös paremmin muistiin.

### 2.3.3 Tiedon löytyminen ja näyttöjen selkeys

Haastateltavien mielestä käyttöliittymän käyttäminen (tiedon etsiminen ja operaatioiden tekeminen) ei ole erityisen vaikeaa. Jos prosessin ja käyttöliittymän tuntee hyvin, tiedon etsiminen on helppoa ja järjestelmästä on mahdollista löytää paljon tietoa. Haastateltavien mielestä järjestelmän avulla saa lähes kaiken tarvittavan tiedon, ja puuttuvatkin tiedot, esimerkiksi tarkemmat tiedot laitteista, löytyvät mapeista. Myös puuttuvien tietojen, kuten parametrien arvojen, lisääminen näytöille onnistuu tarvittaessa.

Vaikka tieto löytyy haastateltavien mielestä nykyään helposti, joidenkin mielestä työuran alussa tuntui siltä, ettei järjestelmää voinut oppia käyttämään, koska näyttöjä ja suureita oli niin paljon. Järjestelmän käytön oppimiseksi täytyy opetella ymmärtämään syvällisesti prosessin toimintaa sekä hahmottamaan prosessilaitteiden sijainti ja mittasuhteet. Lisäksi järjestelmän käytön oppiminen vaatii kykyä hahmottaa näytöiltä kaikkien viivojen ja numeroiden keskeltä oleelliset tiedot. Myös automaation toiminta pitää opetella. Tiedon löytämisen helpottamiseksi yksi haastateltava ehdotti hakutoiminnon (ts. hakukone, vrt. Google) lisäämistä käyttöliittymään arvelen sen voivan helpottaa erityisesti aloittelevia operaattoreita tiedon etsimisessä.

Useimpia näyttöjä pidettiin riittävän selkeinä ja olennaisimpien tietojen ajateltiin olevan hyvin näkyvillä. Haastateltavat kuitenkin totesivat, että ulkopuoliselle ja aloitteleville operaattoreille näytöt voivat olla hankalia hahmottaa. Aina kun järjestelmään lisätään uusia näyttöjä, kuluu niihin tottumiseen kokeneillakin operaattoreilla aina hieman aikaa. Järjestelmän oppimisen kannalta on hyödyllistä kysellä jatkuvasti kokeneemmilta operaattoreilta ja selata läpi esimerkiksi järjestelmäkuvaus- ja häiriöraportteja. Lisäksi arveltiin, että simulaattorista olisi hyötyä harvinaisten tilanteiden harjoittelemisessa, mutta laitteen kalleutta pidettiin syynä siihen, ettei sitä ollut hankittu.

### 2.3.4 Valvomomuutosten vaikutus työntekoon

Haastattelujen suorittamisen aikaan valvomoon oli juuri tulossa uudistuksia, kun ohjausjärjestelmän uusia näyttöjä oli tuotu operaattoreiden käyttöön. Operaattorien odotukset muutoksen hyödyistä olivat korkealla, vaikka uusien näyttöjen paremmuutta vanhoihin verrattuna hieman epäiltiin. Operaattorit uskoivat, että muutoksista olisi enemmän hyötyä kuin haittaa. Ensikokemusten perusteella odotukset eivät olleet täysin täyttyneet. Operaattorit olivat toivoneet lisää toimintoja ilman, että näyttöpohjat muuttuisivat, mutta silti myös näyttöpohjiin oli tullut muutoksia. Esimerkiksi pohjan väri oli vaihtunut tummasta vaaleaksi ja

laitteiden symbolit suuremmiksi, mutta arvot oli merkitty pienemmällä fonttikoolla. Haastateltavien mukaan vaalea taustaväri ei vaikuttanut yhtä selvältä kuin tumma, ja symbolien koon muutosten takia näytöissä oli vähemmän tyhjää tilaa ja niistä oli siten tullut epäselvempiä. Myös operointi-ikkunoita oli tullut lisää, mitä ei pidetty erityisen hyvänä asiana (ennen oli ollut vain yksi operointi-ikkuna kaikille operoinneille; uusissa näytöissä oli erikseen operointi-ikkunat esim. manuaali- ja automaattiasetukselle sekä paineen asetusarvon ja venttiilin asennon antamiselle). Vaikka uudistusta ei ensikokemusten mukaan pidetty kaikin puolin täysin onnistuneena, haastateltavat kuitenkin uskoivat, että käyttökokemuksen karttumisen myötä uuden järjestelmän hyödyt tulisivat paremmin esiin. Jo nyt operaattorit pitivät monista järjestelmän ominaisuuksista, muun muassa joustavasta tavasta siirtyä jumiutuneen automatiikan askeleisiin sekä siitä, että operointi-ikkunoita oli mahdollista siirtää ja yhdelle näytölle oli mahdollisuus avata enemmän ikkunoita. Operaattorit pitivät myös muistiinpanojen tekemiseen tarkoitetuista *note*-sivuista.

## **2.4 Havaintoja Martinlaakson voimalaitoksen valvomokäyttöliittymistä ja työskentelystä valvomossa**

Vantaan Energian Martinlaakson voimalaitos otettiin kaupalliseen käyttöön vuonna 1975. Laitos tuottaa sähköä ja lämpöä käyttämällä polttoaineina maakaasua ja kivihiihtä. Laitoksen sähköteho on 195 MW ja lämpöteho 330 MW (Vantaan Energia 2009a, Vantaan Energia 2009b). Martinlaakson voimalaitoksen valvomo on ns. hybridivalvomo. Suuri osa operoinneista suoritetaan näyttöpäätteiden avulla, mutta valvomossa on myös analogiatekniikalla toteutettuja pulpetteja ja seinäpaneeleita (kuva 3).

Martinlaakson voimalaitoksessa haastateltiin kolmea valvomopäivystäjää. Kaikilla haastateltavilla oli pitkä, yli viidentoista vuoden kokemus työskentelystä voimalaitoksilla. Kaikki haastateltavat olivat ennen valvomopäivystäjän tehtävää työskennelleet kenttätehtävissä, kaksi jollain muulla voimalaitoksella ja yksi Martinlaakson voimalaitoksella. Kaikilla haastateltavilla oli vähintään kahden vuoden kokemus valvomopäivystäjän tehtävistä Martinlaakson voimalaitoksella sekä yhdellä haastateltavalla muutaman vuoden kokemus valvomotehtävistä toisella voimalaitoksella.

## 2. Haastattelututkimus digitaalisten työvälineiden vaikutuksista operaattorityöhön



Kuva 3. Martinlaakson voimalaitoksen valvomossa on sekä digitaalisella että analogisella tekniikalla toteutettuja käyttöliittymiä. Valvomon analoginen pulpetti ja yksittäiset laiteohjaukset GP-taululta on purettu kesällä 2007 ja korvattu digitaalisella ohjauksella.

### 2.4.1 Työnjako ja yhteistyö valvomossa

Martinlaakson voimalaitoksella vuoroon kuuluu talviaikaan viisi henkilöä: vuoromestari, valvomopäivystäjä, kaksi alikonemestaria ja käyttäjä. Kesällä, kun turbiineja ja kattiloita on käytössä vähemmän, vuoron koko supistuu kolmeen henkilöön. Normaalisti valvomopäivystäjä huolehtii prosessin ohjauksesta yksin vuoromestarin tuella, mutta ylösajoissa vuoron muut jäsenet voivat avustaa, sillä hekin osaavat ajaa prosessia ainakin jonkin verran. Valvomopäivystäjä vastaa ensisijaisesti kaikista ohjaustoimenpiteistä, mutta hän tai vuoromestari voi halutessaan ohjeistaa muita henkilöitä esimerkiksi seuraamaan tiettyä tapahtumaa. Haastateltavat pitivät erittäin tärkeänä tietää, mitä muut valvomossa olevat henkilöt tekevät, jotta vältetään tilanteet, joissa useampi henkilö tekee päällekkäistä työtä esimerkiksi ajaen samaa laitetta. Hankalissa ongelmanratkaisu- ja päätöksentekotilanteissa yhteistyö on tärkeää ja näyttöjen ääreen saattaa kerääntyä useita vuoron jäseniä. Tällöin keskustellaan yhdessä esimerkiksi oikeista toimenpiteistä ennen tietyn laitteen käynnistämistä.



Valvomopäivystäjän ja kentällä olevien henkilöiden välinen yhteistyö on tärkeää. Joissain tilanteissa voidaan hyödyntää sekä valvomossa että kentällä (esim. kaasuturbiinin ohjaustilassa) olevia näyttöjä, joiden avulla voidaan varmistaa, että puhutaan samasta operoitavasta komponentista. Valvomopäivystäjän muita tärkeitä yhteistyökumppaneita vuoron jäsenten lisäksi ovat keskusvalvomon ja kaukolämpövalvomon henkilökunta, joiden kanssa valvomopäivystäjä keskustelee päivittäin ajettavasta sähkötehosta ja lämmöstä sekä muiden laitosten toimenpiteistä.

### 2.4.2 Työvälineet prosessin hallinnassa

Haastattelujen suorittamisen aikaan valvomopäivystäjillä oli käytössään monitoreja, joille on mahdollista asetella useampia kuvia, takaseinällä oleva analoginen seinäpaneeli eli GP-taulu sekä yksi pulpetti. Seinäpaneelilla oli näkyvissä pääkomponenttien käyntitiedot, venttiilien tilatietoja sekä teho- ja virtausnäyttöjä. Seinäpaneeli on säilytetty valvomossa, jotta sellaisessa hätätilanteessa, jossa näytöt olisivat käyttökelvottomia, laitos voitaisiin ajaa turvalliseen tilaan. Haastateltavien mukaan juuri kukaan, tai ainakaan kukaan vastaajista, ei käytä seinäpaneelia kovinkaan paljon vaan prosessin monitorointiin käytetään pääasiassa näyttöjä. Kuitenkin jotkut, etenkin vanhemmat operaattorit, käyttävät seinäpaneelia esimerkiksi tuotettavan tehon seuraamiseen.

Näytöillä pidetään yleensä näkyvissä kolmea pääajokuvaa (yksi näyttö per blokki), kuvia yksittäisistä laitteista, kaukolämpökuvaa, sähkökuvaa (jossa näkyy ulos ajettava teho) sekä akun lataus- tai purkauskuvaa. Neljää hälytysnäyttöä pidetään näkyvissä omalla monitorillaan. Lähes kaikki ohjaustoimenpiteet tehdään näyttöjen avulla mutta analogisesta pulpetista ajetaan yksittäisiä hiilimyllyryhmään kuuluvia laitteita, joiden ohjaukskäskyjä ryhmäohjausta lukuun ottamatta ei ole siirretty näytöille. Operaattorien mielestä oli turhauttavaa siirtyä välillä tekemään ohjauksia analogisen pulpetin ääreen.

Prosessin tilaa seurataan katselemalla monitoreilla olevia blokkikohtaisia pääohjausnäyttöjä sekä kuvia yksittäisistä käynnissä olevista laitteista. Tavoitteena on asetella kuvat monitoreille niin, että mahdollisimman paljon tietoa olisi samaan aikaan näkyvissä. Koko laitosta koskevaa yleiskuvanäyttöä ei ole olemassa, eivätkä haastateltavat sellaista kaivanneetkaan. Koko laitosta koskeva näyttö sisältäisi todennäköisesti tietoa, joka ei kaikissa tilanteissa ole tarpeellista, ja toisaalta riittävän yksityiskohtaista tietoa yleiskuvaan ei voisi saada mahtumaan.

Näyttöjen avulla on mahdollista saada hyvä käsitys prosessin tilasta. Esimerkiksi vuoronvaihtotilanteessa voi muutamassa minuutissa hankkia käsityksen tilanteesta käymällä läpi tärkeimmät näytöt, kuten pääohjauskuvat. Prosessin tilan hahmottamista voi täydentää vilkaisemalla seinäpaneeleita. Paneelit kertovat tilanteesta nopeasti yleiskuvan, esimerkiksi sen, mitä turbiineita ja generaattoreita on käynnissä ja mihin höyryä kulkee. Yksi haastateltava sanoi, että analogiseen tekniikkaan perustuvassa valvomossa oli helppoa havainnoida nopeasti,

mikä prosessin tila oli. Viisareiden asennot oli vaivaton hahmottaa tarvitsematta muistella prosessiparametrien numeroarvoja.

Ylös- ja alasajotilanteet mainittiin tilanteina, joissa prosessin tilan seuraaminen on vaikeinta, koska läpikäytäviä asioita on niin paljon. Näissä tilanteissa on pakko selata eri näyttöjä ja jättää käynnissä olevia prosessin osia piiloon, koska kaikkia tarpeellisia kuvia ei voi saada näkyville samanaikaisesti. Mahdollisissa ongelmatilanteissa on pakko luottaa hälytysten toimintaan.

Haastateltavien mukaan hiirellä operointi on osoittautunut nopeaksi ja helposti hallittavaksi, vaikka hiiren käyttöönottoa aluksi pelättiin. Yhden vastaajan mukaan virheoperointeja sattuu harvemmin kuin edellistä käytössä ollutta operointitapaa eli rullakursoria käytettäessä. Yksi vastaaja totesi, että tiettyjä yksittäisiä toimintoja, kuten hätäpysäytystä, saatetaan kuitenkin tehdä seinäpaneelilta, koska ne ovat muotoutuneet tavaksi.

Automaation sanottiin toimivan useimmiten hyvin ja luotettavasti, kunhan kenttälaitteiden toiminnassa ei ole häiriöitä. Jos kenttälaitteissa on häiriöitä, tarvitaan kenttämiehiä apuun. Joissakin tilanteissa automaation suorittama sekvenssi voi jumittua paikalleen, jolloin sekvenssiä pitää jatkaa ajamalla käsin. Käsiäjolla on myös mahdollista ajaa tiettyjä säätöjä nopeammin kuin automaation säätämänä. Jos operaattori joutuu käsiajon aikana suuntaamaan huomionsa muualle, saattaa hän unohtaa ottaneensa prosessin käsiajoon. Yleensä tästä ei ole haittaa, sillä hälytykset (esim. pinnankorkeusmittaukset) muistuttavat nopeasti onohduksesta. Vaikka automaatio toimii useimmiten hyvin, se saattaa joskus vioittua. Silloin on tärkeää, että operaattori osaa ajaa laitosta käsin.

### 2.4.3 Tiedon löytyminen ja käyttöliittymien selkeys

Haastateltavien mukaan näytöiltä saa normaaliajona aikana kaiken sen oleellisen tiedon, mitä prosessin monitoroinnissa ja ohjaamisessa tarvitaan. Operaattorit pitivät siitä, että näytöillä on monta tapaa navigoida ja että kukin voi itse käyttää sitä tapaa, joka on mieluisin. Tiedot on sijoiteltu näytöille loogisesti, joten asioita ei tarvitse opetella ulkoa, vaan tiedot on mahdollista löytää prosessituntemuksen avulla. Kuitenkin häiriötilanteissa, etenkin pikasuluissa, tietoa tulee näytöille samanaikaisesti liian paljon, eli syntyy tiedon tulva.

Haastateltavien mukaan näytöt ovat selkeitä ja vastaavat esitystavoiltaan ”alan standardeja”. Mitä enemmän tietoa näytöillä on, sitä parempia niiden sanottiin olevan, sillä siten ne välittävät yhdellä silmäyksellä tietoa mahdollisimman paljon. Vastaajat kuitenkin totesivat, että mitä enemmän näytöillä on tietoa, sitä vaikeampaa niitä on oppia ja niihin on tottua. Operaattoreiden täytyykin ensin opetella, mistä kohtaa mikin tieto löytyy. Tiedon löytämisen lisäksi operaattoreiden on opittava oikea hiiren käyttötapo. Esimerkiksi virhepainalluksia voi syntyä, jos hiiren käyttö ei ole riittävän täsmällistä.

Vastaajien mukaan useimmat (varsinkin nuoret) työntekijät pitivät näyttöjä ehdottomasti parempina kuin vanhoja analogisia seinäpaneelija ja pulpetteja.

Näytöt ovat vanhoja välineitä selkeämpiä ja prosessikuvat on piirretty täsmällisemmin ja täydellisemmin. Lisäksi näyttöjen hyvä puoli on, että operaattorit voivat itse vaikuttaa näyttöjen sisältöön ja ehdottaa muutoksia kuviin. Jos halutaan lisätä näyttöihin tietoa, täytyy jotain kuitenkin samalla poistaa, koska näyttöissä on tällä hetkellä liikaa informaatiota.

#### **2.4.4 Järjestelmän käytön oppiminen**

Prosessin monitorointi- ja ohjausjärjestelmän käytön opettelussa haastavimpana pidettiin tiedon löytämistä oikean kuvan oikeasta kohdasta. Operaattorien täytyy opetella löytämään tiedot mahdollisimman nopeasti, jotta kuvien selaamiseen ei kulu liikaa aikaa. On myös opeteltava, mitä tietoja löytyy pääkuvista ja mitä pitää etsiä kauempaa alakuvista. Jotta tietojen sijainti pysyy mielessä, näyttöjä voi kerrata selaamalla kuvia läpi rauhallisina hetkinä vuoron aikana. Näyttöjen käyttöä opetellaan vastaajien mukaan käytännön käyttökokemuksen kautta; paperista lukemalla näyttöjä ei opi.

Kun valvomoon tulee uusia työvälineitä, kaikille ohjaajille järjestetään lyhyitä koulutuksia, joiden aikana katsotaan, mitä ominaisuuksia uudessa järjestelmässä on. Myös ulkopuolisten järjestämiä kursseja on silloin tällöin. Kaiken kaikkiaan haastateltavat vaikuttivat tyytyväisiltä Martinlaakson voimalaitoksella annettavaan operaattorien koulutukseen.

### **2.5 Havaintoja Naantalın voimalaitoksen valvomokäyttöliittymistä ja työskentelystä valvomossa**

Fortumin Naantalın voimalaitoksella on kolme tuotantoprosessia. Ensimmäinen laitosyksikkö otettiin käyttöön vuonna 1960. Laitos tuottaa sähkön (1000 MWh) lisäksi kaukolämpöä (1500 MWh) sekä höyryä (600 MWh) teollisuuslaitosten käyttöön. Laitoksen pääpolttoaine on kivihiili, mutta lisäksi poltetaan myös muun muassa sahanpurua. (Fortum 2009b.)

Naantalın voimalaitoksessa haastateltiin yhteensä neljää henkilöä: yhtä turpiinivalvojaa, yhtä kattilavalvojaa sekä kahta lämmityksenvalvojaa. Kokeneimmalla henkilöllä oli takanaan kahdenkymmenen vuoden työura valvomossa, kun taas kokemattomimmalla henkilöllä työkokemusta valvomotyöskentelystä oli puolentoista vuoden verran. Kaikilla oli myös aiempaa kokemusta kenttätyöskentelystä esimerkiksi lämmittäjänä tai myllymiehenä. Haastateltavien vastaukset työvälineistä ja työnjakoa koskeviin kysymyksiin vaihtelevat, sillä haastatelluissa oli mukana kahdessa eri valvomossa työskenteleviä henkilöitä. Näiden kahden eri valvomon käyttöliittymät poikkeavat toisistaan digitalisoinnin asteen suhteen, ja myös laitosyksiköiden automaatioasteissa on eroja. 2. laitoksen valvomossa käytetään näyttöpäätteitä, kun taas 1. ja 3. laitosten valvomoissa käytetään sekä analogisia että digitaalisia käyttöliittymiä eli ne ovat ns. hybridivalvomoja. Kuva 4 on 1. laitoksen valvomosta.

## 2. Haastattelututkimus digitaalisten työvälineiden vaikutuksista operaattorityöhön



Kuva 4. Naantalın voimalaitoksen valvomoissa on sekä analogia- että digitaalitekniikalla toteutettuja käyttöliittymiä.

### 2.5.1 Työnjako ja yhteistyö valvomossa

Naantalın voimalaitoksen operaattorivuoroissa työskentelee yhteensä yhdeksästä kymmeneen henkilöä. Operaattorit eli henkilöt, jotka ajavat laitosta, eivät juuri koskaan vieraile kentällä, paitsi revisioiden aikana. 1. ja 3. laitoksella valvomossa on erikseen kattila- ja turpiinioperaattorit, kun taas 2. laitoksella kaksi operaattoria huolehtii yhdessä koko laitoksen ajamisesta. 1. ja 3. laitoksilla operaattoreiden työnjako on melko tiukka, eikä esimerkiksi kattilaoperaattori juurikaan tee toimenpiteitä turpiinioperaattorin puolella. Operaattorit kuitenkin tuntevat toistensa vastuualueiden tekniset perusteet ja seuraavat toistensa tekemisiä, sillä laitoksen yhdellä puolella tehdyt toimenpiteet vaikuttavat luonnollisesti laitoksen toisen puolen käyttäytymiseen. Toisen operaattorin toimintaa seurataan vilkuilemalla, missä päin valvomoa operaattori liikkuu, esimerkiksi minkä paneelin edessä hän on, tai avaamalla sama näyttöikkuna, joka toisella operaattorilla on auki. Haastateltavat pitivät tärkeänä muun muassa turvallisuuden takia tietää, mitä kentämiehet, toinen operaattori ja myös muut valvomossa olevat henkilöt kulloinkin tekevät.

Haastateltavat korostivat yhteistyön tärkeyttä kenttämiesten kanssa. Esimerkiksi lämmityksenvalvojen mukaan lämmittäjä on heidän tärkein yhteistyökumppaninsa, jopa tärkeämpi kuin turpiinilaitoksen valvoja. Myös vuoropäällikkö ja muut vuoron jäsenet, kunnossapidosta vastaavat henkilöt, toisten valvomoiden henkilökunta sekä kaukolämpökeskusten väki mainittiin tärkeiksi yhteistyökumppaneiksi.

Haastateltavien mukaan valvomotyön oppimisen edellytys on työkokemus kenttätyöskentelystä. Kentällä työntekijät oppivat hahmottamaan yleiskuvan prosessia, esimerkiksi laitteiden sijainnin ja mittasuhteet, sekä tietyn toimenpiteen vaikutuksen prosessiin käytännössä. Pelkästään näyttöruutuja katselemalla tai koulun penkillä istumalla ei voi saada prosessista oikeaa käsitystä. Haastateltavat siis pitivät hyvänä käytäntöä, että valvomo-operaattorit keräävät ensin kokemusta kentältä ennen siirtymistään valvomoon. Myös perehdyttäjän antamaa koulutusta ja kokeneempien työntekijöiden kanssa työskentelyä pidettiin valvomotyöskentelyn oppimisen kannalta tärkeinä ja hyvinä käytäntöinä.

### 2.5.2 Työvälineet prosessin hallinnassa

Haastateltavien välillä oli eroja siinä, pitivätkö he enemmän työskentelystä analogisilla vai digitaalisilla käyttöliittymillä. Henkilöt, jotka pitivät analogisista työvälineistä (paneelit ja pulpetit), sanoivat, että niiden avulla on mahdollista saada nopeasti yhdellä silmäyksellä kokonaiskuva prosessin tilasta. Heidän mukaansa analogisten välineiden avulla saa nopeammin selville vikatilanteen syyn, minkä jälkeen pääsee ripeästi tekemään tarvittavat toimenpiteet. Haastateltavat pitivät hyvänä asiana myös sitä, että automaatioasteen ollessa alhainen toimenpiteet täytyy tehdä ”itse” eli manuaalisesti, mikä vaatii operaattorilta valppautta ja tilanteen tajua. Siten ymmärrys prosessin tilasta säilyy hyvin, paremmin kuin digitaalisten työvälineiden ja automatisoitujen toimintojen avulla. Häiriötapauksissa tilanne on helpompi ottaa haltuun manuaalisesti kuin digitaalisilla ja automatisoiduilla työvälineillä. Manuaalisesti työskenneltäessä prosessin saa helposti ”omiin käsiin” ja sitä voi ajaa juuri sellaisilla arvoilla kuin haluaa. Operointien tekeminen nappuloita painamalla tuntuu konkreettisemmalta kuin asetusarvojen syöttäminen digitaalisten välineiden kautta.

Analogisista välineistä pitävät henkilöt sanoivat, että näyttöillä olevat hälytyslistat täyttyvät hetkessä, mikä tekee vian selvittämisen vaikeaksi. Hälytyslistoille tulee myös toisten laitosten hälytyksiä, mitä pidettiin häiritseväenä ja informaatio-tulvaa lisäävänä. Tosin kokemuksen myötä kehittyy taito löytää hälytyslistoistakin oleelliset hälytykset. Analogisia laitteita käytettäessä voidaan toimia ripeämmin kuin digitaalisia välineitä käytettäessä, koska operaattorin ei tarvitse selata näyttöjä eikä etsiä oikeaa kuvaa. Analogisia välineitä käyttävät henkilöt pitivät piirtureita ja mittareita havainnollisina tiedonlähteinä verrattuna näyttöjen digitaalisiin numeroarvoihin. Pulpettien hyviä puolia on myös se, että ohjauksia tehtäessä vasteen näkee heti mittareista.

## 2. Haastattelututkimus digitaalisten työvälineiden vaikutuksista operaattorityöhön

Pääasiassa myös digitaalisten työvälineiden avulla työskentelevät operaattorit olivat tyytyväisiä työvälineisiinsä ja sanoivat, etteivät enää juurikaan käytä analogisia seinäpaneeleita tai pulpetteja monitoroidessaan prosessin tilaa. Prosessin tilaa ja automaation toimintaa (esim. ylösajon eteneminen) on helppo seurata näytöiltä. Toisinaan he kuitenkin seurasivat seinätauluilta ja pulpeteilta esimerkiksi syöttövesisäiliön pinnan korkeutta ja höyrystäjän lämpötilaa. Yleiskuvien avulla, jos sellaisia on käytössä, saa hyvin kokonaiskuvan (osa-)prosessin tilasta, mitä voidaan täydentää vilkaisemalla seinäpaneeleille. Näyttöjen avulla koko prosessia koskevat tiedot ovat samassa paikassa ilman, että valvomossa tarvitsee liikkua. Myös ohjausten tekeminen on helpompaa, koska se onnistuu yhdestä paikasta. Sellaiset henkilöt, joilla oli mahdollisuus käyttää ohjaamiseen sekä analogisia että digitaalisia välineitä, sanoivat, että he joskus suorittivat toimenpiteet manuaalisesti pitääkseen yllä operointitaitojaan. Sanottiinkin, että taito hoitaa operaatiot manuaalisesti kuuluu operaattorin ammattitaitoon.

Haastateltavien mielestä operointi uusilla digitaalisilla laitteilla on jonkin verran helpompaa kuin pulpeteilla ja paneeleilla. Automaatio hoitaa ison osan tehtävistä, jotka ennen piti tehdä manuaalisesti. Vaikka automaatio helpottaakin työtä, on sen toiminnan tarkkailu silti tarpeellista, sillä automaation toiminnassa voi tapahtua poikkeamia. Toimiessaan hyvin automaatio nopeuttaa ja helpottaa operaattorien työskentelyä. Sen sijaan harmillisina pidettiin automaatiossa tapahtuvia häiriöitä, kuten sekvenssin jumittumista paikalleen, sillä tilanteen korjaaminen manuaalisesti ei välttämättä onnistu joustavasti tai järjestelmä ei salli manuaalisia toimenpiteitä.

Jotkut operaattorit olivat sitä mieltä, että analogisten järjestelmien avulla työskentelemällä oppii valvomotyön paremmin kuin näyttöjen avulla. Väitettä perusteltiin sillä, että omin käsin tehtäessä on pakko ymmärtää, mitä tekee, ja kun konkreettisesti näkee oman työnsä tuloksen, luottamus omiin taitoihin lisääntyy. Yhden vastaajan mukaan uudet operaattorit aloittavat ykköslaitoksella siksi, että analogisilla työvälineillä käsin ajettaessa ja vipuja konkreettisesti väännettäessä oppii helpommin hahmottamaan, mitä prosessissa tapahtuu verrattuna siihen, jos vain painaa painikkeita hiiren avulla ja asettaa numeroarvoja näytöille. Käsin ajamisen taitoa pidettiin hyvän ammattitaidon merkinä. Vasta, kun käsin ajaminen on opittu, operaattori voi opetella automaatiojärjestelmien toimintaa.

### 2.5.3 Tiedon löytyminen ja käyttöliittymien selkeys

Haastateltavien mukaan näyttöjen avulla löytyy lähes kaikki tarvittava tieto. Joitakin hälytys- ja laukaisurajoja sanottiin puuttuvan. Yksittäisten tietojen kuten laitteiden löytäminen on helppoa, kun näyttöihin on tottunut. Kuitenkin jos näyttöihin tehdään muutoksia, voi joskus olla vaikea muistaa, mihin näyttöihin muutoksia on tehty. Voi myös olla hankalaa löytää sellaisia näyttöjä, joita käytetään harvoin. Jotkut haastateltavista sanoivat, että näytöistä saa enemmän tietoa kuin seinäpaneeleista. Analogisista välineistä pitävät operaattorit taas sanoivat, että

seinäpaneeleista ja pulpeteista saa kätevämmiin kaiken tarvittavan tiedon kerralla selaamatta useampaa näyttöä. Kuten aikaisemmin todettiin, hälytyslistat voivat täytyä hetkessä, mikä tekee oleellisen tiedon löytämisen vaikeaksi.

Joidenkin vastaajien mielestä digitaalisten käyttöliittymien numeerisia arvoja on vaikea havaita ja myös niiden oikeat arvot on hankalampi muistaa kuin analogisten mittarien näyttämät arvot, joista suuruusarvon ja muutoksen suunnan näkee helposti ja nopeasti. Erään vastaajan mielestä mittarinäkymät painuvat hyvin näkömuistiin, mutta pelkkiä numeroita on vaikeampi muistaa. Näyttöillä on liikaa tietoa, ja erityisesti numeroarvot ovat niin lähellä toisiaan, että yksittäisiä arvoja on vaikea seurata. Ne, jotka olivat tottuneet näyttöjä käyttämään ja pitivät niistä, sanoivat, että näytöistä oppii erottamaan oleelliset kohdat. Silloin tietojen löytäminen ei enää ole ongelma eikä erehdyksiä arvojen tulkinnessa tule. Trendinäyttöjä pidettiin erityisen hyvinä, ja ne korvaavatkin analogisia mittarinäyttöjä. Pulpettien huonoksi puoleksi todettiin se, että tieto on niissä hajallaan eli fyysisesti liian laajalle alueelle jakaantuneena. Kun tehdään jotakin toimenpidettä, ei ole mahdollista samalla valvoa, mitä jossakin muualla tapahtuu. Erityisenä ongelmana mainittiin syöttöpumpun käynnistys, jota tehtäessä operaattorin täytyy poistua välillä parin metrin päähän kuittaamaan hälytys ja palata sitten pulpetin ääreen lisäämään pumppuun kierroksia. Toisiinsa liittyvät toiminnot ovat siten liian kaukana toisistaan.

Haastateltavien mukaan kaksi näyttöä operaattoria kohti on liian vähän. Näyttöjä pitäisi olla vähintään neljä, jotta kuvia ei tarvitsisi vaihtaa kovin usein ja jotta päänäytöt saisi näkyville. Lisäksi erään 1. valvomon vastaajan mielestä liian paljon vanhoja analogisia käyttöliittymiä on riisuttu pois. Hänen mielestään tärkeimpiä mittareita olisi pitänyt jättää paikalleen, sillä tietojen etsiminen näytöltä vie liikaa aikaa. Mainittiin myös, että on hyvä, jos monitoreja asetellaan päällekkäin, mikäli niitä ei ole mahdollista laittaa rinnakkain.

### 2.5.4 Valvomomuutosten vaikutus työntekoon

Haastatelluilta kysyttiin, miten valvomossa tehdyt muutokset ovat vaikuttaneet työntekoon. Erään vastaajan mielestä töiden määrä on lisääntynyt jonkin verran, sillä entisten analogisten tiedonlähteiden lisäksi pitää seurata myös digitaalisia näyttöjä. Järjestelmien ja tiedonlähteiden määrä on jatkuvasti lisääntynyt valvomossa, mikä vaatii kykyä käyttää erilaisia välineitä ja ymmärrystä tulkita eri tiedonlähteitä. Tiedon lisääntyminen on hyvä asia, mutta samalla se lisää myös työn määrää. Varsinkin uusille operaattoreille tiedon lisääntyminen tarkoittaa pidempää opetteluaikaa. Työn määrän lisääntymiseen on vaikuttanut myös joidenkin tehtävien siirtyminen kentältä valvomo-operaattorien vastuulle.

Haastateltavien mukaan käyttöliittymien muutoksista ei aina kulkeudu tietoa riittävän hyvin operaattoreille. Tiedotus saatetaan hoitaa paperilapuilla, jotka voivat hävitä. Tiedotteita ja muuta materiaalia myös kertyy kansioihin niin paljon, ettei niistä enää löydy tarvittavia tietoja helposti.

## 2. Haastattelututkimus digitaalisten työvälineiden vaikutuksista operaattorityöhön

Naantalın voimalaitoksella ei ollut käytössä suurkuvanäyttöjä, mutta haastattelulta kysyttiin, miten he suhtautuvat suurkuvanäyttöjen hankkimiseen ja mitä hyötyä niistä saattaisi olla. Vastaajat suhtautuivat suurkuvanäyttöihin positiivisesti. He arvelivat, että olisi hyödyllistä, jos suurkuvanäyttöille laitettaisiin näkyviin hälytyslista tai prosessin yleiskuvia, joilta prosessin kokonaiskuva olisi mahdollista hahmottaa. Suurkuvanäytöltä voisi nähdä voimassa olevat hälytykset kauempaakin. Olisi hyvä, jos operaattorit voisivat itse valita, mitä suurkuvanäytöllä kulloinkin esitetään. Suurkuvanäytöllä voisi mahdollisesti korvata analogisia seinäpaneeleita.

## 2.6 Yhteenveto haastattelututkimuksen tuloksista

### 2.6.1 Digitalisoinnin vaikutukset operaattorien työhön

Yleisesti sanotaan, että työvälineiden muutos on tekninen muutos, jolla on vaikutusta lähinnä operaattoreiden sekundäritehtäviin primäritehtävien pysyessä samoina. Primäritehtävillä tarkoitetaan monitorointia, ohjausten tekemistä, häiriötilanteiden hallintaa, suunniteltujen toimenpiteiden, kuten koestusten ja ylösajojen suorittamista, sekä yhteistyötä. Sekundäritehtävillä puolestaan tarkoitetaan informaatiojärjestelmän hallintaan ja informaation ylläpitämiseen liittyviä toimenpiteitä, kuten navigointia järjestelmässä ja tietojen syöttämistä. Haastattelujen tulosten perusteella näyttää kuitenkin siltä, että myös primäritehtävissä tapahtuu muutoksia. Digitalisoinnilla ja automaatioasteen nousemisella on vaikutusta ainakin 1) työnjaon ja tehtäväkentän laajuuteen 2) ohjaajien väliin yhteistyöhön ja kommunikaatioon muun muassa siksi, että toisen ohjaajan olinpaikasta valvomossa ei enää voi päätellä, mitä toimenpidettä hän on tekemässä, ja siksi, että kaikki voivat nähdä saman tiedon omilta näytöiltään eikä välttämättä ole enää tarvetta kysyä tietoja toiselta sekä 3) käytäntöihin ja toimintatapoihin, joilla saadaan käsitys prosessin tilasta ja pidetään yllä sen tuntemusta.

### 2.6.2 Operaattorien suhtautuminen työvälineiden muutokseen

Haastateltavat vaikuttivat pääosin tyytyväisiltä niihin työvälineisiin, jotka heillä on käytössään. Syynä tyytyväisyyteen on osaltaan tottumus: työntekijät pitävät niistä välineistä, joilla he osaavat tehdä työnsä hyvin. Vaihtoehtoja tuntematta on vaikea tietää, olisiko työ muilla välineillä sujuvampaa. Vaikka työvälineisiin liittyikin joitakin käytettävyysongelmia, eivät ohjaajat kritisoi kovin vahvasti työvälineitään, sillä taito käyttää työvälineitä ja selviytyä niiden avulla tehtävistä katsotaan osaksi ohjaajan ammattitaitoa. Valvomoiden modernisointia ja digitalisointia pidettiin kuitenkin tarpeellisena, sillä siirtyminen nykyaikaisiin työvälineisiin nähtiin välttämättömänä varaosien puutteen takia sekä siksi, ettei kehityksestä saisi jättäytyä jälkeä. Ohjaajat suhtautuvat modernisointeihin positiivisesti.



sesti mutta toivovat, että mitään heikennystä (mm. mitä tietoja esitetään, miten tiedot esitetään, kuinka paljon välivaiheita ohjausten tekeminen vaatii) työvälineisiin tai työoloihin ei tehdä. Tämä asettaa haasteita työvälineiden suunnittelulle, tiedotukselle ja koulutukselle.

### 2.6.3 Näyttöjen soveltuvuus valvomotyöhön

Sekä analogisista että digitaalisista työvälineistä löydettiin hyviä ja huonoja puolia. Digitaalisten työvälineiden eli näyttöjen heikkoutena pidetään yleisesti sitä, että niiden kautta näkymä prosessiin on kapea, eli kaikkea oleellista tietoa ei välttämättä saada samanaikaisesti näkyviin vaan näyttöjä on pakko selata. Haastatteluvastausten mukaan näkymän kapeudesta ei normaalitilanteissa ole kuitenkaan juuri haittaa, vaan operaattorit ovat oppineet selviytymään rajallisen tiedonesitystilan kanssa. Operaattorit ovat muovanneet käytäntöjä siihen, mitä tietoja näytöille asetetaan, jotta oleellisimmat tiedot kussakin tilanteessa saadaan näkyville. Näyttöjä selataan järjestelmällisesti läpi sekä kertausmielessä että tarkistettaessa, ettei oleellisia tapahtumia jää huomaamatta. Myös pyytämällä muita henkilöitä auttamaan monitoroinnissa voidaan hallita tilanteita, joissa yhden henkilön ei ole mahdollista seurata samanaikaisesti kaikkia tarvittavia kohteita. Haastateltavat pitivät näyttöjä riittävän selkeinä ja navigointia järjestelmässä helppona, kunhan tuntee prosessin ja tottuu näyttöihin. Aluksi näytöt voivat kuitenkin tuntua sekavilta. Opetteluvaiheen haasteita on oppia muistamaan, mistä mikin tieto löytyy, erottamaan oleelliset tiedot näytöistä ja tunnistamaan käytetyt symbolit ja merkintätavat. Jos automaatioastetta on nostettu, myös automaation toiminta täytyy opetella.

Haastatteluvastausten mukaan rajallisesta tiedonesitystilasta ei siis näytä tulevan ongelmaa normaalitilanteissa, koska operaattorit ovat tottuneet näyttöihin ja kehittäneet käytäntöjä näyttömäärän hallitsemiseen. Sen sijaan monissa vastauksissa tuli ilmi, että häiriöiden ja joidenkin erikoistilanteiden aikana tiedon tulva, hälytyslistojen täyttyminen ja se, ettei kaikki oleellinen tieto mahdu kerralla näkyviin, hankaloittavat prosessin tilan seuraamista, vian selvitystä ja tarvittavien toimenpiteiden tekemistä. Poikkeustilanteiden aikana tiedonesitykseen saatetaan tarvita lisätilaa, jota voidaan saada esimerkiksi suurkuvanäyttöjen avulla. Voidaan myös käyttää muita keinoja, kuten räätälöidä erikseen tiettyjä tilanteita tukevia näyttöjä.

Operoinnin suhteen jotkut vastaajat olivat sitä mieltä, että digitaaliset välineet eivät välttämättä ole analogisia parempia. Jotkut haastateltavat sanoivat, että analogisilla välineillä tuntuma prosessiin on todellisempi ja käsin kosketeltavampi. Heidän mukaansa digitaalisten välineiden käyttö voi etäännyttää prosessista ja jopa tehdä operaattorit piittaamattomiksi sen suhteen, miten operaatiot vaikuttavat prosessiin. Lisäksi korkeampi automaatioaste vähentää tarvetta suorittaa toimenpiteitä itse, jolloin joidenkin vastaajien mukaan ymmärrys prosessin toiminnasta voi heikentyä. Toisaalta moni vastaaja, joka käyttää jatkuvasti digi-

taalisia työvälineitä, oli sitä mieltä, että prosessituntuman välittymisessä digitaalisilla ja analogisilla työvälineillä ei ole eroa. Päinvastoin digitaalisilla työvälineillä operaattorit saavat usein enemmän ja tarkempaa tietoa prosessista, mikä auttaa tilannekäsityksen ylläpitämistä ja ohjausten vaikutusten seuraamista.

Useiden mielipiteiden mukaan näytöille on hyvä mahdollistaa niin paljon tietoa kuin mahdollista, jotta näyttöjen selaamisen tarve vähenee. Lisäksi monitoreita tulisi olla käytössä riittävästi (kolmesta viiteen kappaletta prosessikuvien esittämiseen, lisäksi erikseen näytöt hälytysten esittämiseen ym.). Näyttöjen suunnittelussa onkin haasteellista tasapainoilla tiedon määrän kanssa, jotta näytöt eivät tule liian täyteen. Toisaalta tietoa on oltava riittävästi näkyvillä. Tiedot pitäisi esittää havainnollisesti ja niiden tulisi löytyä oikeasta paikasta. Aina ei kuitenkaan ole itsestään selvää, miten prosessi jaetaan näytöille, eli mihin näyttökuvaan mikin tieto sijoitetaan.

Operaattorit pitivät positiivisena sitä, että heillä on mahdollisuus esittää näyttöihin parannusehdotuksia esimerkiksi tietojen asettelusta ja lisäämisestä. Lisäksi haastateltavien mukaan on hyvä, että navigointiin tarjotaan monia tapoja, sillä operaattoreilla on omia mieltymyksiään tiedon etsimistapojen suhteen. Koska valvomossa on paljon erilaisia järjestelmiä, pitäisi huomioida, että eri järjestelmien esitystavat (esim. laitteiden symbolit) eivät olisi ristiriitaisia toistensa kanssa. Tällöin tulkintavirheitä ei syntyisi.

### 2.6.4 Suurkuvanäyttöjä koskevia huomioita

Kahdessa tutkitussa laitoksessa oli käytössä suurkuvanäyttöjä. Laitteiden ikä ja toteutustekniikat erosivat toisistaan, kuten myös operaattorien mielipiteet suurkuvanäytöistä. Osa haastateltavista oli tyytyväisiä suurkuvanäyttöihin ja käytti niitä aktiivisesti. Negatiiviseen suhtautumiseen vaikuttivat suurkuvanäyttöjen tekninen laatu (esim. epätarkkuus), käytettävyysongelmat (esim. kuvien vaihtaminen työläys), ergonomiset syyt (esim. näyttöjen sijainti) sekä ennen kaikkea suurkuvanäyttöjen vähäinen lisäarvo tavallisiin monitoreihin verrattuna.

Suurkuvanäytöillä pidettiin näkyvillä yleensä hälytysnäyttöä sekä tärkeimpiä prosessikuvia ja trendejä. Suurkuvanäytöille ei ollut erikseen räätälöityjä sisältöjä vaan niille voitiin asettaa samaa sisältöä kuin pienemmillekin näytöille. Ohjausten tekemiseen suurkuvia ei haluttu käyttää. Sen sijaan niistä sanottiin olevan hyötyä häiriö- ja erikoistilanteissa sekä vuoron alkaessa. Suurkuvanäyttöjen avulla voidaan luoda nopea yleissilmäys prosessin tilaan, johon voidaan syventyä tarkemmin pienten näyttöjen avulla. Suurkuvanäyttöjen hyödyksi sanottiin, että ne ovat nähtävissä pidemmänkin välimatkan päästä, jolloin valvomossa vieraileva kenttähenkilökunta voi niiden avulla muodostaa käsityksen prosessin tilasta. Lisäksi ne tukevat yhteistyötä ja keskustelua toimiessaan vuoron yhteisenä tietolähteenä, ja niitä voi myös käyttää opetusvälineenä.

Suurkuvanäyttöjen suunnittelussa pitäisi tähdätä siihen, että niiden avulla voitaisiin tarjota operaattoreille lisäarvoa. Parasta mahdollista hyötyä ei välttämättä

saavuteta sillä, että suurkuvanäyttöillä esitetään samaa informaatiota kuin pienemmällä näyttöillä. Suurkuvanäyttöille voitaisiin luoda tiettyihin tilanteisiin, kuten ylösajoihin tai seisokkeihin, soveltuvia näyttöjä. Suurkuvanäyttöillä voitaisiin myös havainnollistaa käytettävissä olevien resurssien tilaa, kuten mitä järjestelmiä on poissa käytöstä huoltojen takia. Vaikka usein ajatellaankin, että suurkuvanäyttöjen avulla voidaan korvata ainakin osittain poistuvat seinäpaneelit ja pulpetit, ei suurkuvanäyttöillä kannata tyytyä pelkästään jäljittelemään vanhoja työvälineitä vaan käyttää hyväksi uuden teknologian mahdollisuuksia tiedon käsittelyssä ja visualisoinnissa.

### 2.6.5 Koulutusta koskevia huomioita

Haastatteluvastausten mukaan sekä ohjaajan työn että uuden järjestelmän käytön oppimiseen kuluva aika voi olla yllättävän pitkä. Arviot uuden järjestelmän oppimiseen tarvittavasta ajasta vaihtelivat parista kuukaudesta puoleentoista vuoteen. Oppimiseen kuluva aikaa ei saisi aliarvioida, sillä epävarmuus omista taidoista voi aiheuttaa stressiä ja jopa pelkoa suorittaa operaatioita. Kokeneille operaattoreille työvälineiden muutokset ja niistä johtuva tarve opetella uutta voivat aiheuttaa negatiivisia tunteita oman ammattitaidon heikentymisestä. Myös vanhan käyttöliittymän ”pois oppimiseen” eli vanhojen rutiinien unohtamiseen ja uusien oppimiseen kuluu jonkin verran aikaa. Operaattoreille pitäisi siis tarjota riittävästi koulutusta uuden järjestelmän käytössä. Myös pienempien muutosten kohdalla koulutustarvetta pitää pohtia, sillä joidenkin haastateltavien mukaan pienten muutosten yhteydessä ei ole aina tarjottu riittävästi koulutusta. Jos uutta järjestelmää alkaa käyttää vain osa työntekijöistä, tulisi muillekin järjestelmän kanssa jossakin tekemisissä oleville, esimerkiksi saman vuoron jäsenille, tarjota jonkinlaista koulutusta, sillä uusien järjestelmien käyttöönotolla on vaikutusta työtapoihin, käytäntöihin ja yhteistyöhön.



## **Osa II: Suurkuvanäytöt valvomoympäristössä**



### **3. Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa – kirjallisuuskatsaus**

Jari Laarni

Suurkuvanäytöt ovat yleistyneet erilaisissa ohjaus- ja komentokeskuksissa. Eri-tyisesti digitaaliseen tekniikkaan ja henkilökohtaisiin työasemiin perustuvissa valvomoissa niillä on suuri merkitys järjestelmien keskeisiä parametrejä koskevan tiedon esittämisessä. Suurkuvanäyttöjen kehittämiseen liittyy monia haasteita. Koska suurkuvanäyttö on laadullisesti erilainen kuin pöytä- tai työasemanäyttö, olemassa olevat pöytäasemien käyttöliittymämetaforat eivät välttämättä toimi suurkuvanäytöissä. Myöskään pöytäasemanäyttöjä koskevat käytettävyyssuosittukset eivät sellaisenaan ole sovellettavissa suurkuvanäyttöihin. Tarvitaan siis uusia käyttöliittymämetaforia, ja suurkuvanäyttöjen käytettävyyttä arvioitaessa on otettava huomioon niiden erityispiirteet.

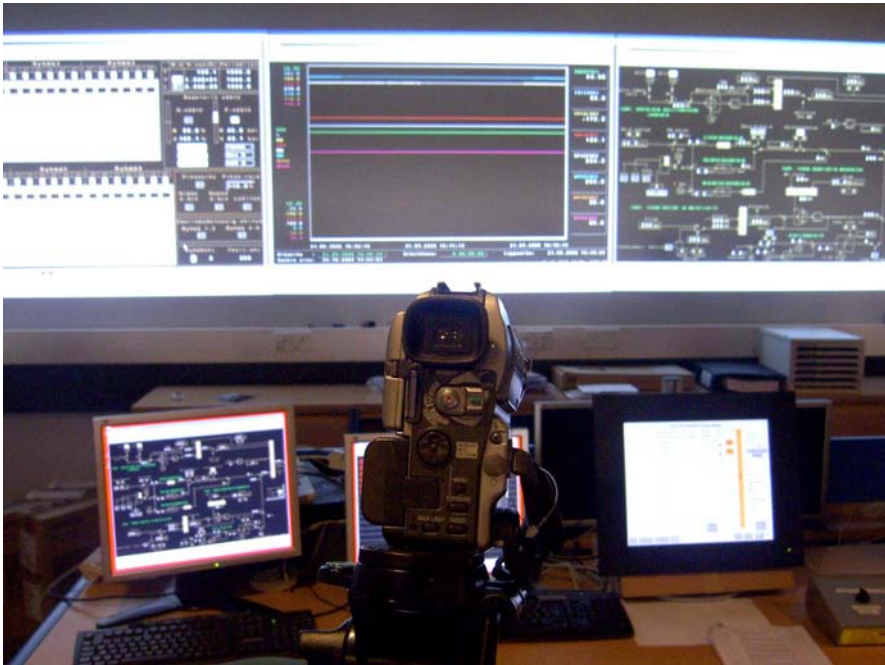
Tämän luvun tarkoituksena on arvioida suurkuvanäyttöjen käyttöä ja käytettävyyttä erityisesti valvomo-olosuhteissa olemassa olevan kirjallisuuden perusteella. Näyttöteknologiaa käsitellään vain siinä määrin kuin se on asioiden ymmärtämiseksi tarpeen. Koska kirjallisuutta suurkuvanäyttöjen käytöstä voimalaitosten valvomoissa on varsin vähän, katsauksessa esitellään myös tutkimuksia suurkuvanäyttöjen käytöstä muissa ympäristöissä. Suurkuvanäyttöjen käyttöä arvioidaan kahdesta eri näkökulmasta: Toisaalta pohditaan sitä, mikä rooli suurkuvanäytöillä on tämän päivän tai lähitulevaisuuden digitalisoiduissa tai ns. hybridi-valvomoissa, joissa hyödynnetään sekä analogista että digitaalista tekniikkaa. Toisaalta katsauksessa pohditaan sitä, mikä rooli eri tekniikoin tuotetuilla ”suurkuvilla” on tulevaisuuden (älykkäissä) valvomoissa. Eriyisesti arvioidaan suurkuvanäyttöjen merkitystä tiimin yhteistoiminnan, yhteistyön ja kommunikaation kannalta. Tässä luvussa annetaan myös suosituksia siitä, mitä ja miten informaatiota tulisi suurkuvanäytöllä esittää.

#### **3.1 Johdanto**

Suurkuvanäytöillä tarkoitetaan suurikokoisia heijastettavia näyttöjä tai useista pienistä nestekidenäytöistä rakentuvia kokonaisuuksia, joilla esitettävää tietoa

### 3. Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa – kirjallisuuskatsaus

useat käyttäjät voivat seurata samanaikaisesti ja joiden sisältöä voidaan vaihtaa ja muokata esimerkiksi hiiren avulla. Suurkuvanäytöt ovat yleistyneet valvomo-ympäristöissä (ks. kuva 5). Niillä voidaan esittää tietoa esimerkiksi laitoksen järjestelmien keskeisistä parametreista, trendeistä sekä tärkeimmistä hälytyksistä. Erityisesti digitaalisissa valvomoissa, joissa pulpetit ja seinäpaneelit on korvattu henkilökohtaisilla työasemilla, niillä on suuri merkitys. Suurkuvanäyttöjen avulla pyritään korjaamaan ongelmia, joita liittyy digitaalisiin työasemapohjaisiin käyttöliittymiin.



Kuva 5. Suurkuvanäyttöjä Fortumin kehityssimulaattorilla.

Suurkuvanäytöt voivat vähentää työasemien käyttöön liittyvää, tarkkaavaisuuden kapeutumiseen johtavaa tunneliefektiä ja siten auttaa operaattoreita ylläpitämään kokonaiskuvaa laitoksen tilasta entistä paremmin. Koska suurkuvat näyttävät laitoksen pääparametrit ja laitteiden tilan kaikille operaattoreille samanaikaisesti, niiden avulla voi myös saada käsityksen siitä, mitä muut operaattorit ovat parhaillaan tekemässä. Siten suurkuvanäytöt voivat parantaa operaattoreiden vuoro-vaikutusta, yhteistyötä ja kommunikaatiota.



### 3.2 Mitä suurkuvanäytöt ovat?

Silmän verkkokalvolle muodostuvasta näytön kuvasta voidaan tehdä suurempi monin eri tavoin. Yksinkertaisin tapa on siirtyä lähemmäs näyttöä, jolloin verkkokalvokuvan koko kasvaa ilman, että näytön koko muuttuu. Varsinaisilla suurkuvanäyttöillä tarkoitetaan yleensä fyysisesti kookkaita seinänäyttöjä, joille on heijastettu kuva edestä tai takaa. Suurkuvanäyttö voidaan kuitenkin rakentaa myös yhdistämällä useita pienempiä näyttöjä suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Nämä yhdisteltävät näytöt voivat olla esimerkiksi tavallisia nestekidenäyttönäyttöjä (LCD-näyttöjä). Kun seinälle heijastetaan tavallisen pöytänäytön kuva, kuva on kooltaan suurempi mutta laadultaan huonompi kuin pöytänäytön kuva, koska informaation (pikselien) määrä on kummassakin näytössä sama. Liittämällä pieniä LCD-näyttöjä toisiinsa voidaan kuitenkin rakentaa suurkuvanäyttö, jonka informaation määrä on aidosti suurempi kuin normaalin pöytänäytön kuvassa. Suurkuvanäyttöjä voidaan luokitella esimerkiksi kuvan laadun, käyttäjän ja katselijan välisen etäisyyden ja vuorovaikutustavan perusteella (ks. taulukko 1) (Ball & North, 2005; Ni ym., 2006; Rogers & Rodden, 2003).

Taulukko 1. Suurkuvanäytöt luokiteltuina näytön laadun, sijainnin ja vuorovaikutustavan perusteella (Ball & North, 2005; Ni ym., 2006; Rogers & Rodden, 2003).

<b>Näytön laatu</b>	Kuvatarkkuudeltaan keskinertaiset 2-D-näytöt	Yhden projektorin avulla tuotetut näytöt
	Kuvatarkkuudeltaan hyvät 2-D-näytöt	Useiden projektorien avulla tuotetut näytöt LCD-näyttöistä rakennetut yhdistelmä näytöt CAVE-näytöt
	Stereonäytöt	
<b>Näytön sijainti</b>	Suhteellisen kaukana katselijasta olevat ( <i>distant-contiguous</i> ) seinänäytöt	
	Suhteellisen lähellä katselijaa olevat ( <i>desktop-contiguous</i> ) näytöt	
	Perifeeriset näytöt	Käyttäjää ympäröivät ( <i>ambient</i> ) näytöt Hälyttävät näytöt
<b>Vuorovaikutustapa</b>	Pelkästään katseluun tarkoitetut näytöt	
	Interaktiiviset näytöt	Sulautetut näytöt Erilliset näytöt <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Whiteboard</i>-esitystaulut</li> <li>• <i>Tabletop</i>-näytöt</li> </ul>
	Integroidut järjestelmät	

Suurkuvanäytöt voidaan jakaa kahteen pääryhmään: kuvatarkkuudeltaan keskinertaisesti näyttöihin, joiden kuva on tuotettu yhden projektorin avulla, sekä kuvatarkkuuden suhteen laadukkaisiin näyttöihin (Ni ym., 2006). Jälkimmäiseen ryhmään kuuluvat muun muassa usean LCD-näytön avulla rakennetut kokonaisuudet, useiden projektorien avulla tuotetut näytöt sekä CAVE-tyyppiset näytöt. Suurkuvanäytöt voidaan jakaa kahteen ryhmään myös sen mukaan, pyritäänkö niillä ensisijaisesti kolmiulotteisen vaikutelman luomiseen vai ei. Tässä katsauksessa keskitytään pääasiassa kaksiulotteisiin näyttöihin.

Tunnettuja esimerkkejä tutkimustarkoituksiin rakennetuista suurkuvanäyttöratkaisuista ovat esimerkiksi Illinois'n yliopiston huoneenkokoinen CAVE-näyttö (Cruz-Neira ym., 1993) ja *InfinityWall* -näyttö, Minnesotan yliopiston *PowerWall* (Czernuszenko ym., 1997) sekä NCSA:n *Display Wall-In-A-Box* (<http://webct.ncsa.uiuc.edu:8900/public/DWIB/>). Hyvä esimerkki kaareutuvista näytöistä on Mitsubishin *Electric Research Labissa* kehitetty kupunäyttö (Raskar ym., 2004). Yksittäisiä suurkuvanäyttöjä on myös yhdistetty katselijaa joka puolelta ympäröiviksi *ambient*-näytöiksi. Näistä hyvä esimerkki ovat erilaiset virtuaaliympäristöjärjestelmäratkaisut (Cruz-Neira ym., 1993). Suomessa tällaisia ympäristöjä ovat muun muassa Seinäjoen ammattikorkeakoulun informaatio- ja kommunikaatioteknologian yksikön ”luola” sekä Teknisen korkeakoulun Tietotalossa sijaitseva EVE. Esimerkkejä kaupallisista ratkaisuista löytyy liitteestä A.

Edellä mainituille näytöille on ominaista, että kuvatarkkuus on sama näyttöalueen jokaisessa kohdassa; sekamuotonäytöissä sen sijaan kuvatarkkuus on suurempi sellaisella alueella, joka halutaan nähdä tarkemmin. Tällaisen näytön etuna on se, että informaatiota ei ”mene hukkaan”, koska niissä esitetään tarkemmin vain se kuvan alue, johon käyttäjä todennäköisesti kohdistaa huomionsa. Tällaiset sekamuotoiset näytöt voidaan jakaa useampaan ryhmään sen perusteella, millä tekniikalla näytön keskeisimmän alueen kuvatarkkuutta on parannettu (Baudisch ym., 2002). Yksityiskohtaisempaa tietoa voidaan sekamuotoisella näytöllä esittää esimerkiksi erillisessä pienemmässä ikkunassa, joka ilmestyy päänäytön päälle. Osa näkymästä voidaan myös esittää samassa ikkunassa suurennettuna, ns. kalansilmänäkymänä (Baudisch ym., 2002).

Seinälle heijastettu suurkuva on yleensä varsin kaukana katselijasta (*distant-contiguous*). Pienempiä näyttöjä yhdistämällä saatu suurkuva voi kuitenkin olla lähellä käyttäjää ja osana hänen henkilökohtaista työasemaansa (*desktop-contiguous*) (Swaminathan & Sato, 1997). Edellisessä tapauksessa näyttö palvelee kaikkia käyttäjiä, jälkimmäisessä tapauksessa lähinnä vain yhtä käyttäjää.

Oman ryhmänsä muodostavat ns. perifeeriset näytöt, joiden ei ole tarkoitus olla kaiken aikaa käyttäjän huomion kohteena ja jotka voivat olla varsin kaukana käyttäjästä (esim. McCarthy, 2003; Shen ym., 2005). Perifeeriset näytöt voidaan jakaa kahteen ryhmään: käyttäjää ympäröiviin (*ambient*) näyttöihin, jotka esittävät kaiken aikaa informaatiota tiettyjen järjestelmien tilasta ja joita käyttäjät voivat tarvittaessa seurata ilman, että se häiritsee itse päätehtävää, sekä varoittaviin ja hälyttäviin näyttöihin, jotka varoittavat käyttäjää jostakin asiantilasta tietyissä tilanteissa ja pakottavat käyttäjän suuntaamaan huomionsa niihin. Usein

perifeerisissä järjestelmissä hyödynnetään myös ääni- ja kosketusinformaatiota (Shen ym., 2005).

Suurkuvanäyttöjä käytetään eri tavoin. Usein suurkuvanäytöt ovat pelkkiä tiedonesitysalustoja, jotka on tarkoitettu passiiviseen katseluun. Useimmat julkisissa tiloissa olevat näytöt ovat luonteeltaan tällaisia. Työympäristöissä on kuitenkin tärkeää, että käyttäjät voivat vaikuttaa suurkuvanäytön sisältöön ja esimerkiksi siirtää tietoa pöytänäytöiltä suurkuvanäytöille ja takaisin tai tehdä ohjauksia suurkuvanäytön kautta. Rogers ja Rodden (2003) ovat jakaneet interaktiiviset näytöt kolmeen ryhmään: i) sulautettuihin näyttöihin, joissa näyttö on keskeinen osa fyysikaalista tilaa, ii) erillisiin interaktiivisiin näyttöihin, jotka on sijoitettu olemassa oleviin tiloihin sekä iii) integroituihin järjestelmiin, jotka koostuvat useista erikokoisista näytöistä ja joita käytetään rinnakkain.

Sulautetut näytöt ovat sulautuneet julkiseen tilaan niin, että ne ovat osa tilan kalustusta. Esimerkkejä tällaisista kokonaisuuksista ovat kokoustilat, jotka rakentuvat erilaisista interaktiivisista pöytä- ja seinänäytöistä (ks. esim. Nunamaker, 1991; Johanson ym., 2002; Streitz ym., 2001). Erillisillä näytöillä tarkoitetaan erilaisia pystysuorassa asennossa olevia esitystauluja (*whiteboard*) sekä erilaisia pöytänäyttöjä (*tabletop displays*). Vertikaalinäytöt voidaan edelleen jakaa varsinaisiin *SmartBoard*-tyyppisiin ratkaisuihin, seinänkokoisiin kuvatarkkuudeltaan korkealaatuisiin näyttöihin, yhteen näyttöön perustuviin ryhmätyötä tukeviin työkaluihin sekä julkisten tilojen näyttöihin. Keskeinen kysymys *SmartBoard*-tyyppisten näyttöjen suunnittelussa on, miten tällaiset näytöt voitaisiin rakentaa niin, että useat käyttäjät voisivat käyttää näyttöä samanaikaisesti ja tehdä keskenään yhteistyötä niiden ääressä. Toinen tärkeä kysymys on, miten tehdä vuorovaikutuksesta näytön kanssa mahdollisimman luontevaa. Integroidut järjestelmät voivat puolestaan rakentua esimerkiksi interaktiivisista seinänäytöistä ja kämmenietokoneista. Niiden kehittämisen tavoitteena on auttaa käyttäjiä siirtämään tietoa joustavasti laitteesta ja näytöltä toiselle (esim. Fallman ym., 2005).

Tässä luvussa keskitytään pääasiassa projisoituihin näyttöihin, joihin kuva heijastetaan näytön edessä tai takana olevan projektorin kautta. Lisäksi pääpaino on tiedon esittämisessä suurkuvanäytöllä, vaikka myös erilaisia vuorovaikutustekniikoita käsitellään.

### 3.3 Suurkuvanäyttöjen keskeiset ominaisuudet

Suurkuvanäytöillä on muutamia keskeisiä ominaisuuksia, jotka erottavat ne pöytä- ja työasemanäytöistä (Grudin, 1994; Huang, 2005). Ensinnäkin, suurta kuvaa voidaan katsella kauempaa kuin pöytänäyttöä, ja paras katseluetäisyys onkin yleensä muutaman metrin päässä näytöstä. Koska näyttöä katsotaan kauempaa, useammat käyttäjät voivat samanaikaisesti katsella sitä ja olla vuorovaikutuksessa sen kanssa. Tästä johtuen suurkuvanäytöt ovat tavallaan julkisempia kuin pöytänäytöt. Tyypillistä onkin, ettei käyttäjien tarkkaavaisuus kohdistu niihin yhtä

intensiivisesti kuin omiin henkilökohtaisiin näyttöihin – suurkuvanäytön kuva usein vain vilkaistaan ohimennen.

Koska suurkuvanäyttöä voidaan katsella eri etäisyyksiltä, eri henkilöt ”näkevät” siltä hieman eri asioita. Ne, jotka ovat lähempänä näyttöä, näkevät tarkempia yksityiskohtia kuin ne, jotka katselevat näyttöä kauempaa. Tällä voi olla vaikutusta siihen, miten eri käyttäjät tulkitsevat näytöllä esitettyä tietoa ja mihin informaatioon he kiinnittävät huomiota, mikä voi puolestaan vaikuttaa käyttäjien yhteistoimintaan ja kommunikaatioon (esim. Mandryk ym., 2002).

Vuorovaikutus suurkuvanäytön kanssa voi myös poiketa siitä, miten pöytänäyttöjä käytetään: hiiren, kynän tai sormenpään lisäksi näyttöä voidaan ohjata kauempaa erilaisten laser-osoittimien tai käden liikkeen avulla. Sillä, miten käyttäjät ohjaavat näyttöä, voi olla vaikutusta käyttäjien vuorovaikutukseen ja yhteistoimintaan (esim. Mandryk ym., 2002).

Koska suurkuvanäyttö sijaitsee henkilökohtaisen työaseman ulkopuolella, vuorovaikutus sen kanssa ei välttämättä ole yhtä luontevaa kuin pöytänäyttöä käytettäessä (Huang, 2005). Käyttäjät eivät välttämättä esimerkiksi halua kokeilla näytön ominaisuuksia ja tehdä sillä ohjauksia pelätessään muiden huomaavan mahdolliset virheet.

Suurkuvanäyttöä pidetään yleensä tiimin yhteisenä resurssina, minkä vuoksi käyttäjät saattavat kantaa vähemmän huolta sen toimintakunnosta ja suhtautua välinpitämättömämmin sen ylläpitämiseen (Huang, 2005). Tämän vuoksi on tärkeää, että suurkuvanäytöllä on ns. pääkäyttäjä, joka ensisijaisesti vastaa sen toiminnasta ja siitä, mitä sillä esitetään.

### 3.4 Suurkuvanäyttöjen käyttökohteet

Suurkuvanäyttöjä käytetään monilla aloilla (ks. taulukko 2) (Ni ym., 2006). Eri-laisissa komento- ja ohjauskeskuksissa sekä valvomoissa suurkuvanäyttöjä on käytetty jo varsin pitkään keskeisen tapahtumatiedon esittämiseen. Tällaisia paikkoja löytyy niin sotilas- ja suojelualalta kuin teollisten prosessien valvonnan ja avaruustutkimuksen piiristä. Esimerkiksi autojen ja muiden kulkuvälineiden suunnittelutoimistoissa suurkuvanäyttöjä on käytetty suunnittelutiedon esittämiseen. Sovellusalueita löytyy myös tieteellisen visualisoinnin, tietokoneavusteisen yhteistyön sekä koulutuksen ja opetuksen aloilta. Suurkuvanäyttöjä käytetään paljon julkisissa tiloissa tiedon esittämiseen ohikulkeville ihmisille ilman, että nämä voivat vaikuttaa esitettävän tiedon sisältöön. Suurkuvanäytöllä esitetään esimerkiksi karttoja, aikatauluja ja mainoksia. Yhä enemmän myös televisiota katsellaan kotioiloissa isokokoisilta plasma- tai LCD-näytöiltä. Tässä katsauksessa keskitytään lähinnä suurkuvanäyttöjen käyttöön ydinvoimalaitosten valvomoissa.

Kaiken kaikkiaan suurkuvanäytöt soveltuvat kohteisiin, joissa 1) halutaan esittää tietoa, jota kaikki käyttäjät tarvitsevat, 2) käyttäjät joutuvat liikkumaan paljon ja heidän on katseltava näyttöä tilan eri puolilta tai 3) useiden käyttäjien on samaan

aikaan päästävä käsiksi tietoon, jota tilan puutteen tai muiden rajoitusten takia ei ole mahdollista esittää työasemien näytöillä.

### 3.5 Suurkuvanäyttöjen käyttötavat

Ball ja North (2005) ovat tutkineet sitä, miten työntekijät käyttävät suurkuvanäyttöjä esimerkiksi toimistoympäristöissä. Jos näyttöjä on useita rinnakkain ja jos käyttäjillä on mahdollisuus valita, mitä näytöillä esitetään, he mielellään valitsevat keskimmäisenä tai heitä lähimpänä olevan näytön ns. päänäytöksi, jolla esitetään tärkeimmät asiat. Sen vasemmalla ja oikealla puolella olevilla näytöillä esitetään päänäyttöä tukevaa informaatiota. Jos näytöillä esitettävien asioiden tärkeysjärjestys muuttuu, käyttäjät vaihtavat tärkeimmäksi tulleen informaation näytölle, joka on heitä lähinnä suoraan edessä.

Taulukko 2. Suurkuvanäyttöjen käyttökohteita (Ni ym., 2006).

<b>Monimutkaisten järjestelmien ohjaaminen</b>	Voimalaitokset
	Armeijan komentokeskukset
	Avaruuslentojen komentokeskukset
<b>Tietokoneavusteinen suunnittelu</b>	Arkkitehtitoimistot
	Ajoneuvojen suunnittelutoimistot
<b>Paikkatiedon ja tieteellisen tiedon kuvantaminen</b>	Valvomot, komentokeskukset
	Arvopaperipörssit
<b>Videoneuvottelut</b>	
<b>Opetus ja koulutus</b>	
<b>Viihde</b>	Pelihallit
<b>Julkiset palvelut ja mainonta</b>	Sisä- ja ulkotiloissa olevat mainos- ja ilmoitustaulut

Mikäli suurkuva on rakennettu erillisistä pienemmistä näytöistä, sovellukset sijoitetaan niin, että yksittäisten näyttöjen reunat toimivat sovellusten rajoina (Ball ja North, 2005). Näyttöjen reunat erottavat siis tehtäviä ja sovelluksia toisistaan. Vaikka näitä näyttöjen reunoja voidaan käyttää hyväksi tiedon ryhmitteilyssä, yleensä käyttäjät pitävät reunoja työskentelyä haittaavina ja ärsyttävinä.

Merkittävä osa suurkuvanäytön pinta-alasta jää yleensä hyödyntämättä. Ballin ja Northin (2005) mukaan moniosaisen näytön pinta-alasta noin kolmasosa on normaalisti siinä mielessä käyttämättä, että sille ei sijoiteta olennaista informaatiota eikä sitä myöskään katsota. Yleensä tämä huomiota vaille jäävä alue sijaitsee näytön yläosassa, ja se on sitä suurempi mitä korkeammalle näyttö on asennettu.

Ballin ja Northin mukaan suurkuvanäytöt tukevat yhteistoimintaa ja mahdollistavat erilaisia yhteistoiminnan muotoja. Käyttäjät voivat esimerkiksi tarkastella yhdessä jotakin kuvaa tai visualisointia. Ball ja North kuitenkin havaitsivat, että suurkuvanäytön sujuva käyttö vaatii opettelua. Esimerkiksi käyttäjiltä vei paljon

aikaa oppia strategiat, joilla he pystyvät nopeasti löytämään cursorin isolta näyttöltä. Cursorin löytämiseksi on erilaisia strategioita: käyttäjät liikuttavat hiirtä nopeasti edestakaisin, siirtävät hiiren tiettyyn nurkkaan näyttöllä tai etsivät kursoria järjestelmällisesti näyttöltä. Ilmeisesti vielä haasteellisempaa on oppia käyttämään suurkuvanäyttöjä ja työaseman pieniä näyttöjä sujuvasti keskenään ja siirtämään tietoa työasemien näyttöiltä suurkuvanäytölle tai päinvastoin.

### **3.6 Suurkuvanäytöt ja tiimin yhteistyö**

Koska useat käyttäjät voivat samanaikaisesti katsella suurkuvanäytön kuvaa, se tarjoaa käyttäjille yhteisen viitekehyksen ja yhteistoiminnalle lähtökohdan. Suurkuvanäyttöjen tulisi toisaalta edistää spesifiä yhteistoimintaa, joka liittyy tiettyjen työtehtävien suorittamiseen; toisaalta suurkuvanäytöt tulisi suunnitella niin, että ne mahdollistavat erilaisia yhteistoiminnallisia käytäntöjä. On kuitenkin muistettava, että suuri kuvakoko ei vielä yksistään motivoi ihmisiä käyttämään suurkuvanäyttöjä yhteistyön tukena.

McClellandin (1995) mukaan suurkuvanäytöt voivat helpottaa tiimityötä muun muassa silloin, kun operaattoreilla on yhteinen tehtävä ja he tarvitsevat kohteesta tietoa yhtä aikaa voidakseen rakentaa yhteisen kokonaiskuvan tilanteesta. Suurkuvanäytöt voivat tukea tai vaikeuttaa yhteistoiminnan eri puolia eri tavoin. Esimerkiksi Gutwin ja Greenberg (2000) ovat jaotelleet yhteistoiminnan muodot seitsemään ryhmään: välittömään ja välilliseen kommunikaatioon, toiminnan koordinaatioon, toiminnan suunnitteluun, käyttäjien monitorointiin, avustamiseen sekä oman reviirin suojeluun. Käyttäjät voivat digitalisoidussa ohjauskeskuksessa keskustella suurkuvanäytöllä olevasta tiedosta, ja siten se voi lisätä heidän välitöntä kommunikaatiotaan. Toisaalta välillinen kommunikaatio voi vähentyä perinteiseen analogiseen ohjauskeskukseen verrattuna, mikäli käyttäjien ohjaustoimenpiteet eivät näy suurkuvanäytöllä. Pelkkään katseluun tarkoitettulla suurkuvanäytöllä on myös varsin vähän vaikutusta toiminnan koordinointiin, suunnitteluun tai käyttäjien monitorointiin ja avustamiseen verrattuna analogiseen ohjauskeskukseen tai suurkuvanäyttöön, jolla voidaan tehdä ja seurata ohjaustoimenpiteitä.

Siihen, minkälaiseksi yhteistoiminta suurkuvanäytön ääressä muodostuu, vaikuttavat monet tekijät (esim. Mandryk ym., 2002), kuten näytön asento, koko, interaktiivisuus sekä käyttäjien etäisyys näytöstä ja näyttöjen lukumäärä. Esimerkiksi sillä on merkitystä, onko näyttö interaktiivinen vai ei. Pelkkään katseluun tarkoitettua näyttöä voidaan katsoa yhdessä mutta interaktiivisen näytön kanssa voidaan myös työskennellä yhdessä. Lisäksi on otettava huomioon, miten näytön kanssa ollaan vuorovaikutuksessa. Kosketusnäytön etuna on esimerkiksi se, että katselijat näkevät, mitä käyttäjä on kullakin hetkellä tekemässä – päinvastoin kuin näppäimistöä ja hiirtä käytettäessä. Näin he voivat oppia käyttämään näyttöä seuraamalla kokeneen käyttäjän toimintaa. Näytön asento eli se, onko se vaaka-asennossa vai pystyssä seinää vasten, vaikuttaa siihen, miten

näyttöä käytetään (Rogers & Lindley, 2004). Vaaka-asennossa oleva näyttö tukee erilaista yhteistoimintaa kuin pystyasennossa oleva. Myös näytön koko vaikuttaa yhteistoimintaan: mitä suurempi näyttö on, sitä helpompaa on yhteistoiminnan suunnittelu. Suuri näyttö mahdollistaa myös sen, että eri henkilöt voivat työskennellä samanaikaisesti ja käyttää näytön eri osia. Lisäksi käyttäjien etäisyys näytöstä vaikuttaa yhteistoimintaan: mitä kauempana käyttäjät ovat näytöstä, sitä todennäköisempää on, että he pitävät näyttöä ei-interaktiivisena, pelkkään katseluun tarkoitettuna näyttönä.

Suurkuvanäyttöjen vaikutusta tiimin toimintaan on tutkittu pääasiassa etnografisin menetelmin. Etnografiset tutkimukset (ks. esim. Fallman ym., 2005) ovat osoittaneet, että parhaimmillaan suurkuvanäyttö tukee yhteistoimintaa nimenomaan siten, että sen ääreen käyttäjien on luontevaa kerääntyä keskustelemaan ja hakemaan neuvoa muilta. Toisaalta Brignull ja Rogers (2003) havaitsivat, että ihmiset ovat haluttomia käyttämään julkisissa tiloissa olevia suurkuvanäyttöjä. Sen vuoksi erityisesti uudet käyttäjät tarvitsevat muilta tukea ja rohkaisua (Churchill ym., 2003). Hawkeyn ym. (2005) tutkimuksessa muunneltiin sekä käyttäjien etäisyyttä toisistaan että käyttäjän etäisyyttä suurkuvanäytöstä. Molemmat käyttäjät olivat joko lähellä näyttöä tai kaukana siitä tai toinen heistä oli lähellä ja toinen kaukana. Käyttäjät suoriutuivat paremmin, kun molemmat olivat sekä lähellä toisiaan että lähellä näyttöä. Suurin osa käyttäjistä myös piti tästä tilanteesta eniten. Kun molemmat käyttäjät olivat lähellä suurkuvanäyttöä, heidän oli helppo keskustella keskenään ja jakaa tietoa. Viestintä oli tässä tilanteessa sujuvaa eikä kommunikoinnissa ollut juurikaan keskeytyksiä tai muita häiriöitä. Käyttäjät myös pitivät siitä, että he pystyivät suoraan näyttöä koskettelulla ohjaamaan sitä ja syöttämään siihen tietoa. Paljon enemmän kommunikointiongelmia ilmeni tilanteessa, jossa toinen käyttäjä oli lähellä ja toinen kauempana näytöstä.

Interaktiivisten näyttöjen yhteiskäyttöön liittyy monia kysymyksiä, joita on toistaiseksi tutkittu varsin vähän. Miten käyttäjä oppii ne joskus kirjoittamattomakin säännöt, jotka liittyvät suurkuvanäytön hallintaan ja käyttöön? Mikä merkitys on esimerkiksi sillä, voiko vain yksi henkilö muokata näyttöä ja kirjoittaa sille vai voivatko kaikki osallistua näytön sisältöjen muokkaamiseen? Jos pääkäyttäjiä on enemmän kuin yksi, miten tuetaan pääkäyttäjän luontevaa vaihtumista henkilöstä toiseen?

## **3.7 Suurkuvanäyttöjen hyödyt ja haitat**

### **3.7.1 Suurkuvanäyttöjen hyödyllisyys**

Kun pohditaan suurkuvanäyttöjen hyödyllisyyttä, on kysyttävä, johtuuko hyöty pelkästään siitä, että kuva on suurempi, vai onko syynä myös se, että informaatiota eli pikseleitä on enemmän. Kun tietokoneen näytön kuva heijastetaan yhdellä projektorilla seinälle, kuva on kooltaan suurempi mutta informaation määrä

on sama. Jos projektoreja on useita tai suurkuva rakennetaan useista LCD-näyttöistä, kuva on paitsi suurempi, se myös sisältää enemmän informaatiota. Osassa suurkuvanäyttöjen vaikutuksia koskevista tutkimuksista nämä kaksi tekijää on erotettu toisistaan (esim. Tan, 2004), osassa ei.

Kokeelliset tutkimukset ovat osoittaneet, että suurkuvanäytöt parantavat suoritusta erilaisissa tehtävissä (yhteenveto tutkimuksista löytyy esim. teoksesta Tan, 2004). Lisäksi käyttäjät yleensä pitävät varsin paljon suurkuvanäyttöistä. Suurkuvanäytöt parantavat esimerkiksi tunnistusmuistia ja tietoisuutta ääreisnäössä (eli näkökentän reunaosissa) olevasta informaatiosta, suoritusta monitehtäväympäristöissä (Czerwinski ym., 2003), kompleksisen tiedon visualisoinnin hyödyntämistä (Yost ym., 2007) sekä tilannetietoisuutta (Emery ym., 2001; Roth ym., 1998). Tilannetietoisuus voi parantua pelkästään sen takia että ns. sekundääritehtävien suorittamiseen menee vähemmän aikaa: koska tietoa voidaan esittää suurkuvanäytöllä samanaikaisesti enemmän, käyttäjän ei tarvitse vierittää näyttöä, avata useita ikkunoita tai siirtyä näytöltä toiselle.

Suuri kuvakoko helpottaa navigointia kolmiulotteisessa tilassa, koska käyttäjän on helpompi hyödyntää optisen virtauksen kuvioihin liittyvää tietoa (Tan ym. 2003). Mielenkiintoista on, että naiset pystyvät hyödyntämään tehokkaammin virtausinformaatiota, ja he hyötyvät siten kuvakoon suurentamisesta enemmän kuin miehet (Tan ym., 2003). On myös havaittu, että suuret, erotuskyvyltään hyvät näytöt parantavat pelikokemusta ja parantavat pelisuoritusta (Sabri ym., 2007). Mitä suurempi kuvakoko on, sitä helpompi käyttäjän on uppoutua tehtävään esimerkiksi kolmiulotteisessa virtuaalimaailmassa (Tan ym., 2003, Tan, 2004), minkä takia myös hänen *presence*-kokemuksensa on voimakkaampi (Laarni ym., 2005; Lin ym., 2002).

Suurkuvanäyttö saattaa jossain määrin parantaa myös tiimien toimintaa ja yhteistyötä ihmisten välillä. Koska suurkuvanäyttöillä voidaan esittää järjestelmien tilaa koskevaa tietoa, se voi kannustaa ihmisiä keskustelemaan enemmän keskenään (Garbis & Waern, 1999). Suurkuvanäyttöjen avulla voidaan tukea myös vuoronvaihtoa (Wilson ym., 2006) tai kokoustyöskentelyä (Elrod ym., 1992).

Kaiken kaikkiaan edellä mainitut tutkimukset osoittavat, että suurkuvanäyttöistä on hyötyä monissa tehtävissä. Tehtävien suoritus ei välttämättä kuitenkaan parane kovin paljon. On myös monia tehtäviä, joissa suurkuvanäyttöistä ei selvästikään ole hyötyä (Tan, 2004; Yost ym., 2007).

#### 3.7.2 Näyttöpinta-alan hyödyntäminen

Kuten edellä on ollut puhetta, informaation määrä ei lisääny, kun tavallisen tietokonenäytön kuva heijastetaan seinälle. Informaation määrä kasvaa vain, mikäli näytön kuvatarkkuutta parannetaan.

Keskeinen ongelma on, että sillä alueella, johon katse kohdistuu, käytössä olevien näyttöjen kuvatarkkuus on huonompi kuin ihmissilmän erottelukyky (Ware, 2004). Tällä tarkan näkemisen alueella näytön kuvatarkkuuden paranta-



misesta olisi siis hyötyä. Näkökentän reunaosissa tilanne on päinvastoin: nykyisten näyttöjen kuvatarkkuus on parempi kuin ihmissilmän reunaosien kyky vastaanottaa tietoa. Tällä alueella näytön kuvatarkkuuden parantamisesta ei ole mitään hyötyä. Koska suurin osa suurkuvanäytön informaatioisällöstä jää alueelle, jolla ihmissilmän kyky vastaanottaa tietoa on alhainen, menee suurin osa suurkuvanäytön informaatiosta hukkaan. Tiedon esittäminen suurella näytöllä on siis kaiken kaikkiaan varsin epäedullinen tapa esittää tietoa – pienempien näyttöjen hyötysuhde on paljon parempi.

Emme voi siis samanaikaisesti käsitellä kaikkea sitä havaintotietoa, joka näkökentässämme on. Kun suurkuvanäytön koko kasvaa tai näyttöjä asennetaan lisää, käyttäjä ei voi yhdellä silmäyksellä vastaanottaa sen enempää tietoa kuin aiemminkaan. Uuden informaation vastaanottamiseksi hänen on liikuteltava silmiään ja käännettävä päätään. Tämä voi toisaalta olla helpompaa kuin se, että hänen olisi vieritettävä näyttöä tai siirryttävä näytöltä toiselle. Toisaalta pään kääntely voi olla pidemmän päälle rasittavaa. Suurkuvanäytöillä esitettävä tieto ei yleensä visuaalisesti eroa pienellä näytöllä esitettävästä tiedosta. Ihmisen näköjärjestelmän ominaisuuksien tähden voisi kuitenkin olla hyödyllistä, jos suurkuvanäytön ominaisuudet muuttuisivat sen mukaan, kuinka kaukana kohde on katseen kohdistuspisteestä. Esimerkiksi näytön reunaosissa informaatio voitaisiin esittää suuremmassa koossa kuin sen keskiosassa. Reunaosissa esitettävä tieto voisi olla myös yleisluontoisempaa kuin keskiosassa esitettävä. Tämä olisi tietysti mielekästä vain, jos käyttäjiä on yksi tai jos käyttäjät istuvat lähellä toisiaan.

#### **3.7.3 Suurkuvanäyttöihin liittyviä käytettävyyso ongelmia**

Vaikka tutkimukset osoittavat, että suurkuvanäytöistä on hyötyä monissa tehtävissä, ihmiset eivät välttämättä käytä niitä. Tämä johtuu osittain niistä monista ongelmista, jotka liittyvät suurkuvanäyttöjen käytettävyyteen ja ergonomiaan. Useat tutkijat ovatkin kartoittaneet niitä käytettävyyso ongelmia, jotka liittyvät erilaisiin suurkuvanäyttöihin (Badillo ym., 2006; Ball & North, 2005; Bezerianos & Balakrishan, 2005; Czerwinski ym., 2006; Huang ym., 2006; Ni ym., 2006; Robertson ym., 2005).

Suurkuvanäyttöjen keskeiset ergonomiset ongelmat liittyvät siihen, että ne ovat kookkaita, ne sijaitsevat varsin korkealla ja niitä katsotaan suhteellisen kaukaa. Koska käyttäjä joutuu pitämään katsettaan suunnattuna varsin ylös, voivat niska tai selkä kipeytyä, varsinkin, jos joutuu käyttämään näyttöä pitempään (Ball & North, 2005).

Esimerkiksi valvomoissa käyttäjät käyttävät samanaikaisesti suurkuvanäyttöjä ja työasemanäyttöjä. Kun he tarvitsevat tietoa järjestelmän yleisestä tilasta, he käyttävät suurkuva; kun he tarvitsevat yksityiskohtaisempaa tietoa tai kun he tekevät operointeja, he katsovat työasemanäyttöjä. Tällainen katseen jatkuva siirtäminen pieneltä näytöltä suurelle ja takaisin rasittaa silmiä (esim. Päällysaho, 2007). Tämä rasittuminen on sitä suurempi ongelma mitä iäkkäämmästä

henkilöstä on kysymys. Jos suurkuvanäyttö on kosketusnäyttö, on erikokoisten näyttöjen yhteiskäyttö vielä hankalampaa, koska käyttäjä joutuu siirtymään jatkuvasti henkilökohtaisen työaseman ääreltä suurkuvanäytön äärelle ja takaisin.

Mitä suuremmaksi näytön koko kasvaa, sitä vaikeampi käyttäjien on löytää näytöltä haluttua tietoa tai yhdistää toisiinsa näytön eri osissa olevaa tietoa (esim. Robertson ym., 2005). Heidän voi olla esimerkiksi vaikea verrata toisiinsa kahta asiaa, joihin liittyvät kohteet sijaitsevat kaukana toisistaan. Ongelma muuttuu sitä hankalammaksi, mitä enemmän näyttöjä on. Ongelma vaikeutuu myös, kun käyttäjä siirtyy lähemmäksi näyttöä.

Kun näytön koko kasvaa, käyttäjät yleensä liikuttavat hiirtä nopeammin kuin tavallisesti (Robertson ym., 2005). Mutta kun hiiren kiihtyvyyden kasvaa, käyttäjien on vaikeampaa jäljittää katseella kursorin liikettä, ja he saattavat hukata sen (Baudisch ym., 2003). Isolta näytöltä on myös vaikea löytää paikallaan olevaa kursoria (Khan ym., 2005).

Useista erillisistä LCD-näytöistä koostuviin suurkuvanäyttöihin liittyy erityisongelmia. Näyttöjen rajakohdissa kuvassa on epäjatkuvuutta, mikä koetaan helposti häiritseväksi. Myös kursorin liike poikkeaa siitä, miten käyttäjä olettaa sen liikkuvan, kun se siirtyy näytöltä toiselle (esim. Ball & North, 2005).

Mikäli suurkuvanäytölle voidaan avata ikkunoita, niiden hallinta vaikeutuu näytön koon kasvaessa (esim. Robertson ym., 2005). Ikkuna voi avautua kauas halutusta kohdasta, jolloin käyttäjä joutuu siirtämään ikkunaa. Suurkuvanäytölle voi myös helposti avata suuren joukon ikkunoita. Mitä enemmän ikkunoita kuitenkin on auki, sitä vaikeampaa niitä on hallita (esim. Robertson ym., 2005). Suurkuvanäyttöä voidaan käyttää samanaikaisesti useihin tehtäviin. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole kehitetty menetelmiä useihin tehtäviin liittyvien ikkunoiden hallitsemiseksi. Ikkunoiden hallintaan liittyvät ongelmat ovat vielä suurempia, kun suurkuvanäyttö on rakennettu useista pienistä näytöistä (esim. Ball & North, 2005).

Suurkuvanäytön konfigurointiin liittyvät ongelmat ovat suurempia kuin kooltaan pienempien näyttöjen (Robertson ym., 2005). Ongelmat liittyvät nimenomaan useista erillisistä näytöistä koostuvien järjestelmien hallintaan. Kun esimerkiksi yksi näyttö poistetaan järjestelmäkokonaisuudesta, kokonaisuus on yleensä konfiguroitava uudelleen.

Suuriin *SmartBoard*-tyyppisiin näyttöihin liittyy monenlaisia ongelmia (Badillo ym., 2006). Toistaiseksi näyttöjen kosketustarkkuus ei ole kovin hyvä, mikä lisää painallusvirheiden määrää. Käyttäjän käsi väsyä, mikäli hän joutuu pitämään sitä pitkään ojennettuna, ja käyttäjällä voi olla vaikeuksia yltää näytön kaikkiin osiin. Siihen, että useat käyttäjät voivat samanaikaisesti käyttää interaktiivisia suurkuvanäyttöjä, saattaa liittyä ongelmia (esim. Rogers & Rodden, 2003). Toisaalta sekin voi olla ongelmallista, että tyypillisesti vain yksi ihminen kerrallaan on vuorovaikutuksessa näytön kanssa muiden käyttäjien muodostaessa näytön eteen ryhmittyneen yleisön. Ylipäätään käyttäjät eivät välttämättä hallitse niitä sosiaalisia sääntöjä, jotka liittyvät *SmartBoardin* käyttöön. He voivat olla esimerkiksi epävarmoja sen suhteen, mitä heidän tulee tai on mahdollista kunakin hetkenä tehdä, tai heidän voi olla vaikea hahmottaa näytön lähellä olevaa

sosiaalista ja persoonallista tilaa ja käsittää, miten tätä tilaa tulisi käyttää. He voivat suhtautua uusiin näyttöihin tämän vuoksi aluksi varauksellisesti.

Keskeinen suurkuvanäyttöjen käyttöön liittyvä ongelma on siis se, että vaikka näyttöjen pitäisi tukea yhteistoimintaa, ihmiset eivät välttämättä työskentele yhdessä suurkuvan ääressä. Tämä koskee erityisesti julkisissa tiloissa olevia suurkuvanäyttöjä, sillä ihmiset ovat yleensä haluttomia olemaan muiden katseen kohteena (esim. Brignull & Rogers, 2003).

#### **3.7.4 Suurkuvanäyttöihin liittyviä teknisiä ongelmia**

Yhden tai useamman projektorin avulla tuotettuun suurkuvanäyttöön liittyy monia teknisiä ongelmia. Mikäli projektori ei ole kohtisuorassa siihen pintaan nähden, johon kuva heijastetaan, kuva näyttää vääristyneeltä. Näiden vääristymien korjaaminen on erityisen hankalaa, mikäli kuvan muodostamiseen käytetään useita projektoreita (Welch ym., 2000). Ihmissilmä kykenee erottamaan noin 60 viivaa näkökulman astetta kohti. Tämä tarkoittaa neliometriä kohti noin 3 500 x 3 500 pikseliä, missä geometriset vääristymät, jotka ovat alle 0,3 millimetriä, eivät ole havaittavissa (Welch ym., 2000). Parhaan mahdollisen kuvan tuottamiseksi kuva olisi siis näytettävä vähintään tällä tarkkuudella, ja vääristymät eivät saisi ylittää tuota rajaa.

Intensiteettiin ja väriin liittyvät ongelmat ovat hankalia kaikkialla, missä kuva tuotetaan heijastamalla. Vääristymiä on esimerkiksi alueilla, joissa eri projektorien tuottamat kuvat menevät päällekkäin tai yksi näyttöpinta heijastaa valoa toiselle pinnalle (keskinäisheijastuminen). Kun pyritään minimoimaan näiden vääristymien vaikutukset, on otettava huomioon valon lähteen ominaisuudet, sen pinnan ominaisuudet, johon kuva heijastetaan, sekä ihmisen näköjärjestelmän ominaisuudet (Welch ym., 2000). Heijastuvaan valoon liittyvät tekijät käsittävät muun muassa kuvapinnan näkyvyyden valonlähteeseen nähden, kuvatarkkuuden, tulokulman, etäisyyden ja polarisaation. Pinnan ominaisuudet käsittävät muun muassa pintarakenteen, reflektanssin, jälkiheijastusajan, polarisaation ja suunnan projektoriin nähden. Lisäksi on huomioitava muun muassa intensiteetin ja valon aallonpituuden havaitsemiseen liittyvät tekijät, ihmissilmän yksityiskohden erottelukyky sekä havaitsijan etäisyys kuvasta.

Welchin ym. (2000) mukaan monen projektorin järjestelmien intensiteettiin ja väriin liittyvien ongelmien ratkaisemisen kannalta on tärkeää, että projektorien valon ja värin toiston dynaaminen alue on riittävän laaja. On myös tärkeää varmistaa, että projektorien valon ja värin toisto on tasalaatuista ja että optiikka ei aiheuta kuvaa häiriöitä ja vääristymiä.

### **3.8 Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa**

Suurkuvanäyttöjä käytetään nykyään paljon prosessiteollisuuden valvomoissa, ja erityisen merkittävä asema niillä on täysin digitaalisissa valvomoissa. Parhaim-

millaan ne välittävät operaattoreille nopeasti ja tehokkaasti yleiskuvan prosessin tilasta. Ne toimivat myös vuoron yhteisenä viitekehystenä, parantavat tietoisuutta siitä, mitä muut operaattorit ovat tekemässä, sekä tarjoavat lähtökohdat yhteistyölle (esim. Bellotti & Rogers, 1997; Dugger & Barley, 2000; EPRI 1008122, 2004). Ne saattavat olla erityisen hyödyllisiä vuorovaihtotilanteissa ja tilanteissa, joissa vuoron jäsenten on työskenneltävä yhdessä tietyn tehtävän suorittamiseksi. Kasvokkain työskentely voi tällaisissa tilanteissa olla hankalaa esimerkiksi sen vuoksi, että osa henkilöistä työskentelee valvomon ulkopuolella tai operaattoreiden työasemat ovat kaukana toisistaan. Suurkuvanäytöistä voi olla myös apua, kun tietoa pitää kerätä usealta henkilöltä esimerkiksi tehtäessä huoltotoimenpiteitä koskeva tilaus, johon kunkin operaattorin on täytettävä oma osuutensa.

Operaattoreiden on kaiken aikaa ylläpidettävä kokonaiskuvaa prosessin tilasta. Suurkuvanäytöt voivat auttaa käyttäjää tarkastelemaan tilannetta sopivan etäisyyden päästä, vähän samaan tapaan kuin elokuvan yleiskuva, jossa tarkastellaan tapahtumia etäämpää sivustakatsojan silmin (Emery ym., 2001; Roth ym., 1998; Woods, 2003). Suurkuvat voivat auttaa operaattoria myös päättämään, mihin huomio kannattaa suunnata seuraavaksi, sekä siirtymään näkymästä toiseen. David Woodsin (2003) mukaan yleiskuvanäytöillä onkin kolme keskeistä funktiota: ne auttavat operaattoria hahmottamaan prosessin tilan yhdellä silmäyksellä sekä selvittämään, missä hän informaatioavaruudessa sijaitsee ja miten nykyisestä paikasta (näytöltä tai ikkunasta) pääsee haluttuun kohteeseen.

Suurkuvanäytöt voivat parantaa niin yksittäisen operaattorin kuin koko tiimin tilannetietoisuutta. Tilannetietoisuutta voi niiden avulla ylläpitää helpommin, vaikka operaattori ei olisikaan työasemansa ääressä, koska hän näkee suurkuvanäytöllä esitettävän tiedon eri puolilta valvomoa. Operaattorien ei myöskään välttämättä tarvitse keskustella keskenään yhtä paljon kuin aiemmin, koska he voivat nähdä suurkuvanäytöltä suoraan esimerkiksi sen, mitä toinen käyttäjä on parhaillaan tekemässä. Lisäksi sekundääritehtävän vaatimukset ovat pienemmät, mikäli käyttäjien ei tarvitse vaihtaa näyttöjä toisiin, koska tarvittava informaatio on koko ajan näkyvissä.

Prosessiteollisuuden valvomoissa suurkuvanäyttö voi parhaimmillaan olla eräänlainen operaattoreiden keskustelujen ja vuorovaikutuksen polttopiste. Suurkuvanäyttö voi tukea tietoisuutta muiden toiminnasta ja auttaa muita havaitsemaan mahdolliset operointivirheet (esim. Davey, 2005). Se antaa tietoa laitoksen ja valvomon tilasta myös muulle henkilökunnalle häiritsemättä operaattoreita. Suurkuvanäytöistä on ilmeisesti hyötyä päävalvomon lisäksi myös laitoksen muissa tiloissa kuten apuvalvomossa.

Samalla tavalla kuin ihmisten suhde julkisissa tiloissa oleviin interaktiivisiin suurkuvanäyttöihin voi vaihdella hetkittäin (esim. Rogers & Rodden, 2003), voi suurkuvanäytön rooli valvomoympäristössä vaihdella. Tietyllä hetkellä osa operaattoreista on vain perifeerisesti tietoisia suurkuvanäytöstä, osa voi kiinnittää siihen enemmän huomiota ja osa taas olla aktiivisesti vuorovaikutuksessa sen kanssa.

Suurkuvanäyttöihin kohdistuu suuria odotuksia, mutta valvomoympäristössä on toistaiseksi vain rajoitetusti hyödynnetty interaktiivisten suurkuvanäyttöjen tarjoamia mahdollisuuksia. Vaikka kysymys on tietystä mielessä uudeltaisesta välineestä, suurkuvanäytöt on useimmiten tarkoitettu valvomoissa vain passiiviseen katseluun ja niillä esitetään samoja näyttökuvia kuin työasemanäytöilläkin. Kuitenkin uusien vuorovaikutustekniikoiden avulla on mahdollista suoraan ohjata näytöllä olevaa informaatiota. Operaattorit voivat kokoontua suurkuvien ääreen ja työskennellä yhdessä aivan uudella tavalla. Osa suurkuvanäytöistä voisi myös olla ns. yleiskuvanäyttöjä, joilla esitettäisiin prosessista yleiskuva yksinkertaisessa graafisessa muodossa, joka on helppo ymmärtää yhdellä silmäyksellä (vrt. esim. Plaue ym., 2004).

### 3.9 Suurkuvanäyttöjen suunnitteluohjeita

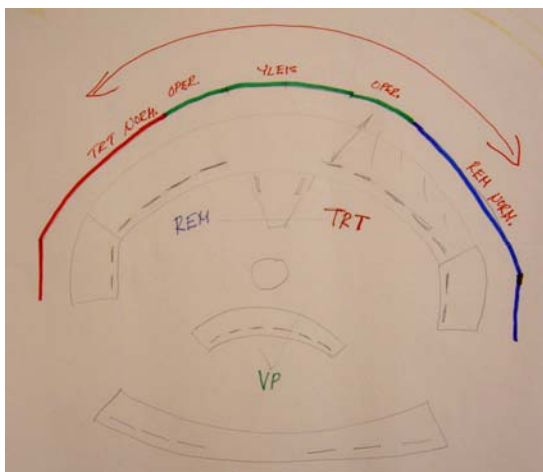
Suurkuvanäyttöjen tulisi auttaa käyttäjää hahmottamaan nopeasti kohteen olennaiset piirteet. David Woods (2003; ks. ed.) on esittänyt joukon vaatimuksia sille, millä edellytyksillä suurkuva voisi antaa kohteesta hyvän yleiskuvan. Ensimmäkin tiedon täytyy keskittyä olennaiseen niin, että se palvelee tarkoitustaan, vaikka se olisi esitetty pienessä tilassa. Toiseksi tiedon täytyy olla abstrahoitua. Ei siis riitä, että kokonaisuudesta jätetään yksityiskohdat pois, vaan esitettävien tietojen on linkityttävä toisiinsa tavalla, joka kertoo jotakin olennaista järjestelmän tilasta (Vicente & Rasmussen, 1992). Kolmanneksi suurkuvan täytyy sisältää tietoa muutoksista ja muutosten suunnasta. Operaattoreiden täytyy yleiskuva-tiedon pohjalta kyetä arvioimaan, mihin suuntaan prosessi on muuttumassa. Kaiken kaikkiaan sen täytyy sisältää tietoa, joka auttaa operaattoria kussakin käyttötilanteessa. Suurkuvan tulisi siis auttaa operaattoria kaiken aikaa seuraamaan – ikään kuin sivusilmällä – miten prosessi etenee, samalla kun heidän huomionsa on suuntautunut johonkin toiseen tehtävään.

Yleiskuvanäytöllä on Woodsin (2003) mukaan myös suuntautumiskäyttö. Sen tulisi auttaa operaattoreita hahmottamaan, missä he ovat suhteessa käsillä olevaan informaatiovaruuteen. Sen tulisi olla kuin kartta, joka kertoo operaattorille, missä hän sijaitsee, mistä hän on tulossa ja mihin hän voi päästä. Jotta yleiskuva voisi täyttää tämän funktion, sen tulisi olla hyvin linkittynyt muihin näyttöihin. Sen tulisi antaa vihjeitä ja muistuttaa operaattoria siitä, mihin kyseisestä paikasta voidaan siirtyä, ja auttaa operaattoria yhdistämään ja liittämään toisiinsa tietoa hänen liikkeessaan näytöltä toiselle. Jotta yleiskuvanäyttö voisi palvella tätä tehtävää, sen tulisi olla kaiken aikaa näkyvillä ja tarjota tietoa muista tilanteen kannalta hyödyllisistä näkymistä.

Keskeiset kysymykset, jotka koskevat suurkuvanäyttöjen suunnittelua, liittyvät sen muotoon, näyttöjen lukumäärään, sijoitteluun, vuorovaikutustapoihin ja esitettävän tiedon määrään ja yksityiskohtaisuuteen (EPRI; 2004; ks. kuva 6). On selvittävää, kuinka monta suurkuvanäyttöä valvomoon tarvitaan. Näyttöjen määrä riippuu muun muassa prosessin kompleksisuudesta, näkyvyydestä sekä

### 3. Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa – kirjallisuuskatsaus

operaattoreiden toiveista (Dugger & Barley, 2000). Esitettävän tiedon yksityiskohtaisuus riippuu näytön koosta sekä näytön ja työasemien välisestä etäisyydestä. Pitää myös ratkaista, onko tieto näkyvässä koko ajan vai ainoastaan silloin, kun se haetaan esiin.



Kuva 6. Käyttäjien esittämä ehdotus suurkuvanäyttöjen sijoittelusta valvomoon.

Scott ym. (2007) mukaan suurkuvanäyttöjen tulisi muun muassa tukea luonnollista operaattoreiden välistä vuorovaikutusta sekä joustavaa siirtymistä toiminnasta toiseen, yksin tehtävästä työstä ryhmässä tehtävään ja työskentelystä suurkuvanäytön kanssa muuhun työskentelyyn. Lisäksi niiden tulisi mahdollistaa operaattorien ryhmittymisen näytön ääreen tavalla, joka tukee tehtävien suoritusta sekä tarjoa usealle operaattorille mahdollisuus käyttää näyttöä samanaikaisesti. Mankoff ja Dey (2003) ovat puolestaan esittäneet, että ns. käyttäjää ympäröivät (*ambient*) näytöt tulisi suunnitella niin, että ne välittäisivät juuri oikean määrän informaatiota, olisivat intuitiivisia ja kuormittaisivat käyttäjää mahdollisimman vähän, puhuisivat käyttäjän kieltä ja noudattaisivat arkielämän konventioita. Heidän mielestään on myös tärkeää, että järjestelmän tilaa koskevan tiedon voi havaita helposti ja että palaute on välitöntä.

Seuraavassa on esitetty joukko suosituksia koskien suurkuvanäyttöjen käyttöä prosessiteollisuuden valvomoissa (ks. esim. Davey 2005, Somervell ym. 2003).

Taulukko 3. Keskeisiä suurkuvanäyttöjen suunnitteluun liittyviä kysymyksiä (NUREG-0700).

Mihin tehtäviin näyttöjä tarvitaan?
Mitä informaatiota näytöillä pitäisi esittää?
Kuinka tärkeää tämä tieto on?
Kuinka usein käyttäjä tarvitsee tätä tietoa?
Onko kyseinen informaatio staattista vai dynaamista?
Kuinka tärkeää on tarkka värin toisto?
Mistä katselukulmista ja miltä etäisyyksiltä näyttöä katsotaan?
Mikä on tilan valaistustaso?
Minkälaiset ovat tilan muut olosuhteet (esim. lämpötila)?
Asettaako tila rajoituksia näyttöjen koon tai sijoittelun suhteen?
Millä tarkkuudella informaatio esitetään?
Käytetäänkö suurkuvanäyttöjä muiden näyttöjen kanssa? Miten?
Minkälainen on käyttäjän vuorovaikutus suurkuvanäyttöjen kanssa?
Onko tarkoitus, että näyttöjä seurataan kaiken aikaa vai ainoastaan silloin tällöin?
Pitääkö näyttöjen reagoida käyttäjän toimenpiteisiin?
Miten niitä ylläpidetään?
Miten käyttäjien ominaisuudet otetaan huomioon?
Minkälaisia odotuksia käyttäjillä on suurkuvanäyttöjen suhteen?

### 3.9.1 Näyttöjen lukumäärä

Analogiseen tekniikkaan perustuva valvomo paneeleineen ja pulpetteineen tarjoaa rikkaan ja monipuolisen kontekstin työskentelylle, jossa jokainen paneeleilla ja pulpeteilla oleva tieto voidaan suhteuttaa ympärillä olevaan, kaiken aikaa näkyvään tietoon. Jotta suurkuvanäytöt tarjoaisivat samanlaisen ohjaustyötä tukevan kontekstin, niitä tulisi olla riittävä määrä. Koska monet teollisuusprosessit ovat luonteeltaan monimutkaisia, on ilmeistä, että sekä käyttäjien edessä että sivuilla olevia seinäpintoja on käytettävä suurkuvien esittämiseen. Mitään täsmällisiä suosituksia kirjallisuudessa ei tästä asiasta kuitenkaan ole.

### 3.9.2 Näyttöjen sijoittelu tilaan

Kun pohditaan sopivaa näyttöjen etäisyyttä, tulisi ottaa huomioon muun muassa se, minkälaisesta informaatiosta on kysymys, miten operaattorit käyttävät tätä tietoa, miten he sijoittuvat näyttöihin nähden ja onko osa suurkuvanäytöillä esitettävästä tiedosta näkyvillä myös työasemien näytöillä. Näyttöjen tulisi olla riittävän lähellä käyttäjiä, niin että kuvan yksityiskohdat erottuvat. Toisaalta näytöt eivät saisi olla

liian lähellä käyttäjiä. Suositeltu alaraja on puolet näytön korkeudesta tai leveydestä riippuen siitä, kumpi näistä on suurempi (NUREG-0700, 2002).

Näytön sijoittelua korkeussuunnassa rajoittaa yleensä huoneen korkeus. Näyttö ei saisi olla liian korkealla, jotta käyttäjien ei tarvitsisi katsoa ylöspäin; toisaalta on tärkeää, että näyttö on riittävän ylhäällä, jotta näytölle on esteetön näkyvyys eri puolilta valvomoa.

Näytöt tulisi asettaa käyttäjien työasemien eteen seinälle kohtisuoraan katsesuuntaa vasten (Su & Bailey, 2005). Näyttöjen tulisi olla mahdollisimman lähellä toisiaan, jotta operaattoreiden ei tarvitsisi jatkuvasti kääntää päätään. Mikäli niitä ei voida asettaa vierekkäin, niiden välisen etäisyyden tulisi olla mahdollisimman pieni. Ylipäätään kaikki näytöt, joilla on tietyn operaattorin tarvitsemää tietoa, tulisi sijoittaa niin, ettei tämä joudu katsomaan niitä liikaa sivulta. Esimerkiksi kuvan mittasuhteet vääristyvät, kun sitä katsotaan sivulta. Mikäli kysymys on näytöstä, jonka heijastussuhde on korkea, sivulta katsottaessa myös kuvan kirkkaus heikkenee, ja lisäksi sen värit saattavat vääristyä. Suositeltava maksimipoikkeama kohtisuorasta suunnasta on 10–30° (näkökulman astetta) riippuen muun muassa siitä, onko kysymys tietylle käyttäjälle tarkoitettusta näytöstä, jota hän tarkastelee normaalisti työasemansa äärestä, vai näytöstä, joka on tarkoitettu useiden operaattoreiden käyttöön.

Mikäli näyttöjä ei voida asettaa samaan tasoon, niiden välisen kulman tulisi olla mahdollisimman pieni, eikä näyttöjä tulisi koskaan asettaa kohtisuoraan toisiaan vasten (tai käyttäjän taakse). Sen sijaan näyttö, joka kaareutuu, saattaa auttaa käyttäjiä hyödyntämään paremmin näytön reunaosissa olevaa tietoa (Ball & North, 2005).

### 3.9.3 Näyttöjen sisältö

Suurkuvanäytön tulisi toimia päätöksenteon ja muistin tukena. Sen vuoksi suurkuvanäytöllä tulisi esittää keskeisten järjestelmien tilaa koskevaa tietoa. Perusperiaatteena tulisi olla, että suurkuvanäytöllä esitetään että tietentyypistä tietoa (esim. hälytys) on olemassa, mutta sillä ei esitetä kyseisen tiedon yksityiskohtia (esim. mistä hälytys aiheutuu). Normaali tehtäväkohtainen informaatio tulisi esittää operaattoreiden omilla pöytänäytöillä. Tehtäväkohtaista informaatiota voidaan kuitenkin esittää myös suurkuvanäytöllä, mikäli sillä tavoin voidaan parantaa työtehtävien koordinoitua erityisesti vuoron vaihtuessa. Suurkuvanäytöllä voidaan myös tukea tilannetietoisuutta esittämällä kontekstuaalista tietoa erityisesti operaattorille, joka ei sillä hetkellä ole henkilökohtaisen työasemansa ääressä.

Ainakin yhden suurkuvanäytöistä tulisi välittää operaattoreille yleiskuva tärkeimpien prosessien tilasta, ilman että heidän täytyy siirtyä näytöltä toiselle (esim. Roth ym., 1998). Rothin ym. mukaan hälytyksiä ja järjestelmien tilaa koskevan tiedon pitäisi olla graafisesti integroitu yleiskuvaan. Suurkuvanäytöillä tulisi esittää myös tietoa laitteiden ja järjestelmien toimintakelpoisuudesta sekä yleiskuva noudatettavista ohjeista. Suurkuvanäytöllä pitäisi lisäksi olla alue,



johon operaattorit voivat siirtää omia näyttöjään sekä navigointilinkit muihin saatavilla oleviin näyttöihin. Tiimin työtehtäviä ja niiden suorituksen tilaa ja vaihetta koskevaa tietoa voitaisiin myös esittää suurkuvanäytöillä (EPRI 1008122, 2004). Näytöllä voidaan esittää esimerkiksi muistilista, joka kertoo, miten tietystä tehtävästä edetään.

Taulukossa 4 on esitetty tarkemmin sellaisia järjestelmiä, joiden tilasta kannattaisi esittää tietoa yleiskuvanäytöillä. Taulukossa 5 on puolestaan esitetty, minkälaisia laitoksen tilaa koskevia tietoja suurkuvanäytöillä pitäisi esittää.

Tärkeiden prosessijärjestelmien seurantajärjestelmän (SPDS) asettamat vaatimukset tulisi ottaa huomioon suurkuvanäyttöjen kehittämisessä (EPRI 1008122, 2004). EPRI:n mukaan suurkuvanäytöillä tulisi esittää tietoa seuraavista turvallisuusfunktioista: reaktiivisuuden kontrolli, reaktoriytimen jäähdytys / primäärijärjestelmän lämmönsiirto, reaktorin jäähdytysjärjestelmän yhtenäisyys (esim. höyrygeneraattorin paine, suojarakennuksen lattiakaivon taso), radioaktiivisuuden kontrollointi (poistoilma, höyrylinja, suojarakennuksen säteilytaso) sekä suojarakennuksen olosuhteet (esim. suojarakennuksen paineen ja eristyksen taso). Prosessijärjestelmien seurantajärjestelmän keskeisten parametrien tulisi olla kaiken aikaa näkyvissä, tai ainakin niissä pitäisi olla hälytysmekanismi, kuten tärkeiden prosessijärjestelmien tilaindikaattorit.

### 3.9.4 Tiedon esitystavat

Alusta saakka tulisi miettiä huolella, miten tietoa esitetään suurkuvanäytöillä. Näytön layoutia suunniteltaessa on huomioitava se, miten tietoa aiotaan käyttää. Tärkein tieto tulisi esittää keskeisimmällä näytöllä ja mahdollisimman lähellä sen keskikohtaa.

Taulukko 4. Ydinvoimalaitoksen järjestelmät, joista tulisi esittää tilatietoa suurkuvanäytöllä (EPRI 1008122, 2004).

Reaktorin jäähdytyspumppu (PWR, <i>reactor coolant pump</i> )
Pääkiertopumppu (BWR, <i>recirculation pump</i> )
Syöttövesipumppu ja -venttiilit, lauhdutusjärjestelmän pumput ja venttiilit
Keskeiset turvajärjestelmien pumput ja venttiilit
Jälkilämmönpoistopumput ja -venttiilit
Tehonsyötönkatkaisijat ( <i>power supply breaker</i> )
Varasähköjärjestelmä ( <i>emergency and vital electrical power</i> )
Päähöyryn eristysventtiilit ( <i>main steam isolation valves, MSIVs</i> )
Varoventtiili (BWR)
Moottoriventtiili ( <i>power-operated relief valve</i> ) ja sulkuventtiili ( <i>block valve</i> ), PWR
Suojajärjestelmät

### 3. Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa – kirjallisuuskatsaus

Taulukko 5. Laitoksen tilatiedot, jotka voidaan esittää suurkuvanäytöllä (EPRI 1008122, 2004).

Tehotaso
Laitosteho, energiatasapaino
Vuodot (massatasapaino)
Reaktorin jäähdytysjärjestelmän paine
Reaktorin jäähdytysjärjestelmän lämpötila
Höyryn virtaus ja paine
Lauhduttimen alipaine
Reaktorin jäähdytyksen virtaus
Paineistimen taso (PWR)
Höyrygeneraattorin taso (PWR)
Kyllästymismarginaali (PWR)
Reaktoriastian taso (BWR)
Varatehon tila

Suunnittelussa on pyrittävä siihen, että tietojen esitystapa olisi mahdollisimman yhdenmukainen. Näytöllä ei kannata esittää liikaa informaatiota. Lisäksi on tärkeää, että kaikki käyttäjät kykenevät näkemään suurkuvanäytöllä esitettävät aakkosnumeeriset merkit ja graafiset symbolit eri puolilta valvomoa. Suositusten mukaan aakkosnumeeristen merkkien pienin sallittu koko on 16' (kaariminuuttia), mutta suositeltava keskimääräinen koko on 20–22' (esim. Woodson ym., 1992). Merkkien luminanssin tulisi olla 17–70 cd/m<sup>2</sup> ja kirkkauskontrastin vähintään 1.5:1. On suositeltavaa käyttää mustaa tekstiä vaalealla taustalla. Jos käytetään värikoodausta, taustan tulisi olla neutraalin harmaa.

Taulukossa 6 on lueteltu keskeisiä informaation esitystapaan liittyviä seikkoja, jotka on syytä ottaa huomioon suurkuvanäyttöjen sisältöjen suunnittelussa. Tarkempia tietoja suurkuvanäyttöjen visuaaliseen ergonomiaan ja käytettävyyteen liittyvistä kysymyksistä löytyy liitteestä B.

Suurkuvanäyttöjen tulisi auttaa operaattoreita kiinnittämään huomiota olennaiseen uuteen informaatioon, ja niillä esitettävä tieto tulisi räätälöidä niin, että se vastaa järjestelmän kunkin hetkisen tilan vaatimuksia. Tämän vuoksi on tärkeää, että tiedot päivittyvät reaaliaikaisesti. Häiriötilanteissa suurkuvanäyttöjen tulisi päivittyä automaattisesti niin, että ne tukevat häiriötilanteen selvittämistä (Dugger & Barley, 2000).

#### 3.9.5 *Information Rich* -näyttökonsepti

Viime aikoina valvomoympäristöihin on suunniteltu hyvin kookkaita suurkuvanäyttöjä. Ne muodostavat yhtenäisen kaareutuvan näyttöpinnan, joka ympäröi käyttäjiä. Koska tällaisia ylisuuria näyttöjä on vaikea sijoittaa valvomotilaan, niiden suunnittelu on integroitava valvomon layout-suunnitteluun.

Ns. ylisuuria näyttöjä suunniteltaessa keskeinen kysymys on, miten käyttäjä löytää näytöiltä olennaisen tiedon. Muutosten ja poikkeustilanteiden nopeaa ja täsmällistä havaitsemista voivat tukea esimerkiksi ns. *Information Rich* -konseptiin perustuvat näytöt (Braseth ym., 2003; Veland & Eikås, 2007).

Taulukko 6. Suurkuvanäyttöjen visuaaliseen käytettävyyteen liittyviä seikkoja (esim. Somervell ym., 2003; Woodson ym., 1992).

Älä näytä liikaa informaatiota yhdellä näytöllä. Pidä huolta, että laitosjärjestelmien tai eri asioita esittävien kuvan osien välillä on riittävästi tyhjää tilaa, niin että ne hahmottuvat erillisinä kokonaisuuksina.
Käytä tekstiä säästeliäästi. Pyri sijoittamaan teksti näytön ylä- tai alaosaan.
Pidä huolta, että aakkosnumeeriset merkit ja graafiset symbolit ovat riittävän kookkaita, jotta kaikki käyttäjät pystyvät lukemaan ne työtilan eri osista. Käytä pääteettömiä kirjasinlajeja.
Älä käytä liian monia värejä. Pidä huolta, että värikoodaus on yhtenäinen.
Vältä animaatioita ja ylipäätään käytä liikettä säästeliäästi.
Käytä mieluummin vaaleaa tekstiä tummalla taustalla kuin päinvastoin – varsinkin, jos valaistustaso on suhteellisen alhainen.
Värikoodattujen kohteiden taustan tulisi mielellään olla harmaa värikontrastin maksimoimiseksi.
Käytä värikoodausta, liikettä tai välkettä sellaisen informaation korostamiseen, joka käyttäjän on havaittava mahdollisimman nopeasti.
Pidä huolta, että projektorit eivät ole näkyvillä, jotta niiden valo ei häikäise käyttäjiä.
Kun suurkuvan tuottamiseen käytetään useita projektoreita, varmista, että kohdat, joissa kuvat kohtaavat, ovat linjassa keskenään, niin että kuvissa ei näy välkettä tai värinäitä.

Kaikkein mittavin *Information Rich* -konseptin sovellus on kehitetty Snövitin kaasun nesteytyslaitokselle Pohjois-Norjaan. *Information Rich* -konseptiin perustuvien näyttöjen avulla pyritään lisäämään informaatiotiheyttä ns. avaimenreikä-efektin välttämiseksi, ottamaan paremmin huomioon erilaisten tehtävien vaatimukset, rakentamaan suora yhteys informaation tärkeyden ja sen visuaalisen silmiinpistäväyden välillä, esittämään tarkkoja mitta-arvoja, muuttamaan runsaasti kognitiivisia resursseja vaativat tehtävät yksinkertaisiksi visuaalisiksi vertailutehtäviksi sekä tukemaan visuaalisten hahmojen nopeaa tunnistusta.

*Information Rich* -näyttöjen suunnittelussa hyödynnetään muun muassa ns. *Dull Screen* -periaatetta, jossa värityksen avulla pyritään tekemään näytöstä selkeämpi ja siten vähentämään visuaalista hälyä (Van Laar, 2001; Van Laar & Deshe, 2002). Olennaista informaatiota korostetaan, epäolennaista vaimennetaan tai se jätetään kokonaan esittämättä. Kun esimerkiksi käytetään vaaleita sävyjä, kuvan yksityiskohdat eivät näy katsottaessa kuvaa kauempaa; vasta kun katselija siirtyy lähemmäs, ne tulevat näkyviin (Yost ym., 2007). Tällä tavoin kuva näyttää selkeältä, kun sitä katsotaan kauempaa; toisaalta kun halutaan nähdä tietyt

yksityiskohdat, katselija voi siirtyä lähemmäs näyttöä. Sama näyttö siis mahdollistaa erilaisia lukemistapoja. Nopea vilkaisu riittää, kun halutaan saada selville, onko kaikki kunnossa. Mikäli halutaan tietää tarkemmin, mistä on kysymys, voidaan näyttöä tutkia huolellisemmin.

*Information Rich* -näyttöjen suunnittelussa pyritään siihen, että näytöt ovat visuaaliselta rakenteeltaan riittävän yksinkertaisia, jotta olennainen tieto löytyy nopeasti yhdellä silmäyksellä. Toisaalta näyttö-layoutin tulisi tarjota oikea kuva laitoksen järjestelmien suhteista toisiinsa (Veland & Eikås, 2007). *Information Rich* -näytöissä hyödynnetään analogista koodausta digitaalisen sijasta, mikä nopeuttaa visuaalisten hahmojen havaitsemista. Niissä hyödynnetään esimerkiksi minitrendinäyttöjä, jotka on asetettu peräkkäin suoraan riviin ja jotka on muunnettu siten, että erojen ja poikkeuksien havaitseminen on helpompaa.

### 3.9.6 Sisällön hallinta

Miten suurkuvanäytön hallinta toteutetaan niin, että eri käyttäjien voivat toimia sen kanssa vuorovaikutuksessa mahdollisimman joustavasti? Keskeinen hallintaan liittyvä kysymys onkin, saako vain yksi operaattori kerrallaan olla vuorovaikutuksessa näytön kanssa (esim. siirtää tietoa työasemien näytöltä suurkuvanäytölle tai takaisin) vai voiko useampi kuin yksi henkilö käyttää sitä samanaikaisesti. Tämä vaikuttaa siihen, minkälaisia käyttöliittymäratkaisuja kannattaa käyttää. Jos esimerkiksi suurkuvanäyttöä voi käyttää vain yksi operaattori kerrallaan, yksi kursori riittää; jos useamman operaattorin on mahdollista käyttää sitä samanaikaisesti, tarvitaan ehkä useampia kursoreita (NUREG-0700, 2002). Jos taas järjestelmä kykenee näyttämään erillisiä ikkunoita, eri käyttäjät voivat operoida näyttöä samanaikaisesti edellyttäen, että heidän toimenpiteensä kohdistuvat eri ikkunoihin.

On kuitenkin tärkeää, että yhdellä käyttäjällä on päävastuu siitä, mitä suurkuvanäytöillä esitetään. Luontevaa on, että vuoropäällikkö vastaa suurkuvanäyttöjen informaatiosta. Vuorovaikutustapojen tulisi olla mahdollisimman yksinkertaisia ja luonnollisia, varsinkin sen vuoksi, että suurkuvanäytön käyttäjien huomio on vain osittain suunnattu suurkuvanäytön ohjaukseen ja näytöllä esitettävään tietoon.

Tiedon siirtäminen työasemanäytöiltä suurkuvanäytölle ja takaisin tulisi tehdä mahdollisimman helpoksi. Käyttäjillä tulisi esimerkiksi olla mahdollisuus siirtää hiiren avulla tiettyjä mimiikkanäytön alueita tai kohteita oman työasemansa näytölle tai päinvastoin (Tani ym., 1994). Suurkuvanäytöllä tulisi myös olla kaikille yhteinen alue, jolle käyttäjät voivat siirtää tietoa oman työaseman näytöiltä.

Kursorin havaitsemista ja siirtämistä suurkuvanäytön paikasta toiseen tulisi helpottaa muun muassa kasvattamalla kursorin kokoa. Kursorin koko voisi myös muuttua sen nopeuden mukaan. Lisäksi olisi hyvä, jos näppäinkomentojen avulla kursoria voisi siirtää näytöllä nopeasti paikasta toiseen.

### 3.9.7 Vuoron yhteistoiminta

Digitaaliset käyttöliittymät saattavat vaikeuttaa operaattoreiden yhteistoimintaa. Operaattorit eivät välttämättä ole selvillä, mitä muut operaattorit ovat tekemässä, he myös keskustelevat ja tekevät yhteistyötä vähemmän kuin aiemmin (EPRI 1008122, 2004). Myös se, että tieto esitetään digitaalisessa valvomossa eri muodossa kuin analogisessa, voi vaikuttaa operaattoreiden yhteistoimintaan. Kaiken kaikkiaan digitaalisessa valvomossa operaattoreiden voi olla vaikeampaa arvioida, mitä muut ovat tekemässä ja minkälaisia tavoitteita näillä on. Seurauksena voi olla, että operaattorit ymmärtävät väärin toistensa pyrkimykset ja tekevät asioita väärin.

Yhteistoiminnan kannalta on tärkeää, että operaattoreilla on selkeät yhteiset tavoitteet, heillä on yhdenmukainen käsitys tärkeimpien prosessien tiloista, he keskustelevat avoimesti keskenään ja tekevät yhdessä toimintaa koskevia suunnitelmia (EPRI 1008122, 2004). Tiimin toimintaa tukevien näyttöjen on nimenomaan tuettava näitä funktioita. Niiden on tarjottava operaattoreille yhteinen viitekehys, ja niiden tulee sisältää välineitä ja työkaluja, jotka auttavat operaattoreita paremmin tiedostamaan, mitä muut ovat tekemässä. Lisäksi suurkuvanäyttöjen pitää auttaa tekemään asioita yhdessä sekä helpottaa operaattoreiden välistä vuorovaikutusta.

Suurkuvanäytön pitäisi välittää tietoa, joka parantaa vuoron koordinaatiota (NUREG-0700, 2002). Sen tulisi auttaa operaattoreita tulkitsemaan muiden operaattoreiden aikomukset oikein, niin että he voivat tarvittaessa auttaa muita. Tämä informaatio voi käsittää tietoa esimerkiksi siitä, missä operaattorit navigoivat näyttöjärjestelmässä, mitä näyttöjä heillä on näkyvillä ja mitä toimenpiteitä he ovat parhaillaan suorittamassa.

Sen lisäksi että suurkuvanäyttö voi auttaa operaattoreita koordinoimaan erillisiä tehtäviä, suurkuvanäyttö voi auttaa heitä tekemään tiettyjä tehtäviä yhdessä (NUREG-0700, 2002). Se voi tarjota operaattoreille yhteisen viitekehysten sekä välineitä, jotka helpottavat vuorovaikutusta. Suurkuvanäyttö voi myös auttaa operaattoreita muodostamaan yhteisen käsityksen tehtävästä tai ongelmasta. Taulukossa 7 on lueteltu keskeisiä vaatimuksia tiimityötä tukeville suurkuvanäyttöille.

### 3.9.8 Suurkuvanäyttöjen käyttö

Suurkuvanäyttöjen käyttö tulisi tehdä mahdollisimman helpoksi heti alusta saakka. Käyttäjillä voi olla aluksi epäilyksiä suurkuvanäyttöjen hyödyllisyyden ja käytettävyyden suhteen. On tärkeää, että epäluulot eivät vahvistu. Jos ilmenee, että operaattorit eivät käytä tai halua käyttää suurkuvanäyttöjä, tulisi miettiä, miten heitä voisi motivoida suurkuvanäyttöjen käyttämiseen.

### 3. Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa – kirjallisuuskatsaus

Taulukko 7. Vaatimuksia tiimityötä tukeville suurkuvanäytöille (EPRI 1008122. 2004).

Näyttöjen tulisi tukea tiimityötä nimenomaan sellaisissa tilanteissa, joissa operaattoreiden on työskenneltävä yhdessä ja joissa heidän on vaikea keskustella kasvokkain keskenään (esim. vuorovaihto, yhdessä suoritettavat ohjaustoimenpiteet).
Suurkuvanäyttöjen tulee välittää yleiskuva prosessin tilasta.
Suurkuvanäyttöjen tulisi auttaa operaattoreita hahmottamaan, mitä muut ovat tekemässä. Suurkuvanäytöillä tulisi siten näkyä, mitä ohjauksia operaattorit ovat parhaillaan tekemässä. Niiden tulisi auttaa myös muuta henkilökuntaa seuraamaan, mitä operaattorit ovat tekemässä (esim. laitoksen ylösajossa).
Kun operaattorien on työskenneltävä saman tehtävän parissa, suurkuvanäytön tulisi tarjota yhteistoimintaa palveleva työtila.
Hallinnollisin määräyksin on rajoitettava operaattoreiden mahdollisuuksia tehdä muutoksia (esim. mitta-asteikkoihin) yleiskuvanäyttöihin.
On varmistettava, että kaksi tai useampi operaattori ei voi samanaikaisesti yrittää käyttää samaa kursoria.
Mikäli kaksi tai useampi operaattori samanaikaisesti käyttää eri kursoreja näytöllä, on varmistettava, että kukin operaattori tunnistaa helposti sen kursorin, jota hän voi käyttää.
On varmistettava, että näytölle mahdollisesti avautuvat ikkunat eivät peitä mitään olennaista informaatiota.
Informaation siirtäminen työasemanäytöiltä suurkuvanäytölle ja takaisin pitää tehdä riittävän helpoksi.

Suurkuvanäytön tulisi joustavasti yhdistyä olemassa oleviin käytäntöihin ja vuorovaikutustapoihin, ja sen hyöty pitäisi tehdä jotenkin ilmeiseksi käyttäjille, jotka eivät välttämättä itse keksi, miten sitä voisi parhaiten hyödyntää. Käyttäjien pitäisi voida kokeilla näyttöjä ja testata niiden ominaisuuksia. Uusia käyttötarkoituksia voi ilmetä, kun käyttäjä seuraa, miten muut käyttävät näyttöjä.

## 3.10 Tulevaisuuden haasteet

Tulevaisuudessa kuvaa voidaan heijastaa mille tahansa pinnalle (seiniin, kattoon, lattioihin), ja valvomo voi rakentua käyttäjiä joka puolelta ympäröivien näyttöjen varaan (Welch ym., 2000). Tällaisen *ambient*-valvomon kehittämiseen liittyy monia teknisiä haasteita: miten esimerkiksi kuva heijastetaan useilla projektorilla erilaisille näyttöpinnolle ja miten käyttäjät ovat vuorovaikutuksessa näyttöpintojen kanssa ja ohjaavat niiden sisältöä (esim. Welch ym., 2000).

Pöytäkoneita ja -näyttöjä koskevat käyttöliittymämetaforat eivät sellaisenaan sovellu laadukkaille interaktiivisille suurkuvanäytöille (esim. Ni ym., 2006). Nykyiset käyttöliittymien ja ohjelmistojen suunnitteluperiaatteet täytyykin miettiä kokonaan uudestaan (Badillo ym., 2006). Tarvitaan esimerkiksi täysin uudenlaisia tapoja käyttää hiirtä ja ikkunoita (Robertson ym., 2005) sekä tekniikoita, joilla voidaan helposti siirtää käyttäjän huomio tietyille näytön alueille esimerkiksi muuttamalla kyseisten näyttöelementtien vaaleutta (Baudisch & Rosenholtz, 2003). Valokeilaa (*spotlight*) voidaan käyttää hyväksi käyttäjän huomion suuntaamisessa tiettyyn näytön kohtaan (Khan ym., 2005). Olisi myös kehitettävä

tekniikoita, joilla potentiaaliset kohteet esitetään lähellä valittua kohdetta (Baudisch ym., 2003).

### 3.10.1 Haasteita

Laadukkaiden interaktiivisten suurkuvanäyttöjen kehittämiseen liittyy monia ratkaisemattomia haasteita, ja helposti konfiguroitavan, hyvälaatuisen suurkuvanäytön kehittäminen on vaikeaa (esim. Ni ym., 2006). Erityisen haastavaa on aidosti yhtenäisen useasta näytöstä rakentuvan yhdistelmänäytön kehittäminen. Tietoa on usein vaikea löytää yhdistelmänäytöltä, kursori häviää helposti ja ikkunoiden (esim. mihin avautuvan ikkunan tulisi ilmestyä näytöllä) ja tehtävien hallinta on vaikeaa. On myös osoittautunut vaikeaksi rakentaa ryhmätyöjärjestelmiä, jotka parhaalla mahdollisella tavalla hyödyntäisivät suurkuvanäyttöjen mahdollisuuksia.

Suurkuvanäyttöjä varten tarvitaan uusia, entistä luonnollisempia vuorovaikutustekniikoita, joissa hyödynnetään muun muassa eleitä, äänentunnistusta ja molempia käsiä. Tehokkaiden vuorovaikutustekniikoiden kehittäminen on osoittautunut vaikeaksi. Suurkuvanäyttöjen saumaton integrointi muihin tietokoneisiin ja näyttöihin on tärkeää (Abla ym., 2006); esimerkiksi kannettavat laitteet tulisi voida yhdistää joustavasti suurkuvanäyttöihin. Informaatiota pitäisi voida myös siirtää, jakaa ja tallentaa joustavasti yhdessä työskentelevän ryhmän jäsenten kesken. Lisäksi uudet näytöt tulisi voida liittää saumattomasti olemassa oleviin vanhoihin järjestelmiin.

Suurkuvanäyttöjen visuaalisen käytettävyyden ja ergonomian parantaminen on välttämätöntä. On esimerkiksi kehitettävä suosituksia suurkuvanäytön sopivasta kirkkaudesta, kontrastista ja kuvatarkkuudesta. Suosituksia varten tarvitaan enemmän kokeelliseen tutkimukseen perustuvaa tietoa suurkuvanäyttöjen eduista ja haitoista.

### 3.10.2 Ratkaisuja ongelmiin

Edellä mainittuihin ongelmiin on kehitelty erilaisia ratkaisuja, joista useimmat ovat vielä kuitenkin prototyyppeasteella (esim. Badillo ym., 2006).

#### 3.10.2.1 Huomion ohjaaminen tärkeään tai käyttäjän etsimään tietoon

Uusia tekniikoita, joilla autetaan käyttäjää löytämään tärkeä tieto suurkuvanäytöltä, tulisi kehittää. Tässä voidaan hyödyntää esimerkiksi animaatiota, ääntä ja erilaisia olennaista informaatiota korostavia valokeiloja (Khan ym., 2005). Myös jäsentämällä näytöllä esitettävää informaatiota esimerkiksi taustavärin avulla voidaan helpottaa tärkeän tiedon löytymistä (Braseth ym., 2003; Van Laar, 2001).

### 3.10.2.2 Cursorin jäljittäminen

Kursorin havaittavuutta ja jäljitettävyyttä tulisi parantaa esimerkiksi parantamalla kursorin radan ennustettavuutta. Esimerkkejä kehitetyistä ratkaisuista ovat muun muassa Microsoftin hiiren ”laahus”, suurtiheyskursori (Baudisch ym., 2003) ja valokeilatekniikka (Khan ym., 2005).

### 3.10.2.3 Kohteeseen käsiksi pääseminen

Keskeinen kysymys on, miten päästä nopeasti käsiksi kohteeseen, kun näyttö on suuri. Fittsin (1954) lain mukaan aika, joka kuluu siirtymiseen kohteen luo, on logaritminen funktio kohteen ja lähtöpaikan etäisyydestä jaettuna halkaisijalla. Siirtymisen nopeuttamiseksi kohteen tai kursorin kokoa voidaan kasvattaa tai etäisyys kohteen ja kursorin välillä optimoida.

Ongelmaan on kehitelty useita ratkaisuja (ks. mm. Baudisch ym., 2003, Bezerianos & Balakrishnan, 2005, Guiard ym., 2004, Grossman & Balakrishnan, 2005). Siirtymistä voidaan helpottaa myös mahdollistamalla suora pääsy kaikkiin näytön kohtiin esimerkiksi laserpointterin, katseohjauksen tai käsiohjauksen avulla (Cao & Balakrishnan, 2003; Vogel & Balakrishnan, 2005). Kosketusalustan (*touchpad*) käyttöön perustuvia menetelmiä (Malik ym., 2005) on myös kehitetty. Kosketusalusta voidaan jakaa esimerkiksi kahteen erilliseen alueeseen, joista toisen avulla voidaan tehdä koko näyttöä koskevia ohjauksia ja toisen avulla voidaan ohjata esimerkiksi yhtä ikkunaa. Ohjausvälineiden tulisi olla tarkkoja ja niiden käytön helppoa ja mukavaa. Lisäksi niitä tulisi voida käyttää tehokkaasti niin läheltä kuin kauempaakin.

### 3.10.2.4 Tehtävien hallinta

Tietoon käsiksi pääseminen on suurkuvanäytöillä ongelmallista, koska menujen valinta tai kohteiden liikuttaminen on työlästä. Näihin ongelmiin on kehitelty useita erilaisia ratkaisuja (ks. ed. alaluku). Uusien tehtävien hallintaa parantavien menetelmien kehityksessä on huomioitava muun muassa se, onko työtila jaettavissa, tarvitaanko useita ikkunoita, voidaanko elementtejä ryhmitellä, pitääkö käyttäjällä olla pääsy koko ajan näytön kaikkiin osiin ja kuinka paljon informaatiota voidaan esittää samanaikaisesti.

Isot käyttöliittymäelementit (*widgets*), kuten valintaikkunat, ovat tärkeitä suurkuvanäytöillä. On tärkeää, että niitä suunnitellaan kaikkiin uusiin vuorovaihtuvälineisiin, joita suurkuvanäytöille kehitellään. Niiden avulla voidaan ratkaista joitakin keskeisiä suurkuvanäytöihin liittyviä ongelmia, esimerkiksi pitää järjestelmän ohjaus lähellä käyttäjää. Kaiken kaikkiaan uudenlaiset käyttöliittymäelementit voivat parantaa suurkuvanäyttöjen toiminnallisuutta ja käytettävyyttä. Suurkuvanäyttöjä varten on kehitelty useita uudentyyppisiä käyttöliittymäelementtejä, kuten *Vision Wand* (Cao & Balakrishnan, 2003), *Vacuum* (Bezerianos



& Balakrishnan, 2005), *Vision-tracked Multi-Finger Gestural Input* (Malik ym., 2005) ja *Frisbee* (Khan ym., 2004).

Suuriin *SmartBoard*-tyyppisiin näyttöihin liittyviä ongelmia on esitelty jo edellä. Usealle samanaikaiselle kosketukselle herkkiiä ns. *MultiTouch*-näyttöjä kehitellään parhaillaan, mutta ne eivät vielä ole riittävän tarkkoja. Kosketusherkkien laitteiden tulisi erottaa ainakin kolme tilaa toisistaan: ei kosketusta, voimakas kosketus ja heikko kosketus (Buxton ym., 1985). Kosketusherkkyyden simulointi toisen laitteen ns. kosketusalustan avulla on mahdollista, mutta ongelmana on, että tällöin suoran kosketuksen tuntuma menetetään. Kosketusnäyttöjä on kehitelty myös useiden käyttäjien samanaikaiseen käyttöön. Tällaisia ovat esimerkiksi *Visual Touchpad* (Malik & Laszlo, 2004) ja *TouchLight* (Wilson, 2004). Koska käyttäjä ei voi yltää ison kosketusnäytön kaikkiin osiin, on kehitelty myös näyttöjä, joita voi ohjata eleiden avulla. Ongelmana näissä näytöissä on, että tahattomia kädenliikkeitä on vaikea erottaa ohjaukseen tarkoitetuista liikkeistä.

### 3.11 Yhteenvedo ja johtopäätökset

Suurkuvanäytöt ovat yleistyneet prosessiteollisuuden valvomoissa, ja niihin kohdistuu suuria odotuksia. Näyttöjen kaikkia mahdollisuuksia ei kuitenkaan ole vielä käytetty hyväksi. Suurkuvanäyttö on laadullisesti erilainen kuin työasemanäyttö, ja sen vuoksi työasemanäyttöä koskevia käytettävyyssuosituksia ei sellaisenaan voi soveltaa suurkuvanäyttöihin. Yleisesti ottaen suurkuvanäyttöjen tulisi tukea päätöksentekoa välittämällä yleiskuva prosessin tilasta sekä tietoa muutoksista, häiriöistä ja hälytyksistä tavalla, joka on helppo havaita. Lisäksi näyttöjen tulisi auttaa käyttäjää siirtymään nopeasti hänen tarvitsemansa tiedon luo sekä tukea yhteistoimintaa ja yhteistyötä välittämällä tietoa siitä, mitä muut ovat tekemässä.

Suurkuvanäyttö tukee tietynlaisten tehtävien suorittamista; toisaalta on tehtäviä, joissa siitä ei ole juurikaan apua. Se tarjoaa parhaimmillaan yleiskuvan järjestelmän tilasta ja auttaa siten käyttäjää luomaan siitä paremman mentaalisen mallin. Tämä puolestaan voi parantaa tilannetietoisuutta ja sitä kautta tehtävän suoritusta. Helpottaessaan yhteisen viitekehyksen ja tilannemallin muodostamista suurkuvanäyttö voi parantaa kommunikaatiota, yhteistyötä ja tiimin jäsenten koordinaatiota. Operaattorit voivat sen avulla nähdä, miten heidän omat toimenpiteensä vaikuttavat niihin laitosparametreihin, joita muut ohjaavat. Vastaavasti suurkuvanäyttö voi näyttää, miten muiden toimenpiteet vaikuttavat niihin parametreihin, joita he itse ohjaavat. Suurkuvanäyttö auttaa käyttäjää myös hahmottamaan, missä hän sijaitsee informaatioavaruudessa ja miten hän pääsee nopeimmin ja tehokkaimmin kohteesta toiseen. Koska tietoa voidaan esittää suurkuvanäytöllä samanaikaisesti enemmän, käyttäjän ei tarvitse vierittää näyttöä, avata ikkunoita tai vaihtaa näyttöä. Suurkuvanäyttö voi siten vähentää sekundääri-tehtävien aiheuttamaa kuormitusta.

### 3. Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa – kirjallisuuskatsaus



Kuva 7. Prosessiteollisuuden valvomoiden kehitys perinteisestä analogisesta digitaaliseen työasemapohjaiseen ja edelleen älykkääseen valvomoon, jossa pyritään yhdistämään analogisen ja työasemapohjaisen valvomon hyvät puolet.

Suurkuvanäyttöjen käyttöä on tässä luvussa tarkasteltu kahdesta eri näkökulmasta. Toisaalta näyttöjä on tarkasteltu täysin digitalisoiduissa valvomoissa tai ns. hybridivalvomoissa. Toisaalta on tarkasteltu, mikä rooli eri tekniikoilla tuotetuilla suurkuvanäyttöillä on tulevaisuuden älykkäissä valvomoissa, jotka voidaan rakentaa käyttäjiä joka puolelta ympäröivien näyttöpintojen varaan (kuva 7). Ominaista tällaisille tulevaisuuden valvomoille on, että näyttöjen kuvatarkkuus on hyvä, käyttäjä voi olla vuorovaikutuksessa suurkuvanäytön kanssa erilaisten syöttölaitteiden avulla, ja tietoa voidaan siirtää henkilökohtaisilta näyttölaitteilta suurkuvalle ja takaisin helposti ja nopeasti. Älykkäiden valvomoiden aika on kuitenkin vielä varsin kaukana edessäpäin – tämän päivän digitaalisissa valvomoissa suurkuvanäytöt ovat lähinnä isokokoisia seinänäyttöjä, joita käytetään lähinnä vain olennaisen prosessitiedon esittämiseen siten, että kuva näkyy koko valvomoon.

## **4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset**

Jari Laarni, Leena Norros, Hanna Koskinen ja Leena Salo

Vuoden 2007 aikana on järjestetty kolme suunnittelutyöpajaa, joissa on hahmoteltu suurkuvanäyttöjen roolia digitaalisen valvomon käyttöliittymien osana. Pitemmän tähtäimen tavoitteena on kehittää ns. suurkuvakonsepti valvomon käyttöliittymien suunnittelun tueksi. Tässä luvussa esitellään suunnittelupalaverien päätulokset sekä niihin perustuva suurkuvakonseptin perusjäsenitys.

Yksimielisiä työpajoissa oltiin siitä, että suurkuvanäytöt ovat välttämättömiä digitaalisessa valvomossa yleiskuvan saamiseksi. Toiveena oli, että suurkuvanäytöt olisivat jonkinlainen paneelien ja prosessitietokonenäyttöjen (PTK-näyttöjen) synteesi, jossa yhdistyisivät molempien parhaat puolet. Yleisesti oltiin sitä mieltä, että suurkuvanäyttöjen tulisi palvella kaikkia operaattoreita. Lisäksi suurkuvanäytöt voisivat välittää yleiskuvan prosessin tilasta myös muille valvomossa käyville henkilöille. Eri operaattorit saattavat käyttää suurkuvanäyttöjä osittain eri tarkoituksiin. Vuoropäällikkö tarvitsee suurkuvanäyttöä saadakseen prosessista yleiskuvan ja tietoa siitä, mitä operaattorit tekevät. Myös reaktori-mestari ja turbiinitekniikko tarvitsevat suurkuvanäyttöä yleiskuvan saamiseen prosessista, mutta lisäksi he mielellään hakisivat suurkuvanäytöille lisäinformaatiota, joka ei mahdu henkilökohtaisen työaseman näytöille. Yleinen toive oli, että ohjauksia ei pidä tehdä pelkästään suurkuvan kautta, mutta työasemilta tehtävät operoinnit saisivat näkyä suurkuvanäytöllä. Myös sitä pidettiin tärkeänä, että eri tietojärjestelmät voisivat keskustella keskenään, jolloin suurkuvanäytöille saadaan kussakin tilanteessa juuri se tieto, mitä tarvitaan – riippumatta siitä, mistä järjestelmästä tieto on peräisin. Lisäksi suunnittelijoiden ja operaattoreiden yhteistyötä pidettiin tärkeänä suurkuvanäyttöjen suunnittelussa, jotta loppukäyttäjien näkemykset tulevat riittävässä määrin huomioiduiksi.

## 4.1 Johdanto

Suurkuvanäytöt ovat yleistyneet voimalaitosten valvomoissa, ja muun muassa Suomen ydinvoimalaitosten valvomoissa on tällä hetkellä suurkuvanäyttöjä. Käyttöliittymien digitalisoitumisen myötä niillä tulee olemaan yhä keskeisempi rooli prosessin valvonnassa ja ohjauksessa.

Tutkimuksia suurkuvanäyttöjen käytöstä ydinvoimalaitosten valvomoissa on kaiken kaikkiaan hyvin vähän. VTT:n Systemikäyttävyyssi-tiimi on kuitenkin tehnyt viime vuosina haastattelututkimuksia, joissa on kerätty tietoa suurkuvien käytöstä suomalaisilla voimalaitoksilla (ks. tämän kirjan luvut 2 ja 3; esim. Salo ym., 2006; Salo, 2007; Laarni & Norros 2006). Näiden tutkimusten mukaan valvomotyöntekijöiden käsitykset suurkuvanäyttöjen hyödyllisyydestä vaihtelevat: osa työntekijöistä piti suurkuvanäyttöjä hyödyllisinä ja myös käytti niitä aktiivisesti, osa taas ei (luku 2: Salo, 2007). Suurkuvanäyttöjen eduksi mainittiin, että niiden avulla voidaan hankkia nopeasti yleiskäsitys prosessin tilasta ja ne tukevat operaattoreiden yhteistyötä. Niillä voidaan myös operaattorikoulutuksen aikana esittää prosessikaaviokuvia ym. opetuksessa käytettävää materiaalia. Lisäksi suurkuvanäyttöjen etuna on, että ne voidaan nähdä kauempaakin, joten muu henkilökunta saa niiden avulla nopeasti käsityksen laitoksen tilasta. Suurkuvanäyttöihin liittyi kuitenkin myös ongelmia: niiden kuvanlaatu ei ollut paras mahdollinen, ne eivät olleet kovin helppokäyttöisiä, ja niiden sijainti valvomossa ei välttämättä ollut hyvä.

Tutkimuksen mukaan suurkuvilla esitettiin yleensä hälytysnäyttökuva sekä prosessinäyttökuvia ja trendejä. Suurkuvanäyttöille oli poikkeuksetta kopioitu työasemanäyttöjen sisällöt; suurkuvanäyttöille erikseen muokattua sisältöä ei ollut. Paras hyöty suurkuvanäytöistä kuitenkin ilmeisesti saadaan, mikäli niille kehitellään omia näyttöjä esimerkiksi tiettyjen poikkeustilanteiden kuten alas- tai ylösajon hallintaan ja seisokkeihin.

TVO:n Olkiluodon laitoksella tehtiin haastattelututkimus keväällä 2006, jossa tutkittiin myös suurkuvanäyttöjen käyttöä (luku 2; Salo ym., 2006). Operaattorit eivät pitäneet suurkuvanäyttöjä kovin hyödyllisinä, ja kaikki haastatellut vuorot olivat sitä mieltä, että suurkuvanäyttö on ollut pettymys. Yksi keskeinen syy tähän oli se, että näyttö sijaitsi valvomossa aivan liian korkealla. Turbiinioperaattorit, joiden vastuulla oli näytön sisältöjen valinta, pitivät ratkaisua epäonnistuneena pääasiassa ergonomisista syistä.

Operaattoreiden mielestä suurkuvanäytöstä saattaisi kuitenkin olla hyötyä vuoropäälliköille erityisesti häiriötilanteissa, mikäli hänen olisi mahdollista valita omalta työasemaltaan, mitä suurkuvanäytöllä esitetään (luku 2; Salo ym., 2006). Yleisesti ottaen operaattorit olivat sitä mieltä, että suurkuvanäytöstä saattaisi olla hyötyä häiriötilanteissa sekä revision aikana ja operaattorikoulutuksessa.

SAFIR-tutkimusohjelmaan kuuluvan O’PRACTICE-hankkeen yhtenä keskeisenä tavoitteena on kehittää ns. valvomokonseptia työasemapohjaisiin käyttöliittymiin perustuvia valvomoita varten. Suurkuvanäyttöjen roolin ja merkityksen

pohtiminen on keskeinen osa tätä työtä. Vuoden 2007 aikana on laadittu suurkuvanäyttöjen käyttöä käsittelevä kirjallisuuskatsaus sekä järjestetty kolme suunnittelutyöpajaa, joissa on hahmoteltu ns. suurkuvakonseptia digitaalisia valvomoita varten. Tässä luvussa esitellään kyseisten työpajojen päätulokset sekä suurkuvakonseptin perusjäsenitys.

## 4.2 Menetelmät

2007 aikana järjestettiin kaksi työpalaveria, toinen Loviisassa ja toinen Olkiluodossa. Palavereihin osallistui operaattoreita, kouluttajia ja suunnittelijoita. Loviisan palaveriin osallistui VTT:n tutkijoiden lisäksi kymmenen ja TVO:n palaveriin seitsemän henkilöä. Lisäksi lokakuussa pidettiin VTT:llä suurkuvaworkshop, johon osallistui edustajia molemmilta voimalaitoksilta sekä Säteilyturvakeskuksesta. Raportin materiaalina on käytetty myös toukokuussa 2007 Loviisan voimalaitoksella tehtyjä kouluttajien haastatteluja sekä keväällä 2006 Olkiluodon voimalaitoksessa tehtyjä kouluttajien ja operaattoreiden haastatteluja.

Laitoksilla järjestettyjen suunnittelupalaverien tavoitteena oli saada operaattorit irrottautumaan tämänhetkisestä tilanteesta ja suunnittelemaan tulevaisuuden valvomoa pienryhmissä. Heitä pyydettiin hahmottelemaan, minkälaiselta valvomo näyttää joko viiden tai kymmenen vuoden päästä.

Tiedonhankinnassa yhdistettiin ns. *Focus group* -menetelmän ja erilaisten dialogisten menetelmien piirteitä. Dialogisissa menetelmissä korostetaan ihmisten välisen kommunikaation merkitystä. Niissä puhe ja keskustelu ovat olennainen osa suunnitteluprosessia, sillä ihmiset jakavat erilaisia sosiaalisia ja kulttuurisia merkityksiä keskenään juuri puheen avulla (esim. Pulkkis & Ala-Laurinaho, 2007). Menetelmät perustuvatkin kasvokkain tapahtuvaan keskusteluun palaveriin osallistuvien asiantuntijoiden kesken. Dialogisia menetelmiä, joita olemme hyödyntäneet omaa menetelmää kehittäessämme, ovat muun muassa tulevaisuuden ennakointidialogi (Arnkil ym., 2000) ja minikonferenssi-menetelmä (Pulkkis & Ala-Laurinaho, 2005).

Menetelmämme on saanut lisäksi vaikutteita Kensingin ja Madsenin (1991) kehittämästä Tulevaisuus-workshop-menetelmästä. Tulevaisuus-workshop koostuu kolmesta vaiheesta: kritiikki-, fantasia- ja toteutusvaiheesta. Kritiikkivaiheessa keskitytään tämän hetken ongelmiin esimerkiksi työkäytännöissä ja työväliseissä, ja kriittiset kommentit luokitellaan muutamaaan pääryhmään. Fantasiavaiheessa osallistujien on muutettava negatiiviset kommentit positiivisiksi ja hahmoteltava, minkälaista heidän työnsä olisi muutaman vuoden päästä, sekä ideoitava, mitä heidän työnsä parhaimmillaan olisi. Ideoinnin jälkeen osallistujia pyydetään valitsemaan ehdotuksista ne, jotka heidän mielestään tuntuvat parhaimmilta. Toteutusvaiheessa kukin ryhmä esittelee ”utopialuonnoksensa”, jota käsitellään tämän jälkeen pienryhmissä. Pienryhmätyöskentelyn tavoitteena on selvittää, onko luonnosta mahdollista toteuttaa, mitä se edellyttää ja onko se ylipäättään järkevä.

Lisäksi olemme hyödyntäneet Kensingin (1998) kehittämää menetelmää, jossa käytetään piirroksia ajatusten virittämiseen. Siinä työpajan pienryhmiä pyydetään laatimaan piirros ongelma-alueelta ja sen jälkeen kertomaan piirroksista ryhmä kerrallaan. Tämän jälkeen suunnittelijat ja tutkijat laativat tuotetun materiaalin pohjalta yhteenvedon, jota sitten arvioidaan uudessa työpajassa.

Järjestämämme työpajat kestivät yhden päivän. Ensiksi VTT:n tutkijat esittelivät uusia valvomolayout-ratkaisuja ja käyttöliittymäkonsepteja. Lyhyiden luentojen tarkoituksena oli herättää keskustelua ja innostaa osallistujia miettimään uudenlaisia ratkaisuja. Luentojen jälkeen osallistujat jaettiin ryhmiin ja ryhmätehtävä esiteltiin. Osallistujille jaettiin myös kaksisivuinen tehtäväpaperi, jossa oli tarkempi kuvaus niistä teemoista, joita heidän tuli ryhmässä pohtia. Pienryhmiä oli Loviisassa kolme ja Olkiluodossa yksi. VTT:llä järjestetyssä suurkuva-workshopissa osallistujat jaettiin pienryhmätyöskentelyä varten kolmeen ryhmään. Pienryhmätyöskentelyn jälkeen ryhmät esittelivät tuloksensa, ja päivä päättyi yleiskeskusteluun. Työpajojen aikataulu on kuvattu liitteessä D. Liitteessä E on esitelty ryhmäkeskustelun teemat ja kysymykset.

Järjestämämme suunnittelutyöpajat olivat rakenteeltaan pääosin samanlaiset, minkä ansiosta niiden tuloksia voidaan vertailla keskenään. Tulosten analysoinnissa käytettiin laadullisten aineistojen analysointiin kehitettyjä menetelmiä (ks. esim. Miles & Huberman, 1994).

### 4.3 Tulokset

Kaiken kaikkiaan työpajat onnistuivat hyvin. Laitoksilla järjestetyissä palaverissa osallistujat valittivat jonkin verran sitä, että heidän on vaikea irrottautua nykyvalvomon asettamista reunaehdoista. Palavereihin osallistuneiden operaattoreiden mielestä suunnittelu oli vaikeaa myös sen takia, että heillä oli varsin vähän kokemusta suurkuvanäyttöjen käytöstä. (Olkiluodossa turbiinipuolen suurkuvanäyttö on ollut käytössä laitossyöksiköstä riippuen kahdesta kolmeen vuotta. Loviisan kakkosyksikössä suurkuvanäyttö on ollut käytössä noin vuoden; ykkösyksikköön suurkuvanäyttö asennettiin vasta kesällä 2007.) Lisäksi tehtäväpaperi sisälsi niin paljon kysymyksiä, että ryhmät eivät ehtineet antaa kaikkiin kovin tarkkoja vastauksia. Erityisesti kysymyksiin siitä, mitä suurkuvanäyttöillä tulisi esittää ja miten informaatio olisi suurkuvilla esitettävä, saatiin varsin vähän vastauksia.

Vaikka suurkuvanäyttö voi palvella laitoksen henkilökuntaa monissa erilaisissa tehtävissä, tässä raportissa keskitytään ensisijaisesti suurkuvanäytön käyttöön päävalvomossa prosessin valvonnan ja operoinnin tukena. Keskittyminen päävalvomon tilanteeseen johtuu pitkälti siitä, että suunnittelutyöpajoihin osallistui pääasiassa vain valvomo-operaattoreita ja operaattorikouluttajia.

Seuraavassa esitellään työpajojen tulokset ensin erikseen. Tulososassa keskitytään tärkeimpien tulosten esittelyyn. Johtopäätösosassa esitetään tulosten yhteenvedo sekä suurkuvakonseptin perusjäsenitys.

### **4.3.1 Loviisan suunnittelupalaverin tulokset (20.6.2007)**

#### **4.3.1.1 Suurkuvanäytön funktiot**

Suurkuvanäyttö on keskeinen osa Loviisan päävalvomon tulevaa uutta käyttöliittymää. Spesifikaation mukaan suurkuvanäyttöjärjestelmä asennetaan päävalvomon palvelemaan eri tiedon esittämisen tarpeita: sen tehtävä on ensisijaisesti välittää yleiskuva prosessista eri operointitilanteisiin liittyen sekä tukea valvomohenkilökunnan yhteistoimintaa. Osa suurkuvista on asennettu automaatiouudistuksen ensimmäisen vaiheen yhteydessä, ja niitä asennetaan spesifikaation mukaan lisää uudistuksen kolmannessa ja neljännessä vaiheessa.

Kaiken kaikkiaan suurkuvanäyttöjä pidettiin tärkeinä, ja niitä koskevat odotukset olivat korkealla. Osallistujien mielestä täysin digitalisoidussa valvomossa henkilökohtaisten työasemien kautta ei saa riittävästi tietoa prosessista. Sen vuoksi laitoksen ohjaaminen on vaikeaa tai mahdotonta ilman lisäinformaatiota, jota muun muassa suurkuvanäytöt voivat välittää. Suurkuvanäytöistä voi olla hyötyä laitoksen kaikissa käyttötilanteissa (ts. normaaliajossa, häiriö- ja hätätilanteissa, ylös- ja alasajossa, seisokissa sekä testauksia ja koestuksia tehtäessä). Osallistujien keskeinen toive on, että suurkuvanäyttö olisi jonkinlainen PTK-näyttöjen ja paneelien yhdistelmä, joka yhdistäisi näiden parhaat puolet.

#### **Yleiskuva prosessista ja tilannetietoisuuden tukeminen**

Suurkuvanäyttö välittää yleiskuvan prosessin tilasta. Osallistujien mielestä monitoroinnin tueksi tarvitaan suurkuvaa monista syistä: Operaattorit joutuvat liikkumaan valvomotilassa ja työskentelemään myös muualla kuin oman työasemansa ääressä. Kun operaattorit ovat poissa henkilökohtaisen työaseman luota, he pystyvät näkemään suurkuvanäytöltä välittömästi keskeisten komponenttien tilat riippumatta siitä, missä päin valvomoa he kulloinkin ovat. Suurkuvanäytöstä on hyötyä tässä suhteessa myös vuoronvaihtotilanteessa, sillä työhön tulevat operaattorit näkevät siltä heti, mikä prosessin tila on.

**KOMMENTTI:** ”Suurkuvanäytöltä nähdään kaikki yhtä aikaa, mihin prosessi on menossa.”

Suurkuvanäytöt eivät ainoastaan välitä tietoa siitä, missä tilassa prosessi on, vaan niiden avulla myös muut operaattorit – ja erityisesti vuoropäällikkö – saavat tietää, mitä reaktiomestari (ReM) tai turbiinioperaattori (TrT) ovat tekemässä. Lisäksi suurkuvanäyttö välittää tietoa laitoksen tilasta sekä siitä, mitä operaattorit ovat tekemässä myös muulle henkilöstölle, jolla on pääsy valvomoon (esim. käyttöinsinööriille ja käyttömiehille). Tämä on erityisen tärkeää tilanteissa, joissa valvomossa on normaalia ajotilannetta enemmän henkilökuntaa (ylös- ja alasajossa, huoltoseisokissa).

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset

KOMMENTTI: ”Kun siellä on kaksi- tai kolmikertainen määrä henkilökuntaa, niin silloin korostuu se, että koko henkilökunta saa tiedon missä mennään.”

#### **Huomion ohjaaminen olennaiseen uuteen tietoon**

Osallistujien mielestä suurkuvanäytöltä on helpompi huomata häiriöt ja viat kuin työasemanäytön hälytys- tai tapahtumalistasta. Suurkuvanäytöt voisivat siis auttaa operaattoreita suuntaamaan tarkkaavaisuutensa olennaiseen uuteen tietoon. Ne voisivat auttaa myös ongelmien paikallistamisessa – samalla tavalla kuin paneeleilla esitettävä tieto.

KOMMENTTI: ”Kun järjestelmään tulee häiriö niin se pitää näkyä sieltä suurkuvanäytöltä, mihin järjestelmään se tuli.”

Osallistujien mielestä suurkuvanäytöt on tarkoitettu vain prosessin valvontaan, niiltä ei pidä tehdä ohjauksia. Varsinainen operointi tapahtuu henkilökohtaisten työasemien kautta, mutta suurkuvanäytöillä voidaan esittää tietoa siitä, mitä ohjaustoimenpiteitä ollaan parhaillaan tekemässä.

Osallistuvat totesivat, että suurkuvanäytöt voisivat helpottaa seisokkien hallinnointia huomattavasti. Jotta niistä olisi siinä apua, niillä pitäisi näkyä, mitkä järjestelmät ovat huollossa ja mitkä käytössä. Tämän tekninen toteuttaminen voi olla kuitenkin hankalaa, sillä se edellyttäisi automaatiojärjestelmästä tulevan tiedon ja laitostietojärjestelmästä tulevan tiedon linkittämistä samaan kuvaan.

Seisokin aikana erotuksia koskevaa tietoa on esitetty paneeleilla erilaisten lappujen ja peitekilpien avulla. Lapun tai kilven liittäminen paneeleille on varsin helppoa; sen sijaan vastaavan tiedon esittäminen suurkuvanäytöllä edellyttää, että joku lisää tiedon ohjelmaan, mikä voi olla työläämpää. Kehittyneempi ratkaisu olisikin, että tiedot siirtyisivät automaattisesti suurkuvanäytöllä esitettävään prosessikaaviokuvaan.

Osallistujien mielestä suurkuvanäytöt voivat palvella myös muita käyttötarkoituksia kuin varsinaista prosessin hallintaa laitoksen eri käyttötilanteissa. Keskusteluissa pohdittiinkin, minkälaisia funktioita suurkuvanäytöillä voisi olla ja minkälaista prosessin ulkopuolista tietoa suurkuvanäytöllä voisi esittää. Osallistujien mielestä niistä voisi olla hyötyä koulutuksessa, sillä operaattorit voisivat näyttää niiltä koulutusvideoita ja muuta koulutusmateriaalia. Lisäksi niistä voisi olla hyötyä tilojen ja erilaisten järjestelmien ja komponenttien valvonnassa sekä järjestelmien huoltotoimenpiteistä tiedottamisessa. Suurkuvia tarvitaan myös laitoksen muissa valvonta- ja ohjaustiloissa kuten apuvalvomossa ja operoinnin tukikeskuksessa.

#### 4.3.1.2 Kenen suurkuva?

Suurkuvanäyttöjen käyttöä pohdittaessa on otettava huomioon, ketä näytöt ensisijaisesti palvelevat. Osallistujat olivat jonkin verran eri mieltä siitä, tulisiko



suurkuvanäytön palvelu ensisijaisesti vuoropäällikköä (VP) vai reaktorimestaria (ReM) ja turbiinioperaattoria (TrT). Keskustelujen tuloksena päädyttiin siihen, että niiden tulisi palvella kaikkia operaattoreita siten, että ns. yleisnäyttö palvelisi ensisijaisesti VP:tä; ReM:llä ja TrT:llä olisi omat suurkuvanäyttönsä, jotka palvelisivat ennen kaikkea heitä. Lisäksi pidettiin tärkeänä, että myös käyttömiehet saisivat yleisnäyttöjen kautta tietoa, joka auttaisi heitä muodostamaan käsityksen laitoksen tilasta. Palvellakseen eri käyttäjiä suurkuvanäyttöpinta on jaettava eri operaattoreiden käyttöön tarkoitettuihin alueisiin, joiden hallinnointia koskeva vastuu on myös jaettu operaattoreiden kesken.

Keskusteluissa tuotiin esiin myös Lo2:n operaattoreiden kokemuksia laitokselle asennetuista suurkuvanäytöistä. Esimerkiksi VP kertoi, että hän käyttää valvomoon asennettujen kahden suurkuvanäytön välittämää tietoa hyväksi omassa työssään. Myös kouluttaja käyttää näyttöjä hyväksi prosessin seurannassa. Vainkuttaisi siis siltä, että nimenomaan henkilöille, jotka seuraavat sivusta ReM:n ja TrT:n toimintaa, suurkuvanäytöistä on hyötyä prosessin seurannassa.

Keskeinen kysymys on, onko suurkuvanäytöt ensisijaisesti tarkoitettu prosessin valvontaan vai onko niiden tehtävänä välittää tietoa myös siitä, mitä muut operaattorit ovat tekemässä. Osallistujien mukaan suurkuvanäytöt voivat palvella molempia tarkoituksia: Niiden tehtävänä on auttaa operaattoreita muodostamaan yhteinen käsitys siitä, mihin prosessi on menossa, mutta niitä voidaan käyttää myös yhteistoiminnan ja toiminnan koordinoimisen tukena niiden välittäessä tietoa muiden operaattoreiden toiminnasta.

##### 4.3.1.3 Suurkuvanäyttöjen sisältöjen suunnittelu

Keskustelijoiden mielestä suunnittelun keskeisenä ongelmana on, että operaattoreilla on niin vähän kokemuksia suurkuvista, että heidän on vaikea arvioida, miten niitä pitäisi kehittää. Joka tapauksessa korostettiin, että suurkuvanäyttöjen suunnittelua tulisi tarkastella valvomo- ja käyttöliittymäsuunnittelun osana ja se tulisi integroida muuhun suunnitteluun, jotta päällekkäisyyksiä ei tulisi.

Osallistujat pitivät myös tärkeänä, että suurkuvanäyttöjen suunnittelun lähtökohtana on automaatiouudistuksen lopputilanne, jonka näkökulmasta eri vaihtoehtoja tarkastellaan. Mutta koska Loviisan automaatiouudistuksessa edetään useiden välivaiheiden kautta lopulliseen konseptiin, tulisi miettiä myös sitä, mikä suurkuvanäyttöjen rooli on kunkin osavaiheen konseptissa. Keskustelijat pitivät mahdollisena, että neljännen vaiheen jälkeen suurkuvanäyttöjen suunnittelussa täytyy palata taas alkupisteeseen: vasta siinä vaiheessa voidaan lopullisesti sanoa, mitkä digitaalisten valvomoiden käyttöjärjestelmien puutteet suurkuvanäytöt voisivat ratkaista.

Osallistujien mielestä valvomon ja suurkuvanäyttöjen suunnittelua olisi helpottanut, jos automaatiouudistuksen yhteydessä olisi rakennettu kokonaan uusi valvomo. Pidettiin joka tapauksessa tärkeänä, että valvomoon saadaan riittävästi suurkuvanäyttöjä. Pari osallistujaa kuitenkin epäili, että näin ei tule käymään ja että näyttöjä tulee olemaan aina liian vähän.

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset

Suurkuvanäyttöjen suunnittelun täytyy perustua muutamiiin keskeisiin suunnitteluperiaatteisiin. Erityisen tärkeänä pidettiin sitä, että vanhoja hyviksi osoittautuneita ratkaisuja hyödynnetään myös suurkuvanäyttöjen suunnittelussa. Suurkuvanäyttöjen tulisi sisältää sama informaatio kuin paneelien, ja tieto tulisi esittää samantapaisella logiikalla. Tiedon esitystapojen tulisi myös olla pääpiirteissään samanlaisia.

#### Suunnittelun käyttäjälähtöisyys

Osallistujien mukaan operaattoreiden tulee osallistua suunnittelutyöhön. Pari operaattoria osallistuisi itse näyttöjen suunnitteluun; lisäksi muiden tulisi päästä kokeilemaan ratkaisuja simulaattorilla. Osallistujat toivoivat, että suunnittelutiimiin valittaisiin sellaiset operaattoreiden edustajat, joilla on omia näkemyksiä mutta jotka osaavat kuunnella myös muiden mielipiteitä.

Valvomoihin olisi vastaajien mukaan tärkeää valita sellaista tekniikkaa, jonka muodostamaa kokonaisuutta voitaisiin helposti laajentaa ja tarvittaessa joustavasti muuttaa, mikäli jokin ratkaisu ei osoittautuisi toimivaksi. Esimerkiksi näytöt on valittava niin, että ne voidaan tarvittaessa asetella toisenlaiseen muodostelmaan. Lisäksi on pidettävä huolta siitä, että sisällöt ovat esitettävissä minkä tyyppisellä ja muotoisella näytöllä tahansa.

Keskusteluissa ennakoitiin, että kokonaisuudesta ei saada ”kerralla valmista”. Näin käy pelkästään siksi, että koska automaatiouudistus etenee vaiheittain, myös valvomo ja sen käyttöliittymät muuttuvat useassa eri vaiheessa. Erilaisia ratkaisuja on pakko testata ja kokeilla, minkä vuoksi on tärkeää, että suurkuvanäyttöjen kehittämiseen varataan riittävästi resursseja ja niitä käytetään niin, että jatkuvaan kehittämiseen on varaa.



Kuva 8. Kaksi Loviisan suunnittelutyöpajassa tuotettua valvomo-layout-ehdotusta.

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset

Erilaisia ratkaisuja tulee voida testata. Valvomon suurkuvanäytöillä voisi esimerkiksi olla alue, johon operaattorit saisivat siirtää vapaasti haluamaansa tietoa ja jolla he voisivat tehdä erilaisia kokeiluja.

Osallistujat toivoivat, että suurkuvanäytölle sopivia kuvia kehitettäisiin mahdollisimman paljon ja että operaattorit voisivat valita niistä sopivimmat tilanteen mukaan. Lisäksi toivottiin, että suurkuvanäytöillä voisi esittää eri järjestelmistä tulevaa tietoa. Osallistujat olivat hyvin tietoisia yhdistämiseen liittyvistä tietoturvaongelmista ym. ja epäilivät, onko esimerkiksi mahdollista siirtää Lomax-tietojärjestelmän tietoja prosessiautomaatiojärjestelmän suurkuvanäytöille.

#### Suurkuvanäyttöjen sijoittelu valvomotilaan

Nykyinen valvomo asettaa rajoituksia sen suhteen, miten suurkuvanäytöt voidaan tilaan sijoittaa. Osallistujien oli välillä vaikeaa irrottautua näistä reunaehdoista ja miettiä ratkaisuja, joita ei voi suoraan toteuttaa nykyvalvomossa. Kaiken kaikkiaan osallistujat suhtautuivat kuitenkin suopeasti erilaisiin uusiin tapoihin sijoittaa työasemat ja suurkuvanäytöt valvomotilaan. Yleinen käsitys näytti olevan, että yhteistyötä parantavia layout-ratkaisuja kannattaa kokeilla ja testata. Kaksi suurkuvanäyttöjen ja työasemien sijoittelua koskevaa ehdotusta on esitetty kuvassa 8.



Kuva 9. Työasema-layout, joka herätti kiinnostusta sekä Loviisassa että Olkiluodossa.

Lähtökohtana uuden valvomon layoutin suunnittelussa on nykyisen valvomon layout. Uudessa valvomossa informaatio ympäröisi operaattoreita samalla tavalla kuin nykyvalvomossakin, ja näytöt olisivat kaaren tai puoliympyrän muodossa salin etuosassa. Osallistujia miellytti ajatus siitä, että operaattoreiden työasemat olisi käännetty toisiaan vasten ns. X-muodostelmaan, jolloin operaattorit olisivat kasvokkain istuessaan työasemiensa ääressä (ks. kuva 9). Tällainen työasemien ryhmittely voisi osaltaan helpottaa operaattoreiden välistä kommunikaatiota.

Tällaiseen työasemien sijoitteluun sopii (kuten kuvan 8a ratkaisussa on esitetty), että ReM:n omaan käyttöön tarkoitetut suurkuvanäytöt olisivat oikealla ja TrT:n näytöt vasemmalla. Keskellä olisivat kaikkien operaattoreiden käyttöön tarkoitetut

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset

yleisnäytöt. Tässä mallissa ReM:n ja TrT:n näytöt olisivat siis päinvastaisella puolella kuin nykyään. Ryhmittely olisi osallistujien mielestä mahdollinen, koska suurkuvanäyttöjen luo ei tarvitsisi mennä tekemään operointeja. Kuvassa 8b esitetystä ratkaisusta pöydät oli asetettu kaarimuotoon, ja ReM:n ja TrT:n näytöt olivat yleisnäyttöjen molemmin puolin samalla tavalla kuin nykyäänkin (ts. ReM:n näytöt vasemmalla ja TrT:n näytöt oikealla puolella).

Molemmissa esitetyissä ratkaisuissa yleisnäytöt oli sijoitettu keskelle niin, että ne palvelisivat parhaalla mahdollisella tavalla VP:tä. ReM:n ja TrT:n ”omat” näytöt sijoitettiin yleisnäyttöjen molemmin puolin niin, että heidän olisi niiden avulla helppo seurata yksittäisten järjestelmien toimintaa (ks. kuva 10).

Primääripiirin Valvonta (ReM)	Primääripiirin Valvonta (ReM)	Operoinnin Monitorointi (VP)	Primääripiirin Yleisnäyttö (VP)	Sekundääripiirin Yleisnäyttö (VP)	Tapahtuma- tai hälytyslista (VP)	Sekundääripiirin Valvonta (TrT)	Sekundääripiirin Valvonta (TrT)
-------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	---	--	---------------------------------------	---------------------------------------

Kuva 10. Loviisan työpajan osallistujien ehdotuksiin perustuva kirjoittajien hahmottelema ratkaisu, joka perustuu kahdeksaan suurkuvanäyttöön. Kuvaan on myös merkitty ehdotus siitä, kuka operaattoreista olisi vastuussa kyseisestä näytöstä.

Suurkuvanäyttöjen tulee olla joko pystysuorassa asennossa tai jonkin verran kallellaan. Toivottiin myös, että ne olisivat jonkin verran lähempänä operaattoreiden työasemia kuin nykyiset paneelit. Koska on tärkeää, että työasemilta näkee suurkuvanäytön kokonaan, ehdotettiin, että pöytänäytöt olisivat suhteellisen matalalla, ikään kuin puoliksi pöytään upotettuina. Lisäksi korostettiin, että näyttöjä sijoiteltaessa on otettava huomioon käyttäjien väliset kokoerot, jotka saattavat olla melko suuria. Tärkeänä pidettiin myös mahdollisuutta säätää näyttöjen asentoa ja korkeutta.

#### **Suurkuvanäyttöjen lukumäärä**

Loviisan kummankin yksikön valvomossa on kaksi suurkuvanäyttöä. Loviisa 1:lle suurkuvanäytöt asennettiin kesän 2007 aikana. Lisäksi suunnitelmia on kahden lisänäytön asentamisesta molempiin valvomoihin. Yleisenä toiveena oli, että suurkuvanäyttöjä asennettaisiin niin monta kuin niitä paneeleista vapautuville seinille mahtuu. Operaattoreiden arvion mukaan Loviisan valvomossa eteen mahtuisi kahdeksan näyttöä ja kummallekin sivulle neljä. Näin näyttöjen kokonaisuudeksi tulisi 16.

Osallistajat keskustelivat siitä, kuinka monta näyttöä valvomoon vähintään tarvitaan. Ehdottomana miniminä pidettiin kahdeksaa näyttöä (neljää paria). Erityisesti toivottiin, että jos suurkuvanäyttöjä olisi kahdeksan, riittävän moni niistä olisi tarkoitettu yleisnäytöiksi, sillä esimerkiksi kahdelle näytölle ei kaikkea olennaista tietoa saada mahtumaan. Hyvänä ratkaisuna pidettiin sitä, että yleisnäyttöjä olisi neljä ja lopuille näytöille operaattorit saisivat valita mieleisiään kuvia.

Vaikka useimmat osallistujat toivoivat, että suurkuvanäyttöjä saataisiin mahdollisimman paljon, yksi heistä kuitenkin mietti, voisiko suurkuvanäyttöjä olla joissakin tilanteissa jopa liikaa. Jos näyttöjä on paljon ja mitä tahansa informaatiota voidaan esittää millä tahansa näytöllä, operaattorin voi olla vaikea löytää haluamaansa tietoa, vaikka se olisi kaiken aikaa näkyvissä. Toisaalta osallistujat olivat huolissaan myös siitä, että jos näyttöjä on vähän ja kuvia paljon, ns. sekundääritehtäviin eli navigointiin ja informaation etsimiseen saattaa kuluu liikaa aikaa. Yleisenä toiveena olikin, että suunnittelussa pyrittäisiin siihen, että navigointiin ja muihin tiedon etsintään liittyviin tehtäviin kuluisi mahdollisimman vähän aikaa.

### **Suurkuvanäyttöjen sisältö**

Osallistujat olivat yhtä mieltä siitä, että kaikki olennainen tieto tulee esittää suurkuvanäytöillä. Olennaisena pidettiin kaikkea sitä tietoa, jota paneeleilla tällä hetkellä esitetään. Lähtökohtana siis olisi, että suurkuvanäytöillä olisi esillä aina laitostilanteen kannalta parhaat ja hyödyllisimmät näytöt. Osa oli jopa sitä mieltä, että suurkuvanäytöillä tulisi esittää kaikki, mitä tällä hetkellä esitetään paneeleilla.

**KOMMENTTI:** ”Periaatteessa kaikki venttiilit mitä paneeleilla on, niin sehän olisi tietysti ideaali, että ne pystyttäisiin esittämään tuossa suurkuvassa.”

Ylipäätään toivottiin, että suurkuvanäytöillä olisi mahdollista esittää mitä tahansa operaattoreiden tarvitsemaa tietoa. Esimerkiksi häiriötilanteisiin toivottiin tilannekohtaisia näyttöjä, joihin olisi kerätty kaikki olennainen häiriöön liittyvä tieto ja jotka aktivoituisivat hälytyksen myötä. Näissä näytöissä tulisi näkyä kaikki ohjeissa mainitut komponentit niin, että voitaisiin aina varmistaa, että ohjeiden mukaiset toimenpiteet on tehty oikein.

Vaikka suurkuvat on tarkoitettu ensisijaisesti prosessin valvontaan, niillä pitäisi voida esittää tietoa siitä, mitä ohjaustoimenpiteitä operaattorit ovat kullakin hetkellä tekemässä. Tärkeänä pidettiin myös sitä, että näyttöjen sisällöt olisivat joustavasti vaihdettavissa. Suurkuvanäytöistä toivottiinkin eräänlaista laitostilanteen mukaan muuttuvaa elävää pintaa.

Keskusteluissa tuli esiin yksityiskohtaisempiakin toiveita siitä, minkälaista tietoa suurkuvanäytöillä pitäisi esittää. Yleisnäytöille tulisi esittää yleiskuva prosessista (prosessikaavio pääparametreineen, tärkeimmät hälytykset sekä tapahtumalistat ja mittaustrendit), ja niiden reunoilla olisi operoinnin monitorointia tukevaa informaatiota. Toivottiin, että yleiskuvanäytöllä esitettäisiin pääprosessi esimerkiksi kahdelle näytölle jaettuna siten, että apujärjestelmät olisi kuvattu järjestelmätunnuksilla. Vasemmanpuoleisella näytöllä olisi esitetty primääripiirin hätäjärjestelmien pumput, oikealle päin siirryttäessä näkyisivät primääripiirin vesijärjestelmät ja aktiivisten poistokaasujen käsittely (TS). Oikeanpuoleisella näytöllä olisi molemmista turbiineista oma kuvansa, samoin syöttövesijärjestelmästä, tuorehöyryputkistosta (RA) sekä sivulauhdepiiristä (RN). Pidettiin myös

mahdollisena, että sivulauhdepiiri olisi samassa kuvassa matalapaine- (RH) ja korkeapaine-esilämmityksen (RD) kanssa. Koska sivulauhdepuolta pidetään seurannan kannalta jopa tärkeämpänä kuin varsinaista päälauhdepuolta, sille tulisi varata riittävästi tilaa. Haluttiin, että nämä yleisnäytöt pysyisivät suhteellisen samanlaisina kussakin laitostilanteessa. Lisäksi yleisnäytöillä voitaisiin esittää prosessin valvontaa ja ohjausta tukevaa informaatiota, ohjeita sekä videokuvaa laitokselta. Myös hälytys- ja tapahtumalista haluttiin esittäväksi suurkuvanäytöllä.

Jos suurkuvanäyttöjä olisi käytössä vain neljä, olisi yhdellä näytöllä VP:n kannalta olennaista tietoa ja ReM:illä ja TrT:illä omat näytönsä (ns. ReM:n ja TrT:n operointinäytöt). Yksi näytöistä olisi hälytys- ja tapahtumalistanäyttö.

Osallistujat toivoivat myös vähintään yhtä suurkuvanäyttöä muuta kuin prosessia koskevan tiedon esittämiseen. Tällaisella näytöllä voitaisiin esittää muun muassa sähkötauluja koskevaa tietoa, testauksia ja koestuksia koskevaa tietoa sekä koulutusmateriaalia. Lisäksi toivottiin, että ainakin yhdelle suurkuvalle voisi kiinnittää ns. sähköisiä huomiolappuja, joissa olisi eri järjestelmiä koskevia huomautuksia ja tiedotuksia.

Keskusteluissa pohdittiin myös monien yksittäisten järjestelmiä koskevan tiedon esittämistä suurkuvanäytöillä (esim. sähkötaulut, laitossuojauksia koskevat YZ-paneelleilla esitettävät tiedot, aktiivisten poistokaasujen käsittely (TS) ja tuorehöyryputkiston (RA) painemittari). Osaksi laitossuojausta kuvaavaa suurkuvanäyttöosaa toivottiin sellaisia kuvia, jotka avautuisivat suurkuvanäytölle automaattisesti, kun tietty laitossuojaussignaali tulisi voimaan.

Osallistujat toivoivat, että suurkuvaa käytettäisiin nimenomaan prosessitiedon esittämiseen siten, että se tukisi prosessin valvontaa ja ohjausta. Suurkuvanäyttöjä ei sen sijaan haluttu käyttää esimerkiksi PI-kaaviokuvien esittämiseen, sillä niitä on helpompi katsella paperilta. Ei myöskään katsottu tarpeelliseksi hyödyntää suurkuvanäyttöjä erilaisissa hallinnollisissa tehtävissä (esim. TTKE-ehtojen tarkistamisessa).

Muita laitoksen tiloja varten toivottiin omia näyttökuvia. Esimerkiksi ylös- ja alasajotilanteisiin tarvitaan omat kuvat. Lisäksi alasajotilanteen eri vaiheisiin on syytä kehittää omia näyttökuvia. Jotta seisokkinäytöt tukisivat erotuspakettien hallintaa, niillä pitäisi näkyä tieto siitä, mitkä järjestelmät ovat huollossa tai muuten pois käytöstä. Seisokkinäytöissä pitäisi näkyä myös kaikki pumput ja lämpötilat. Lisäksi niihin toivottiin spesifejä sisältöjä kuten kuvaa primääripiirin seisontajähdytyksestä (RR) sekä nelivuotisiseisokin aikana kuvia kiinteiden aktiivisten jätteiden käsittelystä (TT) ja polttoainealtaiden jäähdytyksestä (TG).

Osallistujien mielestä suurkuvanäytöillä voisi esittää videokuvaa laitokselta. Pelkästään turbiinipuolelta löytyy parikymmentä kohdetta, joista olisi hyvä saada kamerakuvaa. Osa kameroista voisi olla kiinteitä, osa taas liikuteltavia. Kamera-kuvaa voisi esittää esimerkiksi yhdellä näytöllä, joka on jaettu neljään lohkokoon.

#### 4.3.1.4 Suurkuvanäyttöjen tekniset ominaisuudet

Suurkuvanäyttöjen toivotaan olevan tekniseltä laadultaan niin hyviä kuin mahdollista. Nykyvalvomon näytöissä yksittäiset kuvapisteeet näkyvät, kun näyttöä katsotaan lähempää. Sillä, että yksittäiset kuvapisteeet näkyvätkin läheltä katsottaessa, ei ole merkitystä, sillä suurkuvia ei ole tarkoitus katsoa läheltä. Todettiin myös, että näyttötekniikka kehittyi koko ajan ja näytöt muuttuvat laadukkaammiksi.

#### 4.3.1.5 Tiedon esittäminen suurkuvanäytöllä

Yleisenä toiveena esitettiin, että suurkuvanäyttöjen tulisi heijastaa paneelin rakennetta ja logiikkaa tiedon esittämisessä. Näyttöjen ei kuitenkaan tarvitse olla paneelin suoria kopioita. Toivottiin, että suurkuvanäytöt olisivat ”yleiskuvamaisempia” kuin paneelit eli että prosessin peruslinjat erottuisivat selkeästi. Hyvä lähtökohta on, että suurkuvanäytöllä esitetään yksinkertaistettu prosessikaavio, jossa myös putkilinjat näkyvät, ja trendilaatikot sekä hälytyksiä ilmaisevat tunnukset on opotettu kuviin.

Esimerkiksi venttiilien asennon kuvaamisessa voisi hyödyntää paneelien tiedonesitystapaa. Olisi toivottavaa, että suurkuvanäytöllä voisi esittää kaikki mahdolliset venttiilin tilat (ts. onko venttiili auki, kiinni vai väliasennossa, ja jos sen asento on muuttumassa, kumpaan suuntaan se on menossa).

Osallistujien mukaan suurkuvanäytöllä ei tulisi esittää työasemanäyttöille suunniteltuja prosessikuvia (ts. suurennettuja kopioita PTK-näytöistä) vaan kaikkien kuvien tulisi olla suurkuvanäytölle räätälöityjä. Tämä koskee erityisesti yleiskuvanäyttöjä, mutta myös operoinnin monitorointi-näyttöjen ikkunoiden ei tarvitse olla henkilökohtaisten operointinäyttöjen ikkunoiden kopioita. Lisäksi ehdotettiin, että joissakin tilanteissa voisi olla hyödyllistä, jos yksityiskohtia pystyisi katsomaan tarkemmin muuttamalla kuvan mittakaavaa pienemmäksi (ts. zoomaamalla lähemmäs kuvaa).

Jonkin verran keskusteltiin uusista esityskonsepteista (EID, *Information Rich*) ja niiden soveltuvuudesta valvomoon. Osa osallistujista oli sitä mieltä, että kyseiset ratkaisut eivät kovin hyvin sovellu ydinvoimalaitoksen valvomoihin. Olennaisen informaation korostamista häiriötilanteessa ei pidetty kovin tarpeellisenä, koska häiriöistä tulee joka tapauksessa hälytykset. Joitakin näiden konseptien piirteitä voisi kuitenkin hyödyntää. Esimerkiksi ns. *layering*-tekniikkaa, jossa eri osajärjestelmät esitetään kuvissa erivärisillä taustoilla, voisi käyttää huomion ohjaamisessa olennaiseen tietoon: taustan väri voisi muuttua, kun tiettyssä järjestelmässä on häiriö tai siinä tehdään operointeja. Ylipäätään olennaisen tiedon havainnollistamisessa kannattaa käyttää vaihtelevasti erilaisia keinoja kuten värejä ja välkettä, kohteen suurentamista tai jopa animointia. Pääasia on, että suurkuvanäytöltä erottuu selvästi – samalla tavalla kuin paneelilta – se osakokonaisuus, jossa parhaillaan tapahtuu jotakin poikkeavaa.

Suurkuvanäyttöjen sisällön ergonomiseen suunnitteluun on kiinnitettävä riittävästi huomiota, ja suunnitelmat on testattava simulaattorilla. Lisäksi näytöillä

esitettävien kuvien yksityiskohtien tulee olla riittävän suuria. Tämän vuoksi suurkuvanäyttöä ei mielellään pidä jakaa neljään osaan, paitsi silloin, kun esitetään tietoa, jonka pienentämisestä ei ole haittaa (esim. kamerakuvaa esittävät näytöt). Näytöllä esitettävien aakkosnumeeristen merkkien täytyy olla riittävän suuria, jotta operaattorit näkevät kaiken olennaisen tiedon eri puolilta valvomoa. Toisaalta niiden kokoa ei voi kasvattaa koskaan niin suureksi, että kaikki operaattorit varmasti näkisivät ne kaikilta etäisyyksiltä.

#### 4.3.1.6 Suurkuvanäyttöjen ohjaus ja hallinnointi

Osallistujat toivoivat, että häiriötilanteessa (esimerkiksi kun tietty laitossuojaus tulee voimaan) suurkuvanäytölle ilmestyisi automaattisesti tietty näyttö (”ponkaisunäyttö”), joka kertoisi, mistä laitossuojaussignaalista on kyse. Samoin suurkuvanäytölle ilmestyisi automaattisesti tieto tehtävistä ohjaustoimenpiteistä. Esimerkiksi ns. operoinnin valvontanäyttö voisi aktivoitua ja kertoa, mitä operaattori on parhaillaan tekemässä. Suurkuvanäytöltä siis näkisi, mitä operaattori on tekemässä ja mihin komponenttiin toiminta kohdistuu.

KOMMENTTI: ”Olisiko niin, että olisi 10–15 järjestelmää ikään kuin odottamassa, ja siinä järjestelmässä missä tapahtuu jotain, niin se pomppais siihen suurkuvalle aktiiviseksi...”

Osallistujat pohtivat, tulisiko tämän tiedon ilmestyä suurkuvanäytölle vai olisiko parempi, että se ilmestyisi vuoropäällikön henkilökohtaiselle näytölle. Riippumatta siitä, missä operointia koskeva tieto esitetään, pidettiin tärkeänä, että se ilmestyy näytölle automaattisesti, jotta vältetään turhilta navigointi- ym. toimenpiteiltä. Pidettiin myös mahdollisena, että kuva, joka on ilmestynyt suurkuvanäytölle automaattisesti, myös poistuisi sieltä automaattisesti tietyn ajan kuluttua.

Tärkeänä pidettiin, että osa näyttökuvista ei vaihtuisi joko lainkaan tai vaihtuisi vain poikkeustapauksissa. Varsinkin jos suurkuvanäyttöjä ei ole kovin monta, niiden sisältöjen pitäisi joidenkin mielestä pysyä samana koko ajan. Toisaalta osallistujat pitivät tärkeänä, että ainakin ReM:n ja TrT:n ”henkilökohtaisten” suurkuvanäyttöjen sisältöjä voisi vaihtaa. Lisäksi toivottiin toimintoa, joka ehdottaisi, mitä kuvia olisi mahdollista tai järkevää tietyssä tilanteessa katsoa. Toivottiin myös, että suurkuvanäytöille voisi avata lisätietoikkunoita.

Osa oli sitä mieltä, että koska VP:n on pysyttävä kaiken aikaa tilanteen tasalla, hänen pitää voida valita suurkuvanäytöille ne kuvat, jotka hän katsoo tarpeellisiksi. Toisten mielestä taas ReM:llä ja TrT:llä tulee myös olla mahdollisuus vaikuttaa suurkuvanäyttöjen sisältöön, koska he voivat tarvita niitä jopa enemmän kuin VP. Useimmat olivatkin sitä mieltä, että osan näytöistä pitäisi olla nimenomaan ReM:n ja TrT:n omia näyttöjä, joilla esittävistä kuvista he myös huolehtisivat.

Ei ole mielekasta, että ReM ja TrT joutuisivat pyytämään VP:tä vaihtamaan kuvat suurkuvanäytölle. Järkevää voisi sen sijaan olla, että jokainen vuoro saisi itse päättää, mitä haluaa tietyillä näytöillä esitettävän. Jonkinlaisia sääntöjä kui-



tenkin toivottiin siihen, mitä suurkuvanäytöillä – tai ainakin kaikille yhteisillä näytöillä – kulloinkin esitetään. Lisäksi toivottiin sääntöjä siihen, kuka operaattori saa operoida mitäkin näyttöä. Yksi mahdollinen ratkaisu on se, että VP vastaa yleiskuvaosuudesta ja ReM ja TrT niistä suurkuvanäytöistä, joilla esitetään ensisijaisesti heille kuuluvaa tietoa.

Vaikka tekeillä olevista operoinneista voisi näkyä tietoa suurkuvanäytöllä, varsinaisia operointeja ei sillä kuitenkaan tehtäisi. Suurkuvanäytöllä voisi siis näkyä tietoa tehtävästä ohjaustoimenpiteestä, mutta operaattori avaisi operointi-ikkunan vain henkilökohtaiselle työasemanäytölleen ja ohjaisi hiirtä siltä tulevan palautteen kautta.

Keskusteluissa mainittiin myös joitakin suurkuvanäyttöjen käyttöön mahdollisesti liittyviä ongelmia. On esimerkiksi pidettävä huolta siitä, että kaksi operaattoria ei voi tehdä yhtäaikaaisesti ohjaustoimenpiteitä, jotka vaikuttavat saman suurkuvanäytön samaan ikkunaan. Lisäksi on huolehdittava, että olennainen tieto ei jää missään vaiheessa piiloon suurkuvanäytölle avattujen ikkunoiden alle.

### **4.3.2 Olkiluodon suunnittelupalaverin tulokset (26.9.2007)**

#### **4.3.2.1 Suurkuvanäytön funktiot**

Kuten aikaisemmat haastattelututkimukset ovat jo osoittaneet (esim. Laarni ym., 2007), Olkiluodon nykyvalvomoiden suurkuvanäytöt ovat operaattoreiden mielestä varsin hyödyttömiä ja niitä käytetään varsin vähän. Lähinnä suurkuvanäytöstä on ollut hyötyä simulaattorissa, jossa sitä on käytetty esimerkiksi koulutusmateriaalin esittelyyn.

Valvomon turbiinipuolen käyttöliittymäudistuksen myötä yleiskuvan saaminen prosessin tilasta on vaikeutunut. Osallistujien mukaan suurkuvanäyttö voisi auttaa erityisesti TrT:tä saamaan yleiskäsityksen turbiinijärjestelmien tilasta. Yleiskuvalla osallistujat tarkoittivat muun muassa tietoa siitä, missä järjestelmässä jokin vika on. Häiriötilanteissa suurkuvanäytöistä voisikin olla apua häiriön paikallistamisessa. Lisäksi ne voivat välittää muille operaattoreille – erityisesti VP:lle – tietoa siitä, mitä TrT on parhaillaan tekemässä.

Nykyisessä valvomossa suurkuvanäyttö on tarkoitettu varaohjauspaikaksi. Varsinaiseksi ohjauspaikaksi sitä ei kuitenkaan haluta, koska nykyinen suurkuvanäyttö on siihen tarkoitukseen aivan liian korkealla ja kaukana operaattoreiden työasemista. Mutta vaikka operaattorit eivät halua tehdä operointeja suurkuvanäytöltä, he kuitenkin toivovat, että suurkuvanäytöllä näkyisi tietoa siitä, mitä ollaan parhaillaan operoimassa.

Kaiken kaikkiaan operaattoreiden mielestä suurkuvanäyttö ei voi korvata paneeleita vaan ainoastaan täydentää niitä. Parhaimmillaan se voisi palvella häiriötilanteiden hallinnassa sekä ylös- ja alasajoissa. Siitä voisi olla hyötyä myös huoltoseisokin aikana, mikäli sitä varten olisi kehitetty omia näyttökuvia.

#### 4.3.2.2 Kenen suurkuva?

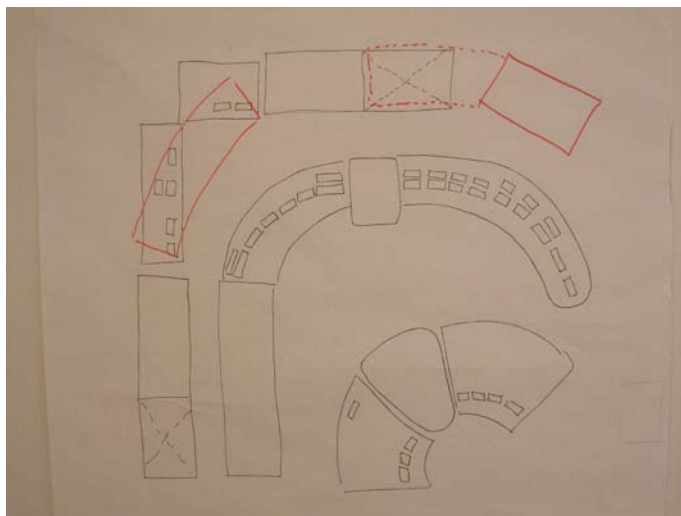
Osallistujien mukaan suurkuvanäytön tulisi välittää yleiskuva laitoksen tilasta kaikille operaattoreille. Nykyisen valvomon ainoa suurkuvanäyttö palvelee sen sijaan vain TrT:tä ja VP:tä. TVO:n operaattoreiden mielestä suurkuvanäyttöjen tulisi palvella ennen kaikkea valvomo-operaattoreita normaalitehoajon aikana. Heidän mielestään se ei huoltoseisokkia lukuun ottamatta ole tarkoitettu laitoksen muun henkilökunnan (esim. käyttömiesten) käyttöön.

#### 4.3.2.3 Suurkuvanäyttöjen suunnittelu

Osallistujat olivat yhtä mieltä siitä, että nykyistä suurkuvanäyttöä hankittaessa ei loppuun saakka mietitty, mihin sitä aiotaan käyttää. Se hankittiin operointinäytöksi, vaikka se ei edes kunnolla sovellu siihen tarkoitukseen. Uusia suurkuvanäyttöjä hankittaessa tulisikin miettiä tarkemmin, mitä niillä aiotaan esittää. Suunnittelun kannalta ongelmana on kuitenkin se, että siitä ei olla yksimielisiä, mihin tarkoitukseen suurkuvanäyttöjä tulisi käyttää. Operaattoreiden näkökulmasta suurkuvanäytöt ovat vain yksi uusi käyttöliittymä lukemattomien muiden joukossa eivätkä auta kokonaisuuden hallitsemisessa, mikäli niiden sisältöä ei suunnitella huolella.

Yleiskäsitys oli, että uudet yleiskuvanäytöt voisivat pohjautua nykyisiin prosessitietokonenäyttöihin. Insinööriyönä suunniteltua PMS-näyttöihin pohjautuvaa turbiinipuolen yleiskuvaa osallistujat pitivätkin hyvänä. Heidän mielestään sitä voisi hyvin käyttää jatkosuunnittelun lähtökohtana.

Osallistujat suhtautuivat hieman skeptisesti mahdollisuuksiinsa päästä vaikuttamaan suurkuvanäyttöjen suunnitteluun. Heillä oli aikaisempia kokemuksia siitä, että heidän ehdotuksiaan ei ollut otettu riittävässä määrin huomioon. Sen sijaan heidän mukaansa Olkiluoto 3:n simulaattorin valmistuminen saattaa hyödyttää vanhojen yksiköiden valvomoiden uudistusta. Uuden simulaattorin ratkaisut saattavat antaa virikkeitä siihen, minkälaisia suurkuvanäyttöratkaisuja kannattaa kehittää.



Kuva 11. Olkiluodon työpajassa tuotettu suurkuvanäyttöjen sijoitteluehdotus.

**KOMMENTTI:** ”Tämä on tosiaan vähän tämmöinen ongelma, kun vanhaan valvomoon laitetaan suurkuvanäyttöjä, se ei ole sama kuin suunnittelisi uutta...”

### **Suurkuvanäyttöjen sijoittelu valvomotilaan**

Suurkuvanäytöt on Olkiluodossa sijoitettava nykyiseen valvomotilaan, mikä rajoittaa suunnittelua monessa suhteessa. Operaattorit esimerkiksi haluavat, että valvomon etuosan sähkötaulut säilyvät, minkä vuoksi tilaan ei voida sijoittaa suurkuvanäyttöjä. Uutta tilaa suurkuvanäytöille löytyy lähinnä valvomon vasemmasta reunasta ReM:n pulpettien luota (ks. kuva 11). Mikäli osa sähkökaapeista poistettaisiin, salin etuosasta voisi vapautua tilaa yhdelle suurkuvanäytölle. Myös reaktorimestarin puoleiselle seinälle voisi tarvittaessa sijoittaa suurkuvanäytön, mutta se saattaisi jäädä liian sivuun.

Keskusteluissa ei selvinnyt, mikä sähkötaulujen kohtalo loppujen lopuksi on: poistetaanko ne valvomosta ja jos poistetaan, millä aikataululla? Myös se jäi epäselväksi, voidaanko sähkötaulut korvata suurkuvanäytöllä ja aiotaanko näin jossakin vaiheessa tehdä.

Reaktorimestarin puoleiseen nurkkaan mahtuisi yksi iso suurkuvanäyttö, joka voisi olla noin neljä metriä leveä ja kaksi metriä korkea. Operaattoreiden mielestä näyttö voisi olla kaareva. Tällaisen näytön uskottiin sopivan reaktiomestarille, ja myös vuoropäällikkö voisi mahdollisesti käyttää sitä, vaikka tämä istuikin kauempana.

Nykyinen suurkuvanäyttö on operaattoreiden mielestä aivan liian korkealla. Mikäli uusia suurkuvanäyttöjä hankitaan, ne on sijoitettava alemmas. Toisaalta valvomon vasemmassa etunurkassa oleva työpiste asettaa rajoituksia sille, miten

alas uusi näyttö voidaan sijoittaa. Turvallisuuspaneelit puolestaan rajoittavat sitä, kuinka lähelle työasemia uusi suurkuvanäyttö on mahdollista sijoittaa. Nykyinen suurkuvanäyttö on operaattoreiden mielestä aivan liian pieni. On tärkeää, että uudet näytöt ovat niin suuria kuin mahdollista, varsinkin kun ne joudutaan joka tapauksessa sijoittamaan varsin kauas operaattoreista.

### **Suurkuvanäyttöjen lukumäärä**

Kuten edellä on ollut puhetta, nykyisen turbiinipuolen suurkuvan lisäksi valvomon on operaattorien mukaan mahdollista sijoittaa vain yksi uusi suurkuvanäyttöpari. Sen lisäksi on mahdollista, että myöhemmin voidaan sijoittaa yksi näyttö sivuseinälle ja toinen valvomon etuosan oikealle puolelle nykyisen suurkuvanäytön viereen.

Osallistujat mainitsivat myös, että sähköjärjestelmien paneelit olisi ehkä mahdollista korvata suurkuvanäytöllä. He eivät kuitenkaan pohtineet tätä vaihtoehtoa enempää, sillä heidän mielestään sähköpaneelit ovat selvästi parhain tapa esittää sähköjärjestelmiä koskevaa tietoa eikä kukaan operaattoreista halua, että paneelit poistetaan.

#### **4.3.2.4 Suurkuvanäyttöjen sisältö**

Vaikka nykyvalvomon suurkuvanäytölle ei ilmeisestikään ole mitään vakiosisältöä, osallistujien mukaan muutamat vuorot pitävät sillä ainakin hälytyslistaa. Yleinen toive oli, että näytölle ”pitäisi saada mahdollisimman monenlaisia kuvia”. Suurkuvanäyttöjen sisältö on yhteydessä siihen, mihin tarkoituksiin näyttöä ajatellaan käytettävän. Vaikka ohjaustoimenpiteitä ei ensisijaisesti tehtäisikään suurkuvanäytön kautta, olisi toivottavaa, että tieto operoinneista näkyisi sillä.

Kuten edellä on ollut puhetta, operaattoreiden mielestä suurkuvanäyttö palvelisi sekä ylös- ja alasajotilanteita että häiriötilanteiden hallintaa. Suurkuvanäytön tulisi auttaa operaattoria havaitsemaan välittömästi, mikä on vialla. Osallistujat toivoivatkin, että suurkuvanäytöltä näkisi tietoa laitoksen senhetkisestä suurimmasta ongelmasta.

Operaattorit toivoivat, että he voisivat avata suurkuvanäytölle niille räätälöityjä prosessinhallintajärjestelmän näyttöjä (PMS-näyttöjä). Nykyisen turbiinipuolen suurkuvanäytön yleiskuvana voisi toimia iso prosessikuva, joka esittäisi turbiinipuolen tärkeimpien komponenttien tilatiedot ja tärkeimmät prosessiparametrit siten, että siitä näkisi heti, onko jokin komponentti käytössä vai ei. Tällaisesta näytöstä olisi hyötyä myös laitoksen ylös- ja alasajossa, mikäli siitä näkisi, missä laitoksen ylös- tai alasajosekvenssissä milläkin hetkellä ollaan. Osallistujat toivoivat vastaavia näyttöjä myös reaktoripuolen järjestelmistä.

Tällaisella yleisvalvontaan tarkoitettulla suurkuvanäytöllä tulisi esittää myös trendejä, sillä normaali prosessinvalvonta perustuu hyvin pitkälle trendien seurantaan. Trendit ovat erityisen hyödyllisiä prosessin seurannan kannalta, koska niistä nähdään jo hyvin varhaisessa vaiheessa mahdolliset muutokset ja niiden suunta.

Toisaalta koska PMS-näyttöihin pohjautuvissa suurkuvuissa ei ole esitetty turvallisuusjärjestelmiä, ne eivät sovellu varsinaiseen häiriötilanteen hallintaan. Sitä varten pitäisi kehittää omat kuvat. Myös huoltoseisokkia varten tulisi kehittää erityisesti suurkuvanäytölle tarkoitettut kuvat.

Prosessia koskevan yleiskuvan lisäksi haluttiin myös tietoa siitä, mitä operaattorit ovat kullakin hetkellä tekemässä. Tällaiset operoinnin valvontanäytöt auttaisivat ennen kaikkea VP:tä vuoron valvonnassa. Olisi tärkeää, että nämä kuvat vaihtuisivat automaattisesti, sillä operaattoreilla ei ole aikaa niitä vaihtaa. Osallistujat olivat tietoisia niistä ongelmista, joita tällaiseen automatiikkaan liittyy: järjestelmän voi esimerkiksi olla vaikea tietää, millä hetkellä kuva on vaihdettava toiseksi. Operaattorit voivat myös kokea häiritseväksi sen, että muut pääsevät seuraamaan suurkuvanäytöltä heidän toimintaansa. Kaiken kaikkiaan pidettiin kuitenkin tärkeänä, että erilaisia suurkuvanäytölle sopivia kuvia olisi paljon ja niitä voisi valita sille suhteellisen vapaasti.

Parhailtaan kehitetään ns. hälyttävää huonetilavahtia, joka näyttää, mistä laitoksen osasta hälytys tulee. Osallistujien mielestä suurkuvanäyttö soveltuisi hyvin tämän tiedon esittämiseen. Järjestelmän ei kuitenkaan haluta perustuvan kolmiulotteisiin kuviin laitoksen tiloista.

#### 4.3.2.5 Näyttöjen tekniset ominaisuudet

Kuten edellä on jo todettu, nykyvalvomon suurkuvanäyttöä pidettiin huonona monessa suhteessa. Keskeinen ongelma näytössä on, että se on liian korkealla ja myös suhteellisen kaukana operaattoreiden työasemista. Tämän vuoksi se soveltuu erityisen huonosti operointiin. Sekä TrT että VP pystyvät kuitenkin lukemaan suurkuvanäytöllä olevaa tietoa, mikäli näyttöä ei ole jaettu neljään osaan.

KOMMENTTI: ”Voi siitä sellaisen hätäoperoinnin tehdä mutta ei mitään jatkuvasti, ei kenenkään niskat kestä sitä...”

Uusien suurkuvanäyttöjen sijoittelua, sisältöjä ja esitystapaa mietittäessä tulee ottaa oppia aiemmin tehdyistä virheistä. Myös itse suurkuvanäyttö saisi olla teknisiltä ominaisuuksiltaan parempi.

KOMMENTTI: ”...sen pitäisi olla kunnollinen eikä semmoinen, minkä halvimalla saa...”

#### 4.3.2.6 Tiedon esittäminen suurkuvanäytöllä

Osallistujien mielestä nykyiset prosessitietokonenäytöt ovat hyvä lähtökohta suurkuvanäyttöjen suunnittelulle. Sen sijaan Siemensin TXP-järjestelmän näyttökuvissa ei ole esitetty kaikkia olennaisia parametrejä, joten se ei sovellu turbiinipuolen yleisnäytön pohjaksi. Hyvä esimerkki onnistuneesta ratkaisusta on edellä mainittu insinööriopiskelijan harjoitustyönään tekemä turbiinipuolen

yleisnäyttö, joka pohjautuu PMS-näyttöille. Kyseiseen näyttökuvaan on kerätty kaikki sellaiset komponentit yksittäisten järjestelmien kuvista, joita koskevia tietoja TrT saattaa häiriötilanteessa tarvita. Osallistujien mukaan näyttökuva on selkeä ja siinä on juuri sopiva määrä informaatiota.

Suurkuvanäytön prosessikuvien tulisi siis noudattaa PMS-näyttöjen esitystapaa. Nykyisten PMS-näyttöjen ongelmana on se, että niissä on liikaa informaatiota eikä niitä voi sellaisenaan suurentaa suurkuvanäytölle. Näyttökuvat olisivat erikseen räätälöitävä suurkuvanäyttöä varten.

Osallistujien mielestä uusien informaationesitystapojen (EID, *Information Rich*) kehittäminen on järkevää. Esimerkiksi *Information Rich* -konseptiin perustuvat näytöt voivat hyödyllisiä, jos ne auttavat operaattoreita havaitsemaan pienistä muutoksista, mikä on menossa vikaan. Tällaisista näytöistä on kuitenkin hyötyä vain normaalissa tehoajossa – häiriötilanteessa niistä ei ole apua, koska silloin tietoa poikkeamista on esillä muillakin näytöillä.

#### 4.3.2.7 Suurkuvanäyttöjen ohjaus ja hallinnointi

Osallistajat toivoivat, että häiriötilanteissa suurkuvanäyttöjen sisältö muuttuisi automaattisesti: jos esimerkiksi tulisi johonkin parametriin liittyvä hälytys, järjestelmä esittäisi automaattisesti sopivan näytön. Osallistujien mukaan Olkiluodossa ei toistaiseksi ole vakiintuneita käytäntöjä sen suhteen, miten suurkuvanäyttöä tulisi käyttää. Nykyisen suurkuvanäytön hallinnoinnista vastaa TrT. Jos VP haluaa näytölle tietyn kuvan, hän voi pyytää TrT:tä vaihtamaan sen tai tehdä sen itse. Käytäntö on operaattoreiden mielestä toiminut hyvin. Heistä on tärkeää, että jatkossakin on vain yksi paikka, josta suurkuvanäyttöä voi operoida, ts. vain yhdellä operaattorilla on mahdollisuus vaihtaa tietyn näytön sisältö toiseen. Toisaalta operaattorit eivät myöskään halua, että he joutuvat pyytämään lupaa ”päälliköltä” suurkuvanäyttöjen sisältöjen vaihtamiseen.

### 4.3.3 Suurkuva-workshop VTT:llä (1.10.2007)

VTT:llä pidetty työpaja jakaantui kahteen osaan. Ensin pidettiin kaksi esitelmää suurkuvien roolista valvomoissa ja uusista näyttökonsepteista, ja sen jälkeen osallistajat miettivät ryhmissä keskeisimpiä suurkuvanäyttöjä koskevia tutkimuskysymyksiä. Seuraavassa keskitytään lähinnä ryhmätyöosuuteen, koska se täydentää yllä esitellyistä työpajoista saatuja tietoja. Ryhmät erotellaan seuraavassa kirjaimin A, B ja C.

Ryhmä A:n mukaan suurkuvanäyttöä voidaan hyödyntää ylös- ja alasajotilanteen sekä seisokitilanteen hallinnassa. Näytöillä voisi esittää erotukset sekä informaatiota, joka helpottaa ja tukee TTKE-ehtojen valvontaa. Suurkuvanäyttöä voitaisiin hyödyntää myös onnettomuustilanteiden hallinnassa tiettyjen turvakomponenttien tilan seuraamisessa. Tällaisen tiedon esittämisessä voisi hyödyntää *Information Rich* -konseptin periaatteita, esimerkiksi *Dull Screen* -periaatetta,

helpottamaan muutoksen nopeaa havaitsemista. Kyse olisi muokatusta tiedosta, jonka avulla saataisiin välittömästi tieto esimerkiksi siitä, jos jokin parametrin arvo yllättäen muuttuisi. Tällainen näyttö voisi ryhmän mielestä olla eräänlainen ”valvonnan herätetyökalu”, joka palvelisi ensisijaisesti vuoropääällikköä. Esimerkkinä mainittiin hätäjähdytysketju, johon kuuluisivat sähkönsyötöt, pumppujen tilat sekä virtaukset. Ryhmän mielestä suurkuvanäyttö saattaisi tukea myös ohjeiden käyttöä.

Ryhmä B:n keskeisenä toiveena oli ns. suurkuvakonseptin kehittäminen. Konseptin tulisi sisältää tietoa siitä, miten suurkuvanäyttöä käytetään laitoksen eri käyttötilanteissa (normaali tehoajo, häiriötilanteet, alas- ja ylösajo, huoltoseisokki), ketkä sitä käyttävät ja mikä kunkin näytön rooli on.

Toinen keskeinen kysymys liittyy suurkuvanäytön hallintaan ja sen käyttötapoihin: kuka hallitsee kutakin suurkuvanäyttöä, kuinka monta hiirtä ohjaukseen tarvitaan ja kuka niistä vastaa? Suurkuvanäytön hallintaan liittyy myös kysymys ikkunoiden hallinnasta: miten ikkunointiin suhtaudutaan, miten sitä säädellään ja kuka valvoo tietyn näytön ikkunointia?

Ryhmän mielestä on myös ratkaistava, miten hälytyksiä koskeva tieto esitetään suurkuvanäytöillä ja mikä rooli niillä on laitoksen hälytyskonseptissa. Pitää selvittää, miten esimerkiksi prosessihälytyksiä, johdettuja hälytyksiä ja ns. avainhälytyksiä näytöillä esitetään.

Suurkuvanäytön keskeisenä tehtävänä on tukea operaattoreiden tilannetietoisuutta. Ryhmän mielestä on tärkeää miettiä, miten tämä toteutetaan: Mitä suurkuvanäytöillä esitetään? Millä tavalla näytöt valitaan? Ryhmä pohti myös sitä, voisiko ns. käyttäystoiminto muodostua ongelmaksi: missä määrin käyttäjiä häiritsee, jos muut pääsevät seuraamaan heidän toimintaansa? Entä miten operaattoreiden yhteistoimintaan vaikuttaa, jos joku voi ”kaapata” heidän näyttökuviaan tai peittää niitä omillaan? Myös erilaiset turvallisuusongelmat on ryhmän mielestä syytä muistaa. Tämä on tärkeää varsinkin silloin, jos suurkuvanäytölle on mahdollista siirtää tietoa eri järjestelmistä.

Myös ryhmä C korosti suurkuvakonseptin tärkeyttä ja sitä, mikä on suurkuvien rooli koko laitoksen valvontafilosofiassa ja valvomokonseptissa ylipäätään. Heidän mielestään olisi selvitettävä, mitä tehtäviä suurkuvanäytöillä voisi olla sen lisäksi, että ne tukevat prosessinvalvontaa ja -ohjausta. Valvomoon tarvitaan esimerkiksi kuvallista informaatiota laitoksen järjestelmien tiloista, ja suurkuvanäytöistä voisi olla apua laitoksen tilojen valvonnassa – esimerkiksi vuotojen ja ilmastoinnin valvonnassa sekä palovalvonnassa. Ryhmän mielestä ei pidä myöskään unohtaa sitä, että valvomohenkilökunta toimii yhteistyössä laitoksen muun henkilökunnan kanssa. Suurkuvanäytöt voisivat tukea tätä yhteistoimintaa. Toisaalta suurkuvanäytöt voisivat palvella myös ensisijaisesti valvomon ulkopuolista henkilökuntaa. Niistä voisi olla onnettomuustilanteissa hyötyä esimerkiksi ns. valmiuskeskuksessa tai operoinnin tukikeskuksessa. Lisäksi ne voivat toimia teknisen tuen välineinä laitoksen huoltoa ja kunnossapitoa suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Ryhmän mielestä myös interaktiiviset *Smartboard*-tyyppiset suurkuvanäytöt voisivat olla avuksi ongelmanratkaisutilanteissa, esimerkiksi kun vuoro yhdessä

koettaa löytää ratkaisua tiettyyn ongelmaan. Fortumin kehityssimulaattorilla suurkuvanäyttöjä on tässä tarkoituksessa hyödynnettykin, ja kokemukset ovat olleet positiivisia.

Myös tämän ryhmän mielestä suurkuvanäyttöjä voisi hyödyntää ohjeiden esittämässä. Niillä voisi esittää esimerkiksi informaatiota, joka tukisi ohjeen käyttöä. Näytöistä voisi olla hyötyä esimerkiksi laitoksen ylös- ja alasajotilanteissa, ja niitä voisi käyttää myös onnettomuustilanteissa hätätilanne- ja häiriöohjeiden tukena. Lisäksi suurkuvanäyttöjä voisi hyödyntää operaattorikoulutuksessa koulutussimulaattorilla.

Ryhmän mukaan laitosten henkilökunnan voi olla vaikea osallistua suurkuvanäyttöjen suunnitteluun, koska sillä on toistaiseksi niistä melko vähän kokemusta. Ryhmän mielestä olisikin syytä selvittää, minkälaisia kokemuksia suurkuvanäytöistä on muiden maiden voimalaitoksilla.

##### 4.3.3.1 Yleiskeskustelu

Yleiskeskustelussa nousi esiin muutamia kysymyksiä. Sitä, voidaanko suurkuvanäytöiltä tehdä ohjauksia, ei pidetty kovin tärkeänä. Ei nimittäin ole kovin selvää rajaa sen välillä, ohjataanko prosessia suurkuvanäytöltä vai henkilökohdaisen työaseman kautta. Ohjaustoimenpide voidaan esittää suurkuvanäytöllä, vaikka operoiva ohjaaja ei sitä katsoisikaan ohjausta tehdessään.

Keskustelijat pohtivat myös sitä, voivatko suurkuvat yksin olla ratkaisu digitaalisen valvomon ongelmiin vai voisiko niihin löytyä suurkuvanäyttöä parempia ratkaisuja. Suurkuvakonseptia mietittäessä tulee muistaa, että näyttöjen rooli on todennäköisesti erilainen erityyppisissä valvomoissa. Esimerkiksi ns. perinteisessä analogiseen tekniikkaan perustuvassa valvomossa yleisnäytöillä on toisenlainen funktio kuin digitaaliseen tekniikkaan ja näyttöpäätteisiin perustuvassa valvomossa. Erilaisissa hybridiratkaisuissa suurkuvanäyttöjen rooli saattaa vaihdella myös sen mukaan, mikä on analogisen ja digitaalisen tekniikan osuus. Suurkuvanäyttöjen rooli on siten varmasti erilainen myös Loviisassa ja Olkiluodossa – osittain sen vuoksi, että turva-automaation käyttöliittymät ovat erilaisia.

## 4.4 Johtopäätökset

### 4.4.1 Yleistä

Molemmilla laitoksilla oltiin sitä mieltä, että suurkuvanäytöt ovat välttämättömiä digitaalisessa valvomossa yleiskuvan saamiseksi. Operaattorit toivovat, että he saisivat suurkuvien kautta tai niiden avulla ”vanhan valvomon takaisin”. Tämä edellyttää, että suurkuvanäytöillä esitettäisiin sama informaatio kuin paneeleilla. Ei kuitenkaan ole tarpeen kopioida paneelien rakennetta suurkuville sellaisenaan. Suurkuvanäyttöjen kuvien ei myöskään pidä olla kopioita PTK-näyttökuvista. Lähtökohtana tulee olla yksinkertaistettu prosessikaavio, jossa näkyvät peruspa-



rametrit, tärkeimmät trendit sekä hälytykset. Parhaimmillaan suurkuvanäytöt ovatkin jonkinlainen paneelien ja PTK-näyttöjen synteesi. Osallistujat olivat myös sitä mieltä, että kaiken informaation ei tarvitse olla kaiken aikaa näkyvillä vaan se voidaan hakea esiin, kun sitä tarvitaan.

Yleisesti oltiin sitä mieltä, että suurkuvanäyttöjen tulisi palvella kaikkia operaattoreita. Toisaalta koska valvomossa on usein muitakin henkilöitä, jotka tarvitsevat yleiskuvaa prosessista, näytöt voisivat palvella myös näitä henkilöitä. Vuoropäällikön ja suurkuvanäytön suhde on erilainen kuin muiden operaattoreiden. Suurkuvanäyttö auttaa VP:tä hahmottamaan yleiskuvan prosessista ja sitä, mitä operaattorit tekevät; ReM ja TrT taas käyttävät sitä valvonnan ja operoinnin tukena hakemalla sinne lisäinformaatiota, joka ei ehkä mahdu henkilökohtaisen työaseman näytöille. Yleisesti oltiin sitä mieltä, että ohjauksia ei pidä tehdä pelkästään suurkuvan kautta, mutta työasemilta tehtävät operoinnit voivat näkyä suurkuvanäytöllä.

Tärkeänä pidettiin sitä, että eri tietojärjestelmät voivat keskustella keskenään, jolloin suurkuvanäytöille saadaan kussakin tilanteessa juuri se tieto, mitä tarvitaan – riippumatta siitä, mistä järjestelmästä tieto on peräisin. Osallistujat tosin epäilivät, onko ylipäätään mahdollista, että tietyllä suurkuvanäytöllä voisi samanaikaisesti esittää sekä automaatiojärjestelmästä että muista järjestelmistä tulevaa tietoa.

Osallistujat epäilivät myös sitä, voiko lopputuloksesta tulla hyvä, kun uutta valvomoa ja suurkuvanäyttökokonaisuutta rakennetaan ja laajennetaan vähitellen. Suunnittelun tulisi olla iteratiivista, ja erilaisia vaihtoehtoja pitäisi päästä kokeilemaan ja testaamaan. Myös suunnittelijoiden ja operaattoreiden yhteistyötä pidettiin tärkeänä näyttöjä suunniteltaessa, jotta loppukäyttäjien näkemykset tulevat riittävässä määrin huomioiduiksi.

#### **4.4.2 Suurkuvanäytön määrittely**

Laitoksilla pidetyissä palavereissa ei juurikaan pohdittu sitä, mitä suurkuvanäytöllä tarkoitetaan. Tämä saattoi johtua siitä, että suurkuvanäyttö oli määritelty pienryhmäkeskustelua edeltävässä luennossa. Kaikilla osallistujilla oli ilmeisesti siten varsin samanlainen näkemys asiasta. Suunnittelijoille pidetyssä palaverissa tästä keskusteltiin jonkin verran ja keskustelussa tuotiin esille, että suurkuvanäytön määrittely on pitkälti laitetekninen asia. Tässä raportissa suurkuvanäytöillä tarkoitetaan suurikokoisia, erilaisille pinnoille heijastettavia näyttöjä tai useista pienistä nestekidenäytöistä rakentuvia kokonaisuuksia, joilla esitettävää tietoa useat käyttäjät voivat seurata samanaikaisesti ja joiden sisältöä voidaan vaihtaa ja muokata esimerkiksi hiiren avulla (ks. luku 3; Laarni, 2007).

### 4.4.3 Suurkuvakonseptin kehittäminen

Keskeisenä tehtävänä pidettiin suurkuvakonseptin laatimista. Loviisan ja Olkiluodon palaverissa oltiin yhtä mieltä siitä, että suurkuvanäyttöjen tulisi palvella kaikkia operaattoreita kaikissa keskeisissä laitostilanteissa. Jotta suurkuvanäyttö voisi palvella kaikkia operaattoreita, näyttöjä pitäisi olla riittävä määrä ja niiden sisällöt pitäisi räätälöidä vastaamaan kunkin operaattorin tarpeisiin. Jotta suurkuvanäytöt voisivat olla avuksi eri laitostilanteissa, tarvitaan eri käyttötilanteisiin omia, varta vasten kyseisiin käyttötilanteisiin kehiteltyjä näyttöjä.

Sen sijaan keskustelijat olivat eri mieltä siitä, mitä muita funktioita suurkuvanäytöillä mahdollisesti olisi. Ei ole esimerkiksi selvää, pitäisikö niillä esittää – ja ennen kaikkea onko niillä mahdollista esittää – laitostietojärjestelmään kuuluvaa tietoa, koulutusmateriaalia tai kamerakuvaa valvomon ulkopuolelta. Tähän liittyy se, pitäisikö suurkuvien palvella myös muuta henkilökuntaa ja tarvitaanko niitä laitoksen muissa valvomotiloissa.

### 4.4.4 Suurkuvanäyttöjen hyödyt

Keskustelijoiden mukaan suurkuvanäytöt voivat parantaa yksittäisen operaattorin tai koko tiimin tilannetietoisuutta, mikäli ne tarjoavat yleiskuvan prosessista sekä auttavat operaattoreita hahmottamaan, mitä muut ovat tekemässä. Yleiskuva mahdollistaa jonkinlaisen kokonaisnäkemyksen prosessin tilasta sekä antaa tietoa siitä, miten prosessi on kehittymässä. Häiriötilanteessa sen tulee antaa operaattoreille tietoa siitä, mitä on tapahtunut ja missä järjestelmässä. Suurkuvanäytön tulisi välittää tietoa, joka mahdollistaa jonkinlaisen näppituntuman eli pitkälti tiedostamattoman käsityksen prosessin tilasta. Normaalitylanteessa tämä käsitys ei välttämättä tule ilmi: vasta, kun jotakin odottamatonta tapahtuu, operaattorin toimintatapaa analysoimalla voidaan selvittää, oliko hänellä prosessista hyvä tilannekuva vai ei.

**KOMMENTTI:** ”Yleiskuva tulee siten että sä olet valinnut ne osanäytöt useammalle näytölle ja näet ne yhtä aikaa, siitä se yleiskuva syntyy...”

Tilannekuva edellyttää, että järjestelmä tarjoaa prosessista hyvän yleiskuvan. Siihen, minkälainen tuon yleiskuvan tulisi olla, eivät keskustelut anna selvää vastausta. Toisaalta korostetaan sitä, että näytöillä pitäisi esittää kaikki, mikä esitetään tällä hetkellä paneeleillakin, ja ettei mitään saisi jättää pois; toisaalta sitä, että näytöillä tulisi esittää pelkistettynä se, mitä esitetään yksityiskohtaisemmin paneeleilla tai työasemanäytöillä. Suurkuvanäytöillä ei siis tulisi esittää kaikkea tietoa vaan ainoastaan olennaiset asiat. Kenties ne, jotka edustavat ensin mainittua kantaa, haluavat, että suurkuvanäytöt auttavat paikallistamaan tapahtumat ja häiriöt yhtä tehokkaasti kuin nykyiset paneelit. Operaattori tietää, mikä on mennyt vikaan sen perusteella, mistä hälytys tulee. Jälkimmäistä kantaa edus-

tavat taas ehkä ajattelevat, että ammattitaitoinen operaattori pystyy muokatunkin tiedon perusteella nopeasti päättelemään, mikä on mennyt vikaan.

Suurkuvanäyttöjen tulisi keskustelijoiden mukaan myös auttaa hahmottamaan, mitä muut operaattorit ovat tekemässä. Suurkuvanäytöllä näkyisi siis sama ope- rointi-ikkuna kuin työasemanäytölläkin tai sen kautta muuten välittyisi tieto siitä, että joku operoi parhaillaan tiettyä laitetta. Keskustelijat pitivät tätä tärkeänä asiana. Epäselväksi sen sijaan jäi, miten tämä voitaisiin toteuttaa niin, että suurkuvanäy- töllä räpsyvät ikkunat eivät veisi operaattoreiden huomiota liikaa ja häiritsisi heidän työskentelyään.

#### 4.4.5 Suurkuvanäyttöjen hallinta ja käyttö

Osallistujilla näytti olevan erilaisia näkemyksiä siitä, mikä on suurkuvanäytön perimmäinen tehtävä. Käsitykset siitä, mihin suurkuvanäyttöjä tulisi käyttää, vaihtelivat sen mukaan, mikä niiden perimmäiseksi funktioksi katsottiin. Esi- merkiksi jos näytön pitää välittää yleiskuva prosessista kaikille operaattoreille, sen sisällön on pysyttävä kaiken aikaa samana; jos taas sen funktiona on auttaa operaattoreita häiriötilanteissa hahmottamaan, mikä on mennyt vikaan ja mitä tulee tehdä, sen sisällön on muututtava tilanteen mukaan. Suurkuvanäyttöihin kohdistuu siis monenlaisia ja osin ristiriitaisiakin odotuksia. On selvää, että ne eivät voi täyttää kaikkia näitä odotuksia, joten on selvitettävä, mikä on tärkeintä ja mikä epäolennaisempaa.

Yksimielisiä oltiin siitä, että operaattoreiden tulee voida vaikuttaa siihen, mitä suurkuvanäytöllä esitetään. Tällä tarkoitettiin lähinnä sitä, että operaattorit voivat vaihtaa tietyn näytön toiseksi, mikäli he näkevät sen tarpeelliseksi. Muutamat epäilivät, että tätä ei ehkä sallita vaan hallinnollisilla päätöksillä määrätään, mitä suurkuvanäytöllä esitetään. Toisaalta keskustelijat myös toivoivat, että suurku- vanäyttöjen sisältöjä ja niiden käyttöä säädeltäisiin, jotta ei päädyttäisi täyteen kaokseen.

Osallistajat toivoivat, että osa näytöistä olisi kiinteitä eli niiden kuvat pysyisi- vät samoina niin kauan kun laitostilanne pysyisi samana; ns. operaattorien henki- lökohtaisista suurkuvanäytöistä ja niiden sisällöistä vastaisivat kuitenkin ope- raattorit itse. Yleinen näkemys näyttäisi siis olevan, että mikäli suurkuvanäyttöjä on riittävästi, jokainen operaattori voisi osallistua niiden hallintaan siten, että kukin operaattoreista vastaisi omista näytöistään.

Lisäksi toivottiin, että ainakin ns. yleisnäyttöjen sisältö voisi vaihtua häiriöti- lanteissa automaattisesti. Myös operaattorien ohjausnäyttö voisi ilmestyä esiin tai päivittyä automaattisesti, kun operaattori olisi ohjaamassa tiettyä laitetta. Näyttökuvien automaattiseen vaihtumiseen liittyy kuitenkin monia ongelmia. Jos kuvat vaihtuvat yllättäen itsestään, operaattoreiden voi olla vaikeampi hahmottaa prosessin kunkin hetkistä tilaa.

Se, voidaanko suurkuvanäytöllä tehdä ohjauksia vai ei, riippuu siitä, onko suurkuvanäyttö ensisijainen ja ainoa paikka, jossa ohjausta koskeva tieto (ts.

ohjausikkuna) näkyy vai näkyykö se samanaikaisesti myös pöytänäytöllä. Yleinen näkemys on, että ohjaukset tulee tehdä ensisijaisesti oman työaseman kautta saatavan tiedon avulla. On kuitenkin yhteisen tilannetietoisuuden kannalta hyvä asia, jos tieto ohjauksesta näkyy myös suurkuvanäytöllä.

#### **4.4.6 Suurkuvanäyttöjen sijoittelu ja valvomo-layout**

Osallistujia pyydettiin piirtämään kuva digitaalisesta valvomosta suurkuvanäyttöineen. Loviisan ja Olkiluodon ratkaisut erosivat varsin paljon toisistaan. Tähän löytyy monta syytä: Ensinnäkin valvomouudistus etenee näillä laitoksilla eri tavoin, ja myös itse valvomotila on erilainen. Toiseksi suurkuvanäyttö on ollut käytössä Olkiluodossa pitempään kuin Loviisassa.

Vaikka Loviisan valvomotila asettaa rajoituksia suurkuvanäyttöjen sijoittelulle, Olkiluodon valvomossa rajoituksia näyttää olevan paljon enemmän. Nämä erot vaikuttivat arvioihin muun muassa siitä, kuinka monta suurkuvanäyttöä valvomoon mahtuu ja millä tavoin ne voidaan sinne sijoittaa. Kaiken kaikkiaan operaattoreiden mielestä suurkuvanäyttöjen sijoittelumahdollisuudet ovat usein rajalliset.

Herääkin kysymys, sitovatko aiemmin tehdyt ratkaisut suunnittelijoiden kädet todella näin vahvasti. Valvomo-layoutia koskevissa keskusteluissa tuli esiin mielenkiintoisia uusia ratkaisuehdotuksia, ja keskustelijat suhtautuivat ennakkoluulottomasti heille esitettyihin uudensuunnitelluihin layout-ideoihin ja pitivät monia niistä varteenotettavina vaihtoehtoina.

#### **4.4.7 Suurkuvanäyttöjen sisältö**

Kovin yhtenäistä käsitystä ei muodostunut siitä, mitä suurkuvanäytöillä pitäisi esittää. Keskustelijoilla oli runsaasti ehdotuksia siitä mitä suurkuvanäytöllä pitäisi esittää. Osa keskustelijoista halusi, että suurkuvanäytöllä esitettäisiin tietynlaista informaatiota (esim. kamerakuvaa laitokselta); osa taas oli sitä mieltä, että sen kaltaista informaatiota ei missään tapauksessa tulisi suurkuvanäytöllä esittää. Useimmat toivoivat, että kaikille yhteisellä ns. yleisnäytöllä esitettäisiin primääri- ja turbiinipuolen tärkeimmät prosessiparametrit normaaliajotilanteessa. Kaikki olivat yksimielisiä siitä, että eri laitostilanteita varten tarvitaan omat suurkuvat. Seisokkinäyttöjen suunnittelua pidettiin haastavana tehtävänä, koska näissä kuvissa olisi esitettävä muutakin kuin automaatiojärjestelmästä saatavaa tietoa, ja sitä voi olla vaikea toteuttaa.

#### **4.4.8 Tiedon esittäminen suurkuvanäytöillä**

Lähes yksimielisiä oltiin siitä, että suurkuvanäytöillä tulee esittää vain niille erikseen suunniteltuja näyttökuvia. Suurkuvanäyttöille ei siis pidä vain kopioida työasemanäyttöjen kuvia, vaan ne tulee muokata niin, että ne soveltuvat esittä-

viksi isolla näytöllä. Tämä muokkaus voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että suurkuva-näytöllä esitetään yksinkertaistettu versio pöytänäytön kuvasta tai olennaista tietoa korostetaan esimerkiksi värin avulla tai muuttamalla olennaisen asian taustaväriä. Se, mitä muuta räätälöinti voisi tarkoittaa, ei keskusteluissa oikein selvinnyt. Ns. *Information Rich* -konseptia ja sen hyödyntämistä suurkuvanäyttöjen suunnittelussa ei juurikaan kommentoitu. Konseptia kyllä esiteltiin luennoilla, mutta ehkä sen sisältö oli jäänyt epäselväksi. Yksi osallistuja kuitenkin totesi, että kyseinen konsepti ei sovellu ydinvoimalaitoksen valvomon näyttöjen suunnitteluun.

#### **4.4.9 Suurkuvanäyttöjen suunnittelu**

Suurkuvanäyttöjen suunnittelua pidettiin haastavana ja vaikeana tehtävänä. Osa keskustelijoista vähätteli omaa rooliaan ja vaikutusmahdollisuuksiaan: koska heillä on vain vähän kokemusta suurkuvanäytöistä, heidän on vaikea sanoa, mihin ne soveltuisivat parhaiten tai mitä niillä tulisi esittää ja miten. Osa oli myös sitä mieltä, että heidän mielipiteillään ei olisi kuitenkaan mitään arvoa.

Yksimielisiä oltiin kuitenkin siitä, että operaattoreiden mielipidettä olisi kuunneltava ja kokeneiden ja/tai ennakkoluulottomasti uusiin teknisiin ratkaisuihin suhtautuvien operaattoreiden tulisi osallistua näyttöjen suunnitteluun.

Keskusteluissa käsiteltiin myös yleisemmin uuden digitaalisen työasemapohjaisen valvomon konseptia sekä niitä ongelmia, mitä tällaisen valvomon kehittämiseen liittyy. Osallistujien mielestä suurkuva on (vain) pieni osa koko käyttöliittymää. Toisaalta operaattorit tarvitsevat digitaalisessa valvomossa tiettyjä tietoja (esim. voidakseen muodostaa yleiskuvan prosessin tilasta). Se, esitetäänkö tämä tieto suurkuva- vai pöytänäytöllä riippuu muun muassa siitä, tarvitseeko tietoa vain yksi operaattori vai onko siitä hyötyä useammalle operaattorille.

#### **4.4.10 Suunnittelutyöpajojen toteutuksen arviointi**

Kaiken kaikkiaan suunnittelutyöpajat onnistuivat erittäin hyvin, ja ne tuottivat runsaasti suunnittelua hyödyttävää materiaalia. Työpajojen alussa pidetyt luennot olivat hyödyllisiä, ja ne ilmeisesti tarjosivat uusia näkökulmia, joita sitten pienryhmissä käsiteltiin. Positiivista oli myös se, että työryhmiin osallistui eri henkilöstöryhmien edustajia (suunnittelijoita, operaattoreita ja kouluttajia).

Osallistujien oli välillä vaikeaa irrottautua nykyisen valvomon asettamista rajoituksista ja pohtia kokonaan uudenlaisia ratkaisuja. He myös epäilivät, ettei heidän mielipiteillään ja suunnitelmillaan olisi mitään merkitystä eikä niitä otettaisi huomioon, mikä saattoi laskea motivaatiota. Instruktiossa olisikin voinut pyytää osallistujia miettimään nimenomaan ratkaisuja, jotka eivät välttämättä ole vielä toteutettavissa. Erityistä huomiota osallistuvan suunnittelun menetelmän kehittämisessä onkin jatkossa kiinnitettävä siihen, miten saada osallistujat innostumaan niin, että he uskaltavat esittää rohkeampia ideoita.

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset

Taulukko 8. Keskeisiä suurkuvanäyttöjen suunnitteluun liittyviä kysymyksiä (luku 2; Laarni, 2007; NUREG-0700, 2002).

Mihin tehtäviin näyttöjä tarvitaan?
Mitä informaatiota näytöillä pitäisi esittää?
Kuinka tärkeää tämä tieto on?
Kuinka usein käyttäjä tarvitsee tätä tietoa?
Onko kyseinen informaatio staattista vai dynaamista?
Miten näytöt sijoittuvat valvomotiilaan?
Minkälaiset ovat valvomotilan valaistus- ym. olosuhteet?
Millä tarkkuudella informaatio esitetään?
Miten suurkuvanäyttöjä käytetään yhdessä muiden näyttöjen kanssa?
Minkälainen on käyttäjän vuorovaikutus suurkuvanäyttöjen kanssa?
Miten näytöt reagoivat käyttäjän toimenpiteisiin?
Miten niitä ylläpidetään?
Miten käyttäjien ominaisuudet otetaan huomioon näyttöjen suunnittelussa?

Pienryhmätyöskentelyyn varattu aika oli varsin lyhyt, mutta se näytti riittävän tässä vaiheessa varsin hyvin, sillä näissä ensimmäisissä työpajoissa keskusteltiin suurkuvanäytöistä vielä varsin yleisellä tasolla. Jatkossa on pidettävä huolta siitä, että keskustelu syvenee ja laajenee niin, että saadaan konkreettisia ehdotuksia yksittäisten näyttöjen sisällöistä. Tarkoitus onkin järjestää toinen työpajakierros, josta toivottavasti saadaan kommentteja tutkijoiden työpajojen pohjalta laatimasta konseptista sekä päästään suunnittelemaan eri tehtäviin tarkoitettujen suurkuvanäyttöjen sisältöjä.

### 4.5 Suurkuvakonseptin perusjäsenitys

Suurkuvakonsepti on kuvaus siitä, mihin tehtäviin suurkuvanäyttöjä käytetään missäkin laitostilanteessa, keitä ne palvelevat, minkälainen on niiden käyttötapa ja mitä niillä esitetään. Suurkuvakonseptia onkin tarkasteltava yleisemmän valvomokonseptin osana. Taulukossa 8 esitetään keskeisiä kysymyksiä, joihin suurkuvanäyttöjen suunnittelussa on pyrittävä vastaamaan.

Käsityksemme mukaan tärkeintä olisi miettiä, mikä funktio tai rooli suurkuvanäytöillä valvomossa on, miten niitä käytetään (*käyttötapa*) sekä mitä niillä esitetään (*informaatio sisältö*). Lisäksi on otettava huomioon, että laitoksen eri tiloissa suurkuvanäytöillä on mahdollisesti erilainen rooli. Laitostilasta ja suurkuvanäytön roolista taas riippuu, miten näyttöjä käytetään ja mitä niillä esitetään. Alustava suurkuvakonseptin jäsenitys on esitetty liitteessä F (ks. myös kuvat 13–18).

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset

Perusjäsenitys auttaa suunnittelijaa kiinnittämään huomiota niihin kysymyksiin, jotka hänen on otettava suunnittelussa huomioon ja joihin suunnitelmien olisi annettava vastaus. Perusjäsenitys helpottaa myös toteutettujen ratkaisujen ja esitettyjen näyttökonseptien arviointia. Käyttäjiä voidaan esimerkiksi pyytää arvioimaan liitteessä F olevaa taulukkoa apuna käyttäen sitä, minkälaisia ominaisuuksia valvomon suurkuvanäytöillä tulisi olla, ja toisaalta sitä, minkälainen toteutettu ratkaisu ominaisuuksiltaan on. Esitettyä jäsenitystä on tarkoitus testata ja kehittää edelleen O'PRACTICE-hankkeen suurkuvanäyttöihin liittyvissä jatkotutkimuksissa.

Työpajojen tulokset viittaavat siihen, että suurkuvanäytöillä on neljä keskeistä roolia ydinvoimalaitosten valvomoissa (ks. myös Roth ym., 1998): Ensinnäkin ne välittävät yleiskuvan prosessin tilasta siten, että henkilökunta saa yhdellä silmäyksellä käsityksen, mikä prosessin tila on laitoksen eri käyttötiloissa (esim. tehokäytössä, käynnistystilassa ja polttoaineenvaihtotilassa). Toiseksi näytöt tukevat operaattorien tilannetietoisuutta eli tietoisuutta laitoksen kunkin hetkisestä käyttötilasta, tapahtuvista muutoksista sekä meneillään olevien tehtävien tilasta (Roth ym., 1998). Kolmanneksi ne tukevat muutosten (erityisesti häiriöiden) havaitsemista. Vaikka tilannetietoisuuteen kuuluu tietoisuus laitoksen tilan muutoksista, olemme kuitenkin erottaneet muutosten havaitsemisen omaksi kohdaksi, koska osallistujat korostivat sen tärkeyttä. Suurkuvanäyttöjen neljäs keskeinen tehtävä on tukea operaattorien yhteistoimintaa, yhteistyötä ja toiminnan koordinoimista.

##### 4.5.1 Käyttötapa

Kirjallisuuden ja työpajan keskustelujen pohjalta olemme erottaneet neljä keskeistä suurkuvanäyttöjen käyttötapaan liittyvää tekijää. Nämä tekijät ovat *vastuunjako*, *vuorovaikutteisuus*, *integroituvuus* ja *yhteistoiminnallisuus*. Kutakin tekijää voidaan puolestaan luonnehtia yhden tai useamman käsitteparin avulla.



Kuva 12. Suurkuvakonseptin perusjäsenitys: vastuunjako.

Vastuunjaossa on kysymys siitä, miten suurkuvanäyttöjen hallintaa ja ylläpitoa koskeva vastuu on jaettu henkilökunnan kesken (kuva 12). Vastuu voi olla keskitettyä, jolloin yksi henkilö (esim. VP) vastaa siitä, mitä kuvia näytöillä esitetään. Toisaalta vastuu voi olla jaettu, jolloin kukin operaattori vastaa tietystä suurkuvanäyttökokonaisuuden lohkoista. Myös suurkuvanäyttökuvien suunnitteluvastuu voi olla eri tavoin keskitetty tai hajautettu: näyttöjen suunnittelusta voi

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset

vastata esimerkiksi pari suunnittelijaa tai suunnittelutiimi, johon kuuluu niin suunnittelijoiden kuin käyttöhenkilökunnankin edustajia.



Kuva 13. Suurkuvakonseptin perusjäsenitys: vuorovaikuteisuus.

Vuorovaikuteisuudella järjestelmän kanssa tarkoitetaan sitä, minkälaista käyttäjien vuorovaikutus suurkuvanäyttöjen kanssa on luonteeltaan (kuva 13). Toisena ääripäänä on vaihtoehto, jossa käyttäjän vuorovaikutus suurkuvanäytön kanssa on monipuolista. Hän voi vaikuttaa sen sisältöihin esimerkiksi avaamalla uusia näyttökuvia tai ikkunoita näytölle, siirtämällä tietoa henkilökohtaiselta työasemalta suurkuvanäytölle tai päinvastoin, vierittämällä listoja tai suurentamalla kuvaa. Toisaalta suurkuvanäyttö voi olla pelkästään kuvien katseluun tarkoitettu ”näyttöalusta”, jolloin operaattorit eivät voi vaikuttaa sen sisältöihin. Toinen vuorovaikuteisuuteen liittyvä kysymys on, valitaanko näyttöjen sisällöt manuaalisesti vai automaattisesti. On mahdollista, että operaattori valitsee itse, mitä ja miten tietoa suurkuvanäytöllä esitetään. Toinen vaihtoehto on, että operaattorin toimenpiteistä välittyy tieto suurkuvanäytölle, mutta tämä tapahtuu automaattisesti ilman, että operaattorin tarvitsee itse tehdä mitään. Myös prosessia koskeva tieto voi välittyä suurkuvanäytölle automaattisesti; toisaalta on mahdollista, että operaattorin on itse haettava tieto näytölle.



Kuva 14. Suurkuvakonseptin perusjäsenitys: integroitavuus.

Integroitavuus muihin järjestelmiin tarkoittaa sitä, mistä järjestelmistä peräisin olevaa tietoa suurkuvanäytöillä voidaan esittää ja miten yhteydet laitoksen eri tietojärjestelmiin on toteutettu (kuva 14). Työpajojen keskusteluissa pohdittiin esimerkiksi sitä, missä määrin suurkuvanäyttöjä voidaan ajatella laitostietojärjestelmän osana ja voidaanko suurkuvanäytöillä esittää laitostietojärjestelmää koskevaa tietoa. Samalla tavalla voidaan pohtia näyttöjen suhdetta laitoksen muihin tietojärjestelmiin.



#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset



Kuva 15. Suurkuvakonseptin perusjäsenitys: yhteistoiminnallisuus.

Suurkuvanäyttöjen yhteistoiminnallisuus liittyy siihen, missä määrin operaattorit voivat työskennellä yhdessä suurkuvanäytön kanssa: voiko esimerkiksi kaksi käyttäjää työskennellä yhtä aikaa saman suurkuvanäytön kanssa vai voiko tiettyä näyttöä käyttää vain yksi käyttäjä kerrallaan (kuva 15)? Tämä tarkoittaa käytännössä muun muassa sitä, voiko suurkuvanäytöllä olla samanaikaisesti näkyvissä kaksi kursoria tai voiko kaksi käyttäjää täyttää samanaikaisesti näytölle avattua lomaketta. Yhteistoiminnallisuuteen liittyy myös se, miten tietyn operaattorin toiminta suurkuvanäytöllä näkyy. Jos esimerkiksi tieto suoritettavasta venttiiliohjauksesta näkyy näytöllä, muut operaattorit saavat myös tiedon tästä toimenpiteestä. Suurkuvanäyttö on tällöin läpinäkyvä eli se välittää tietoa tietyn käyttäjän tekemistä toimenpiteistä muille käyttäjille. Suurkuvanäyttöä voidaan pitää ei-läpinäkyvänä, jos sen kautta ei välity tietoa operaattorien toimenpiteistä.

#### 4.5.2 Informaatioisisältö

Toinen pääteemoista koskee suurkuvanäytöllä esitettävän informaation sisältöä ja esitystapoja. Tämä teema käsittää viisi tekijää, jotka koskevat esitettävän informaation abstraktiotasoa, kohteen kuvaamisen laajuutta, tiedon rakenteellisuuden astetta, dynaamisuuden astetta, tiedon kohderyhmää, sisällön räätälöinnin tasoa ja käyttöliittymien yhdenmukaisuutta.



Kuva 16. Suurkuvakonseptin perusjäsenitys: abstraktiotaso ja kohteen kuvaamisen laajuus.

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset

Abstraktiotasolla tarkoitetaan sitä, kuinka yksityiskohtaista tai abstraktia suurkuvanäytöllä esitettävä tieto on (kuva 16). Mikäli suurkuvanäytöllä pyritään esittämään kaikki se tieto, mikä tällä hetkellä esitetään paneeleilla, on se yksityiskohtaisempaa kuin jos esitettäisiin tietoa vain tärkeimmistä prosessiparametreista tai pitkälle jalostettua tietoa prosessista. Toinen tähän liittyvä kysymys on se, kuinka kattavasti laitoksen järjestelmistä esitetään tietoa suurkuvanäytöllä. On mahdollista esittää tietoa valikoiden vain muutamista keskeisistä järjestelmistä tai parametreista; toisaalta laitoksen järjestelmiä koskevaa tietoa voidaan esittää mahdollisimman kattavasti. Mitä kattavammin tietoa esitetään ja mitä yksityiskohtaisempaa se on, sitä enemmän näyttöpintaa tarvitaan sen esittämiseen.



Kuva 17. Suurkuvakonseptin perusjäsen nys: tiedon rakenteellisuuden ja dynaamisuu den aste.

Tiedon rakenteellisuuden asteella tarkoitetaan sitä, missä määrin suurkuvanäytöllä esitettävä tieto kuvaa laitoksen järjestelmien keskinäisiä spatiaalisia (ts. paikkaan liittyviä) suhteita sekä niiden välisiä kytkentöjä (kuva 17). Rakenteellisen kuvauksen pohjana on yleensä laitoksen prosessi- ja instrumentaatiokaavio (PI-kaavio); ei-rakenteellinen kuvaus voi esittää tietoa laitoksen prosessidynamiikasta ilman, että tätä tietoa on upotettu PI-kaavioon. Tiedon dynaamisuu den asteella tarkoitetaan sitä, missä määrin ja miten suurkuvanäytöllä esitettävä tieto ”elää” prosessitapahtumien mukaan. Suurkuvanäytöllä esitettävä kopio laitoksen PI-kaavioista on esimerkki täysin staattisesta tiedosta. Dynamiikkaa näytölle voidaan tuoda monin eri tavoin: esimerkiksi hälytys- ja tapahtumalistoilta, hälytysmerkeillä, prosessin tilan mukaan muuttuvilla trendikäyriillä tai palkistoilla. Myös näyttöjen hallintaan liittyvien sekundääritehtävien (navigointi, näytön vierittäminen, ikkunoiden avaaminen tai sulkeminen) suorituksen näkyminen näytöllä tekee siitä dynaamisen.

#### 4. Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitosten valvomoissa – suunnittelutyöpajojen tulokset



Kuva 18. Suurkuvakonseptin perusjäsenitys: tiedon vastaanottaja, sisällön räätälöinnin taso ja käyttöliittymien yhdenmukaisuus.

Suurkuvanäyttöjen sisältöön liittyy myös kysymys siitä, onko sisältö suunniteltu vain yhden käyttäjän tarpeisiin vai onko sen tarkoituksena hyödyttää useita käyttäjiä (kuva 18). Esimerkiksi pelkästään TrT:n käyttöön tarkoitettu lisäinformaationäyttö voi olla sisällöltään ja esitystavaltaan erilainen kuin kaikkien operaattorien käyttöön tarkoitettu yleisnäyttö – jo senkin takia, että yleisnäyttöä katsotaan keskimäärin kauempaa kuin yhden operaattorin käyttöön tarkoitettua lisäinformaationäyttöä. Suurkuvanäytön kuvat voivat myös olla suoria kopioita henkilökohtaisen työaseman näytöistä; toisaalta suurkuvanäytön kuvat voivat olla erityisesti sille räätälöityjä ja poiketa huomattavasti työasemanäyttöjen kuvista. Viimeinen informaationäyttöön liittyvä kysymys koskee suunnitteluperiaatteiden yhdenmukaisuutta eli sitä, missä määrin suurkuvanäyttöjen sisältöjen suunnittelua ovat ohjanneet samanlaiset periaatteet kuin muidenkin käyttöliittymien sisältöjen suunnittelua. Käyttöliittymien yhdenmukaisuus voi ilmetä esimerkiksi samanlaisina väreinä ja symboleina tai samanlaisina tapoina jäsentää tietoa näytöllä.

#### 4.5.3 Keskusteluihin perustuva suurkuvakonseptin luonnos

Minkälainen suurkuvakonsepti työpajojen keskustelujen pohjalta voidaan laatia? Ensinnäkin suurkuvien rooli, käyttötapa ja sisältö riippuvat laitoksen tilasta: valvomon suurkuvanäytöillä on esitettävä erilaista tietoa esimerkiksi normaalitehoajon aikana kuin vuosihuollon yhteydessä. Lisäksi suurkuvanäytöillä on ainakin neljä keskeistä funktiota: ne välittävät yleiskuvan laitoksen tilasta sekä tukevat tilannetietoisuutta, muutoksen nopeaa havaitsemista, yhteistyötä ja toimintojen koordinoitua.

Osallistujien enemmistön mukaan on toivottavaa, että suurkuvanäyttöjen hallintaa koskeva vastuu on jaettu. Lisäksi toivottiin, että näyttöjen sisältöjen suunnittelua koskevaa vastuuta jaettaisiin useille henkilöille ja että operaattorien edustajat pääsisivät osallistumaan sisältöjen suunnitteluun. Osallistujat eivät pitäneet näyttöjen interaktiivisuutta erityisen keskeisenä piirteenä, ja heidän mielestään operaattoreilla ei ole aikaa leikkiä näytöillä. Paras ratkaisu olisikin, jos suurkuvanäyttöjen sisältö vaihtuisi automaattisesti, jotta näyttöjen hallintaan kuluisi mahdollisimman vähän aikaa.

Toivottavaa olisi, että suurkuvanäytöt olisivat hyvin integroituneet laitoksen eri tietojärjestelmiin. Osallistujat olivat kuitenkin tietoisia tähän liittyvistä tietoturva- ym. ongelmista. Heidän mukaansa ei ole mitään syytä, miksi useamman operaattorin pitäisi kyetä samanaikaisesti ohjaamaan samaa suurkuvanäyttöä. Sen sijaan yhteistoiminnan kannalta koettiin tärkeäksi, että suurkuvanäytöillä näkyisi, mitä muut ovat parhaillaan tekemässä.

Keskustelujen perusteella operaattoreilla on erilaisia toiveita tiedon abstraktiotason suhteen. Toisaalta toivottiin, että suurkuvanäytöillä esitettäisiin mahdollisimman yksityiskohtaista tietoa (”niin kuin paneeleilla”); toisaalta toivottiin, että niillä esitettäisiin pitkälle jalostettua tietoa laitoksen keskeisistä parametreista. Myöskään siitä, kuinka kattavasti suurkuvanäytöillä olisi esitettävä tietoa laitoksen eri järjestelmistä, ei työpajojen keskusteluissa muodostunut yhtä selkeää kantaa. Toisaalta operaattorit haluavat tietoa mahdollisimman kattavasti laitoksen eri järjestelmistä, mutta toisaalta he haluavat, että keskityttäisiin olennaiseen.

Osallistujat toivoivat, että suurkuvanäytöillä (ja erityisesti ns. yleiskuvanäytöillä) esitettäisiin PI-kaavioon pohjautuva kuvaus laitoksen järjestelmistä, johon olisi ikään kuin upotettu eri osajärjestelmiä koskevaa ei-rakenteellista tietoa (esim. trendikäyriä). Operaattorit siis tarvitsevat sekä rakenteellista että ei-rakenteellista tietoa: tietoa sekä prosessin dynamiikasta yleensä että laitoksen yksittäisten järjestelmien tiloista. Yleisenä toiveena oli, että tieto olisi dynaamista ja ajan tasalla olevaa. Toisaalta on myös tärkeää, että kuvissa on staattista (ei-rakenteellista) tietoa, joka auttaa kuvan jäsentämisessä.

Tietyn suurkuvanäytön sisältö voi olla suunnattu yhdelle tai useammalle käyttäjälle sen funktiosta riippuen. Esimerkiksi ns. yleisnäyttöjen kuvat on tarkoitettu kaikkien operaattorien käyttöön. ReM:llä ja TrT:llä voi kuitenkin olla myös omia näyttöjä, joiden sisällöt on suunniteltu vain heitä varten. Selkeä toive oli, että suurkuvanäyttöjen sisällöt suunniteltaisiin huolella ja että kuvat muokattaisiin suurkuvanäytöille sopiviksi. Suurkuvanäyttöjen suunnittelun tulisi perustua pitkälti muiden näyttöjen suunnittelussa hyviksi havaittuihin periaatteisiin.

## **Osa III: Uudet näyttökonseptit**



## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

Jari Laarni, Hanna Koskinen, Leena Salo and Leena Norros

This chapter presents the results of the evaluation of the Fortum IRD pilot which is the first application of the IRD concept to the design of displays for the operation of the nuclear power process. VTT researchers have observed the design process of the Fortum pilot displays at design workshops and interviewed designers of the displays; they have also carried out a usability test of the Fortum pilot, and gathered information about user experiences; and finally they have carried out a heuristic evaluation of the Fortum pilot displays by themselves. The results suggest that the Fortum IRD pilot displays have shown to be applicable to the detection, identification and diagnosing of failure states in the nuclear power process. Considering the rapidity and spontaneity of the design process it is a respectable achievement. The displays have many useful features such as the presentation of history information through trend graphs, the use of Gestalt grouping principles in element clustering and the information richness of graphs. These features make the displays nice looking and can also help operators in the identification and diagnosing of failures if they have enough time to practise the use of the displays. On the other hand, the displays have also several features that make them poorly suited to their purpose. For example, the Fortum IRD pilot is designed mainly for one plant state, the 100 % power level, but according to user comments, an overview display should be usable also in other plant states. Secondly, although trend information was considered very useful, the usefulness of trend normalisation was doubted. Also, the overuse of the colour grey, the lack of exact numeric parameter values and component labels, and the misplacement of some components hindered detection. Our claim is that these problems are caused by the fact that the final prototype is some kind of a hybrid of IRD displays and traditional displays based on process and instrumentation diagrams (P&I). We, therefore, see that, in the continuation of the development of large screen displays for Loviisa NPP two roads are open: One possibility is to continue to develop this kind of a hybrid version which is a combination of traditional Loviisa overview displays and IRD displays. Another possible way to continue is to develop a genuine small-scaled IRD display for early detection of failures and develop a set of overview displays that are based on

existing Loviisa overview displays and whose structure is based on plant mimics. We are convinced that the second alternative is the most promising to pursue.

### 5.1 Introduction

#### 5.1.1 Background

Large screen displays (LSDs) play an important role in digital control rooms (CRs) based on desktop-based workstations in the presentation of the essential information of the system. It has been suggested that they could solve some of the main problems caused by digital technology.

Overall, it is supposed that LSDs can support decision making by providing an overview of the state of the process, provide information of important process changes, disturbances and alarms in a way that is easy to detect and identify, help users rapidly move to the place where the essential information is located and support co-operation and collaboration between operators by providing information of what other users are doing (Laarni et al., 2008). By providing an overview of the state of the system they can help users to develop a better mental model of the process. It is said that by this way the LSDs can improve situation awareness both at the individual and at the team level. They can also improve communication and coordination of activities. By means of LSDs users should be able to see how their own actions affect plant parameters that other users are operating. Correspondingly, the LSDs can show them how others' actions affect those plant parameters they themselves are operating. The LSDs may help users to locate themselves in the information space and tell them by which way they can move from one display page to another. Since more information can be presented at the same time on a large screen, there is less need to scroll the display, open new windows or change the display content. By this way the LSDs should help to reduce the load caused by the secondary tasks.

On the other hand, the design of LSDs for the CR environment is challenging: For example, since they are qualitatively different from desktop-based workstations, user-interface metaphors developed for small displays are not necessarily adequate in the design of LSDs (Laarni et al., 2008). Integration and consistency with desktop displays is also a challenging issue.

#### 5.1.2 Key design features of the IRD concept

Since LSDs are qualitatively different from other kind of displays, new types of interface metaphors and display concepts – such as Ecological Interface Design (EID) or Function-Oriented Design (FOD) concept – are needed. These concepts are, however, not specifically aimed to the design of LSDs for process industry.



Rapid, easy and accurate detection of changes and failures can be improved, for example, by developing new types of displays that emphasize the essential information by making it more salient and deemphasize the less relevant information by reducing its visibility. Displays based on the Information Rich Design (IRD) concept have been developed by IFE (Institutt for energiteknikk) for those purposes for offshore production facilities (Braseth et al., 2003; Veland & Eikås, 2007).

The Fortum IRD pilot is the first application of the IRD concept to the design of displays for the monitoring of the nuclear power process. According to the style guide of the Fortum pilot, “the concept refers to data displays that combine the Dull Screen colour principle with analogue coding, integrated trends and layout techniques to obtain high data density without causing information overload” (Braseth et al., 2003, p. 2). Key design principles in their development have been that the visual structure must be simple enough to allow easy scanning, orientation and reading of data-dense displays, and the layout should also provide a sufficiently correct picture of the plant system topology (Braseth et al., 2003; Veland & Eikås, 2007). It is also important that displays can be read by using different strategies depending on the user’s preferences and interests: they should be useful all along the continuum from a brief glance to a close inspection.

Some of the central aims in the development of IRD displays have been to provide overview information, support early detection of failures and disturbances and help operators to diagnose the problem and stabilize the process. According to Veland and Eikås (2007), IRD displays should reduce working memory demands of operators by providing immediate visual access to frequently used data. By this way they could support the development of an acceptable level of situation awareness based on an overall view of the plant performance. They could also support collaboration and co-operation and co-ordination of activities within a crew.

The IRD concept is based on such design principles as display normalization, Dull Screen principle and information richness. General requirements for the IRD displays are shown in Table 9. The aim of display normalization is to help users to automatically detect deviations. Two types of normalized symbols have been developed, mini trends and normalized bar-like symbols without mini trends (Figure 19). They support rapid visual scanning of the data by adjusting the mapping between a physical measurement scale and an actual display scale for each data point. As a result, a set of graphs can be grouped together in such a way that small deviations can be immediately detected.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

Table 9. General requirements for the IRD displays (Braseth et al., 2004).

1	Avoiding the keyhole effect by aiming for high information density.
2	Providing a wide variety of reading strategies for different tasks.
3	Providing a clear mapping between importance and visual salience.
4	Making the exact value of each data point available.
5	Providing means for simple visual comparisons between different data sets.
6	Supporting pattern recognition by providing means to identify patterns.
7	In the data set as distinct and recognizable.

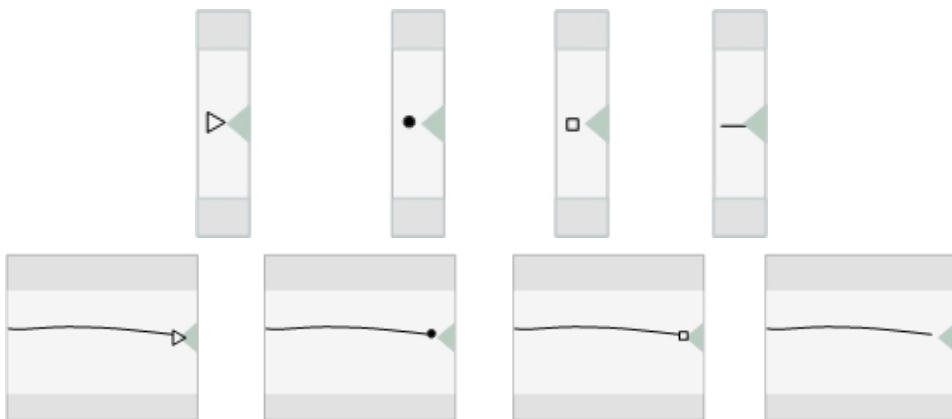


Figure 19. Normalized trends and bar graphs indicating temperature, pressure, flow, and level (Braseth, 2008).

The aim of the Dull Screen principle is to make the display clearer and prevent visual noise by using specific colouring rules (Van Laar, 2001; Van Laar & Deshe, 2002). According to the principle, essential information is emphasized and less essential information is suppressed. Flicker is not used for alarm purposes, but, instead of that, alarms are indicated by highly saturated colours (red or yellow). In general, dynamic information is shown by using salient fonts and colours, and information that is less important is presented by low-saturated colours.

IRD displays are dense with information – that is, a lot of information is presented on a small display area. A good example is the presentation of accurate valve position with a special panel in which a lot of information is presented in a small space (Figure 20). Different symbols are used for flow, level, pressure and temperature. The controller output is presented by a vertical bar outside the graph area. The expected position is presented by a diamond and the actual position by a black rectangle.

### 5.1.3 The starting point for the development of the Fortum IRD pilot

As said, displays based on the IRD concept were originally developed for Norwegian offshore petroleum facilities. Some of the IRD displays were presented at HAMBO Group meetings in which they raised interest among the representatives of the group. The HAMBO large screen display project was planned in September 2006, and after that the development of overview displays that are based on the IRD concept were suggested to be included in the HAMBO reference group program. The idea was to study the applicability of displays based on the IRD concept as overall displays in the monitoring of the power process. The main aim was to investigate to what degree they can support the development of an accurate overall picture of the state of the power process and the acquisition of an accurate level of situation awareness (Rinttilä, 2007). Fortum's interest in the project is mainly based on the need to replace the old panels and desks project with large-screen overview displays during the Loviisa automation renewal project.

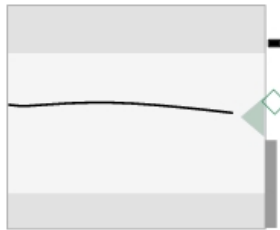


Figure 20. A normalized trend including information of valve position (Braseth, 2008).

Nuclear power companies both from Sweden (Ringhals, Oskarshamn and Forsmark) and Finland (Fortum and TVO) participate in the project. Three prototypes were planned to be developed, one of them at the Fortum development simulator. The other two prototypes have been planned to be designed for Ringhals (units 3 and 4) and for Halden Reactor Group's (HRP) Hambo simulator. During 2007 it was planned that VTT could participate in the evaluation of the Fortum pilot within the frame of the SAFIR/O'PRACTICE project.

### 5.1.4 Research method

In the following the results of four types of research activities are presented. First, we VTT researchers have interviewed designers of the displays, and secondly, observed the design process of the Fortum pilot displays at design workshops. The results of these parts are presented in Sections 5.2 and 5.3. Thirdly, we have carried out a usability test of the Fortum IRD pilot, and gathered information about users' experiences and conceptions. The results of

this study are presented under the title “Usability test of the Fortum pilot” in section 5.4. Lastly, we have carried out a heuristic evaluation of the Fortum IRD pilot displays by ourselves. The results of this evaluation are presented under the title “Heuristic evaluation of the Fortum pilot” in section 5.5.

### **5.2 Interviews of the designers**

VTT researchers have interviewed the designers of the Fortum pilot and observed the testing of the pilot in order to get an idea of the rationale behind the design of the displays. Five designers of the Fortum pilot (two persons from IFE and three persons from Fortum) were interviewed in two occasions. The first interview session was arranged in 23<sup>rd</sup> January 2008 at the KESI development simulator, and the second one was arranged in 30<sup>th</sup> January at VTT. In the first session, two designers from IFE and one designer from Fortum were interviewed at KESI; in the second session three designers from Fortum were interviewed at VTT.

#### **5.2.1 Interview of the IFE designers**

Two designers from IFE and one designer from Fortum were interviewed at the Fortum development simulator (KESI) in 23<sup>rd</sup> January 2008. The interview session lasted for about two hours. Several topics were tackled during the session. Most of them were related to the development of the IRD concept and the Fortum IRD pilot and to the advantages and disadvantages of their main characteristics.

##### **5.2.1.1 Development of the IRD concept**

The interviewed IFE designers told that at the beginning there were three designers that started the development of the concept. These designers are also the owners of the concept, and they have protected the concept with a US patent. The interviewees emphasized that the IRD concept was not originally developed for the nuclear industry, but for the off-shore petroleum community, since the oil companies searched for a different approach to the standard PI-diagram type displays.

In 2000 the design team started to develop IRD-type displays for workstation screens, that is, the first demonstrator was not a LSD. The first displays were developed so that the process can be operated directly by using these displays. The IFE designers thought that by one IRD display they could replace ten ordinary displays so that the overview displays was not necessary at all. But people in the oil industry were not interested in the operator displays but thought that a better solution than to design a couple of operator displays is to design one large screen display. The aim is that the IRD displays will provide all the essential information to the operators. The IRD display will, thus, be a stable frame of reference which will not be used as an operator display.

The IRD concept is basically based on the work of Edward Tufte and Jens Rasmussen. Edward Tufte is famous for his work on visual design, and Jens Rasmussen has been one of the developers of the Ecological Interface Design approach. According to the IFE designers, the IRD displays are not based on detailed functional analysis of the target system, and therefore, when they developed the IRD displays, they did not carry out an abstraction hierarchy type of breakdown of the target system, but started from the analysis of existing LSDs. In fact, the designers' main aim has been to develop a new type of presentation for the variables that are presented on the existing LSDs.

The main difference between IRD displays and ecological displays is that the aim of ecological displays is to aggregate information to a greater extent than IRD-type of displays. That is, the IRD displays present single-variable type information which is not aggregated in the actual display, whereas the EID displays present a lot of aggregated information from different variables, for example, about in-flow vs. outflow from control valves.

Traditional displays provide operators a cue when reaching a limit or an alarm status, whereas IRD displays are designed for detection of failures at the very early phase. The hope is that operators could detect the deviation before the alarm is triggered, since it is easier to look at a problem when the alarm state is not yet reached.

The designers told that in the oil industry the reception of IRD displays has been very positive. After the first prototype was presented in a conference, the oil companies asked whether IFE could make this type of display for them. Since then seven or eight installations have been done for offshore petroleum community. According to the IFE designers the IRD concept is becoming some kind of standard in the oil industry. One reason for the rapid progress is the fact that in the oil industry the requirements of testing and approval are not as strict as in the nuclear field.

The designers, thus, claim that in the development of the IRD concept the oil companies in Norway have been the pushing force behind, instead of leading vendors of control room user interfaces.

### 5.2.1.2 Key features of the IRD concept

In the interviews the IFE designers said that, because of analogue readings, expert operators can see with a single glance on an IRD display what the state of the process is. They claimed that traditional digital displays do not support this type of efficient reading of information. Displays based on the Dull Screen principle also support efficient detection of failures by highlighting the most important information. The designers also claimed that it is comfortable to use them even for a long period of time: the operators do not feel exhausted even after looking at them for the whole working day.

One of the central aims of the concept is to try to change complex cognitive tasks to visual ones. Since displays are typically not giving all the necessary

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

information to the operators, the operators have to use their knowledge of the process and to know, for example, that a certain high limit is about 70 %. It is difficult since there are a lot of variables that the users have to try to remember. But if all the essential information is presented to the operators explicitly, they would not need, for example, to remember what the desired set point or the alarm limit is, or to what direction a particular value is moving.

However, since the IRD displays are aimed for skill-based operation for experienced operators that know the system very well, there should be no need to present a lot of information that supports the identification of components. Therefore, the amount of labels and other identifiers can be minimised which leaves more space for making the display clear and well structured. The designers told that they have spent a lot of time in aligning the elements both vertically and horizontally so that the displays would not look too complex and cluttered. Despite of this, the IFE designers noted that operators need a lot of time to learn to utilize all the useful features of the IRD displays, since they look quite complex and include a lot of variables.

The designers thought that there should be a clear distinction between operator displays and overview displays, since their roles are different. Deviations from the normal operational state should be seen on the LSD, and when the deviation has been detected, the operators can turn to their operator displays and make the correcting operation.

It was discussed whether LSDs could support also other types of information needs. For example, in the oil industry, one part of the display is dedicated for the presentation of information related to the work done in the field. As previous studies have shown there are also similar needs in the nuclear field.

### 5.2.1.3 Use of colour in display design

In the interviews the IFE designers told that when developing the original concept the designers tried to use colours that had been developed for the oil industry. In this standardized type of colour scheme brown, for example, is indicating oil and blue is indicating water. The problem was that these colours are competing – for example, brown will interfere with red. Because of these problems, they started to modify the original scheme, and what they found out was that by using colour they always tend to end to some kind of conflict either with some regulation or standard or with the operator displays. The choice of a satisfactory set of colours is a demanding task, and this work is still in progress.

The colour principles of the IRD concept are mainly based on the work done by Edward Tufte. Since colours red and yellow are fixed for the alarm purpose, the designers have tried to select the other colours in such a way that they do not interfere with red and yellow. Therefore, colours like brown, purple and orange are avoided and instead of them grey and green are used.

The IRD displays based on the Dull Screen principle seem to be more sensitive and vulnerable to the effects of lighting than other types of displays.

The lighting conditions have to be taken into consideration, and fine-tuning of lighting has to be taken care of on-site. According to the IFE designers, a special problem is that different projector techniques tend always to produce different colours and contrasts. Another problem is related to the fact that the projector lamps are decaying with time. The life cycle of a lamp may be quite long, for example 2000 hours, but it starts to decay quite soon after implementation. Therefore, after the initial adjustment, later adjustments are needed to prevent the display from becoming too dull or too out of focus.

### 5.2.1.4 Development of new graphical elements

Since it is very difficult to distinguish coloured lines from each other in graphs such as trends and bar diagrams, some additional information is needed. Because of the problems with colour, the IFE designers started to develop symbols that could be used instead of colour. Symbols were, for example, needed to designate level, pressure, temperature and flow.

There are some constraints in the selection of symbols for these purposes: The symbols have to be large enough so that they are readable from a considerable distance, and, on the other hand, they have to be small enough so that they fit inside graphical elements, like trends and bar graphs, and are not too interfering. Neither should they be too similar to each other.

A positive side with the use of these kinds of symbols is the additional position information they provide in comparison to if only digits are shown: Every time you come into the control room, you will see the objects in the same place, and you always know that it is this particular variable. By using symbols there is, thus, always redundant information in the display that makes the identification of the target easier.

### 5.2.1.5 Resistance against the IRD displays and the need for training

The IFE designers told that they have found out that it takes some time to learn to use the IRD displays. They told about a Norwegian operator who claimed that they do not like to use the IRD displays. In the last meeting of the project, however, he said that this is something they have always wanted. Designers thought this is a question of a maturation process: Operators have to learn that IRD displays are not intended to display things in a physically correct way, but to display information in a way that helps the users to detect abnormalities compared to the desired state of operation.

Based on their earlier experiences, the IFE designers thought that also in the nuclear field operators may be quite reluctant to use the system at the beginning. They, however, claimed that the situation may change over time, and for a while it may be so that they are not able to monitor the process without the IRD displays any longer.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

The interviewed designers thought that quite a lot of training is needed in order to be able to move from the knowledge-based state to the skill-based state in the use of the IRD displays. The training period must therefore be long enough. For example, after a course lasting three to four hours operators are not able to use the information that is presented on graphical elements in a fluent way. In fact, after the initial training you have to be able to use the system for a while before you can automatically comprehend all the information that is, for example, shown on trends.

### 5.2.1.6 Design process of the Fortum IRD pilot

The IFE designers have worked in the oil industry for a long time and they have a lot of experience in this field. They have, thus, been able to utilize this expertise in the design of IRD displays for the oil industry. But since they were lacking domain expertise in the nuclear field, when developing the Fortum IRD pilot they had to take a different approach and to utilize the existing Loviisa LSDs and work with domain experts.

The development of the Fortum IRD pilot displays is based on a couple of workshops with domain experts (i.e. operator designers). The first preliminary version was developed at the early stage of the project. After that some new variables came in and they were included in the system. The IFE designers called this approach rapid prototyping, which they have also used in the oil industry. In this method the first version is some kind of an idea generator that stimulates the designers' thinking. The designers discuss it with domain experts, make improvements by hand, and after the session go home and start to develop the next version. After some weeks' period the designer parties meet again and continue to make improvements. The IFE designers estimated that approximately at least four to six months is needed in this kind of design process to generate the final prototype.

The interviewed designers admitted that one typical problem in this type of projects is that clear principles and intentions easily water down and accommodate to the new requirements. In the beginning of the development Fortum IRD pilot displays the IFE designers started with a clear intention that the pilot IRD displays would be complementary to the operator displays of the process monitoring system (PMS). Since the aim was not to present all information on the LSD, they had to select the most appropriate variables. They thought that there is a danger that at some point more and more information will be added in order to make the display absolutely complete. Even though more information was eventually included than was at first suggested, the IFE designers told that they are quite satisfied to the final prototype.

In fact, during the Fortum IRD pilot's design process the operator designers came up with suggestions of new variables that they thought should be included into the design, and most of these suggestions were accepted. In comparison to the more traditional-looking overview displays in Loviisa (i.e. the PMS-displays



that are explicitly designed for large screen displays), a huge amount of pumps and valves are presented on Fortum IRD pilot displays. One of the designers even thought that more analogue measurements are displayed on them than on existing Loviisa overview displays. One reason for that is that it was easier to add components to the IRD displays, since the number of screens was higher (i.e., four instead of two) at the Fortum development simulator than in the Loviisa control rooms.

Overall, the designers, however, thought that they had had no need to modify the original concept to a large extent, and they had not had to make any difficult compromises mainly because the original IRD concept is not very stringent. However, it is always necessary to make some special kind of adjustments according to the specific domain. For example, new kinds of symbols have been developed during the design of Fortum pilot. One problem with the design of the Fortum IRD pilot is that a lot of information has to be displayed in a small space. In the nuclear field, for example, even three or four alarm levels have to be visible. Because of this the trend and bar diagrams easily become a bit cluttered. The IFE designers have tried to avoid this problem by developing a new kind of presentation format for graphical information with which it is possible to show more alarm levels and the direction of changes.

When developing displays for a new field a different kind of approach is possible than when developing displays for a field in which the operators have been acquainted with certain ways to operate the system. For example, in the nuclear field the system is presented in such a way that the process flows from left to right, and therefore the designers need to adapt the design scheme so that it does not conflict with the mental model of the process that is based on left to right direction.

One of the few things the IFE designers would have made differently when developing the Fortum IRD pilot concerns alarm presentation. Also, they would have liked to use somewhat different types of symbols. For example, since the colour yellow is not very easy to detect, they have tried to minimize the problem by using frames that surround symbols. Since the initial display was designed with the aim that no digits would be displayed, some of the digits that pop up tend to float together which makes them difficult to distinguish from each other.

#### 5.2.1.7 New information presentation formats in the Fortum IRD pilot displays

In the oil industry the IFE designers have found that in the first meetings operators do not like the normalization and alignment of trends and bars. The operators think that due to normalization the presentation of information is not physically correct any longer, and they lose touch to the physical world. According to the IFE designers, it is very important that the operators know what it means that the information is normalized. Because of this, when implementing IRD displays it is important that sufficient training is arranged for operators in which it is explained the rationale behind the IRD approach.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

In some installations the IFE designers have used a polar star sector diagram in which a lot of information is densely packed in a small space. They did not use this diagram when designing Fortum IRD pilot displays, since the operators tend to prefer the bar type or mini-trend-type of presentation format. In some places on Fortum IRD pilot display there have been little room for trends, and so they have had to replace the mini-trend with smaller bar-like objects that are lacking history information. The IFE designers thought these groups of bars could have been replaced with a polar star diagram which immediately reveals if there is a deviation or not.

### 5.2.1.8 Visual ergonomics of the Fortum IRD pilot

According to the IFE designers, in the development of the Fortum IRD pilot displays it has been taken care of that even the smallest elements are visible to the users. All the objects, letters and digits have been scaled for the screens of the development simulator, and knowledge of oil industry standards has been used. According to the designers, it is much easier to use analogue type of presentation which is not dependent on the readability of each digit.

It has shown to be a difficult task to arrange the elements along lines. The starting point is to find hierarchies and separate groupings. Concerning the nuclear power process, the primary and secondary sides are very clearly separated which provides a vertical distinction between the parts of the display. Another dominant type of information is related to the six steam generators which generate six separated streams of information. Since these steam generators are dominating elements, other elements have been arranged around these six bands.

A lot of pumps and valves were identified that have to be presented on the pilot displays. The designers had had some problems to integrate them with other display elements. Since some of the pumps and valves remain free-floating in the display, the IFE designers had some doubts whether they are necessary at all and whether they should be totally removed from the display.

According to the IFE designers, one possible solution to the layout problem would be to arrange all the pumps and valves into a separate matrix on one separate place of the display. A negative consequence of this kind of arrangement is that the pumps and valves would be totally disconnected from the rest of the display.

### 5.2.1.9 Evaluation of the design of the Fortum IRD pilot

The interviewed IFE designers said that since the development of the Fortum IRD pilot displays is a part of a research project, they have tried to avoid leaning too much on standards and regulations. Instead, they have tried to push the design to the limits and develop innovative new design solutions by using the rapid prototyping approach. The verification and validation of the designed system has to be done later afterwards. The designers, however, admitted that the standards and guidelines are always there, and they cannot totally close their

eyes to them. Factors such as readability and consistency have to be always taken into consideration, and if the standards are violated the designers need to describe what the reasons for these violations are.

#### 5.2.1.10 Lessons learned from the development of the Fortum IRD pilot

The IFE designers claimed that they have learned much in this project, but since it has mainly been a kind of tacit knowledge, it is difficult to say what it really is. One lesson they have learned is that the nuclear power process is quite different from the oil industry process. In the oil industry the process is very volatile and very dynamic, and the operators have to carry out operations within minutes or even seconds. The operators do not rely on procedures because they have no time to do that. In the nuclear industry operators use more procedures, since the process is much slower and the operators have, thus, more time to look at them. Therefore, the designers thought that they should better take into consideration how the LSDs support the use of procedures.

### 5.2.2 Interview of Fortum designers and operator designers

The Fortum designers were interviewed at VTT in 30<sup>th</sup> January in 2008. Three designers (two system designers and one operator designer) participated in the interview session with people from VTT group.

#### 5.2.2.1 Development process of the Fortum IRD pilot displays

The number of design meetings in which both Fortum system and operator designers and IFE designers participated was four. The first meeting was arranged in January 2007 and the last one in April in the same year. The sessions lasted either one day or two days. Some unofficial meetings between Fortum designers were arranged between these sessions. In the beginning the IFE designers carried out the design work after sessions, later they did some of the work online during sessions.

According to the Fortum designers, the basic division of responsibilities has been that the IFE designers in cooperation with the operator designers have designed the displays and the Fortum designers have technically developed them. The Fortum designers modestly commented that they themselves have not participated in the design as such, but only provided a link between IFE designers and the participating operator designers. According to Fortum designers, the collaboration between Fortum and IFE designers went on smoothly, even though they had had some controversies concerning the basic principles of the concept at the beginning of the project. For example, the operator designers hoped that numerical values could be presented in the graphs, but the IFE designers were against of this.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

The design process was considered to be time-consuming, and it required time to understand the main features of the design principles. The interviewees also thought that the schedule of the design process was somewhat too tight: There should have been more time to think about what information should be presented and which information should be linked to which one.

The design process has not been based on the functional analysis of the target system, but instead the PMS-based overview displays for the primary and secondary side that have been designed earlier provided the starting point for the design of the IRDs. These earlier developed displays have, thus, been used as background information showing which components are necessary to show.

During the design process the IFE designers, Fortum designers and operator designers could quite easily decide what information has to be graphically presented. There were, however, some discussions whether a trend or a bar should be chosen. At the secondary side there are a lot of measurements that should be presented in one way or another. Because of the lack of space some information was presented by a bar even though a trend might have been a better form of presentation.

The Fortum designers and operator designers were quite happy of the fact all the relevant information could be presented. Some information that is important for the monitoring and operation of the plant has just been added and will still be added in the future. For example, more information of individual components is shown that was displayed in the first version of the Fortum IRD pilot displays. Overall, the amount of information is order of the same magnitude than in the earlier designed PMS-based overview displays.

The layout of the process is different from that used in Loviisa displays. One reason for that is that the designers have had serious problems in putting the information on the display, and therefore they had to change the location of some symbols until a satisfactory compromise was reached.

The Fortum designers thought that that the project will continue in some form or another, since new questions have emerged during the project that should be investigated. For example, it is an open question whether these displays support operation and in which conditions. Another question that has emerged is whether the IRD displays could be used in the presentation of emergencies. One possibility that has been suggested is that key alarms could be presented on LSDs.

### 5.2.2.2 Main functions and usage situations of the IRD displays

In the interview it was thought that the IRD displays could be some kind of a support system for operators. LSDs should provide an overview of the state of the power process, and at the first hand they should support the management of the power process as a whole. That is, just by glancing the LSD, the operator should immediately see what is going on in the process. The LSD displays could also be a stand-alone system that is independent of the automation system. This

could be possible because the LSDs are only aimed for monitoring, and there is no need for a two-way transmission of information.

Overall, the IRD displays are a quite independent entity. On the other hand, consistency was thought to be an important design feature. For example, colour philosophy should be consistent, and the same set of colours should be used in all displays in the CR. It was also considered important that directions of flow are consistent with other displays.

The designers discussed whether the displays could also be used in other plant states. A general view was that it is important that it can be applied also in other plant states, for example, in hot shutdown and start-up. All in all, the IRD displays should help operators from the power level of some percents to 100 %, but different displays should be designed for cold shutdown, because in this state the turbine and its auxiliaries are not working. One possibility is that there would be one type of display for shutdowns and one type of display that is used between full power operation and shutdown. It was also hoped that the displays would change automatically after the change of a plant state. In this case, some information is needed telling operators that the state of the plant has changed. It was discussed whether these kinds of improvements could be developed in a continuation project of the existing project.

It was found during discussions that since critical information can be easily forgotten, information of the plant mode should be displayed. For example, information of whether the slow or fast shutdown mode is on should be shown on a LSD.

The interviewees thought it is important that maintenance-related information could be presented on LSDs. For example, they hoped that information of which components are under preparation could be shown. An open question, however, is whether information from the maintenance system can be transferred to the automation system.

### 5.2.2.3 Key features of the Fortum pilot displays

The aim of display normalization is to help operators to find the deviations from the normal, that is, to detect that the normal power operation is in danger or is lost. On the negative side, information of absolute parameter values is lost by normalization since because of scaling, areas of measurement that actually are different in size are of the same size on the IRD display. Operators may have difficulties in understanding the connection between the displayed information and the physical system and process. Overall, the Fortum designers thought the IRD displays are not very valuable in emergency situations, since in these conditions different instructions are used. Another problem is that normalized graphical information loses its value when the plant state changes. For example, since the line showing the measured value does not stay any longer at the middle of the trend graph after the change of the plant state, the normalization has to be done again after it.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

According to Fortum designers and operator designers, single bars and trends scattered here and there over the display are quite useless, especially if their scale is not known. But if they are put horizontally along the same line and the alarm limits are shown they can be compared in respect whether one of them deviates from the other ones. Another issue related to the use of normalized trends and graphs is whether some changes of process parameters cause larger changes than other ones. For example, even a small change of the pressure on the primary side can be seen as a big change, whereas the flow of TX changes more slowly.

There were some controversy whether all information should be grouped both in a horizontal and vertical direction. The Fortum designers thought that it would not be necessary that the trends are also vertically grouped, since there is no need to compare them vertically. It is also quite difficult to change the design if all the trends and bars are put into a matrix in which they are both vertically and horizontally aligned. Besides of this, there would be a great deal of work to check that the items are both vertically and horizontally grouped.

There were some controversies whether numerical values should be presented or not in the vicinity of trends and bar graphs. Even though most of them were removed, some of them were considered more important and they were kept there. All numerical values are, however, shown when the measurement value exceeds the alarm limit. It was also considered useful that the reliability of the presented information could be clarified. That is, some kind of observations for the validity of presented information is carried out, and a question mark is shown on the display if the information is considered invalid.

### 5.2.2.4 The need for training

The Fortum designers and operator designers were convinced that the fluent use of IRD displays needs practice – they are not an every man's tool. Because of this, operators may at the beginning resist the new displays, but it is probable that by time the resistance would diminish. The interviewees thought that a half-day training session is not long enough, but at least one day is needed for training. The participating operators should have an open and unprejudiced attitude towards these displays. Therefore, it would be important that the operator designers that had participated in the design process also could participate in the training session and explain the rationale behind the design choices made.

## 5.3 Design workshops

VTT researchers participated in two workshops in February 2008 in which the test scenarios were run and in which the designers were able to give suggestions for improvements. Interestingly, even though the design phase was considered to be completed, the designer operators still presented several suggestions for improvements. Overall, the designer operators were quite satisfied with the displays

they have designed with the IFE designers. They thought that all the essential information has been displayed on them. Some of the operators even thought that some information can be seen more clearly on these new displays than on the process computer displays, and because of this, some failures can be even better detected from the IRD displays than from process computer displays. The designer operators also thought the IRD displays may also serve other functions than the detection of the failure (e.g. diagnosing and stabilization of failures).

The designer operators thought the trends that show the history of parameter values are illustrative and help operators to detect the cause of the failure. For example, the level of the pressurizer and the rise of the pressure of the pressurizer are well presented. Also the trends showing the level of the pre-heaters and the level of the feed-water tank were considered very illustrative.

### 5.3.1 Problems with the Fortum pilot

The designer operators did, however, find some problems with the Fortum IRD pilot in these workshops. The most serious was that some colour changes of component symbols were quite hard to detect, and because of these reasons, the designer operators had problems in detecting some prominent changes in the state of the process (e.g. shutdown of the turbine). Therefore, some additional information (e.g. surrounding square or circle) should be displayed that makes the change more visible. In addition to component symbols, these coloured frames could also be displayed around trends and bar graphs.

It was difficult, for example, to notice the change from grey to green and back again, especially if this colour change occurs inside a frame that is differently coloured. As one of the operators commented: "...when a red lamp is turned on in the control room, it is immediately detected that the emergency pump has started... here the colour is only changed from grey to green... it is difficult to notice that change..." Perhaps because of these reasons, when the designer operators tested some of the test scenarios, it was found out that consequences of some failures were more easily detected than their main cause. This was especially the case when the change related to the primary cause of the failure was displayed at the corner portions of the screen.

The designer operators thought that coloured frames and more conspicuous colour changes would improve the detection of these changes. They also hoped that the colour red and yellow should be more widely used. For example, bypasses and overflows could be presented by using them. In addition, they thought that flicker should be used for the indication of new alarms. They suggested that after the operator has acknowledged the alarm the flickering of the alarm could stop. As one of the designer operators said: "If there is a lot of yellow colour there and then some additional yellow is displayed on, it is necessarily not easy to detect this additional information...but the flickering element can be easily detected."

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

The designer operators also thought that, even though the trends and bar graphs provide valuable information that makes the early detection of failures and problems easier, many of the small elements in trend graphs cannot be easily seen from the distance. For example, the movement of a dot presenting the actual valve position cannot be very easily seen on the trend graph, especially if the operator's attention is not directed to that element. Therefore, the size of these elements should be slightly increased. Moreover, the designer operators found that some of the scales (e.g. RA-pressure) were too rough, and as a consequence of this, some important changes in parameter values were hard to detect.

Even though a lot of information has been added to the displays during the design process, there were still some additional components and trends and bar graphs (e.g. trend of turbine power) that were hoped to be included in the display. It seems to be there is no end to the number of elements that could/should be included in this kind of large screen display. To be on the safe side, the designer operators hope that as many components and graphical elements are displayed as possible.

The designer operators were also somewhat worried about the Loviisa operators' possible negative comments, and one of them thought that they may think that the final design is a total failure. One reason for this may be that the operators will not be able to identify the component systems, since the labels and identifiers are lacking and some of the components are placed in an unexpected place.

### 5.4 Usability test of the Fortum pilot

A usability test of the Fortum pilot was carried out at the Fortum development simulator (KESI) in March and April 2008 (Figure 21). The aim was to gather preliminary information of the usability of the prototype and gather experiences from Loviisa operators.

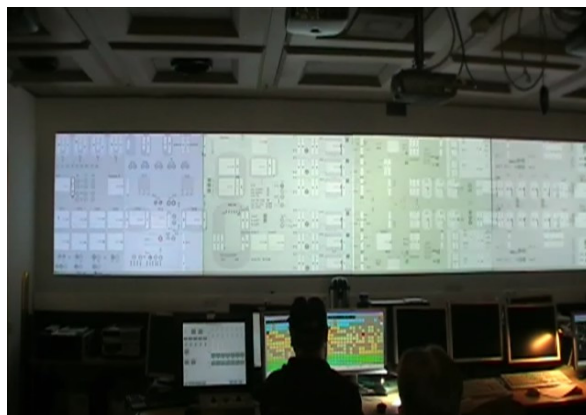


Figure 21. The four Fortum IRD pilot displays that were used in the usability test.



### 5.4.1 Method

In the following the arrangements of the usability test of the Fortum pilot are described.

#### 5.4.1.1 Participants

Three crews of operators (pairs of operators) participated in the test. These three crews involved operators with two different kinds of backgrounds. One crew consisted of the designer operators that had participated in the design of the Fortum pilot displays and scenarios used in simulator runs. The other two crews consisted of operators that had not been involved in any way to the design of Fortum pilot or to the design of the scenarios. One of the operators that participated in the training session was replaced by another operator, and another one did not participate in the training.

#### 5.4.1.2 Apparatus

Overview displays (either IRD displays or displays that are based on process computer displays) were presented on four large screens (see Figure 21). In addition to that, process computer displays were presented on monitors of the desktop workstations. Both operators could present information of the power process on two desktop screens. Control rods could be controlled by the new Qualified Display System (QDS)-system. Simulations were carried out with the Apros simulator software.

Table 10. The six scenarios that were run in the usability test.

<b>Scenario no.</b>	<b>Name and brief description of the scenario</b>
<b>Scenario 1</b>	Closing of the line TK10
<b>Scenario 2</b>	Closing of the main steam line RA15S03
<b>Scenario 3</b>	Breakdown of the level control of RN23S01
<b>Scenario 4</b>	Stopping of RU-pumps
<b>Scenario 5</b>	Failure of the temperature measurement of YA14T01
<b>Scenario 6</b>	Failure in electrical power centre

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

### 5.4.1.3 Procedure

For both crews the same set of six scenarios was provided. Short descriptions of these scenarios are presented on Table 10. Two of the six scenarios were run both with Fortum IRD pilot and earlier developed Loviisa overview displays (called in the following Loviisa displays). These Loviisa displays were aimed to be used as overview displays in the CR but they have not been taken in use yet. The scenarios differed quite much from each other: there are, for example, quite large differences in their completion time. The order of presentation of scenarios was balanced so that the same scenario was not presented in the same position for both crews. The time schedule of the test is shown in Appendix I. Detailed instructions for briefing the participants were developed. In the Appendix H screenshots of the Fortum pilot displays include information of changes that can be seen in these displays in each scenario.

### 5.4.1.4 Training

Before the usability test, a one-day training session was arranged on 5<sup>th</sup> March, 2008. The aim was to familiarise the operators participating in the test with the key principles of the IRD concept and with the Fortum pilot, and to gather some first comments on the design solutions. Four operators from Loviisa plant participated in the training, two of whom eventually were not able to take part in the usability test. They were replaced by two other operators who, however, received the training material in advance.

During the first half of the training session designers from Fortum and IFE gave presentations introducing the background and central ideas of the IRD concept. The main design solutions, such as the normalization and Dull Screen principles as well as the diagrams and symbols were explained by using examples. The second half of the day was reserved for demonstrations and experimenting with the pilot display. Small scenarios were used for illustrating how the display shows information in real situations. During the training session the designer operators who had participated in the design process discussed with the operators and had possibility to explain the rationale behind the design solutions. The session was observed and recorded by two VTT researchers.



Figure 22. Two head-camera images of the display screens that were used in the usability test.

#### 5.4.1.5 Performance measurement

During the simulator runs the crews operated the plant as they were instructed and as they would have done in any other simulated or real situation. The whole scenario was recorded on four video tapes. Two of the video recordings provided an overview, and two of them were recordings produced with the head-mounted cameras (Figure 22). The evaluation team also took notes during the scenario in order to provide topics for discussion in later interviews.

In debriefing the main phases of the simulation were discussed through together with the operators. The aim of the interview was to find out what events the users considered most important in the simulated scenario, and what kind of information they used in order to manage the event. After all simulation runs, the operators were interviewed on their experiences about the LSD displays that they have used in the test.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

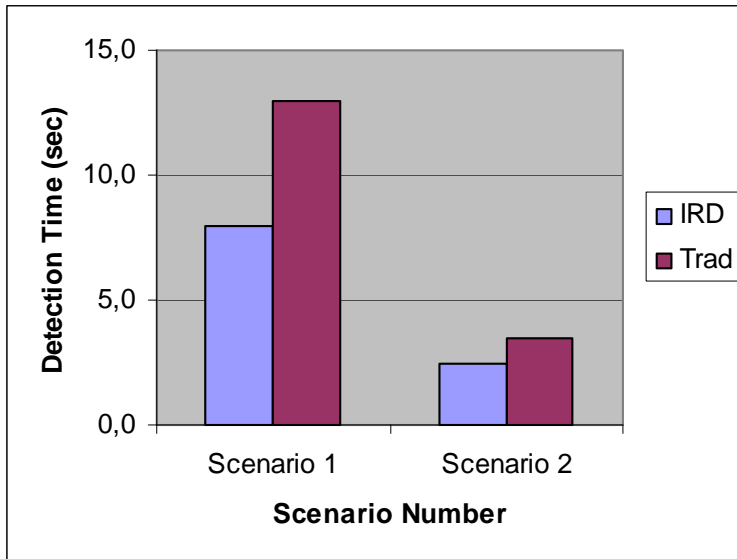


Figure 23. Detection time for two scenarios in the IRD and Loviisa display conditions.

### 5.4.2 Results concerning operators' performance

Some dimensions of operator performance were measured providing quantitative information of the use of LSDs. The following measures were used: duration of time to event detection for each scenario, source of the first deviation detected and percentage gazing time to different information sources and number.

#### 5.4.2.1 Duration of time to event detection for each scenario

This measure provides information of how long it takes for operators to detect the failure. It was measured by recording the time from the beginning of the deviation to the event detection. Detection of failures was based either on information on LSD screens or information on desktop screens. Overall, failures could be detected fast for all scenarios for the two crews that did not know the purpose of the test beforehand. Figure 23 shows the detection times for Scenarios 1 and 2 for the two crews. As can be seen, detection time was much longer for Scenario 1 than for Scenario 2 for both crews. There were, however, no big differences between the IRD- and Loviisa-display conditions, and failures could be detected nearly equally fast in the two conditions.

As said above, three crews of operators participated in the simulator tests. However, in the table bellow is only compared two of the crews that had not participated in the development of the Fortum IRD pilot or in the development of the test scenarios and that were novice to use IRD displays. It could have been

supposed that the third crew that were familiar with the Fortum pilot display and scenarios would have performed more effectively than the other two crews. Interestingly, the differences in performance between crews were moderate, and the performance of the novice operators was in general not worse than those who participated in the display design.

#### 5.4.2.2 Source of the first deviation detection

All the crews identified the failure in each simulator run and obtained a correct diagnosis of its cause. Operators, however, could not necessarily detect all the indicators of the failure from the IRD displays. Typically, the operators only detect some of these changes, and they do not necessarily notice the first sign of the failure but only some of its consequences. Sometimes, they had to actively search for a particular component especially if it was placed in an unexpected location.

Sometimes other information than information obtained from the IRD displays was used in the identification of the problem, and it was quite typical that in this case the first sign was received from the event list. Appendix J shows from which source the problem was first detected for each scenario and for each crew. As can be seen, except for two simulation runs, the failure was first detected from the large screen; for one simulation run it was detected simultaneously from the LSD and from the workstation display. For the six simulation runs in which Loviisa overview displays were used, the failure was detected from the large screen in five cases; in one of the cases it was first noticed from the event list that was displayed on one of the workstation display screens. For the IRD condition, the failure was detected first from the event list in only one of the 18 simulation runs.

Since the operators knew that the usage of large screens was the target of the test, they apparently looked more tightly at the LSDs than would have been the case in the normal CR conditions and, thus, also identified the problem more often from the LSD than from the workstation display screens. Nevertheless, our results suggest that the IRD-displays provide useful information that operators can utilize in the detection of failure states in the nuclear CR.

Different signs were used in the detection of the failure in different scenarios in the IRD condition. In Scenarios 1, 2 and 6, it was typical that the change of the colour of a pump or valve symbol frame was first detected on the IRD display. For Scenario 4, the operators first detected the descent of the level of the feed-water tank on the IRD display; for Scenario 5, the failure was also detected by looking at the graphical information showing the level of the pressurizer, and for Scenario 6, the operators noticed that the RA- and RV-pumps were not working properly.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

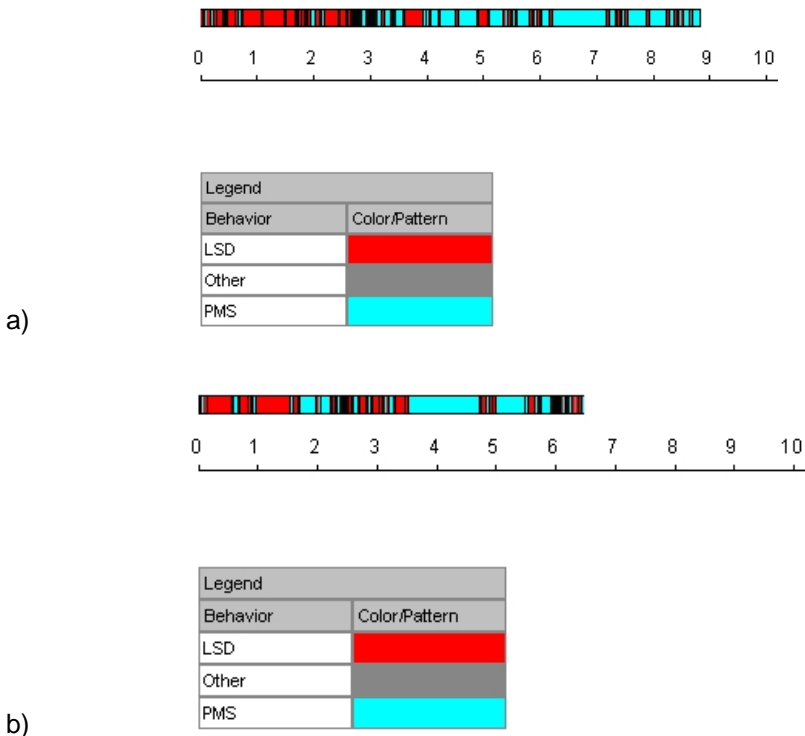


Figure 24. Examples of time-event plots showing gaze times to different information sources for (a) the IRD and for (b) the Loviisa LSD conditions.

As said, it was typical that the operators did not detect and identify all the indicators of the failure from the IRD displays. There seems to be many reasons for these problems. Sometimes the colour change (from one grey level to another or from grey to green) was too small; sometimes the operators had problems to interpret the changes that had occurred in graphs. The operators had also problems in identifying some of the components that were displayed because of the lack of identifiers and because of the rearrangement of displayed information. It was also found out that some of the critical information (valve S004 that was needed in Scenario1) was totally lacking from the IRD displays.

Since the IRD displays are developed for the early detection of failures, one interesting question is whether an operator could detect a failure from the first signs (e.g. from the change of the slope of a trend curve) before the alarm was triggered. Unfortunately, since the events in most of the runs were rapidly evolving, the 'first signs' can be seen nearly at the same time as the alarm information is displayed. Therefore, in most of the runs, the operators detected the failure from the displayed alarm information (i.e. from the changes of the

symbol colour or from the sudden appearance of a surrounding frame). The result might have been different if the failures have been more slowly evolving.

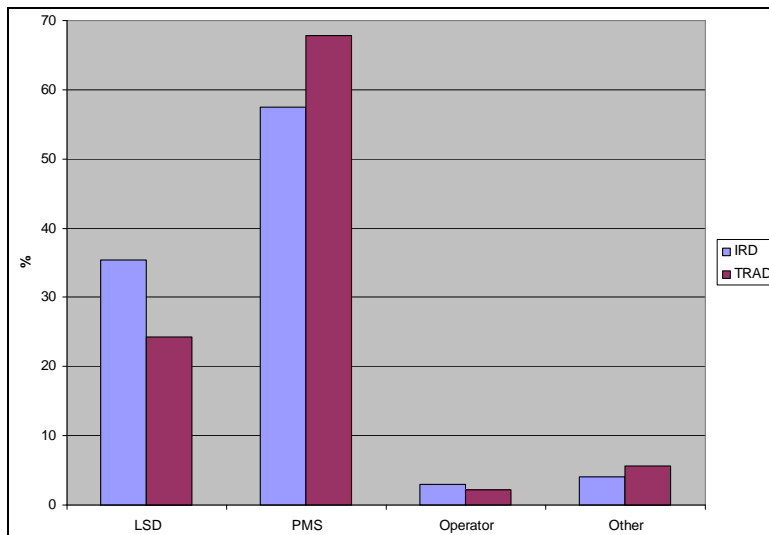


Figure 25. Percentage of time operators gazed to different information sources (LSD = large screen display, PMS = process monitoring system).

#### 5.4.2.3 Percentage gazing time to different information sources

The percentage gazing time to different information sources (ie., LSD, desktop screen, other operator) provides information of how long LSDs are gazed in relation to other information sources. Figure 24 presents two examples of graphical plot of occurrence and length of selected behavioural elements over time (time-event plots). As can be seen, the operators typically looked a longer period of time on the LSD than on the other information sources in the beginning of the simulation run. There were some differences in gazing times between IRD and Loviisa display conditions for the operators that were naïve to the purpose of the test (see Figure 25). For example, for Scenario 2 the operators gazed a little bit longer for IRD displays than for Loviisa displays. This finding suggests that Information Rich -displays may provide at least as useful information as more traditional large screens.

#### 5.4.3 Results concerning operators' thoughts on IRD key features and Fortum pilot

The following comments are based on training sessions and discussions that were conducted after each simulator run and on the final discussion that was

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

conducted at the end of the test. Results of all the three crews are considered. The operators could quite well describe what has happened in each of the simulator runs, and they quite well remembered from what sources they had detected the failure. The list of questions that were discussed in the debriefing is presented in Appendix K.

### 5.4.3.1 Training session: Operators' first comments on Fortum IRD pilot

The first comments concerning the central principles of IRD were somewhat reserved. One of the operators was strongly of the opinion that the normalisation principle would not work in nuclear power plants. This is due to the large number of important parameters that the NPP operators have to follow all the time. Also, there are a lot of continuously changing parameters (e.g. primary loop pressure) with many levels that all have different meaning, which makes it necessary to see the real signal all the time instead of a normalised signal. The same operator said that the LSD does not give enough information because of the lack of exact parameter values. The other operators were not as strictly towards the pilot display, but also they said that there should be more parameter values and component labels visible.

A common opinion was that the colouring is too grey, i.e. green colour is not distinguishable from the grey background, which makes it difficult to notice state changes. This is especially relevant in the case of pumps and bypasses. Initially one of the operators said that black background would be better than grey because the operators are used to it, but later the same operator commented that the grey colour is good since it does not irritate eyes. Many operators were hoping that there would be generally more contrast and that unacknowledged alarms would be presented with flicker.

During the training session, the overall layout of the display was commented mainly positively, although at first the display looked unfamiliar. One of the operators first asked: "Is this representing our process?" Later he said that the layout resembled a lot the layout used in the current PMS-displays that were developed in 1990's. The first impression of another operator was that it is fine that there is the same amount of space for the both sides of the plant. The lack of labels and texts made it difficult to grasp the display at first, but after seeing briefly a version of the display with labels attached and after live demonstrations, the operators said that it is quite easy to learn to know which component is which and to get used to the display.

Some ways of presenting information were not immediately clear for the operators. For example, the small symbols used in bar and trend diagrams for representing pressure, temperature, flow, and level were a bit confusing and hard to remember. One operator commented that a triangle would be an intuitive symbol for flow, but instead a square is used for flow and a triangle for temperature. Because of the density of information, the operators had difficulties in interpreting the trend diagrams containing information of valve positions.



Also, the “steam log” and “feed water log” were difficult to distinguish and their presentation could be improved with better placement and thicker lines.

The necessity of some forms of information, such as the bar diagrams around the pump symbols showing partial production, the electric board section, the bubbler, and the many pre-heater (RH) tanks, was doubted. Instead, some other forms of information that nowadays are presented on wall panels, e.g. regulation deviations, were considered very important to be shown on the large screen display. Also, some symbols were thought to be in wrong places or missing, such as the generator and transformer breakers.

### 5.4.3.2 Overall view of the IRD concept

Overall, operators utilized the information shown on the LSDs, and they thought that the IRD displays are useful in the detection of initial events and the first signs of failures. They also commented that the trends and bar graphs aggregate information in useful formats. Some of the positive comments are listed in Appendix L. Some of the negative features of the Loviisa IRD pilot are listed in Appendix M.

Operators thought that LSDs are typically not continuously monitored but they are only rapidly gazed now and then. The LSDs provide the first signal, and the rest is done by using the information from other sources. For example, the stabilization of the system and diagnosing of the failure are mainly carried out by using information of desktop screens. At these later stages the IRD displays should provide information that help operators to maintain the overview of the power process and know how the things are going on in the process.

### 5.4.3.3 Operators' thoughts on the key design features of the IRD-concept

#### **Display normalization**

Normalization was considered to be a useful feature: operators can immediately detect if all the values are in a particular area or not. On the negative side, because of normalization information of the actual parameter values is lost, and the contact to the physical system becomes more difficult. Since the operators need this exact information in some cases, they have to learn the limits that are shown on the graph. Some operators had also some doubts about whether it is reasonable to sacrifice such a large part of the display area just to satisfy this particular aim. In addition, at lower power levels the normalization is not very useful since the graph lines do not easily stay aligned. To prevent this, it is important that exact numeric information is presented at the location of the trends and bar graphs.

Overall, presentation of history information was thought to be especially valuable. Normalized symbols without trends were also thought to be useful but the operators still considered them less valuable than trends due to the lack of history information. The time scale of the trends is perhaps too short, and

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

because of the short time-scale operators cannot utilize the trend information during long runs. It was asked whether the update scale could be different in different trends. However, a deeper look of this suggestion showed that it may be misleading if different trends have different update scales.

### **Grouping of display elements**

On the IRD displays, because of element grouping, the deviations can be more easily detected based on the 'good continuation' grouping principle. On the negative side, since graphical elements are gathered from different parts of the display into a single place, information that is related and should be presented at the same place is sometimes scattered over the display and presented far from its real context (e.g. RA-pressure, level of pressurizer, neutron power). Therefore, it was found in the test that information that was needed was not always immediately detected, but operators had to search for the critical information for a while.

### **Use of colour in display design**

Since the simulator was quite dark, and some contrasts between a target and the background were large, the IRD displays were quite bright. The operators thought that, because of these reasons, it would be impossible to watch the IRD screen for a long period of time, especially because they are normally sitting quite near the display screen.

The alarm colours (red and yellow) were quite well detected from the display. Especially the red colour could be immediately noticed, and overall, operators thought that the alarm colours are well chosen. One operator, however, found out that he had some problems to notice the change of the colour from grey to yellow. The operators also thought that different states of pumps and breakers should be presented in a more conspicuous way. Neither were the colours of the surrounding frame of the valve and pump symbols seen very clearly. Because of colour contrast, the colour of the centre part of these symbols may also change a little bit, and so the meaning of the symbol may remain unclear. One solution to this is that the surrounding frame is broader, and the whole symbol is a little bit larger.

The change from one grey level to another is used to inform that a particular component is by-passed, is not connected or is out of function. Since the differences between different grey levels are quite small, these changes very easily remained unnoticed. Overall, by-passing and components that are out of function should be better presented.

The operators also complained that the logic behind the use of alarm colours was somewhat confusing. Especially, the use and function of the colour yellow remained unclear to them. Overall, the discussion of the logic of the use of alarms and alarm colours formed a big part of the debriefing discussions.

### Information richness

Due to the lack or insufficiency of practice, the operators were not able to utilize all the information that was presented on mini trends and normalized symbols without trends. A common finding was that they identified a particular deviation (the change of the level of a bar), but they did not necessarily understand what its meaning was. To be able to utilize this information, more practice is, therefore, needed.

The blue dot indicating whether the device is in manual or automatic mode was considered useful but it was somewhat difficult to notice. It was discussed whether the shift supervisor is able to see it at his/her seat, and it was suggested that its size should be increased. The meaning of the horizontal dash lines that were placed in the trend graphs remained unclear to operators, and they were not able to use this information.

The arrow showing that the level was rising or falling was useful, but it was suggested that this property could be further developed: If the level is rising rapidly two arrows could be shown, and if the level is rising too rapidly, three arrows could be presented.

#### 5.4.3.4 Presentation of information on Fortum IRD pilot displays

On the left-hand side of the display the information is read from left to right, but on the right-hand side the direction is however partly reversed, and the information is read from right to left from the condenser towards the steam generators. Some operators considered this especially problematic, since trend graphs are read from left to right even on the right-hand side of the display. It would be important that information should be presented consistently in such a way that operators need not change the direction of reading.

A lot of discussions were spinning around the question of the placement of symbols. Due to lack of space, some components are not located where they should be, and because of this, some operators sometimes had to actively search for information that was needed. For example, since the level of pressurizer is displayed on the reactor operator's side, the turbine operator has to gaze quite far away from his location. Therefore, the turbine operators hoped that this information could be shown 'on their side of the display'. Also, the location of the generator should be changed: it would be better if it is located to the right of the turbine along the same line. In addition, it could be better if the intermediate cooling pumps (VG-pumps) are presented where all the other pumps of the auxiliary system are shown.

Many of the pipelines and clusters of components should be reorganized. For example, all information that is related to the main steam piping (RA) or to the feed-water system (RL) should be grouped together. It was also complained that some components play a too dominant role in the display. For example, pre-heaters could be combined and presented as a single group.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

Some essential information was thought to be lacking. For example, because of lack of space many important valves and pumps are not presented on the Fortum pilot display. Information of their state was, however, shown to be critical in some of the scenarios. There was also a longing for flicker information, and operators did not think that flicker is disruptive in this kind of displays. For example, it was suggested that flicker should be present until the alarm has been acknowledged. Another possibility is that the flicker is automatically stopped after a short period of time, and after that the component is still presented by using the alarm colour.

The scarcity of numerical information was complained. Even though some operators considered that the presentation of all the numerical data may make the display look cluttered, it was hoped that some numerical values could be presented at the bar graphs and at the trends. There was no general agreement on the presentation of labels and identifiers: Some operators thought that the presentation of labels makes the display look confusing, some other operators thought that labels and other identifiers are needed. Some operators, for example, complained the lack of labels at the place where the symbols and other graphical elements are located. Because of the lack of identifiers, the operators had some problems in the identification of displayed elements. Therefore, it would be useful to show the labels as long as the operators cannot identify the components without them.

On the other hand, the operators also thought that some information is useless, and could be removed. For example, there was a lively discussion of whether the electrical systems (e.g. transformer circuit-breaker, generator breaker) should be presented on the IRD display or not. Some operators thought that, except diesels, all the other components of the electrical system could be removed. Some operators hoped that all information concerning the electrical systems could be put into a separate display, whereas some operators thought that at least their grouping and arrangement should be considered more carefully.

The operators had different views on the presentation of pipelines. Some operators thought that a larger number of pipelines should be displayed. It was also complained that the pipelines are not presented very clearly, and it is somewhat difficult to see them. Some operators, however, doubted whether it is even important to see them clearly on an overview display. Arrows showing that a pipeline will continue after a break were somewhat misleading, since the arrow is typically indicating the direction of flow. The operators hoped that some of these arrows should be replaced. On the other hand, the arrows may be useful at the right-hand side of the display where the direction of reading is unconventional (i.e., from right to left). The operators also thought that the thickness of the pipelines should depend on the importance of the pipeline so that the main pipelines should be presented with a thicker line than the less important ones.

A general problem was that many of the symbols and other graphical elements were too small in size so that they are difficult to see from distance. Since the

amount of displayed information has drastically increased during the design process, the lack of space has become one of the main challenges, and many of the graphical elements and alphanumeric characters are located too near to each other. This fact also makes the information difficult to see from distance and makes the display look a bit confusing.

### 5.4.3.5 Development of the Fortum pilot

In the first version of the Fortum pilot only analogue measurements were shown, and only main circulation pumps and feed-water pumps were displayed. All the other information (e.g. feed-water and steam lines, valves and pumps) has been later added. A general trend was to add more information and present new valves and pumps, since operators thought it is important to present all the essential information and compensate the information shown on the panels and desks of the conventional CR. A critical question is whether this is a right way to proceed since when the amount of components displayed increases, problems with the lack of space emerges.

### 5.4.3.6 Usage practice of IRD displays

The operators thought the LSDs should have a general overview function: They should not only help operators to detect a failure just at the moment it is occurring but help them to get an overall view of the power process whenever it is needed. For example, they could be very useful in the shift change: The shift that is coming in to work in their shift can immediately see that everything is working well, if the colour red and yellow cannot be seen on the LSD.

It was asked whether IRD displays can support collaboration and co-operation between operators. The operators thought that since the IRD displays can provide information of what other operators are doing, they also can improve the collaboration between operators. For example, it was thought that when all the operators see the same information on a LSD, there is less need to ask other operators for help.

The operators thought that there should be no problems to use the IRD displays together with workstation screen displays because the concepts are so different that any kind of confusions are not possible. Apparently, the operators have learned to live with different types of information presentation concepts (process computer displays vs. panels and desks). It was, however, considered possible that LSDs may even disturb operators and cause trouble if the operators think that they should look at the LSD every now and then.

The IRD displays are now only aimed for watching, but they could be more interactive. A cursor could be presented on the display, and additional information could be displayed by a mouse click. For example, a code of a particular component could be presented by clicking the component with the mouse. The logic that is behind a traffic light could also be shown by this way.

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

In general, windowing was considered an important target of development. It may be especially useful when operators are learning to use the IRD displays.

It was also suggested that the IRD displays could help operators in the navigation through display pages. Since it has been found that operators spent a lot of time in searching for the right display, it would be nice if they could select the right display from the large screen. That is, after clicking a particular component by a mouse on the LSD, an operating window could be displayed on the workstation screen. This kind of use of the LSDs may be especially useful if the operators have to rapidly operate a particular component.

### 5.4.3.7 Function of IRD displays

In general, the operators thought that the IRD display should provide an overview of the power process. Therefore, it is not necessary that all the information that is displayed on panels and desks is also presented on LSDs. The operators thought that the concept may be applied to other plant states, but the present displays may be quite useless in other plant states. Therefore, new types of displays are needed for other plant states (e.g. for outages, start-ups and shutdowns). A lot of information that is shown on the present displays could be removed and replaced by another type of information. Some information that is shown on the present IRD displays, however, is also needed at other plant states (e.g. information of the RR system).

### 5.4.3.8 Comparison of IRD and other display formats

Two of the six scenarios were run both with IRD and Loviisa overview displays which makes possible to compare the IRD displays and traditional LSD displays. It was found that information could be detected more easily from IRD displays. The operators complained that the Loviisa overview displays were too crowded (“like a mishmash”), and too much numerical information was shown on them. They also doubted whether all the information that is presented on them is useful.

The presentation of history information by trend graphs is perhaps the most valuable feature of the IRD-displays that is lacking from other types of LSDs. The trends and bar graphs help operators immediately to detect that something abnormal has happened. Some operators even commented that the trends are the only element worth to save and keep there.

Some operators, however, thought that in some respects these ‘old’ LSDs are better than the ‘new’ IRD displays. For example, colours are better for the Loviisa displays, and the displays are not too bright since the background is black. A general view was that the LSDs should be some kind of compromise of the IRD and Loviisa overview displays.

One operator thought that he could notice failures better in a conventional CR in which information presented on conventional panels and desks. Since the presentation formats are very different, it is difficult to compare ‘new’ and ‘old’

CRs, and in general, the operators were not able to decide whether the IRD displays are a better way to present critical information than the panels and desks of the conventional CR.

The operators considered that alarm sounds are very important in providing information of failure states, and their lack was thought to be a deficiency of the test itself. As one of the operators commented: "...99% of the cases in which some kind of failure occurs includes an alarm sound...At first, the alarm sound goes on, and after that, the operator moves his/her gaze to the event list..." It remains, therefore, possible that audible cues are even a more important information source in the detection of failure and problem states than visual ones.

#### 5.4.4 Intermediate conclusion

It remains unclear whether the IRD displays are suitable for overview displays, but they have some promising features such as presentation of trend information and alignment of normalized trends.

The information that was shown on the IRD displays was used in the detection of failures: in 16 of the 18 simulation runs the failure was first detected from the IRD display. The results in the comparison condition in which the more traditional Loviisa large-screen displays were used were quite similar: in most of the simulation runs the failure was first detected and identified on the LSD display. These results suggest that both types of LSDs provide useful information that help operators in the detection of failures and problems. It was also found that the failures could be detected nearly equally fast in the IRD and Loviisa LSD conditions suggesting that the IRD displays at least did not disturb the operators' ability to detect the failures. Our results do not, however, provide an answer to the question of which one of the two display types is more promising.

The displays were thought to be quite reduced and simple. They may indeed help operators to detect the failure before the alarm is triggered, and they may also be valuable during change of shifts in providing operators an overview of what is going on in the process. They may be especially useful for shift supervisors to provide information of the overall state of the process. The shift supervisor can see with a single glance the state of the power process at the same time he/she is working with another task. Overall, the operators were somewhat cautious in expressing their final opinion of IRD displays, and some of them thought that more practice is needed in order to be able to present the final conclusion.

The operators complained that their training has not been sufficient, and more training would have been needed. Due to the fact that only a small-scale test was run, many questions remained open. For example, IRD displays are useful in early detection of failures, but it remains unclear whether they are also useful at the later stages. For example, it was found that after the initial detection of the failure the operators mainly used the process monitoring displays (PMS) in the diagnosing of the failure. Sometimes they also looked at the LSDs and compare

their content to the content of PMS-displays. In general, it remains unclear what kind of failures they are especially suitable for. In addition, the Fortum pilot displays are designed for normal power operation and it is unclear to what degree they are also useful in other plant states.

## 5.5 Heuristic evaluation of the usability of the Fortum IRD pilot

Three members of the VTT research team carried out a heuristic evaluation of the IRD-displays. Since the heuristic evaluation of the IRD-displays is based on screenshots and paper images of the displays, the evaluation will concentrate on basic design features of the displays. More complicated issues such as how these displays are integrated with the other displays (e.g. displays of the operation workstations and other large screen displays) in the control room and how they are controlled and managed are not considered.

The heuristic evaluation of IRD displays was carried out in January 2008. Even though the design process was basically finished, some improvements were made after that date. They were mainly related to the features that were not as a target of the heuristic evaluation.

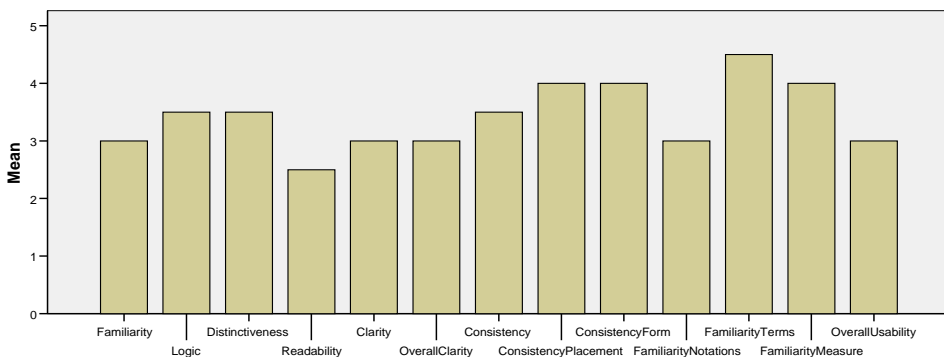


Figure 26. Numeric evaluation of the main aspects of the usability of IRD-displays. For scales see Appendix N.

### 5.5.1 Numeric evaluation of the visual usability of the IRD displays

The main part of the heuristic evaluation was a detailed qualitative assessment of the visual usability of the designed displays. These results are presented below in the next section (5.5.2). All the three evaluators also assessed the displays according to their visual layout and quality, consistency, familiarity and overall usability by using a Likert-scale from 1 (low usability) to 5 (high usability). Overall, the visual usability of the display was thought to be at the moderate



level (see Figure 26). The IRD-displays received the lowest scores for readability, clarity and familiarity of notations. The highest scores were obtained on questions related to consistency and familiarity of terms and measures.

## 5.5.2 Qualitative assessment of the visual usability of the IRD displays

### Display normalization

The evaluators see that normalization of information that is shown in bar and trend graphs is a novel feature that may help operators to detect deviations very early. On the other hand, it is possible that operators lose touch of what the exact values are, which may be harmful in the stabilization of the system and diagnosing of the failure state. One thing that might harden the use of mini-trend and bar graph information is that individual bar or trend elements do not have identification labels or other types of identifiers attached to them.

### Layout and grouping of display elements

A huge amount of information is presented, and the display is full of detailed information. However it seems to be that only relevant data is displayed. Overall, more empty space is needed. On the whole, information on the display is quite nicely grouped. For example, on the reactor side the direction of flow can be quite easily seen, and the key components such as the reactor and the steam generators can be easily distinguished from other components. On the other hand, the displays are cluttered on a close view, and the layout seems to be somewhat inconsistent. It can be said that the clarity of presentation varies from one part of the display to another. Especially at the turbine side many elements seem to float freely in the display, and their connections to other symbols remain unclear. In addition, the order of bar graphs and trends (indicating pressure, temperature and flow) that are related to particular components vary from component to component (e.g. TB20 vs. TH-tanks) which increases inconsistency. The suggestion is that the style guide would provide guidance on how different symbols/elements should be built together and what should be their relation to other elements.

On a general level the physical structure of the system cannot be seen very clearly. The layout of the mimic diagram can be confusing since it does not always show logical relationships between components. Plant components presented along the mimic lines cannot be easily identified because of the lack of labelling, and the origin and destination points of pipelines are not labelled. It is disturbing that pipelines are presented only partially: They cease to exist abruptly or they cross each other. It can also be difficult to perceive to what component they are referring to. For example, in case of YB11, YB15, YB13, the pipelines surround trends and go through them. The inconsistent presentation

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

of the pipelines might be one reason why it is difficult to parse the display into meaningful subgroups. The meaning of the arrowhead attached to the pipelines is not clear; are they indicating the direction of flow or that the pipeline is continuing to the next short piece of pipe. Arrows at the end of the pipelines are also quite small, and therefore they may be difficult to see from the distance. Overall, the main structure and the main components of the process cannot be easily distinguished from each other. Nor is the direction of the process easily perceived.

The fact that all main functions, processes, systems and components that are typically shown on this kind of process display are not presented, makes it difficult to 'read' the display. Normally, they provide context to the critical information. When this information is not displayed, essential contextual cues are lacking.

### **Use of colours**

Overall, the colour set seems to be carefully selected: Alarms can be easily detected by colour, and colour coding has been efficiently used for segmenting the display. For example, background colouring helps to separate the display areas from each other. However, some colours may be difficult to distinguish from other ones. For example, the colour green or blue may be difficult to detect if the symbols are very small. The green colour is also used in a way that it indicates many different things. It is also used in many different symbols which have decreased its value and the colour change in single component is, therefore, not easily perceived. The colour yellow, used in the indication of alarm states, cannot be easily detected against the grey background. Also the contrast between the labels and the background is not high enough. For example, it is difficult to read grey letters that are located on a dark gray background.

### **Information presentation and aggregation of information**

Some new forms to visualize information are used. For example, there are new symbols for the presentation of pressure, temperature and flow. Even though the pump, valve and tank symbols are familiar, their colouring is different. Mini-trends and bar graphs have not been presented in this way in other applications. In some parts of the display it is difficult to interpret to which component the graphs are referring to. For example, it might be difficult to know what the eight trends are representing at the left hand side of the display (e.g. the condensing set with reheat, RB; the condensate, RN). Generally, the symbols are quite distinct, and, for example, pressure, flow and temperature symbols can be quite easily distinguished from each other. Alarms are also clearly connected to the target component/symbol. However, when connected to a pump symbol alarm frames obscure pump's load information. Due to the density of the display, some components and elements might mask each other. For example, some numerical values are so close to each other that they can be read together (e.g. TH40 tank: liquid level and pressure); also some labels can be read together (e.g. T-kansi,

Alik Max, Tmax, Kvara). In addition, some component labels are even located behind the symbols or digits.

Overall, symbols and alphanumeric characters are of sufficient size. Titles and labels and numerical characters can be easily seen and read. Some elements are too small, however, and detailed information cannot be seen from the distance. Due to small size and occasionally occurring partial masking, elements of the graphs (e.g. set-point values, expected values and actual values) do not distinguish very well from each other, and they are not easily identified from distance. In order to identify many of the small components operators have to either remember/where they are located or they have to move closer. In style guide it is thought that one of the useful features of the IR-displays is that they can be used differently at different distances. To our opinion, this is a problem, not an advantage; since operators do not necessarily have an opportunity to walk closer to see clearly the details of the display. Neither have they any reason to walk there if they cannot accomplish operations through these displays. Overall, there is a large variation in element size, and too many sizes are used. For example, there are at least five font sizes in use, and the logic behind the use of this variation remains unclear. It also seems to be that the same type of components can be presented in two different sizes (e.g. diesel generators vs. other generators).

Even though pump, breaker and turbine symbols are clearly distinguishable, some statuses of pumps may be difficult to perceive from the distance. For example, concerning Running 75 % speed, it may be difficult to perceive the white line from the background of the control room. Concerning the presentation of graphs, green diamonds expressing expected valve positions cannot be perceived from the distance. Also, the thin lines in the trend graphs are so faint that they are difficult to perceive.

Labelling is insufficient and used in an inconsistent way, and different types of display elements do not contain appropriate, distinct and unique labels. It is sometimes difficult to know what component the title or label is referring to since they are sometimes placed far away from their target element. Labels and identifiers are also inconsistently located around the element. Sometimes the label is on the left/right side of the component, sometimes above/below of it (e.g. the left corner of the display, titles of the reactor's intermediate cooling system, TF and service cooling water system, VF). In some parts of the display the labels occlude other information, or they themselves are obscured. There are also some inconsistencies in the use of capital and lowercase letters in labels. Therefore, it can be said that the hierarchy of the labels is not clear. Adequate labelling could also offer navigation links to the other displays and in this way help operators to move from one information source to other one. The style guide does not provide much guidance on these issues.

Some words are abbreviated in unconventional ways, and some abbreviations include punctuation. The logic of the use of abbreviations remains somewhat unclear. For example, some abbreviations are odd and apparently unfamiliar

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

(e.g. Raj Sauvak, ABO, Alik max), and some words are abbreviated even though there would be room for presenting the whole word.

Normalization and Dull Screen principle are well explained in the style guide, but otherwise the design rationale is in many ways deficient. For example, explicit rules are not given how the different shades of background colour and specific colours are used. There is an inconsistency between the Style Guide and the displays in the presentation of control rods in the Style Guide: '0' is displayed at the top of the symbol, on the display '250' is shown at the top.

### 5.5.3 Intermediate conclusion

To our opinion, it is important that in the evaluation of the new design the design principles are taken into account, and the prototype is evaluated in the light of these principles. On the other hand, we also think that it is fair to evaluate the new design by using the same criteria as for other types of displays especially if it is ever aimed to be implemented in real NPP control rooms.

It seems to be that in order to be able to apply the IRD design principles far too many compromises have been made. Perhaps a better solution would be that one display that is based on IRD principles would be designed for rapid detection of changes in the main process parameters. Overview displays, on the other hand, should be based on plant mimics, and IRD principles should not be applied in their design.

## 5.6 General discussion

The discussion section is mainly concentrated on the evaluation of the Fortum IRD pilot displays that are based on the IRD concept. In addition to that, since we also interviewed designers and participated in the design workshops during 2008, we will comment on the design process as well. We have divided the discussion section into two main sections: First we present comments on the IRD concept in general, and after that we overview and present critical comments on the Fortum IRD pilot (see Appendix L).

### 5.6.1 Evaluation of the IRD concept

#### 5.6.1.1 Display normalization

A lot of comments were received regarding the graphical presentation of information. For example, normalization of information was critically commented by several operators. The main idea of the original IRD concept is that when the scaled trends and bar graphs are put along a line, even very small deviations are easily detected making possible the detection of failures before the alarm is dis-

played. Comparison of aligned mini-trends and bar graphs is made possible through display normalization. In general, the value of the display normalization was considered to be quite small, and some operators thought that the normalized graphs are nearly useless if the exact numerical values are not continuously present to complement visually presented graphs. The operators did not report that they would have used this property (i.e. comparison of aligned graphs), since in test scenarios other types of information could be used in the detection of the failure. Therefore, our test results do not provide much evidence about the usefulness of normalization. This is a big deficiency since display normalization is one of the most important properties of the IRD concept. It should be considered if the strict placement of display elements along the horizontal/and vertical lines is reasonable on the expense of the plant architecture familiar to the operators. However, the operators still thought that providing history information through trend graphs was positive and arrows showing the direction of change after the violation of an alarm limit were considered useful. It is possible that display normalization shows its usefulness and importance in other types of test scenarios. Different types of test scenarios are, thus, needed in which the consequences of failures emerge more slowly. However, since a quite broad and comprehensive set of scenarios were chosen for our simulator tests, it can be at least concluded that there are quite many failure and problem states in the nuclear field in which display normalization is not needed and is not helpful in the identification and stabilization of the failure.

#### 5.6.1.2 Use of colour

The application of the Dull Screen principle is one of the key design features of the IRD concept. Concerning the chosen colours, the operators' opinions differed quite much: Some operators thought that the Dull Screen with the grey background is a good choice, especially because in the future also the background of the workstation display screens will be grey; other operators, however, thought that the grey background is not suitable, for example because of the grey background other shades of grey are not distinct enough. The main aim in the use of 'greyish' Dull Screen principle is to improve the visibility of the alarm colours. The used alarm colours were mostly experienced as satisfactory even though the visibility of the yellow colour appear to be more sensitive to the quality of the display technology.

Our results, however, suggest that the chosen set of colours makes other state changes even more difficult to detect. While the visibility of alarm colours was good, the colour coding for state changes in different plant instrumentation (e.g. pumps and valves) was experienced as inadequate. The operators considered that it is essential to perceive information of the resources in use, which is necessary in order to be able to create an overview of the situation. The green colour was considered most problematic, since it has been widely used and it has several meanings. This fact decreased its value in the elicitation of attention. The main

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

problem was that the colours green and dark grey are difficult to distinguish from the grey background when looking far away, and in this way some of the important changes or deviations from the normal state do not catch operators' attention. Some operators also had difficulties in distinguishing the green colour from yellow. This was especially problematic in the case of pump symbols in which the coloured frame around changed the hue of the central part of the symbol, because of colour contrast. The operators also had problems in noticing by-passes and components that are not connected, since they were not able to distinguish different shades of grey from each other. To summarize, some positive characteristics emerged when following the Dull Screen principle, but also many comments provided suggestions that the principles concerning the use of colour have to be further developed.

### 5.6.1.3 Information richness

'Information rich' trends and graphs were considered useful, but due to the lack of practice the operators were not able to utilize all the information that was presented on them. It is possible that with practice they could better utilize these information clusters. But it seems to be that the symbols in these graphs are too small, and they are located too near to each other so that even after practise it may be difficult to identify the cluster and interpret its total meaning.

### 5.6.2 Fortum IRD pilot

The Fortum IRD pilot displays are aimed for an overview display for 100% power and for rapid detection of failure states. It is, one of the central tenets that the IRD displays should help users to detect deviations from normal. Even though this is important, it is necessary that these kinds of displays should also serve other purposes. For example, they should be useful when diagnosing failures or trying to stabilize the system. In fact, IRD displays should also function as overview displays that help operators to maintain accurate situation awareness. However, it seems to be that in order to attain situation awareness and perform the operational tasks that follow from the rapid detection of failure states more detailed information is needed. It is not clear whether and to what degree the Fortum IRD pilot displays are suitable for these purposes. We claim that in the nuclear field overview displays should be based on process architecture and on the functional analysis of the target system, not only on a particular design principle. Therefore, the critical question is whether it is reasonable to sacrifice several screens for this purpose only if these displays are nearly useless at other plant states. The apparent answer according to operators is no if their content is fixed. The answer, however, would be different if it could be possible to change their content according to the plant state so that some parts

of the IRD displays change as the plant state is changing. The participating operators also thought that this kind of change should occur automatically.

Some operators critically commented the way the process is displayed on the Fortum IRD pilot, the fact that on the left-hand side of the diagram the information is read from left to right, on the right-hand side the direction is, however, partly reversed, and the information is read from right to left. Overall, it seemed to be that, in the long run, the operators will have no problems to get familiar to this characteristic, but in the beginning it may seem to be a complication.

The participating operators criticized that many of the alphanumerical characters, symbols and other graphical elements were too small in size so that they had problems to identify them from the distance. This is a real problem, since operators do not normally have a possibility to walk closer to see what is displayed on the screen. Neither have they any reason to move closer especially because the IRD displays are only for reading, not for operating. An additional problem was the inconsistency of element size: For example, the size of letters could vary from one part of the display to another.

Even though the Fortum IRD pilot displays look different from more traditional overview displays, in general, the operators had no prejudices against the new displays. The experienced operators were able to utilize Fortum IRD display despite of the fact that the presentation format differs from what they have used to. However, some inconsistencies between traditional overview displays and IRD displays disturbed them to some extent. One of the main nuisances was that the symbols of components that belong together are not located near to each other on the display but they are dispersed over the display. Since the elements are lacking labels and other identifiers the operators had serious problems in the identification of displayed elements. Because of the short training time, the operators also had some problems to remember to what different symbols (i.e., dot, line, triangle and diamond) were referring to.

Even though some of the pipelines are presented on the display, they may be more confusing than they are helping since only fragments of them are displayed. A general hope was that pipelines that in the reality are different in size should be also presented with different-sized lines. The operators also had problems to understand the arrows located at the end of the pipelines.

The final version of the Fortum IRD displays looks quite different from the first one, since a lot of information has been added on the display during the design process. Even though the amount of information has increased, the operators still made suggestions of components they would like to see on the display. For example, some operators hoped that information of detached components could be seen on the display. Contrary to that, some operators also mentioned components information of which could be removed from the display (e.g. information of electrical systems).

One operator counted on how many trend graphs is needed if a complete presentation of all the necessary information is desired: Since the reactor operator is monitoring about a hundred parameters and the turbine operator is

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

monitoring about three hundred parameters, about four hundred trends should be displayed on the overview display if a complete presentation is required. Since the presentation of this amount of trend graphs is impossible, the amount has to be lowered, and only the most important trends should be displayed. Screening is, therefore, needed to select the most important variables. Our opinion is that this screening and selection should not be done in a spontaneous and ad hoc manner but should be based on careful functional modelling of the target system.

The design process based on the rapid prototyping methodology was shown to be useful. It may also be the only possible way to develop a testable prototype especially if there is a lack of time and resources. Some method based on the functional analysis of the NPP process would be preferable, but it may not be feasible in this kind of project.

All the stakeholders had an important role to play in the design process. Since the IFE designers knew the IRD concept, their task was to design the Loviisa pilot displays in such a way that they support the detection of failures. The Fortum designers participated in the implementation of the designed solution, and they also functioned as mediators between the IFE designers and the operator designers that participated in the design work. Since the three operator designers were experts of the nuclear domain, their function was to provide domain expertise in what information should be presented in the overview display and by which way it should be presented.

Many of the good and bad features of the Fortum IRD pilot were added during the design process, and they are not based on the IRD concept as such. For example, the Fortum IRD pilot displays are filled with a lot of process information which make them suitable as overview displays that support the acquisition of accurate level of situation awareness. Originally, the IRD displays were, however, aimed for rapid detection of failures, and their principal aim – according to the developers – was not to function as overview displays. Since a lot of information is displayed on the Fortum IRD pilot displays, they are also suitable for stabilization and diagnosing of failures which was not the original intent.

The final prototype has thus weaknesses that cannot be blamed on the IRD concept. For example, it is not caused by the IRD concept that the displays were considered a bit cluttered and confusing. As the designers said, these defects are mainly caused by the way the prototype was designed: It is characteristic to the rapid prototyping that the development process proceeds in a quite spontaneous and ad hoc manner. The designers also complained about the hastiness of the design process which may also have made the final prototype look a bit unfinished. In addition, due to occasional malfunction of the simulator, the operators had problems during the simulator runs that may affect their evaluations even though these problems cannot be blamed on Loviisa IRD pilot displays.



## 5.7 Conclusions

As was mentioned in the introduction section, some of the central aims of the IRD concept have been to provide overview information, support early detection of failures and disturbances and help operators to diagnose the problem and stabilize the process. IRD displays are intended to support the development of acceptable level of situation awareness as well as collaboration and co-ordination of activities within a crew by establishing a 'common ground'. The main design principles include display normalization, and the Dull Screen and Information Richness principles. In the following the fulfilment of the aims and the suitability of the design principles to presenting information of nuclear power production process will be discussed.

### 5.7.1 Usefulness of IRD design principles

One of the most salient features of the IRD displays is that they are different from more traditional type of large-screen displays. Despite of the novel form of presentation experienced operators were able to take advantage of the Fortum IRD pilot and detect deviations successfully. The Fortum IRD pilot displays were also used during the process stabilization phase along with the process monitoring system displays. In addition, they offered operators a common view to the process. Therefore, it can be said that by these means the development of situation awareness was supported. It seems to be that it is not a fatal problem for the overview displays if the presentation format is different from what the operators are used to. However, it is necessary to take care of that some consistency and familiarity with other interface elements of the CR is maintained. Because of the IRD concept's novel features, it is clear that in order to be able to use the display in an efficient way, sufficient training is needed.

As said, display normalization is intended to support rapid visual processing and detection of failures when several normalized graphs are set along a horizontal line. Operators did make use of trend information in the simulator runs, but they, however, said that display normalization is not a very informative property, and some of them even doubted if normalization is suitable for the presentation of information of the nuclear power process. Our results, thus, do not provide much support for the usefulness of display normalization. It can be that display normalization would have been more useful in other types of scenarios in which the changes occur more slowly.

The aim of the Dull Screen principle is to make the display clearer and prevent visual noise by using specific colouring rules. The main aim in the use of the principle is to improve the visibility of alarm colours. Our results, however, suggest that the chosen set of colours make other state changes even more difficult to detect. While the visibility of alarm colours was experienced

## 5. Evaluation of the Loviisa IRD-pilot

fairly satisfactory, the colour coding for state changes in different plant instrumentation (e.g. pumps and valves) were experienced as inadequate.

Because of the lack of sufficient practice and training, the operators were not able to take use of all the information that was placed in trends and bar graphs. It is, however, probable that with more practice they would have improved in the ability to use this information. Our claim is that ‘information richness’ of graphs is one of the most useful features of the IRD concept in the nuclear field.

### 5.7.2 Evaluation of the Fortum pilot

Despite the rapidity and ‘ad-hocness’ of the design process, the final prototype is surprisingly mature and well-structured. This finding suggests that this kind of agile approach is well suited for the development of overview displays for industrial purposes. The approach would further benefit if it could incorporate into itself more systematic mode of operations that are based on functional modelling of the target system.

Our results suggest that the Fortum IRD pilot displays have many useful features such as presentation of history information through trend graphs, use of Gestalt grouping principles in element clustering and information richness of graphs. These features make the displays pleasant looking, and they also help operators in the identification and diagnosing of failures if they have had enough time to practise them. However, the displays have also several features that make them poorly suited to their purpose. Inconsistencies in the presentation of information (e.g. variable and inconsistent direction of reading, font size and use of grouping principles) are one of the biggest problems. The lack of labelling and lack of exact numeric information was also considered problematic.

All in all, the Fortum IRD pilot is a nice set of displays that have shown to be useful in the detection, identification and diagnosing of failure states in the nuclear power process. Considering the rapidity and spontaneity of the design process it is a respectable achievement. On the other hand, the final prototype is also some kind of ‘bastard hybrid’ of IRD displays and traditional displays based on process and instrumentation diagrams. This hybrid has its benefits, and as our results suggest, it can function both as an overview display providing useful information of the overall state of the power process and as a supplementary display that helps operators to early detect failures and problems in the power process. However, we propose that for neither of these purposes it is the best solution. IRD displays are good for rapid detection of failure states but more traditional overview displays that are based on functional modelling of the target system are more suitable for providing an overview of the state of the power process.

Hence, our suggestion is that the overview displays should be based on process architecture, and IRD principles should not be applied in their design. On the other hand, we suggest that there could be one dedicated IRD display specially designed for rapid detection of changes in the main process parameters.

In the design of this display all the IRD principles would be followed, and it could also take use of those elements of the concept (e.g. polar star diagram) that were not used in the design of the Fortum IRD pilot. Our hypothesis is that this kind of real and genuine IRD display may be useful in the rapid detection of failures even in the nuclear field – but of course more research is needed to show that this is the case.

## **6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions**

Leena Norros, Leena Salo, Paula Savioja and Jari Laarni

### **6.1 Introduction**

Function-based approaches offer promising perspectives to the design of human-system interfaces of complex industrial or other processes. The approach requires modelling of the functional purposes of the process at different levels of abstraction (Vicente 2002). As a result, a hierarchical model of the process information and resources is acquired. The assumption is that function-oriented information presentation that is based on this model would facilitate process operators' comprehension of the process state e.g. by enabling early identification of changes in process state and improving understanding of the significance of the changes for the overall safety of the process (O'Hara et al. 2003).

Different versions of function-based designs have been proposed. The particular function-based design concept studied in this case was the Ecological Interface Design (EID). Its basic design rationale and concrete design solutions have been developed at the University of Toronto and elaborated in a practical guide to Ecological Interface Design (Burns & Hajdukiewicz 2004). Experimental studies have provided promising results of the benefits of EID type function-oriented design for the comprehension of the represented process (Xiao & Vicente 2000; Jamieson 2007; Jamieson et al. 2007). Still more empirical evidence in realistic work contexts is needed of the ability of these solutions to improve process operators' task performance.

In this study the operational appropriateness of the Ecological Interface Design concept in nuclear power plant domain was investigated in an experimental study. The study was accomplished as a joint effort between University of Toronto (UofT), University of Waterloo (UW), Halden Reactor Project (HRP)

and VTT Technical Research Centre of Finland. UofT and UW designed the EID-interface to be tested in collaboration with HRP. HRP was also responsible for the test design, provided the test facilities in the HAMMLAB simulator, and conducted the statistical analyses of the data with UofT and UW. The VTT group contributed via collecting data of operator performance in process control, practices and experience, and by analysing this data. This report summarises the results achieved by VTT. A comprehensive description of the experiments and the statistical analysis of behavioural data elicited according to the HRP tool kit have been reported earlier (Skraaning et al. 2007).

## **6.2 Methodological approach in EID experiments**

The basic question in the EID experiments was to clarify how different display types relate to operators' comprehension of the process situation, and to operators' process control actions. The study was designed so that it fulfils requirements of experimental studies, in which effects of well-defined test variables on equally well-defined dependent variables are tested in controlled conditions.

### **6.2.1 Reasons for a dual research strategy**

The quality criteria of experimental studies are strict and formally defined to allow controlled comparisons of results in different experimental conditions. In the design context, experimental testing often serves a normative interest. The aim then is to verify that the new design fulfils safety or other critical requirements at least as well as the old, or some other reference design. Such evaluations do not suit very well design-oriented testing because products are not yet stabilised. Repeated testing with adequate approach would also require too much resources. But even more important issue is that classical testing, with high confidence levels for acceptance, tends to be conservative and reject designs that might still have potential to be developed further. If testing should serve innovation it should be designed so that not only the test outcome but also qualitative data of how the systems behave is considered important information. It has also become evident that more integrated testing is needed. Advocates for integrated evaluation (e.g. O'Hara 1999; Miberg-Skjerve & Skraaning 2003; Norros & Savioja 2005; Braarud & Skraaning 2006) see that systems should be studied in the system configuration and usage contexts in which they are meant to be implemented. Integrated evaluation is also associated with the idea that in testing we should not only use criteria that focus on technical or interface features of the equipment. Instead, it would be necessary also to use criteria that refer to user performance.

When considering performance-based evaluation further issues need attention. We consider important that a distinction is made between performance measures that focus on outcomes of performance and those that are informed of the ways

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

or modes of acting (see closer in Chapter 6.3). Former types of measures are used in experimental studies that concentrate on connections between test variables and performance-based dependent variables. Such measures are typically process measures, such as performance time, failure rates, other types of success ratings, including even those more cognitively oriented ones as the presently much used situation awareness measures (Endsley 1995).

In EID studies there was a clear design intention. Hence comprehensive testing contexts were created and performance-based evaluation accomplished. A double strategy was adopted with regard to the performance measures. First, statistical connections between interface variants and certain performance outcome variables were analysed. The results of this analysis have been reported by Skraaning et al. (2007). But it was also agreed that a second type of analysis, a qualitative analysis should be accomplished. This analysis should elaborate how and why certain interface or other technological characteristics of tools facilitate certain behaviour and contribute to certain performance outcomes. This analysis would represent a hermeneutic approach in the sense that in this analysis performance is explained on the basis of the reasons or justifications that people give to their behaviour. But the hermeneutic analysis serves a further rational, too. It may namely be claimed that via analysing reasons of acting we also come to identify how people act. The latter rational is drawn on pragmatist conception of human conduct (especially Peirce 1998a). Following Peirce's theory we study the reasons of acting and identify behaviours that connect with certain information or cues and with these reasons. Such patterns of behaviour are habits, that people consider meaningful reactions to the environmental signals. Because these reactions are meaningful they are repeated, and as a consequence, continuity and stability to behaviour in an ever changing environment is created (Norros 2004).

### 6.2.2 Research questions

Above we explained the research strategy adopted in EID studies. According to it two types of analysis were foreseen to clarify the question of the strengths and weaknesses of different display types in complex process control activities. A particular interest was to gain experience of the overall effect of the new EID designs on operator performance (quantitative analysis). Motivated by the aims of the study also a second, hermeneutic analysis was to be accomplished. This report focuses on the latter part of the strategy. According to this approach, the analysts attempt to understand and make explicit:

1. What information of the process, procedures, other documents or from fellow operators was used during process control, and for what reasons, when operators were performing the process control in the experimental situation?

2. Why particular forms of presentation might communicate the state of the process better and offer more effective support to process control than others.

These are the research questions to be answered in the present study. They are broadly defined but will be specified into more detailed hypotheses later. Before that it is necessary to elaborate what kind of data and which concepts and measures will be used in the analysis.

## **6.3 Method**

### **6.3.1 Conceptual basis of analysing operator performance**

It was indicated above that this report explains the hermeneutic analysis of the data collected in the EID experiments. Hermeneutic approach refers to a methodology level choice. In other words we make use of the possibility to explain human conduct on the basis of the intentions peoples' actions manifest. This type of explanation takes the reasons people give, and the context in which they are expressed, as facts that can be used to understand action. This type of finalist explanation was articulated by Aristotle as the major alternative to a causal explanation, in which a preceding event is considered as having influenced the later event. The latter type of reasoning and explaining action lies behind experimental analyses, in which influences of one set of controlled features are evaluated on equally controlled second set of features. Clearly, both types of explanations are relevant in explaining human conduct.

In this section the aim is to clarify what theories and concepts concerning specific features of human behaviour we have found relevant to use when a hermeneutic approach is to be followed. The aim is to show that the traditional key concept in analysis of human behaviour, i.e. "action", is too restricted. New concepts of "activity", "practice" and "habit" are introduced as conceptual instruments of a new type of analysis of operator performance.

#### **6.3.1.1 Critique towards the concept of action**

Information processing approach or cognitive mental model theories are typically used in analysis of process operators' performance. Much of the recent critique directed to these approaches focuses on the insufficiency of the concept of action as the unit of analysis in this research. It is maintained that "action" refers to conscious instrumental behaviour that is directed to deliberate goals. In this way of thinking action is seen as a one-dimensional and simple sequence of elementary parts, like detection, diagnosis, decision making or choice, and execution. Moreover, this kind of instrumental action is seen as reactive while considered to be initiated by an external event (Järvilehto 1998; Hollnagel & Woods 2005). The continuity of a human's interaction with the environment,

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

and the history of this interaction, is neglected as a source of explanation. Relevant critique towards action-based analysis of behaviour in complex decision-making situations has also been expressed by the founders of the naturalistic decision making (NDM) approach (Klein et al. 1993). The central point of the critique from this side is the failure of information processing approaches to consider behaviour in its real context and complexity.

Drawing on ethnomethodology and phenomenology an action-centred approach has also been criticized of portraying behaviour as fulfilling a pre-given or pre-thought plan (Suchman 1987). Connected with this view is the idea that reaching the goal or fulfilling the sequence are the self-evident success criteria of action (Dreyfus & Wakefield 1991). In this frame intentionality has an instrumental, goal-achievement character. Another possibility is to conceive intentionality along the lines of Merleau-Ponti's notion of "absorbed coping". According to it experience of approaching a satisfactory stable state, without precisely describing this state, is sufficient reference to maintain control action. (See also Norros 2004, pp. 48–51.) The latter notion of intentionality and the corresponding notion of good result of action appear more relevant when the attempt is to describe how people act. The latter way of describing successfulness is needed also therefore, that in complex context the end state is not that unequivocal, and because reaching an end-state does not necessarily distinguish between safe or unsafe acting.

Another much criticized aspect of the notion of action is that it refers to singular subjects without acknowledging the collaborative character and the distribution of cognitive resources in the environment, artefacts and the human body (Hutchins 1995; Dourish 2001). Ecological psychology formulated a further attack to the information processing approach (Gibson 1979). Its main consideration was to reconceptualise the perceptual processes and see perception as immediate and active grasping of the activity relevant physical features of the environment. These features portray possibilities of the environment for action and Gibson coined these possibilities as "affordances".

Critique to the concept of action has also been expressed on the fact that this concept neglects the broader cultural context in which behaviour is embedded. This is the central message of e.g. Engeström who draws on the cultural-historical activity theory (CHAT) (Leont'ev 1978; Engeström et al. 1999). CHAT provides means to analyse actions in a context of activity. According to CHAT, activity is a human-environment system mediated by instruments, rules and forms of organising activities. The system is structured by its purpose to accomplish societally meaningful and motivated ends. This theory is also known to emphasise the cultural role of instruments, concepts or rules as mediators between subjects and their environment, but it also acknowledges the aspect of immediatedness of the relationship between human and the environment (Cole & Peleprat 2003).



### 6.3.1.2 The benefits of the concept of practice

Above we have provided some of the main arguments that have been expressed to demonstrate the restrictedness of the notion of “action” in the study of human behaviour. While attempting to find a more appropriate notion to describe human conduct, all approaches mentioned above turn to the concept of “practice”. We consider this as one good argument that allows us to combine features of these theories in our own approach. Our arguments for exploiting the notion of practice and those theories that utilise it are listed below:

- *Societal context and meaning of acting:* We make use of the CHAT theory in order to be able to put actions in their societal context. While this is done it is also possible to make explicit what is societal significance or meaning of actions and whether that makes (personal) sense to the actors.
- *Extension of intentionality:* A further important characteristic of the concept of practice is that it allows extension of the notion of conscious instrumental intentionality to encompass the idea that intentionality may also be embodied and pre-reflected. In other words, meaning of acting is not necessarily conscious, but it may still be identified by analysing how the resources available in the environment are exploited. The philosophical and theoretical backgrounds support the notion that cognitive resources are distributed within mind and body, environment, technology and other cultural artefacts. The concrete forms of such distribution become manifested in the practices.
- *Collaborative actions:* CHAT, and also current theories of distributed action, emphasise the idea that actions are appropriated, executed and developed in the form of collaborative or cooperative practices.
- *Means and resources of acting:* Fundamental to the concept of practice is that it implies a definition of what are the means needed to participate in a practice (Pihlström 2002, p. 305). This feature of the concept of practice is also very important. The role and different types of means or tools of acting are especially well articulated in CHAT. In order to comprehend the resources of acting we make use of the functional modelling approach proposed by Rasmussen and Vicente (1992, Vicente 1999).
- *Evaluation of good acting:* Equally fundamental to the concept of practice is that the concept implies what is held as good practice (Pihlström 2002, p. 305) This characterisation may be supported by referring to the moral philosopher Alasdair MacIntyre, one of the central authors to whom researchers interested in “practice” refer to. We use his concept of practice. Practice is: “any coherent and complex form of socially established cooperative human activity through which good

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

internal to that form of activity are realised in the course of trying to achieve those standards of excellence which are appropriate to, and partially definitive of, that form of activity, with the result that human powers to achieve excellence, and human conceptions of the ends and goods involved, are systematically extended. Tic-tac toe is not an example of practice in this sense, nor is throwing a football with skill; but the game of football is, and so is chess.” (MacIntyre 1984, p. 187).

Useful to our ends is the distinction MacIntyre makes between internal and external good. The “internal good” refers to the standards of excellence of practices. This standard is something that is created within the participants of the practice. An example is “good seamanship”. The aim of activity analysis is to see how well these standards may be fulfilled in the real actions and by real technologies. There is also another type of goods that characterise practice. MacIntyre calls these “goods external to practice”, because they are outcomes that are externally and contingently attached to action. Examples of these goods are prestige, status or money. In our context various indicators of the adequacy of the outcome of work or the amount of material results produced may be considered external criteria of good. Of course, in a comprehensive evaluation of activity, it is necessary to include an analysis of both the internal and external good.

It was said that defining the goods internal to practice requires involvement in the practice. It is therefore necessary to let actors of the studied community of practice to define what they consider good and worthy in their work. (Norros 2004, pp. 81–83). Of course the good of practice is developing as the work develops. It is also possible that practitioners as a larger community, or locally, do not identify these pressures and changes in work or for some other reasons do not pay attention to them. This is a further argument why it is necessary to define what is held to be the core demands of the task and the good of practice by the members of the community. The distinction between the two types of good of practice provides a possibility to develop a practice-centred evaluation basis to be used in the evaluation of complex work (Savioja & Norros 2008).

- *Regularities of action:* We are interested in analysing regularities in situational behaviour. Analysis of behavioural regularities is supported less effectively by the conceptual arsenal of CHAT, and, as a consequence, other approaches are needed to complement it. The concept of practice as it is defined in pragmatist philosophy and semiotics (Peirce 1998a) draws attention to the temporal continuity of action and to the regularities that are necessary in behaviour in order to maintain an adaptive functioning of the human-technology-environment system. The

possibility to identify patterns of acting by using the pragmatist concept of practice, i.e. habit, is exploited in the performance analysis.

Following from the above, the benefits of exploiting the concept of practice in the analysis of operator behaviour are twofold. First, it is possible to identify generic behavioural regularities of people acting in real situations. These regularities predict behaviour in further situations. In this sense practice provides a formative vocabulary to analysis of behaviour. Second, practices express meaning for acting. This is why analysis of practices opens a possibility to connect actual particular behaviours or courses of behaviour to what is their significance, or meaning, in a further, often not immediately perceivable context.

### **6.3.2 How to analyse practices empirically**

If “practice” is accepted as one of the key concepts in the analysis of operators’ performance, the next question is how to utilise the concept in empirical analysis. Our solution is to use the method we call the Core-Task Analysis (Norros 2004). Cultural historical theory of activity (CHAT) is one part of the Core-Task Analysis method but also other theoretical sources are important, as will be explained below. The development of the method still continues. Later (in section 6.3.4) we shall explain how practices are operationalised in the methods we use.

#### **6.3.2.1 Affordability and prehensibility as potential for activity**

Practices can be characterised as regularities that enable adaptive functioning of the human-technology-environment system. Depending on the purposes of the system different possibilities and constraints become relevant. These purposes, possibilities and constraints define generic boundaries for activity (e.g. Vicente 1999). The boundaries of activity provide the “possible reasons” to act (von Wright 1998) and they also put demands for acting. In order to define the possibilities and constraints, a functional modelling of the work domain is applied in the core-task approach (Vicente 1999).

The work domain modelling also includes a definition of generic work demands, that we call core-task demands. The core task is “the shared objectives and outcome-critical content of work that should be taken into account by the actors in their task performance for maintaining an appropriate interaction with the environment (Norros 2004, p. 17). Core-task demands are psychological demands that an appropriate coping with the domain requires. The psychological core-task demands are not included in the abstraction hierarchy method used in the design of EID displays (Burns & Hajdukiewicz 2004) that otherwise closely resembles the modelling we use.

From the practice analysis viewpoint it becomes interesting, whether and according to which logic people take into account the possibilities and

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

constraints, and what purposes make sense to them. Hereby, we become aware of what are the “effective reasons” for acting (von Wright 1998). We also gain a possibility to identify what dispositions people have developed that enable tackling the possibilities of the environment. The definition of this potential to act in the particular environment must be accomplished by analysing persons’ real action or their conceptions of their work. On the basis of such inquiries, a generalised potential to act is described.

The relationship between the environment and people can be comprehended as a sphere of mutual potential for activity. This is the basic arrangement in the Core-Task Analysis. The arrangement is depicted in Figure 1. As may be seen in Figure 1 the concept of affordance is used to indicate the potential that the environment offers. The concept of “prehensibility” (A. N. Whitehead, see D Sherburne 1995) is used to denote the human potential of making use of the possibilities of the environment. It is the potential that the human has to offer in the transaction. Defined as above, affordance is not reduced to actual descriptive characteristics of the environment or artefact, as has been shown to happen frequently (Albrechtsen et al. 2001), but rather as the potential that is available for use. Respectively, human behaviour is not merely described as it is in a particular instance, but we also identify what potential for action it contains. As a result, we may differentiate between the potential to act, i.e. a generative aspect of behaviour, and the actualised action, the particular and situation-specific aspect of behaviour.

The two processes of affordability and prehensibility set a tension between the human and environment that is realised in actual action. Action is conceptualised as part of the more comprehensive system of activity as explained by the three level concept of Leont’ev (1978). To be explained, action needs to be connected simultaneously both to the societally defined activity, and to operations that ground actions to the environmental conditions. These connections are shown in the middle of Figure 27.

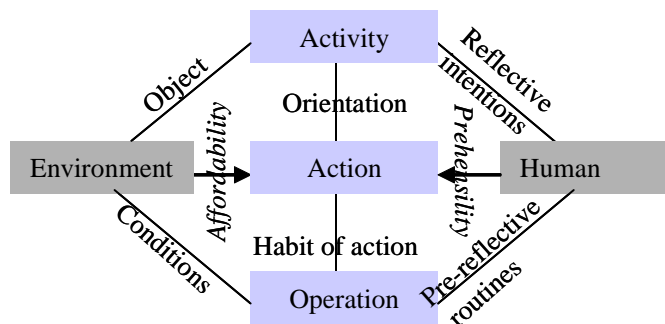


Figure 27. Model of analysing of practices (orientation and habit of action) in a human-environment system context and using the concept of activity (Norros 2004; Norros and Savioja 2006).

### 6.3.2.2 Relationships between activity, action and operation: inferring orientations and habits of action

Cultural-historical theory of activity applies the three level concept of activity by L.S. Leont'ev (1978), the levels being activity, actions and operations. (Figure 27). According to this theory activity is the societally and collaboratively accomplished system of tasks in which people are involved. Activity is defined by its object that is the general motive of activity (objective). Actions, for their part, refer to individual person's or group's situation specific behaviour that is defined by goals. Operations are elements of actions that are defined by the constraints of behaviour. As is evident, the term "action" is used but conceptually it distinguishes from the information processing interpretation of the term. We see that in CHAT "action" is considered as being constructed in a context defined by "activity" and its societal motive, and in a context of "operations" that make use of the particular physical, societal, technical, etc. conditions and constraints of situations in which activity takes place.

In the present study the context of "activity" would indicate, for example, that the operators who perform the test scenarios have criteria for good acting and acceptable ways of doing the tasks that they have adopted in acting as process operators in their home plants and organisations. They have internalised a certain balance between aims like safety, technical efficiency and economy. These serve as the frame also when they perform the tests. On the other hand, operators make decisions about what they should do by considering the particular possibilities and constraints that each test scenario puts forward, and have respective learned ways of reacting to the demands of the situations. What is a good drainage solution and the way of accomplishing it in one case might not be as good in another one.

As Figure 1 indicates, orientation is the relationship between action and activity (as Leont'ev teaches). In other words, orientation expresses the personal sense that the objectives of the activity make to actors in their work and local actions. Habit of action, for its part, is defined as the relationship between action and operations. This relationship expresses the actors' consideration of the functional demands of the domain while they are reacting to situation-specific constraints. Both these relationships portray the comprehension (awareness) of the global meaning of the activity in the persons' overt actions. (Our interpretation of Leont'ev, Norros 2004.)

In the empirical analysis of activity we, of course, register actions as normal in cognitive analyses to describe what people do. Yet, this description only reveals the sequence of observable discrete sub-goals of action. In order to comprehend the continuity of action we need to approach the behaviour indirectly, and ask about the reasons for acting (why). We propose that this should be done by analysing the relationship of "actions" to "activity", and to "operations", respectively. The procedure is as follows.

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Via using the concept of activity we define first the purpose or object of activity and the functional demands of the domain in the functional domain and core-task modelling. We also define the societal motive or reflective intentions of activity by inquiring people's conception of their work, as depicted in Figure 1. From these sources we infer the actors' orientation. Respectively, with regard to operation, drawing on the domain and core-task modelling we consider the functional significance of the conditions of behaviour by relating the situation (scenario) to functional demands of the domain in "Functional Situation Models". Then we observe the pre-reflective intentions or behavioural routines by identifying ways of using various resources. From these we infer the habits of action. Also these connections are depicted in Figure 27. Both steps of analysis described above inform us of why people act, i.e. they unveil the meaning of actions, on the reflected and non-reflected sense.

By combining descriptions of orientation and habits of action we may characterise practices. They portray the generic regularities that become overt in singular actions. Hereby we have described how people act.

### 6.3.3 Experimental design and its adaptation to qualitative analysis of practices

As our analysis of the EID tests is complementary to the analysis accomplished by the HRP, University of Toronto, and University of Waterloo groups, we may in this report refrain from explaining in detail the experimental design, test procedure in collecting data in the experiments, and the laboratory set up. Detailed information of the experiments is to be found in the Skraaning et al. report (2007). In the next we shall concentrate on those aspects, in which our analysis differed from the HRP, UofT and UW analysis and that were typical for the approach adopted in this qualitatively oriented analysis.

Six licensed NPP crews (including a turbine operator and a reactor operator) participated in the tests. The report by Skraaning et al. (2007) provides demographic details of the participants (pp. 13–14).

**Manipulated variables:** In the EID tests three independent or manipulated variables were introduced. These were 1) Display type, including three levels: traditional displays, advanced displays and ecological displays; 2) Scenario type, with levels within design basis (In) and beyond design basis (Out); 3) Scenario period, with levels detection phase and mitigation phase.

As will be explained in more detail below (6.3.4), it was necessary for our performance analysis to make some elaborations to the levels of these variables in the data analysis phase.

**Dependent variables:** The dependent variables used in the EID experiment were situation awareness and work load (Skraaning et al. 2007, pp. 20–37). To measure situation awareness a domain-specific situation awareness model was created (the Nuclear Power Plant Situation Awareness (NPPSA) (Skraaning et

al. 2007, pp. 21–23): The two main components of SA were “process overview” which was defined as detection of meaningful changes, and “scenario understanding” denoting to understanding the global situation. A further measure labelled “metacognitive accuracy” was used to identify the subjects’ understanding of their own performance. Accuracy of process control performance was not used as a measure in the original analysis.

In the analysis presented in this report the dependent variables were redefined. This was necessary due to the fact that a different approach was adopted in the analysis of operator behaviour.

The scheme of reasoning used in the qualitatively weighted analysis is depicted in Figure 28. The analysis scheme is shown to be directed to acquire knowledge concerning the usability of the different display variants in the nuclear power plant operations. As will be indicated later, the concept of Systems Usability (SU) was used as an indicator of the overall appropriateness of the displays. The model indicates further that, instead of interpreting interface types or scenarios from the view point of a test design and, hence, as manipulated variables, we start with the idea that operators are in the simulator involved in a process control activity. In this frame interfaces are inherent elements, of the functionality of which operators are personally very concerned. Operators’ usage of displays in these situations was observed and registered. The analysis consisted of three aspects, i.e. process outcome and performance in process control, habit of action, and experience of use.

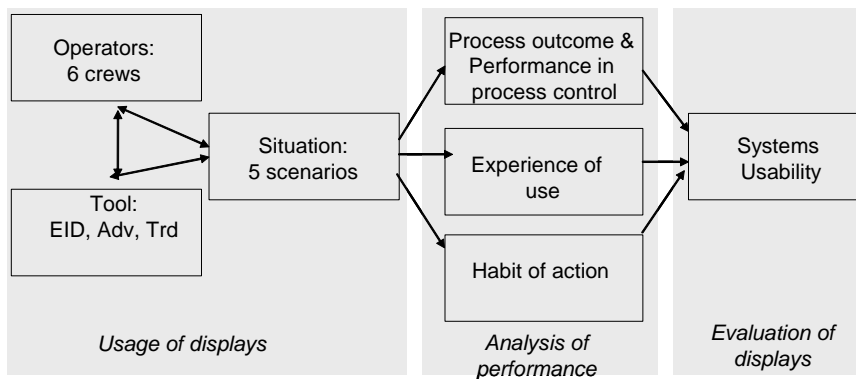


Figure 28. Scheme of reasoning used in the qualitatively weighted analysis of EID-experiments. Different concepts referred to in the figure are discussed in the following sections.

### 6.3.4 Data collection and analysis methods

It has been indicated in the previous section that due to the methodological nature of our analysis it was necessary to change the interpretation of the manipulated variables. We also partly reconsidered the definition of the levels of

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

manipulated variables, and the selection of dependent variables. In this section the data collection methods are listed and explained in connection with elaborating the way of analysing the data.

### 6.3.4.1 Data used in the analysis

The data used in our analysis is classified into three categories:

#### Pre-test data

- Models of the six experimental scenarios (of which five were used).
- Operator work orientation interviews.
- Operator background information questionnaires (explained in pages 13–14 in Skraaning et al. 2007).

#### Test data

- Performance of the turbine operator, including direction of gaze (head-mounted video).
- Communications between the turbine and reactor operator, and communications between the operators and the instrument technician (process expert) (from video).
- Communications of the expert on the proceeding of the task performance (from video).
- Requested operator conceptions of the situation (HOPE, see Skraaning et al. 2007) (from video).

#### Post-test data

- Debriefing interviews concerning operators' conceptions of the different display variants.

### 6.3.4.2 Data analysis

The analysis of the data took place in several phases. In the following we shall present the proceeding of the analysis.

#### **Description of the type of informativeness of each interface variant**

The rationale of the experiment was to test the relative strength of each interface variant included in the experiment. The variants tested were the traditional HAMBO interface (Trad), advanced HAMBO (Adv) and Ecological Interface (EID). A comprehensive description of the variants can be found in the EID statistical analysis report (Skraaning et al. 2007, pp. 5–8). Examples of EID and



HAMBO advanced displays are presented in Figure 29 and Figure 30. The traditional display type (Trad) is the presentation first implemented in computerised control rooms. The layout of these displays corresponds closely the hard wired control panels. The advanced displays (Adv) are thought to be the “state-of the art” computerised interface. They have been developed on the basis of feed-back from real operations. The new features aim to support process state identification. Such features are for example minitrends of critical process parameters, or graphical configurations of process elements. The EID displays do not base on conventional panels. They have been designed according to a deliberate design framework labelled the Ecological Interface Design (Vicente & Rasmussen 1992) that draws on functional Work Domain Analysis and utilises principles of ecological psychology to facilitate immediate perception of information.

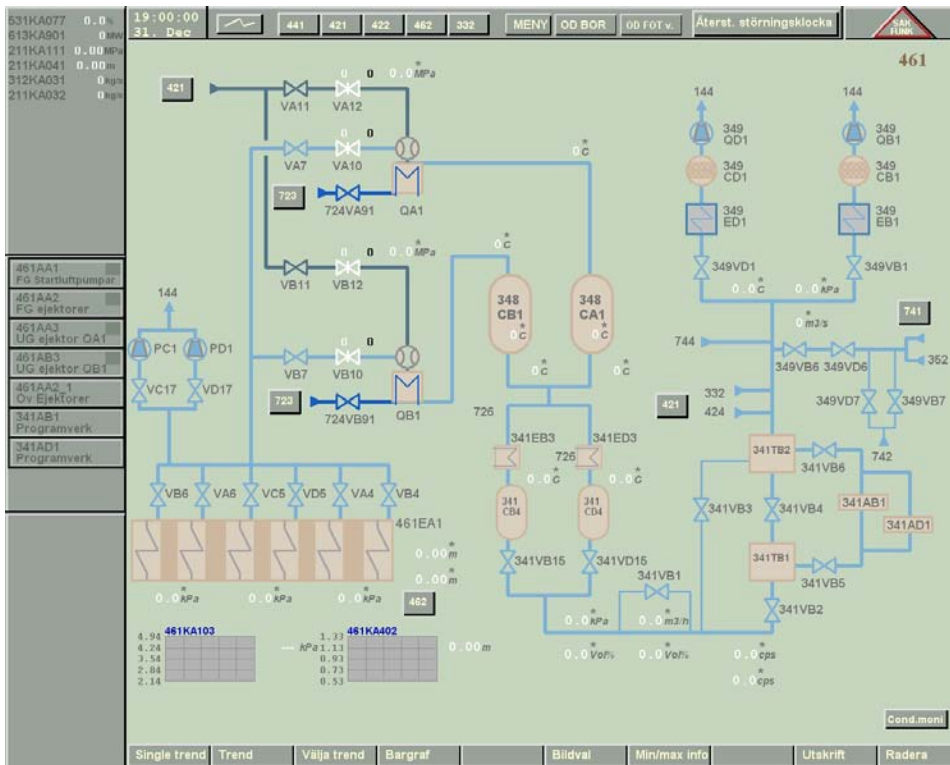


Figure 29. HAMBO advanced display representing the condenser vacuum (461) system. The minitrends shown in the bottom of the display is a specific feature of HAMBO advanced that is not included in HAMBO traditional displays. (Skraaning et al., HWR-888, 2008.)

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

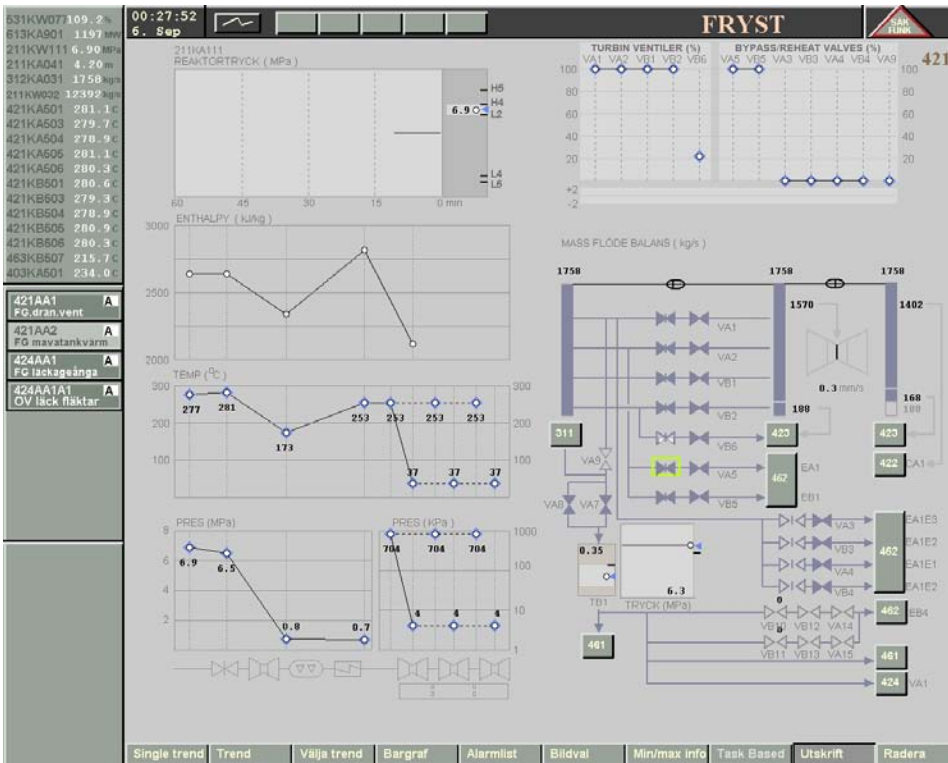


Figure 30. EID display representing the turbine plant main steam (421) system. The valve position diagram (upper right corner), mass balance diagram (in the middle on the right), tank level and reactor pressure trends, and the enthalpy graph are some of the specific features of EID displays. (E.g. Lau et al., HWR-888, 2007.)

In order to characterise the particularities of each of the information presentations we identified three forms of informativeness and analysed their availability in each of the interface variants. The notion of informativeness is used to highlight the qualitatively different features of the process that each of the display types draw attention to. The types of informativeness were:

- Information presentation that mediates the functional purpose (FP) that supports connection between parts and comprehension of wholes.
- Information presentation that visualises changes (VC) in single components or parameters and, hence, informs of temporal features of the process.
- Information presentation that mediates spatial relationships (SR) of technical components and also informs of the actual use (in operation) and availability (possible to be taken into operation) of the technical component.

Table 11 shows the matching of the types of informativeness with the interface variants.

Table 11. Types of informativeness (Functional purpose FP, Visualisation of change VC, Spatial relations SR) in the three tested display types EID, advanced HAMBO (ADV), traditional HAMBO (TRAD).

	VP	VC	SR
EID			
ADV			
TRAD			

The great challenge for the interface design of complex processes is to find representations that support comprehension of process phenomena in one glance, and that support the operators' understanding of the state of the complex process. An evaluation of the strength of different display types is, hence, a particular interest in the analysis of the strength of icons used to represent relevant features of the process (Bödker & Andersen 2005, p. 362). In our case, the question is how well semantic and functional relationships, changes in the process or spatial relations are visualised in the displays. It would also be necessary to analyse the symbols and indexes used in the displays. In the present study it has not been possible to intrude very deep into these issues. We hope to be able to return to these questions in our future work.

### **Transformation of the six scenario descriptions into corresponding Functional Situation Models (FSM)**

Six test scenarios had been carefully designed by a nuclear power plant expert for the EID tests. They represented two levels of uncertainty about the situation and required action. The within design basis scenarios (In) were defined as anticipated by designers and familiar to operators. Procedures existed for main incidents in the scenarios. The beyond design basis scenarios (Out) were defined as unanticipated by designers and unfamiliar to operators. No procedures existed. In some parts of our analysis we used the grouping of the scenarios into the two levels of the variable "in" and "out".

In the qualitative analysis it was necessary to elaborate the events of the scenario in more detail. Hence, we also made an attempt to consider what the particular demands on action were in each scenario. All scenarios are described shortly in Table 12. We also transformed the original scenario descriptions into a further form. The operators' tasks were described with relation to the functional safety and efficiency-related purposes they portrayed. We constructed table-form

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

models that also indicated process events and goals that they would induce, critical process information that would be available with regard to the event, operations that would be needed to reach the goals, and necessary interactions with the operator crew or other plant personnel (e.g. maintenance) (see Appendix O). The results of these transformations were discussed with the process expert who had designed the test scenarios and authored the original scenario descriptions.

The purpose of the models was to provide a reference to the analysis of the operators' actual performance. The models facilitated understanding of the possible reasons for acting. The possible reasons can according von Wright be compared to efficient reasons, i.e. those reasons that operators actually give, or those that could be inferred as actual in their performance (von Wright 1998).

Table 12. Short descriptions of the scenarios. The descriptions concentrate mainly in the events that took place in the turbine side of the plant.

<b>In1</b>	<p><b>Title: Leak in the intermediate super heater</b></p> <p>Description: A leak in the intermediate super heater causes small changes in the flowing of drain and steam. There are differences in the temperatures of super heaters and positions of drain valves. The efficiency of the turbine decreases. The increase of core coolant pumps and the trip of one of the pumps mask the effect of the leak. An alarm is generated because of the temperature difference. After the alarm operators should use a procedure which tells the cause of the failure. Power should be decreased to 90 % after which the super heat steam valves can be closed and power increased again.</p> <p>Without using the procedure it is demanding to interpret the situation correctly and find the right cause of failure and also to perform the correct operations without violating specifications.</p> <p>Displays: 422</p>
<b>In2</b>	<p><b>Title: Problem with drain switching and high-pressure pre heater bypass</b></p> <p>Description: Automatic drain switch takes place when reactor power is increased. When drain valves open steam flows to high pressure pre-heaters. Due to a malfunction in valve 463VA20 the level in one of the pre-heaters rises which leads to bypass of two pre-heaters. On this power level the operators have no means to prevent the bypass. To reset the bypass after fixing the valve the operators have to first increase power over 220MW, then close 463VA20 for a short time to get an automatic pulse for opening the valve 423VB7. A valve regulating the flow from the condenser to the FW tank closes without the stand-by valve opening. This can quickly lead to too low level in FW tank and trip of the plant unless the turbine operator regulates the FW level manually.</p> <p>In the first phase of the scenario the successfulness of drain switching should be monitored and its incompleteness identified. Complicated power regulation and valve operations have to be performed in a specific order. In the second phase, the seriousness of the situation has to be interpreted quickly and the imbalance of FW handled manually.</p> <p>Displays: 312/423, 462</p>
<b>In3</b>	<p><b>Title: Problem with drain switching</b></p> <p>Drain switch from the intermediate super heaters to high pressure pre-heaters is taking place when power is 44%. A valve regulating the level of one of the pre-heaters is stuck and later closes completely. The set point of another valve regulating the level of a drain tank first decreases and then increases generating a turbine protection signal, but turbine trip is not launched because two high level signals would be required. Because of the malfunction</p>

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

	<p>in the regulating valve the level in the pre-heater rises to alarm limit resulting in preheater bypass, which the operators cannot prevent. After maintenance has fixed the failures the operators can reset the bypass by opening valves. Lastly, one seawater pump stops because of a valve malfunction.</p> <p>The successfulness of drain switching should be monitored and its incompleteness identified. Multiple faulty components must be found and the propagation of failures closely monitored. Many operative actions are needed to stabilise the plant.</p> <p>Displays: 422, 312/423, 461</p>
<b>Out1</b>	<p><b>Title: Turbine trip with the generator still connected to the grid</b></p> <p>A malfunction in a valve causes the level in drain tank 422TB1 to rise but the H1 alarm does not set off. After H2 alarm the turbine trips. Despite of the trip one steam line feeding the turbine stays open, the generator breaker does not disconnect, and the generator continues producing. After identification the operators should not try to open the generator breaker because it leads to a rush up in turbine speed. The operators cannot close the steam line completely depending on faults on both 311 steam valves and the valve 421VA1v1. The only way to solve the problem is to release scram. In this case the operators have to control the pressure in the reactor tank to avoid top filling and loss of steam in ejectors that could cause a leak of steam to the turbine plant.</p> <p>Different action possibilities and their effects must be compared and assessed before taking actions.</p> <p>Displays: 422, 421</p>
<b>Out2</b>	<p><b>Title: Leak in condense cleaning building KRA 332</b></p> <p>A small leak in the KRA building generates a low level alarm of the condenser and a high level alarm of the KRA building. After a while the leak increases. The KRA building should be bypassed, but the bypass is not complete due to a leaking valve. The level of the condenser continues to decrease because of the leak. The level regulating valve 462VA5 closes but the stand by valve does not open. This causes increasing level in the FW tank. The operators can operate the regulating valves manually until the maintenance fixes them.</p> <p>It is not easy to find out the exact location of the leak. The imbalance in water levels is caused by multiple reasons.</p> <p>Displays: 332 (HAMBO), 462</p>
<b>Out3</b>	<p><b>Title: High temperature in the sea</b></p> <p>One of the seawater pumps decreases in speed and trips resulting in increasing condenser pressure. Seawater temperature rises from 12 C to 18 C in five minutes which adds up to the increasing pressure. A relief valve on the reactor side starts to leak. The plant efficiency decreases, the heat transfer of the condenser decreases, and the cooling systems are getting warmer. The seawater temperature continues increasing from 18 C to 25 C. A turbine bypass valve opens because of which no cooling flows in the bypass inlet to the condenser. Reactor power should be reduced to close the bypass valves and to control the pressure of the condenser and to avoid a leak to the turbine building. Unless the operators control the power themselves, the power will be reduced automatically when the condenser pressure reaches alarm level H2. The operators should shut down the plant. Since all protection chains except containment isolation are blocked the operators should reduce power manually.</p> <p>The operators have to identify an abnormal event (seawater temperature increase) and anticipate its effects. The rising temperature causes safety critical consequences with regard to condenser pressure and cooling. Because of multiple failures the operators have very restricted possibilities of controlling the plant. The operators have to make the decision of shutting down the plant before the plant warms up too much.</p> <p>Displays: 441 (HAMBO), 461, 421</p>

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

The descriptions of the six scenarios make evident that in each scenario there are specific features that are outcome-critical and put demands on the way of acting. In “In1” scenario it is important to make use of procedures in order even to diagnose the situation appropriately. This scenario also calls for understanding physical phenomena to grasp the situation. In “In2” operational demands are high and the ways of operating may become critical in the first part of the scenario. In the second part understanding the global state of the process is outcome critical. “In2” also requires fast actions. In “In3” monitoring of the successful completing of expected sequence of events is significant. In “Out1” the central demand is to compare optional operational possibilities and to comprehend their global meaning to the functioning of the process. Also fast action is required. In “Out2” diagnosing the location of the leak is tricky and requires understanding of mass and energy balances. Also here fast action is critical. In “Out3” scenario the operators face a nearly impossible situation, the physical nature of which should be comprehended. Operators also need to identify that their possibilities to recover from the situation are diminished and decisions for securing global plant safety become necessary.

### **Description of the operators’ courses of action**

In this phase of analysis the video-recordings were scrutinised by two persons collaboratively. The operators’ observations, actions and communications were transcribed into written protocols that were structured according the scenario models. As the video recordings concerned the turbine operators’ activity, his performance was in the focus when we analysed process control. The actions of reactor operator could be traced by their effects on the process and through operators’ communications. The contributions of the reactor operator to the process control were taken into account as comprehensively as possible. As may be assumed, the video-recordings had to be played and replayed several times in order to acquire a reliable description of the events.

After viewing each 6 crews’ performance of the same scenario a further transformation of the data was accomplished. The protocol was reduced into a final course of action table. An example of such a table is provided in Table 3. The table represents the operators’ point of view to the situation. Hence e.g. some additional component failures and actions are embedded in the situation as constraints and possibilities for the main course of action that emerged. As Table 13 indicates, the course of action is divided into four basic phases. These are 1) the identification of changes in the process state, 2) diagnosis of the failure in the process, 3) stabilisation of the process (decisions and operations), and 4) the reached outcome. The table also includes the time of starting the failure, and the time of ending the run.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Table 13. The course of action in scenario “In1”.

	Start			Identification			Diagnosis			Operations			Outcome	
	Leak starts	Time of noticing first signs	Which signs noticed first	Position diff. 422VA/B; 462VB 29 more open	Condense low increase; condenser pressure; 462VA5 increase	Reactor effect increases; plant efficiency decreases	Temp. difference between 422EA/B1	Diagnosing the leak in the 422EA1 super-heater	Take procedures	Reduce effect to 90% before closing 421 valves	Manouv. valves 421VA/B 5v1	Temp. diff. = 10 C, effect increase may start	Outcome; External good	End time
Run 5 Crew5 EID	0:05:26	0:06:07	Looks at 422 valve graph	0:09:40; 0:20:45	0:08:38 (in HOPE)	0:09:10	0:17:00	Mentions super-heater 18:55; 0:29:02 correct diagnosis	Did not use instructions				No power reduction, no maneuvering of 421 valves	0:29:25
Run 26 Crew4 EID	0:04:58	0:06:00	LSD & 422		0:06:00	0:06:00	0:12:56	0:16:35	Advised to take instructions 0:18:55	0:20:02	0:17:00	0:34:55	Increase going on, 95% power not reached	0:35:00
Run 23 Crew3 ADV	0:05:02	0:05:55	423 high pressure drain valves		0:07:38	0:06:16	0:15:07	0:18:00 wrong diagnosis; 0:24:50-0:27:20 correct diagnosis	0:35:20	Reduced power due to 313 pump	0:27:16; operated on too high power level	0:37:20	421 valves operated on too high power, 95% power reached	0:44:55
Run 44 Crew4 ADV	0:05:04	0:08:52	Displays 312 & 462 & 423		0:09:08	0:09:33	0:14:45	0:14:50	0:14:45	0:15:35	0:21:45	0:36:40	Increase going on, 95% not reached	0:43:45
Run 11 Crew6 TRAD	0:06:10	0:06:10	LSD	0:09:10	0:14:00	0:11:30	0:12:10	0:11:30-0:16:45	0:15:30	0:12:13	0:22:10	0:42:50	95% power reached	0:52:00
Run 41 Crew1 TRAD	0:05:08	0:08:49	R notices, T looking at LSD	0:10:25	0:08:49	0:08:49	0:13:17	0:16:06	0:14:02	0:15:09	0:31:15	0:38:30	95% power reached	0:48:05

### Evaluation of operator performance in process control

In our analysis approach the operators’ performance in process control represents an external criterion for the good of practice, the so called “external good” of practice. In this analysis we used process-related criteria to determine the successfulness of process control. In deriving the criteria we used, first, the models created of the scenarios. As a result, the criteria referred to particular phases of the course of action. The time of identifying a basic function being threatened, time of correct diagnosing of the failure, the number of appropriate decisions and operations, and the level of stabilising the plant were used as criteria. To acquire more specific and concrete criteria we scrutinised carefully the original scenario descriptions of the expert and tried to identify his evaluations of good performance. We also made use of the expert’s on-line comments during the test performance. These comments were recorded on the same video tape together with the operators’ performance.

The performance analysis was very comprehensive and detailed. This is necessary because this data provides the basis for the analysis of the performance outcome and also the analysis of the habit of action. In the present phase our aim is to gain information of the outcome, i.e. to understand how well the crews succeeded in process control. Evaluation of the performance was done only after all crews’ performance was analysed. On the basis of all process

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

knowledge available of the scenarios and crews' performance we then ranked crews' performance (from 1 to 6). Then we categorized the successfulness of performance with regard to each criterion into three grades, the highest performance, an intermediate performance and the lowest performance. In most cases one, and sometimes two crews reached the highest level, and one or two could be ordered to the lowest level. The results of each crews' singular ratings were accumulated to achieve the crew's overall score for each experimental run.

### **Analysis of practices / Description of work orientations**

In the beginning of this chapter (section 6.3.2) the approach used in our analysis was described. As part of this the three level conception of activity was also made explicit (see also Figure 27). Within this frame orientations are seen to express the connection of the observable sequence of action to activity. By this connection an individual person's actions can be related to the wider meaning that the objectives of the activity portray. From the point of view of an actor, orientation can be defined as this person's personal conception of his/her work and its objectives (Norros 2004, p. 90–91). Orientation expresses what person holds as meaningful and worthy in work and how the aims and values of work are portrayed in the daily actions. Due to the function of orientation to connect objectives of activity to the on-going actions, orientation has a regulatory role with regard to action. Because orientation expresses a person's relationship to something the concept resembles that of "attitude". As a notion orientation is however more comprehensively embedded in the overall theory of activity and it is also capable of expressing qualitatively different epistemic relationships or "epistemic attitude" to the environment. The traditional use of "attitude" refers to a more emotionally-laden relationship and it is typically expressed using a negative-positive dimension.

In this study we operationalised orientation by five major dimensions. These are 1) Conception of the object of activity, 2) Conception of the intrinsic constraints of work 3) Conception of knowledge and constructing knowledge, 4) Professional ethos, and 5) Personal sense of work. These dimensions and the indicators used to describe them are shown in Table 14 below. With regard to each of the indicators we used a three-level rating scale. The three levels were interpretative, confirmative and reactive. These levels make use of qualifiers that refer to the nature of the epistemic attitude the person expresses to his/her work, and its specific features. The qualifiers, i.e. interpretative, confirmative, reactive have been drawn from the pragmatist idea that when the human being's interaction with the environment is most productive and creative it is characterised by an attempt to interpret the specific situation. This epistemic attitude towards the environment and its information enables reduction of uncertainty and building up of beliefs concerning the environment. Through interpretation people may create continuity into their interactions with the environment. (Peirce 1998a). The opposite of an interpretative epistemic attitude



is a reactive epistemic attitude. This indicates that the person has a tendency to record the features of the environment and its objects, to take the environment as given, and to act mainly when desired. The confirmative epistemic attitude expresses a middle position. It denotes a tendency in a person's interactions to verify already known facts or beliefs, to match patterns. Often this is sufficient and efficient, and hence ok.

The three epistemic attitudes are qualitatively different, but according to the Peircean theory, the more interpretative the relationship is, the more adaptive the conduct. Drawing on this position, we have decided to grade orientations (and habits of actions as well) according to interpretative, confirmative, reactive scale using the grading 2, 1 and 0, respectively.

Orientation interviews (see Appendix P) were carried out with each EID test participant personally. The time allotted to the interview was very short due to time constraints of the experiment. The mother tongue of the interviewees was used in the interviews which is good. Unfortunately, however, the interviewers had limited capability in this language which impoverished the discussion on the issues the operators brought up.

Table 14. The dimensions and criteria of work orientation.

Orientation
<p>Evaluation 2/1/0 in each indicator refers to interpretative, confirmative or reactive epistemic attitude towards work.</p> <p><b>1. Conception of the object of activity</b></p> <p>1.1 <i>Framing of own work</i>: Reference to result critical aims and functions / reference to production aims / reference to tasks</p> <p><b>2. Conception of the intrinsic constraints of work with reference to the dynamicity, complexity, uncertainty aspects</b></p> <p>Interviewee identifies the need for or refers to following types of information:</p> <p>2.1 Changes (dynamicity): trends, curves / changes, differences / failures, events, alarm lists</p> <p>2.2 State of the process (complexity): higher level concepts (electricity output, mass balance) / interactions between parameters / single parameters</p> <p>In the use of procedures the interviewee reflects:</p> <p>2.3 Reasons for using procedures (uncertainty): identifies the system level rationale (collaboration, possible changes / identifies situational rationale (acquaintance, coping with own stress, normally) / no discussion on rationale</p> <p>2.4 Limits of procedures (uncertainty): situations are unique / limits of procedures / limits not identified</p> <p><b>3. Conception of knowledge and constructing knowledge</b></p> <p>3.1 Process feel: acting and background knowledge / looking around, creating a feel / conceives as result of watching, recording</p> <p>3.2 Conception of alarms: emphasis on own questions, seeking and anticipation / anticipation mentioned / operations as reactions to alarms</p> <p>3.3 Role of collaboration in knowing: refers to shared understanding and decisions / each operator has own role / no mention of collaboration</p>

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

3.4 Conception of development: changes take place both in technology and way of work / conviction of the positive present situation / changes are not identified

### 4. Professional ethos (what is respected and valued as good practice)

4.1 Good process operator: learning, development / process and self-control and compliance to norms / individual abilities

### 5. Personal sense of work

5.1 Interesting in work: The sociotechnical object and objectives, development of competencies / development restricted to personal level / rewarding task characteristics (e.g. variability, social sharing and teamwork)

5.2 Agent role: Emphasises own responsibility in using procedures / emphasises the significance of procedures/procedures define actions

## Analysis of practice / Description of habits of action

The analysis of habits of action is based on the video recordings and the detailed course of action analyses. In the description of habits of action we connect the operators' observable actions to their underlying purposes that make sense of these actions. By doing this we identify what is the "internal good" of operator performance, i.e. features of ways of doing things that the operators themselves value as good practice. It is also important to notice that habits of action reflect the professional ethos of the entire community of practice in question.

In the description of orientations, the analysis of practice was based on interviews and, hence, orientations are conscious verbal expressions of the reasons (or justifications) and purposes of acting. According to our theory, actions, from their part, express embodied reasons and purposes for acting. It is, however, a real methodical challenge for work analysis to reveal what the observed behaviour means. We have proposed that the pragmatist concept of habit could be used to reveal the underlying meaning of acting. Habit-based analysis would also describe the regularity that the inherent meaning (reasons, purposes) creates into action. The habit of action concept was created for this methodical purpose. (Norros, L. 2004.)

The habit of action analysis is operationalised so that it focuses on the operators' ways of using resources available in a situation, i.e. use of information, procedures and collaborative resources. (To emphasise that habit of action is defined by observing ways of using resources we have in some connections used terms "way of acting" or "way of collaborating" instead the more theoretically-based concept of "habit of action", or "collaborative habit of action".) Observations of ways of using resources are elaborated by clarifying what process-related justifications operators express while acting. The analysis of reasons is completed by comparing observational data with scenario models. The latter contain information of what experts considered as possible reasons for acting and as necessary for maintaining result-critical functions of the system in the particular situation. In other words we analyse whether and how operators

take into account and consider the functional significance of process events and that of their own operative actions.

Figure 31 depicts the model behind the development of criteria to the analysis of habits of action. It represents the primary task structure of operator work in dynamic process control situations. The categories of ways of acting match the basic tasks of monitoring, diagnosing, operating, using instructions and collaborating with regard to which the usage of resources is highlighted. In our earlier work (Norros & Nuutinen 2005) we have provided a list of indicators to evaluate each of these components. A subset of these were utilised in this connection (see Tables 26–36).

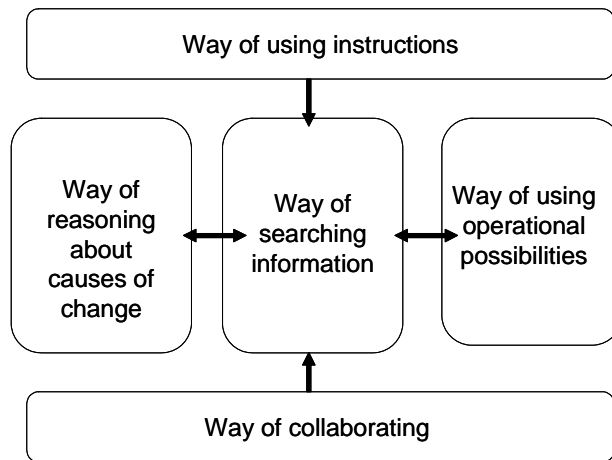


Figure 31. Components of operators' habits of action i.e. working practice in mastering dynamic control situations.

### **Analysis of operators' experiences of the use of the displays in process control**

According to our method a stimulated process tracing interview is conducted right after the execution of each test scenario. The aim of this “de-briefing” is to find out what events the operators consider to be the most important ones in the scenario, and what information they have used for handling the events. Due to the tight schedule of the experiment and technical reasons, it was not possible to conduct debriefing interviews after each scenario. Instead, the crews were interviewed after performing all scenarios. The contents of the interview were changed so that the questions were more concentrated on the interface features of the displays rather than on the course of the scenarios.

The interview questions concerned three topics (see Appendix Q):

1. General characteristics and comparison of the three display types.

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

2. The use of EID: the specific features of EID, EID's support for different tasks, and the experienced potential of EID as a future tool for process control.
3. Difficulty and workload of the scenarios.

The questions concerning the use of EID were mainly directed to the turbine operators who had been using all three display types during the runs. Also the reactor operators, who themselves had not used EID displays, were asked to tell what their opinions of EID displays were and how the use of EID had affected their performance.

### **Evaluation of the interface's functioning as a tool in process control**

In this final step of analysis the aim is to analyse the role of the displays in action and how well these interfaces serve fulfilling the aims of work. In this section use is made of the notion of Systems Usability that has been developed at VTT as a framework for analysis of usability of complex ICT-based tools and intelligent environments. A recent account of this concept was published by Savioja & Norros (2008).

According to the VTT Systems Usability concept two dimensions are central in evaluating whether complex technologies are appropriate for aimed usage. The first of these dimensions is context-oriented and expresses that tools should fulfil the demands of the core task of the particular work for which it is designed (definition of the core task see 6.3.2.1). The second dimension takes a functional perspective and indicates that tools should fulfil particular generic roles in action. These are the instrumental, psychological and communicative functions.

To elaborate the second evaluation dimension it is necessary to make a further excursion to the connection between the conception of action of the Cultural Historical Activity Theory (CHAT) and the pragmatist notion of habit.

Vygotsky's (1978) conception of action is depicted on the left-hand side of Figure 32. It states that human actors are related to the environment (object) in a mediated way via instruments or signs. Vygotsky's important discovery was that beyond the instrumental influence that a tool has on the environment, called the instrumental function, an instrument also has a psychological function. The latter refers to the principle that a sign or instrument to be used in action creates and assumes a schema of its use by the actor. Hence, it becomes possible through the external element, the tool, to regulate action. This possibility is made use e.g. in various memory aids (knot in the handkerchief).

Beyond CHAT also another major theoretical approach, pragmatist semiotics, is interested in understanding the role of signs and instruments in the shaping of the structure of human thinking and acting. Here we refer particularly to the classical work of Charles Sanders Peirce (Peirce 1998; Norros and Salo (2009)). In pragmatist semiotics the interest is to understand how signs and tools are used. The theory is in agreement with the CHAT conception of mediated action but would maintain, furthermore, that explication of action in the way CHAT or other psychological theories of action do, refers to singular situation specific actualisations of human behaviour. Interesting for the explanation of behaviour is also, that the mediated structure also portrays the meaning of action. The semiotic aspect of the sign/instrument usage is depicted in Figure 32 on the right-hand side. A similar triangular model is used but the third element "actor" that refers to a person acting, is replaced by the element called "interpretant". The figure states that instruments or signs are related to an object or purpose by a behavioural form (interpretant) that is an interpretation of the

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

connection. Interpretant refers to a behaviour, thought or emotion that expresses what the sign/instrument means in the given context. By this solution a more generic, situation specific level of description of behaviour is achieved, the level of habit.

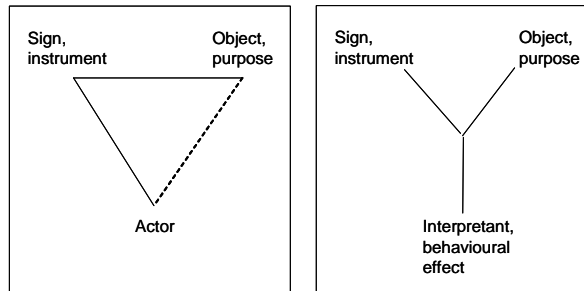


Figure 32. On the left-hand side the structure of mediated action of CHAT (Vygotsky 1978) is depicted. The instrumental and psychological functions of an instrument/sign may be described by this model. The dashed line indicates that connection between actor and object is not direct but mediated through instruments/signs. On the right is the semiotic model of action proposed by Peirce (1958). Signs/instruments are connected to their object through the mediation of the interpretant. It describes the communicative function of instruments and signs. This model portrays habit.

The semiotic structure completes the analysis of action by defining habit. In other words, instruments and signs, by being connected to objects over behavioural effects, also convey the meaning of using them in that way in a certain context. By acting in certain ways, including possible communication concerning acting, people do not just act more or less appropriately with the tools (instrumental and psychological functions) but they also mediate what they consider for relevant and worthy. Due to this, the sense of acting is mediated to co-actors and the behaviour of people becomes predictable in the larger community (Norros 2004). Hereby a third, communicative function has become overt. This function was not originally considered as a separate function in CHAT. Recently Rückriem (2003) and Bødker and Andersen (2005) have drawn attention to the need to articulate the communicative function, and these authors discuss its position in the analysis of action within CHAT.

The connection between action and habit and the three functions of tools may be depicted by using the model proposed by Bødker and Andersen (2005, p. 363). This extended model of action maintains that the CHAT model of action and the semiotic model of communication can be related with each other by assuming that object, on the one hand, and signs and instruments, on the other, may be considered simultaneously as part of an instrumental and communicative action. This assumption is in accordance with our thoughts of the connection of action and habit, and the three functions of signs/instruments. Our adaptation of the model is depicted in Figure 33.

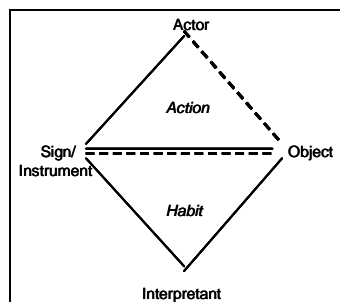


Figure 33. Action and habit may be conceptualised as parts of an extended model of mediated action. The instrumental, psychological and communicative functions of signs and instruments may be analysed with this model. Adapted from Bødker and Andersen 2005, p. 363.

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Our conclusion is that in order to capture the functionality of complex tools, it is necessary to be sensitive to all three functions of tools and technology. Considering the instrumental and psychological functions is necessary for the analysis of situational and particular actions. In order to reach the semiotic aspect of action it becomes necessary to elaborate also how tools function as communication media. Revealing the meaning by analysis of habits is the central aspect of understanding what is general in action, because it is exactly the internal reason why the structure is repeated.

The successfulness of the communicative function of the display can be identified by verifying whether the interface was used by the operators, what information was hereby defined to be critical information and whether reasons for situationally necessary actions were considered relevant, i.e. led to action. In comparison to using situation awareness (SA) measures as a basis of evaluation of interface functionality we may state that SA measures orient to measure whether something “objectively” existing and relevant was observed by the operators, not what in the situation operators considered relevant. This is why SA measures often rely on performance outcome measures and do not consider operators’ own accounts of what is important in the situation.

In the evaluation of how well the communicative function is fulfilled by the particular interface we exploit the same evaluation dimension as we did with regard to evaluation of orientations, i.e. interpretative, confirmative, and reactive. As was indicated with regard to orientation analysis, we have borrowed the evaluation criteria from pragmatist theory. We use “interpretativeness” and its contrast “reactiveness” as characteristics that refer to an epistemic attitude overt in action (habit of action) towards the information of the environment. The more interpretation there is the more comprehensively information is considered in its relationships to the context and to the purposes of activity, and the better it is seen to complete, improve or even question the preceding understanding of the phenomenon it concerns. Interpretativeness includes an idea of dialogue with the environment or another actor and construction of the conception concerning the state of the world. When information is taken at face value and as known the approach is reactive. An epistemically reactive attitude also indicates that information is seen to be received and recorded, i.e. information of something given “out there” is registered. The intermediate epistemic attitude also considered in the evaluation of habits of action is labelled “confirmative”. This indicates an active but not creative or questioning epistemic attitude in thinking and acting. In conclusion it may be stated that interpretativeness speaks of adaptiveness of behaviour.

### 6.3.4.3 Summary of the used methods and measures

In the following table (Table 15) a summary of the methods and measures used in the present study is provided.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Table 15. A summary of the used methods and measures and their link to tool functions.

Aspect of analysis	Method	Measures	Scale
<b>Instrumental tool function</b>			
Process outcome	Scenario models  Observations (video) and course of action analysis	Scenario specific process parameters inferred from: – expert communication – crew communication.  Integrated into: – successfulness of plant stabilisation.	Three levels from 0 to 2
<b>Psychological tool function</b>			
Performance in process control	Observations (video) and course of action analysis	– time of identifying basic function to be threatened – time of correct diagnosis – number of correct and adequate decisions and operations – level of stabilising the plant.	Rank order from 1 to 6
Conceptions of process control work	Work orientation interview	Work orientation classification scheme: – conception of the object of activity – conception of work constraints – conception of knowledge – professional ethos – personal sense of work.	Description
Experience of use	Post-test debriefing interview	Interview questions: – amount of information – clarity of information presentation – functional characteristics of displays – generic experience of use.	Description
<b>Communicative tool function</b>			
Practice	Work orientation interview	Work orientation classification scheme: – conception of the object of activity – conception of work constraints – conception of knowledge – professional ethos – personal sense of work.	Three levels: interpretative, confirmative, reactive
	Observations (video) and course of action analysis	Habit of action behavioural markers: – way of searching information – way of using operational possibilities – way of reasoning on the cause of deviations – way of using procedures – way of collaboration.	Three levels: interpretative, confirmative, reactive
Experience of use	Post-test debriefing interview	Interview questions: – amount of information – clarity of information presentation – functional characteristics of displays – generic experience of use.	Description

## 6.4 Hypotheses

The qualitative analysis of the EID experiments was said to focus, first, on understanding what information and why operators utilised when performing the task, and, second, why particular forms of presentation might communicate the state of the process better than others. After we have now explained the theoretical approach steering the qualitative analysis, clarified the data made available, and defined the methods that are going to be used in the analyses, it is time to express some more detailed hypotheses that are going to be tested in the study. Testing of hypothesis should, in our case, be understood more broadly than what is usual in classical experimental studies. Here hypotheses are taken as assumptions concerning the nature of the phenomena that are important to the practical issues to be supported by the study, in our case the interface design. Hypotheses guide the investigators' attention to relevant information concerning the phenomena under investigation. Hypotheses are seen to be elaborated via the analyses, rather than been either rejected or accepted.

What regards the first question – what information is used and why – we will make use of the analysis of the operators' performance in process control, on the one hand, and operators' habits of using available resources, on the other hand. This understanding is, then utilised to answer the second question – why particular forms of presentation communicate the state of the process better than others. In the structuring of the hypotheses we exploited the Systems Usability concept. With the aid of it we will review how, and how well, the displays fulfil the instrumental, psychological and communicative functions of the studied tools. The following hypotheses have been defined with these functions in mind.

Hypotheses related to fulfilling systems usability with regard to the instrumental function of the displays. The fulfilment of this function is verifiable with regard to measures concerning performance in process control.

1. Overall differences between crews with regard to performance in process control are not expected. This is due to the high level of expertise that is assumed of licensed operators independent of the length of operating experience.
2. All displays will enable an acceptable level of performance in process control due to the operators' profound domain knowledge and high expertise in operating a BWR plant.

The second group of hypotheses relate to fulfilling systems usability with regard to the psychological function of the displays. These hypotheses are based on the design rationale of EID that had been made explicit by Skraaning et al. (2007) and, in this chapter in section 6.3.4.2, and Table 11.

3. EID displays will support action in the detection phase in especially those scenarios, in which the indications of changes are novel or



unexpected (i.e. in Out-scenarios). This assumption is based on our analysis of the informativeness features of the display types.

4. HAMBO Traditional and Advanced types of displays support action in scenarios where there are demands on coping with technical systems, such as pumps, valves, pipelines, which requires comprehension of the spatial configuration of these resources. Also this assumption is based on our analysis of the informativeness features of the display types.

The final set of hypotheses relate to fulfilling systems usability with regard to the communicative function of the displays.

5. Habit of action reveals how process state is communicated to the operators and among the operators in different situations. Habit of action is assumed to interact with interface type and operating situation, i.e. the scenario, in the way depicted in Figure 34.

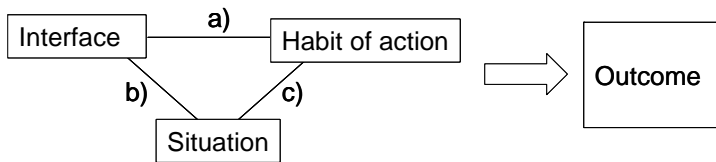


Figure 34. Interaction between interface, situation and habit of action that condition the outcome of activity. The letters refer to specific assumptions concerning the respective relationship. These assumptions are explained in the text.

On the basis of our theoretical understanding of human behaviour, and the informativeness features of the different display types, it is possible to formulate the following assumptions concerning the interaction between interface, habit of action and situation as indicated in Figure 34 by the letters a, b and c:

- a) The EID displays support interpretative features of habit of action due to making evident the connections between means and ends (components and global functions).
- b) Different situations (test scenarios) (complex resource handling or understanding disturbed mass balances) manifest different informativeness characteristics (locations, functions) that different interface types afford to various extent. Hence, the relevance of different display types is related to the situations.
- c) The criticality of the interpretativeness of habits of action differs according to situations. According to theory interpretativeness of behaviour supports adaptation. Adaptiveness of behaviour does not necessarily become overt in process control performance in less demanding situations.

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Following from the above sub-assumptions the main hypothesis may be formulated. It states that the supportive role of EID becomes overt in the outcome of action, if the situations require respective informativeness features and if interpretativeness is critical in the situations.

The potentially identified advantages or disadvantages of EID, or other display types with regard to habits of action, are significant generic information irrespective of the actually observed, situation specific improvement of action outcome.

### 6.5 Results

In the following we present the results of the analysis of all six NPP crews' performance in five scenarios. Due to the extensive work needed for the qualitative analysis of performance we were obliged to leave out the analysis of one of the scenarios. It was one of the "In" scenarios (In3), the task demands of which were estimated to be quite similar to the two other "In" scenarios.

We shall present the results in three phases:

First, the data concerning operator performance in process control are presented (section 6.5.1).

In the second phase the data of the orientations and the habits of action i.e. working practices are presented (section 6.5.2).

In the third phase the data of the operator's experience of the use of the displays (section 6.5.3.1) and operators' evaluation of the EID displays and their future potential (sections 6.5.3.2 and 6.5.5.3) are presented.

#### 6.5.1 Performance in process control

In this section data concerning operators' courses of action are presented with regard to performance in process control. As was discussed in the method section, when analysing operator performance in process control, the interest is in the outcome of performance, i.e. the external good of practice, in the given conditions. This evaluation is, of course, very important from a practical point of view since it allows us to find out whether the displays supported operators' performance. It also informs us, in which phases of the task performance this support was probably better and in which less good.

##### 6.5.1.1 Crews' success in process control by scenario type

The crews' level of achievement in different scenarios and in different phases of the scenarios was evaluated by using four indicators: 1) the time of identifying a basic function being threatened, 2) the time of correctly diagnosing the failure,

- 3) the number of correct and adequate decisions and operations performed, and
- 4) the level of stabilising the plant.

In evaluating the performance in the first two phases, the crews were put in order from 1 to 6 on the basis of the time of making a relevant detection or correct diagnosis. The same scale was used also when assessing the accurateness of operations. The level of success in stabilising was evaluated by using a scale from 0 to 2, where 2 indicates that the desired state was achieved with correct operative methods and without violating safety technical specifications, 1 that there were some deficiencies in stabilising, and 0 that the stabilising was not successful.

Crews' level of achievement in different phases of the scenarios is plotted on Figures 35–39.

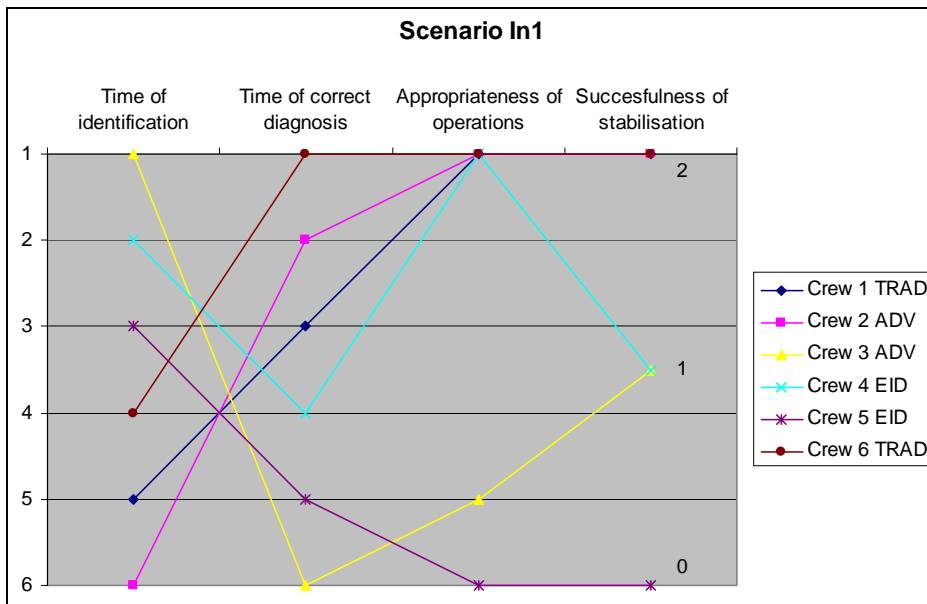


Figure 35. Crews' level of achievement in the different phases of the scenario "In1". Ratings from 1–6 were used to infer the evaluation 0, 1, 2.

In scenario "In1" all crews (1, 2, 3, and 6) who were using either traditional or advanced HAMBO displays achieved a good outcome (successfulness of stabilisation: grade 2 or 1). The crews (3 and 4) who were using EID did not succeed quite as well in stabilising the process (appropriateness of operations: grade 5 or 6; successfulness of stabilisation: grade 1 or 0). In this scenario the use of procedures was significant from the point of view of the successfulness of both diagnosis and stabilisation.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

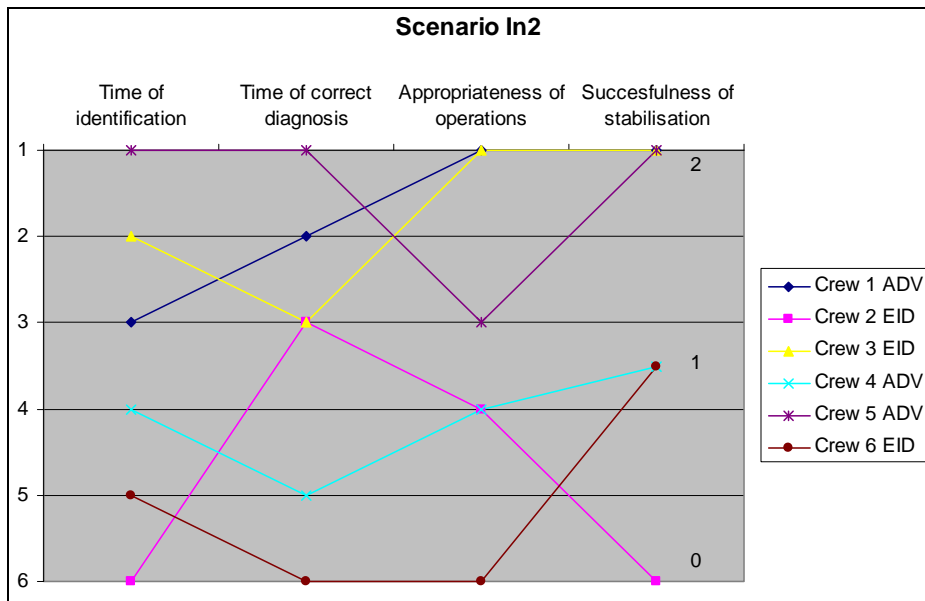


Figure 36. Crews' level of achievement in the different phases of the scenario "In2". Ratings from 1–6 were used to infer the evaluation 0, 1, 2.

In scenario "In2" traditional displays were not used at all. Among advanced display users there were two crews who succeeded very well (crews 1 and 5) but one crew only intermediately (crew 4). Within the EID users there was one crew (crew 3) who succeeded very well, but two crews either succeeded weakly or had an unstable performance (having partly weak and intermediate achievements) (crews 6 and 2 respectively). When looking merely the achievement with regard to the stabilisation of the process, one EID crew had the weakest achievement. The best end result was achieved by two advanced display groups and one EID group.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

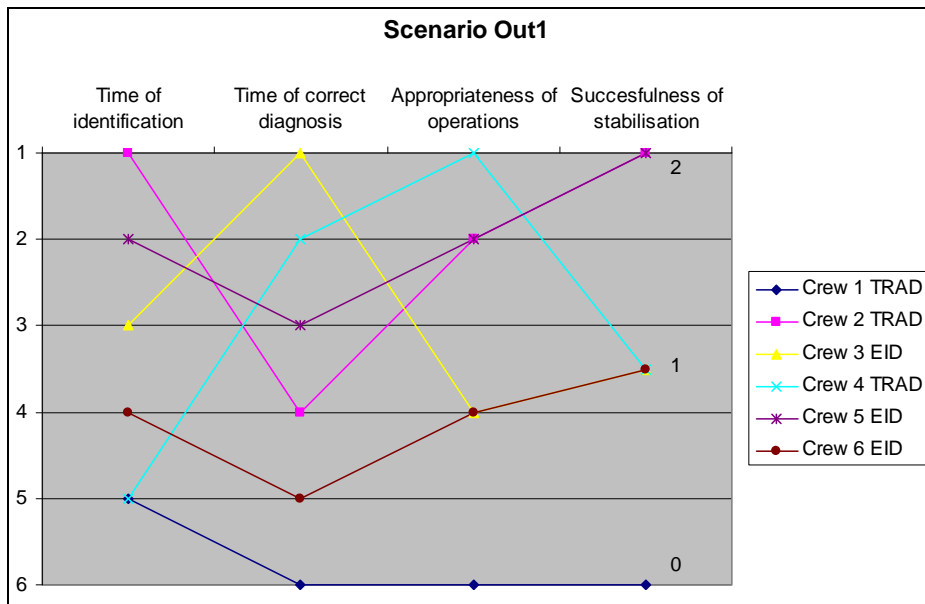


Figure 37. Crews' level of achievement in the different phases of the scenario "Out1". Ratings from 1–6 were used to infer the evaluation 0, 1, 2.

In scenario "Out1", three crews used traditional displays. Their results were diverse. One of the crews with traditional displays reached the highest performance level (crew 2), one was clearly weaker in performance (crew 1) and one unstable, i.e. partly very good or weak (crew 4). The EID users also portrayed a varying level of achievement. One crew was on the weaker side (crew 6), one was very good (crew 5), and one intermediate (crew 3). Advanced displays were not used in this scenario. In the stabilisation the best result was achieved both by traditional and EID displays.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

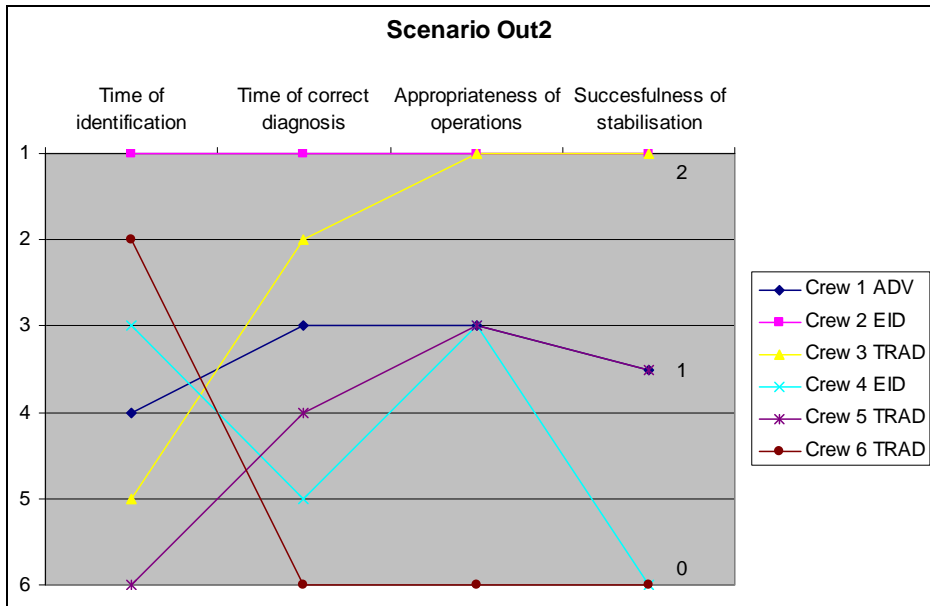


Figure 38. Crews' level of achievement in the different phases of the scenario "Out 2". Ratings from 1–6 were used to infer the evaluation 0, 1, 2.

In scenario "Out2", one of the EID user crews was excellent in all aspects of the task (crew 2). The other EID user crew was somewhat unstable and ended up with a weak result in stabilisation (crew 4). The one advanced display user group was intermediate but very stable in its entire performance (crew 1). One of the traditional display user groups was very good in the identification but the performance deteriorated in later phases (crew 6). The other traditional user group was slow in identification but improved performance to a stable intermediate level (crew 5). In stabilisation the best crews were those who used either EID or traditional displays, the weakest also either EID or traditional displays.

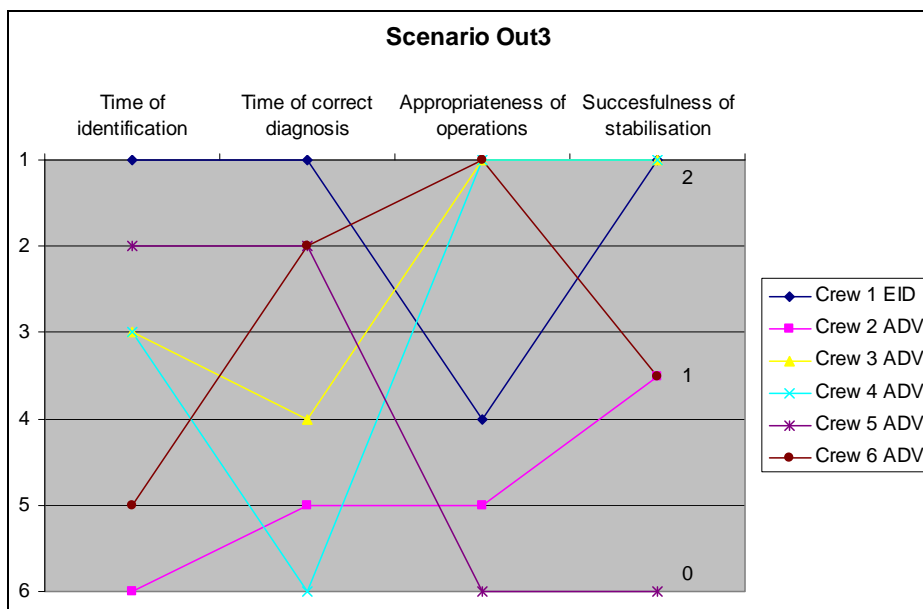


Figure 39. Crews' level of achievement in the different phases of the scenario "Out3". Ratings from 1–6 were used to infer the evaluation 0, 1, 2.

In scenario "Out3" the only EID user group was mainly very good (crew 1). All the other crews in this scenario were advanced display groups. The results indicate quite diverse outcomes. Good performance was expressed by two crews (3 and 4) whose diagnostic activity was the less successful part. One crew (crew 6) had difficulties in identification but improved later. Among advanced display users two crews were weaker, one particularly in the latter phases (crew 5), the other particularly in the earlier phases of the task (crew 2). Very good stabilisation was achieved by using EID (crew 1) or advanced displays (crews 3 and 4).

The analysis accomplished in this report aimed to understanding the phenomena under study. We have used both qualitative and quantitative inferences to make sense of the data achieved. In the following we summarise the results that were above described by scenario type. As has become evident from previous descriptions, there are no clear connections between the display type and success in the task. In the following we shall consider whether a quantitative analysis of the data could be helpful in summarising the data just presented in Figures 35–39. (Statistical tests were accomplished to support the summary of the results. However, since the experimental design was disturbed due to leaving out one scenario, the prerequisites for sound statistical analysis could not quite be reached, and the results are not used here.)

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

6.5.1.2 Summary of the results concerning the crews' success in process control by scenario type

In the summary of the previous results we shall use the successes in stabilisation indicator as the criterion.

Our results presented in Table 16 indicate that there were slight differences between the crews in the success of stabilisation over all scenarios and display types. Crews 1, 2 and 3 have higher average in stabilisation success than crews 4, 5, and 6.

Table 16. Averages of the grades concerning the successfulness of stabilisation. In each scenario the successfulness of the crews in stabilising the process (i.e. getting the process into a desired state) was evaluated using a three pointed scale from 0 to 2 where 2 is the best grade and 0 is the worst.

Crew 1	1,4
Crew 2	1,4
Crew 3	1,6
Crew 4	1,0
Crew 5	1,0
Crew 6	1,0

We may conclude that the level of competence of the crews was equal which provides a good basis for further analysis.

In the next step we summarised the level of achievement in different scenarios. Again we used the success in stabilisation as the indicator. The result of the analysis is presented in Table 17. It indicates that average success in stabilisation was best in both of the in-type scenarios and one of the beyond design scenarios (Out3) and worse in another beyond design scenario (Out2).

Table 17. Averages of the grades concerning the successfulness of stabilisation in each scenario. The successfulness of the crews in stabilising the process (i.e. getting the process into a desired state) was evaluated using a three pointed scale from 0 to 2 where 2 is the best grade and 0 is the worst.

In1	1,33
In2	1,33
Out1	1,17
Out2	1,00
Out3	1,33

We may conclude that none of the scenarios created significantly more difficulties to the crews.



### 6.5.1.3 Analysis of the effect of display type on the success in process control

#### a) Analysis of the effect of display type on different aspects of performance

As we indicated earlier the successfulness of process control performance was studied with regard to four indicators of the level of achievement in process control. These indicators were 1) time of identifying first signs of disturbance, 2) time of correctly diagnosing the disturbance 3) accuracy of operations and 4) successfulness of stabilising the process. The level of achievement was rated using a three-stepped scale 0, 1 and 2 after rank ordering each crews' performance with regard to the four indicators. In the following we display the results of the quantitative analysis we accomplished with regard to these four performance indicators.

*Time of identifying first signs of disturbance* (Table 18): According to average times needed to identify changes in the process, the EID display allows faster identification of changes than the other two display types.

Table 18. Averages of the grades concerning the time of identifying first signs of failure. The crews were put in order from 1 to 6 (where 1 is the best, 6 is the worst) on the basis of the time of identification.

EID	2,91
ADV	3,45
TRAD	4,13

*Time of correct diagnosis* (Table 19): The results indicate that average times needed for correct diagnosis of the plant situation were equal by all display types.

Table 19. Averages of the grades concerning the time of correctly diagnosing the disturbance. A scale from 1 to 6 was used (where 1 is the best, 6 is the worst).

EID	3,36
ADV	3,45
TRAD	3,50

*Accuracy of operations* (Table 20): With regard to this indicator, the traditional display is best, EID worse.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Table 20. Averages of the grades concerning the accuracy of operations. A scale from 1 to 6 was used (where 1 is the best, 6 is the worst).

EID	3,27
ADV	2,81
TRAD	2,63

*Successfulness of stabilisation of the process* (Table 21): With regard to successfulness of stabilising the process the traditional and advanced display types appear, in average, to be better than EID display.

Table 21. Averages of the grades concerning the successfulness of stabilising the process. A scale from 0 to 2 (where 2 is the best, 0 is the worst) was used.

EID	1,09
ADV	1,36
TRAD	1,25

We may conclude that differences in performance between display types were not great when a single outcome measure was used as a criterion.

**b) Effect of display type on performance in different scenario types (In and Out)**

In the next step we analysed the relationship between the display type and scenario type. For this analysis we constructed combined criteria of the four above mentioned performance indicators. The new indicators were 1) time of identification and diagnosis and 2) success in operations and stabilisation. Ratings from 1–6 were used in which the lower rating indicates better result.

*“In” scenarios by identification & diagnosis* (Table 22): When the performance in the combined identification and diagnosis was used as the criterion we found that EID display type received somewhat worse ratings than the other two display types.

Table 22. Averages of the grades concerning the time of identifying signs of failure and the time of correctly diagnosing the disturbance in In-scenarios. A scale from 1 to 6 was used (1 is best, 6 worst).

EID	3,90
ADV	3,10
TRAD	3,25

*“In” scenarios by operations & stabilisation* (Table 23): When the operations and stabilisation indicator was used to compare performance level in “In” scenarios it was found out that traditional display type provides a higher level of achievement.

Table 23. Averages of the grades concerning the accuracy of operations and the successfulness of stabilising the process in In-scenarios. A scale from 1–6 was used (where 1 is the best, 6 is the worst).

EID	3,90
ADV	2,50
TRAD	1,00

*“Out” scenarios by identification & diagnosis* (Table 24): When considering out of design scenarios and when identification and diagnosis was used as performance criterion it was found out that EID display is better.

Table 24. Averages of the grades concerning the time of identifying signs of failure and the time of correctly diagnosing the disturbance in Out-scenarios. A scale from 1 to 6 was used (where 1 is the best, 6 is the worst)

EID	2,50
ADV	3,75
TRAD	4,00

*“Out” scenarios by operation & stabilisation* (Table 25): In out of design scenarios when operation and stabilisation was used as performance criterion the display types were found to be equal.

Table 25. Averages of the grades concerning the accuracy of operations and the successfulness of stabilising the process in Out-scenarios. A scale from 1 to 6 was used.

EID	2,67
ADV	3,00
TRAD	3,17

In conclusion we may state that according to the result of the present analysis, the traditional display appears to provide stronger support to operations than other displays in within design scenarios. EID displays support efficiently detection and diagnosis in outside the design base scenarios. The results are in accordance to those achieved by the statistical analyses accomplished by the

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

HRP, UofT and UW groups (Skraaning et al. 2007). In the statistical analyses the "situation awareness" was used as a criterion, and EID display type was found stronger than other display types in "Out" scenarios in the identification phase of the scenarios. It was also found out that in the "In" scenarios the traditional display was strong in mitigation phase. Our criteria of process control performance resemble those used by the HRP/UofT/UW investigators as situation awareness indicators. Our four criteria may also be interpreted to interact with the scenario phase so that, in particular the detection criterion resembles the identification phase, and the operations and successfulness in stabilisation criteria to the mitigation phase. Figure 40 summarises the results that were achieved in two analyses of the data, in which slightly different, but comparable performance measures were used.

	IN	OUT
Identification and diagnosis / identification	No differences	EID +
Operation and stabilisation / mitigation	TRAD +	No differences

Figure 40. In "Out-scenarios in identification and diagnosis phases the level of achievement was better with EID-displays than with HAMBO advanced or traditional displays. In "In"-scenarios in operation and stabilisation phases the level of achievement was better with HAMBO traditional displays than with other display types. In these cases the differences between display types were statistically significant. This result was achieved in the statistical analyses with different performance criteria.

### 6.5.2 Working practices of the crews

In the analysis of crews' working practice the focus is to understand what kind of affordances the different display types provide to the operators and how the operators make use of these affordances. The question of interest here can also be formulated as how well the different display types communicate process state and the demands for action to the operators. The indicator for the communicative strength of the display is not the successfulness in process control but what ways of working are facilitated by the different displays. Ways of working represent the internal good of practice.

As has already been indicated we use two different types of indications here. The first one refers to the persons' conceptions of work, i.e. orientation. This indicator has a character of a stable background factor that is supposed to modulate situation specific acting. The second indicator for practices is the habits of

action that we have identified on the basis of analysing each crews' actual courses of actions in the different scenarios and when working with different display types. With regard to both indicators of practice (orientation and habit of action) we use the same evaluation scale, i.e. interpretative, confirmative, and reactive. This evaluation scale speaks of the adaptiveness of the behaviour (see section 6.3.4.2).

#### 6.5.2.1 Crews' work orientations

The orientation results were acquired by three independent evaluators on the basis of reading transcribed protocols of the orientation interviews of each process operator. Due to technical failure in recording the interviews of one turbine operator (T) (crew 3) and one reactor operator (R) (crew 2) were lost. It should also be noted that two reactor operators (R) served two crews (one the crews 6 and 5, the other crews 3 and 4). Because the analysis of process control and habit of action were mainly focused on the turbine operators' action, especially the turbine operators' orientation is relevant here.

As was indicated in the methods section orientation was conceptualised on the basis of five dimensions, under which a total of 12 indicators were used (bullets in the following list):

- 1) Conception of the object of activity:
  - framing of own work.
- 2) Conception of the intrinsic constraints of work:
  - Information:
    - type of reference to changes in process
    - type of reference to the state of the process
  - Procedures:
    - reasons for using procedures
    - limits of procedures.
- 3) Conception of knowledge and constructing knowledge:
  - process feel
  - conception of alarms
  - role of collaboration in knowing
  - conception of development.
- 4) Professional ethos:
  - good process operator.
- 5) Personal sense of work:
  - interesting in work
  - agent role.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

For each indicator descriptions were constructed that would indicate different types of orientation to work. The grading follows the generic background dimension of interpretative-reactive that was adopted as a dimension to indicate a basic epistemic attitude of the human being’s relationship to the environment. Grading 2 was used for an interpretative attitude, 1 for a confirmative attitude, and 0 for a reactive attitude (the content are described in Table 14 in section 6.3.4.2). These ratings were used by three independent evaluators (A, B and C). The inter-rater reliability was counted using Cohen’s Kappa (weighted Kappa). The statistics indicates that a “moderate” agreement was achieved between each pair of raters A, B and C (A/B K=0.513; A/C K=0.587; A/C K=0.546).

Each rater’s results were included in the final result, which is provided in Table 26. The table indicates how many ratings of 2 (interpretative), ratings of 1 (confirmative) and ratings of 0 (reactive) each crew achieved with regard to the different evaluation elements. On the basis of the dominance of ratings we inferred the final evaluation of the crews’ orientation (last column in Table 26). The crews’ orientations were classified to express either interpretative (dominance of ratings 2), confirmative (dominance of ratings 1) or reactive orientation (dominance of ratings 0).

Table 26. All ratings of three evaluators concerning crew members’ orientations and the final evaluation agreed for each crew (last column).

Role	Crew	No of 2	No of 1	No of 0	Final evaluation
T	1	22	8	6	Interpretative orientation
R	1	19	15	2	
R	4 / 3	13	15	8	Confirmative orientation
T	4	12	15	9	
T	6	5	20	11	
R	5	9	9	18	Reactive orientation
R	6 / 5	6	15	15	
T	2	5	12	19	
T	5	2	15	19	

Typical of the interpretative orientation was to connect the tasks of the daily work to more global connections and process phenomena and functions. In the confirmative orientation the daily work is seen as appropriate and active accomplishing of tasks. In the reactive orientation type work was considered as well mastered routines and actions to be launched on external demand. The results indicated that only the both operators of the crew 1 were rated to portray the interpretative orientation. Both operators of the crews 4 and 3, and also the

turbine operator of the crew 6 portrayed the confirmative orientation, which is basically quite ok. Both operators of the crew 5 and the turbine operator of crew 2 manifested reactive orientation. As Table 26 indicates, crews were typically homogenous with regard to orientation. This is according to expectation because orientation is an expression of a joint culture that a crew develops within its own community of practice.

### 6.5.2.2 Description of crews' habits of action in all scenarios and display types

Habits of action were evaluated with the aid of a five-element analysis scheme. Table 27 provides the indicators that were used in the evaluation. Indicators are behavioural markers for which we developed scenario-specific references. The scenario models were used as the source for defining the criteria. An example of the developed criteria is given in Table 27 below. It concerns the scenario In2.

Table 27. Habit of action indicators and scenario-based criteria for grading of Scenario IN2.

Indicator	Criteria for: Interpretative – confirmative – reactive
<b>Way of searching information</b>	
Search of information	Questioning, comparative, cumulative – recording, relating – passive, based strongly on alarms (E.g. monitoring drain switching, condense/feed water balance in effect increase)
Connecting changes to global functions	Functional inferences vs. component level statements (E.g. condense/feed water balance (462VA5/VB5, 463VA4, 314VB4), continuation of effect increase, heat transfer efficiency (seawater temperature))
Connecting changes to task	Anticipating, structuring task – focus on on-going sub-task – weak connection to task (E.g. drain switch, bypass, effect increase)
Observing effects of own operations	Activeness of monitoring: active – medium – passive (E.g. manual operation of 463VA20 and 463VB19, reset of bypass, manual operation of 462VB5, requesting maintenance of 462VA5)
<b>Way of using operational possibilities</b>	
Way of managing	Active agent, prompt actions, taking responsibility – adjusting – lead by the process, slow actions (E.g. reset of bypass, fixing of failed components (462VA5))
Prioritising of tasks	Focusing on relevant tasks: appropriate – medium – inappropriate (E.g. drain switch, reset of bypass, controlling FW flow by manual operation of 462VB5)

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Use of adequate methods	Adjusted to situation – use of generally valid methods – use inadequate methods (E.g. changing of FW pump, operation of 463VA20, manual operation of 462VB5)
Synchronisation of operations	Not relevant
Taking into account the causes and the severity of disturbance in stabilisation / normalisation	Comprehensive – partial – deficient (E.g. controlling FW/condense balance to avoid shutdown)
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>	
Localising or clarifying the cause and necessary operations	Discussing the cause (type, place, size) – taking failure as given – minimal consideration of the failure (E.g. high level of 462EB1)
<b>Way of using procedures</b>	
Way of using instruction in process control	Plant start-up procedure: procedure use was not observable
<b>Way of collaboration</b>	
Way of communicating	Commenting on observations, intention towards common interpretation – informs of observations – minimal communication (Based on all material)
Way of team working	Proactive commenting of own aims and actions – post-hoc informing of own aims and actions – self-sufficient acting (Based on all material)
Way of contacting outside CR	Participative contacting – Requesting contacting – minimal contacting (Based on all calls to outside)

The courses of action constructed for each crew, as well the final debriefing interviews, were used as data for the evaluations. The evaluations were made together with two researchers who had analysed the courses of action. In the analysis, the turbine operators' actions were more in focus because the video had been recorded from his point of view. The reactor operators' actions, however, played a role in each task performance and had an effect on the evaluations, too. The used rating scale was 2 (black), 1 (grey), 0 (white) in which 1 was considered as a norm indicating a confirmative way of taking into account the core task demands of process control work. Rating 2 was an upward deviation indicating interpretative account of the core-task demands of the process control work. Finally 0, i.e. reactive way of acting, was given when core-task demands, as reflected via the indicators, were partly neglected.

Table 28 provides the overall results of crew's habits of action in all scenarios. As can be seen there are differences in crews' habits of action even though process control performance was seen to be equal (see Table 15). We have not made statistical analysis of habits of action (as we have done in some previous comparable studies) because we basically find quantification inadequate means to understand the differences in operators' sense making of their work.



6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

From Table 28 we may read that crew 1 worked in a sure and confirmative manner in general but had difficulties with regard to information search, way of managing and use of procedures. Crew 2 was rated interpretative in almost all indicators, but interestingly had one weak point, i.e. prioritising of tasks. Crew 3 had interpretative habits especially with regard to operations, but also collaboration was rated as to portray interpretative features. Interesting is that this crew was neglecting procedures. The strength of crew 4 appeared to lie in information search, and also in collaboration. Also this crew neglected procedures. Crew 5 was generally confirmative. A weak point was also by this crew in the use of procedures. Crew 6's practices distinguish from the practices of others by reactive way of using operational possibilities i.e. the crew did not get things done. Interpretativeness of collaborative practices could, however, be stated.

Table 28. Crews' habits of action: averages of grades in all scenarios.

Averages of grades in all scenarios	Crew 1	Crew 2	Crew 3	Crew 4	Crew 5	Crew 6
<b>Way of searching information</b>						
Search of information						
Connecting changes to global functions						
Connecting changes to actions						
<b>Way of using operational possibilities</b>						
Way of managing						
Prioritising of tasks						
Use of adequate methods						
Observing effects of own operations						
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>						
Clarifying the cause and necessary operations						
Taking into account the severity of disturbance						
<b>Way of using procedures</b>						
Way of using procedures in process control						
<b>Way of collaboration</b>						
Way of communicating						
Way of teamworking						
Way of contacting outside CR						
<b>Successfulness of stabilisation</b>						

In the bottom part of the Table 28 we have indicated each crew's rating with the successfulness in stabilisation that we have used as the major criterion for process control performance. It can be seen that both crews 2 and 3 who had the

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

best habit of action profiles, also had the highest ranking in performance outcome. Also crew 1 has a high performance outcome even though this crews' habit of action profile is intermediate. It is to note that the most inexperienced turbine operator worked in this crew.

### 6.5.2.3 Habits of action in different scenarios by each crew

The habits of action ratings of each 6 crews are presented according to the scenario type in Tables 29–34. The procedure is descriptive and we make an attempt to identify how stable or flexible habit of action is over scenarios, and what is the influence of display type on habit of action. The particular demands of the scenarios elaborated in section 6.3.4.2 are exploited here. We shall also relate the results concerning the crews' orientation in this discussion.

In Table 29 the results of evaluations of the habits of action and successfulness of stabilisation of the crew 1 are depicted. Overall impression is that the habit of action was intermediate, neither strongly interpretative nor reactive. Most interpretative the crew was in “Out3” while using EID. Also in “In 2” with advanced HAMBO the crew improved habit of action. In both cases the outcome was also very good. In both scenarios understanding physical phenomena and changes in the process are important, which demand these displays also support. The crew had difficulties and a reactive way of operating in the case of “Out1” scenario with traditional displays. This scenario calls for good and fast operations. As can be seen in Table 29 way of managing is clearly a weak area of the crew's habit of action profile. The same applies to way of using procedures. The turbinist of this crew was rather inexperienced but was supported well by the reactor operator. This turbinist was the only one rated as to have an interpretative orientation, which may have supported operating the physically complex “Out3” scenario with EID where fast operations was not that critical. With regard to this crew it appears that habit of action would improve when the demands of the scenario and the affordances of the display match.

The habits of action of the crew 2 are depicted in Table 30. The overall result of the habit of action ratings indicates that this crew had adopted a rather strong interpretative habit of action. The crew demonstrates an interpretative way of collaborating and searching information, and good ratings appear also with regard to using operational resources. There were, however, two clear deviations from a generally good profile. These are the cases of “In2” with EID and “Out3” with Advanced HAMBO. Surprisingly many weak points in the habit of action appeared especially in “Out3”, which scenario was quite unexpected one.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Table 29. The habits of action of crew 1 in different scenarios. (In the table X means that the indicator was not used in the evaluation).

Crew 1	IN1	IN2	OUT1	OUT2	OUT3
	TRAD	ADV	TRAD	ADV	EID
<b>Way of searching information</b>					
Search of information					
Connecting changes to global functions					
Connecting changes to actions	X			X	
<b>Way of using operational possibilities</b>					
Way of managing					
Prioritising of tasks	X				
Use of adequate methods	X				
Observing effects of own operations	X			X	
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>					
Clarifying the cause and necessary oper.			X		
Taking into account the severity of disturbance	X				
<b>Way of using procedures</b>					
Way of using procedures in process control		X			
<b>Way of collaboration</b>					
Way of communicating					
Way of teamworking					
Way of contacting outside CR					
<b>Successfulness of stabilisation</b>					

In both cases “In2” and “Out3” the crew also demonstrated weak prioritising of tasks. In both scenarios understanding of physical phenomena plays a central role. It may be stated that habit of action of this crew is rather stabilised and its capability is best at operational and fast situations where also good collaboration facilitates performance. The habit of action is less fit with situations that call for relating events to global phenomena and prioritising tasks accordingly. The crew’s orientation was rated as reactive. This is in concert with the finding that in unexpected situations the crew’s performance was less appropriate. In this very experienced crew the role of display type probably had less effect on habit of action.

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

Table 30. The habits of action of crew 2 in different scenarios.

Crew 2	IN1	IN2	OUT1	OUT2	OUT3
	TRAD	ADV	TRAD	ADV	EID
<b>Way of searching information</b>					
Search of information					
Connecting changes to global functions					
Connecting changes to actions	X			X	
<b>Way of using operational possibilities</b>					
Way of managing					
Prioritising of tasks	X				
Use of adequate methods	X				
Observing effects of own operations	X			X	
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>					
Clarifying the cause and necessary oper.			X		
Taking into account the severity of disturbance	X				
<b>Way of using procedures</b>					
Way of using procedures in process control		X			
<b>Way of collaboration</b>					
Way of communicating					
Way of teamworking					
Way of contacting outside CR					
<b>Successfulness of stabilisation</b>					

Table 31 demonstrates the result of the habit of action evaluations of the crew 3. This crew has an interpretative habit of action in two scenarios, i.e. “In2” with EID and “Out3” with advanced HAMBO, both scenarios call for understanding physical phenomena and interpreting changes of the process, and the crew appears to take advantage of the affordances of the displays in these cases. The crew also has a quite good profile in the “Out2” scenario with traditional display that requires also understanding of physical phenomena and also fast operating. The habit of action profiles of the crew have weaknesses particularly with regard to way of using procedures, way of using outside resources, and also in way of managing and prioritising. These weaknesses are overt in “Out1” scenario with EID, in which combination the scenario demands and display affordances do not match well. It is difficult to identify clear dependencies with display, scenario and habit of action but we may propose that this crew has a rather stable habit of action the strengths of which lie in understanding physical relations, the advantages of which become overt in those scenarios where these capabilities

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

are demanded most, and when displays provide relevant support. The orientation of this crew’s turbine operator is not known, but the reactor operator portrayed a confirmative orientation close to interpretative orientation. Orientation was shown to be homogenous within the crews, which would make confirmative orientation probable by the turbine operator, too.

Table 31. The habits of action of crew 3 in different scenarios.

Crew 3	IN1	IN2	OUT1	OUT2	OUT3
	TRAD	ADV	TRAD	ADV	EID
<b>Way of searching information</b>					
Search of information					
Connecting changes to global functions					
Connecting changes to actions	X			X	
<b>Way of using operational possibilities</b>					
Way of managing					
Prioritising of tasks	X				
Use of adequate methods	X				
Observing effects of own operations	X			X	
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>					
Clarifying the cause and necessary oper.			X		
Taking into account the severity of disturbance	X				
<b>Way of using procedures</b>					
Way of using procedures in process control		X			
<b>Way of collaboration</b>					
Way of communicating					
Way of teamworking					
Way of contacting outside CR					
<b>Successfulness of stabilisation</b>					

Crew 4 is introduced in Table 32. The profiles of this crew appear very diffuse by first glance. With a closer look we may note that this crew manifests interpretative way of using information with EID in scenarios demanding understanding physical phenomena, i.e. “In1” and “Out2” but reactive ways of using operational resources and procedures in the same scenarios. In “Out3” with advanced HAMBO the crew is at its best. In “In2” and “Out1” operational demands are emphasized and the crew reacts to them with good habits of action in ways of reasoning and way of using operational resources. The orientation of the crew was classified as confirmative. The overall impression of this crew is

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

that operators react sensitively by habit of action both to the good matches and to mismatches between the scenario and the display.

Table 32. The habits of action of crew 4 in different scenarios.

Crew 4	IN1	IN2	OUT1	OUT2	OUT3
	TRAD	ADV	TRAD	ADV	EID
<b>Way of searching information</b>					
Search of information					
Connecting changes to global functions					
Connecting changes to actions	X			X	
<b>Way of using operational possibilities</b>					
Way of managing					
Prioritising of tasks	X				
Use of adequate methods	X				
Observing effects of own operations	X			X	
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>					
Clarifying the cause and necessary oper.			X		
Taking into account the severity of disturbance	X				
<b>Way of using procedures</b>					
Way of using procedures in process control		X			
<b>Way of collaboration</b>					
Way of communicating					
Way of teamworking					
Way of contacting outside CR					
<b>Successfulness of stabilisation</b>					

Table 33 provides the habit of action results of the crew 5. The salient feature of the habits of action profiles of this crew is that independent of the display type they have a strong interpretative way of using operational resources and reasoning the cause. These strengths became overt in “In2” and “Out1” which put operational demands, and in the case of “Out1” and also in “Out2” demands on fast acting. This crew did not have a particularly good way of collaboration, and the way of using procedures was also reactive. The crew had difficulties when the situation demanded understanding of physical phenomena and connections to global functions. This is in accordance with the crew’s orientation, which was reactive. The overall impression is that a stable habit of action the strengths of which lie in the operational side are typical to this crew and these strengths

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

provide good results when habit of action fits well with the task demands. The role of displays is probably not that strong in shaping the way of acting.

Table 33. The habits of action of crew 5 in different scenarios.

Crew 5	IN1	IN2	OUT1	OUT2	OUT3
	TRAD	ADV	TRAD	ADV	EID
<b>Way of searching information</b>					
Search of information					
Connecting changes to global functions					
Connecting changes to actions	X			X	
<b>Way of using operational possibilities</b>					
Way of managing					
Prioritising of tasks	X				
Use of adequate methods	X				
Observing effects of own operations	X			X	
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>					
Clarifying the cause and necessary oper.			X		
Taking into account the severity of disturbance	X				
<b>Way of using procedures</b>					
Way of using procedures in process control		X			
<b>Way of collaboration</b>					
Way of communicating					
Way of teamworking					
Way of contacting outside CR					
<b>Successfulness of stabilisation</b>					

Finally we have the result of the crew 6 in Table 34. The overview is that this crew has an intermediate, not a reactive but not an interpretative habit of action either. In two scenarios the profile is better, however. This is the case particularly in “Out3” with advanced HAMBO and “In2” with EID. In both cases the crew appears to make use of the display affordances to manage the demands focused to understanding process changes and physical phenomena. The crew also collaborated well in both situations. Again we may observe that in “Out1” scenario with EID, in which combination of the scenario demands and display affordances are in mismatch, habit of action appears reactive, and success in operations poor. The very good success in “In1” is facilitated by the crew’s good way of using procedures, in which respect this crew was better than all the other crews. In general this crew appears to react sensitively by habit of

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

action to the match or mismatch between display affordance and situational demands. The orientation of the turbiniest was rated as confirmative but that of the reactor operator reactive.

Table 34. The habits of action of crew 6 in different scenarios

Crew 6	IN1	IN2	OUT1	OUT2	OUT3
	TRAD	ADV	TRAD	ADV	EID
<b>Way of searching information</b>					
Search of information					
Connecting changes to global functions					
Connecting changes to actions	X			X	
<b>Way of using operational possibilities</b>					
Way of managing					
Prioritising of tasks	X				
Use of adequate methods	X				
Observing effects of own operations	X			X	
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>					
Clarifying the cause and necessary oper.			X		
Taking into account the severity of disturbance	X				
<b>Way of using procedures</b>					
Way of using procedures in process control		X			
<b>Way of collaboration</b>					
Way of communicating					
Way of teamworking					
Way of contacting outside CR					
<b>Successfulness of stabilisation</b>					

6.5.2.4 Habits of action in different display types

In this section the habits of action are put in relation to display type over all crews. The attempt is first to consider the overall picture, i.e. working practices when using each of the three display types. In order to accomplish such an overview it was necessary to sum evaluations of crews' practices in different scenarios. The result is provided in Table 35. We shall consider, in the next, what strengths and weaknesses in habit of action are associated with each of the three display types.

As can be seen in Table 35 EID displays appear to connect with highly interpretative habits of action with regard to searching of information. It may probably be reasoned that EID supports interpretative information search. It also



supports interpretative collaborative habits. A clear weakness is found with regard to the way of using procedures. EID is negatively connected to procedure usage.

When turning to the HAMBO advanced display type a quite positive picture appears. Advanced display type supports clearly interpretative habits in information search and reasoning of the causes of deviations and even collaboration. A negative connection is identified with regard to self control, which may speak of over confidence. The HAMBO traditional display type does not link to either many advantages or disadvantages in habits of action but provides a stable confirmative habit of action.

On the bottom of Table 35 we have, again indicated the measure concerning successfulness of process stabilisation. It appears that advanced displays support both good habits of action and good outcome of performance. Also traditional displays connect with good performance outcome although habit of action profile is not particularly high.

Table 35. Crews' habits of action: averages of grades per displays types.

Averages of grades in terms of UI	EID	ADV	TRAD
<b>Way of searching information</b>			
Search of information	Dark	Dark	Light
Connecting changes to global functions	Light	Dark	Light
Connecting changes to actions	Dark	Dark	Dark
<b>Way of using operational possibilities</b>			
Way of managing	Light	Light	Light
Prioritising of tasks	Light	Light	Light
Use of adequate methods	Light	Dark	Light
Observing effects of own operations	Light	White	Dark
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>			
Clarifying the cause and necessary operations	Light	Dark	Light
Taking into account the severity of disturbance	Light	Dark	Dark
<b>Way of using procedures</b>			
Way of using procedures in process control	White	Light	Light
<b>Way of collaboration</b>			
Way of communicating	Dark	Dark	Light
Way of team working	Dark	Dark	Light
Way of contacting outside CR	Light	Dark	Light
<b>Successfulness of stabilisation</b>	Light	Dark	Dark

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

6.5.2.5 Habits of action in “In” and “Out” scenarios

In this section, the results of the connections between habits of action and display type in different scenarios are provided. Table 36 indicates the situation in “In” scenarios. According to the table EID would have clearly a supportive effect to habits of action. Also advanced displays support interpretative habits of action in “In” scenarios. The traditional display appears rather to be connected to a reactive habit of action. The last row of the table again indicates how each display type is connected to performance outcome i.e. successfulness of stabilisation. The results shown in this table are interesting because they state that the effect of EID interface may be positive but still this effect does not become manifested as positive outcome. The traditional display supports a reactive habit of action but the effect on outcome is good. These apply in the “In” type of scenario, in which a more straightforward acting is to be expected as sufficient.

Table 36. Crews' habits of action: averages of grades per display types in IN-scenarios.

Averages of grades in IN-scenarios	EID	ADV	TRAD
<b>Way of searching information</b>			
Search of information	Dark	Dark	White
Connecting changes to global functions	Light	Light	Light
Connecting changes to actions	Dark	Light	White
<b>Way of using operational possibilities</b>			
Way of managing	Light	Light	White
Prioritising of tasks	Light	Light	White
Use of adequate methods	Dark	Light	White
Observing effects of own operations	Dark	Light	White
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>			
Clarifying the cause and necessary operations	Light	Light	Light
Taking into account the severity of disturbance	Dark	Dark	White
<b>Way of using procedures</b>			
Way of using procedures in process control	White	Light	Dark
<b>Way of collaboration</b>			
Way of communicating	Dark	Dark	Light
Way of team working	Dark	Light	White
Way of contacting outside CR	Dark	Dark	Light
<b>Successfulness of stabilisation</b>	Light	Dark	Dark

Table 37 delivers the results of crews' habits of action with regard to different display types in out of the design basis scenarios. Now the situation has changed. As earlier EID supports interpretative information search, collaboration and also way of reasoning the causes of deviations, which configuration is connected to good outcome of performance. Advanced displays support interpretative habits of action but, compared to the "In" scenarios somewhat less, and the supportive connection to performance outcome has disappeared. The traditional display appears to support interpretative habit of action somewhat more than was in the case of "In" scenarios, but a positive connection to outcome is not evident.

Table 37. Crews' habits of action: averages of grades per display types in OUT-scenarios.

Averages of grades in OUT-scenarios	EID	ADV	TRAD
<b>Way of searching information</b>			
Search of information			
Connecting changes to global functions			
Connecting changes to actions			
<b>Way of using operational possibilities</b>			
Way of managing			
Prioritising of tasks			
Use of adequate methods			
Observing effects of own operations			
<b>Way of reasoning the cause of deviations</b>			
Clarifying the cause and necessary operations			
Taking into account the severity of disturbance			
<b>Way of using procedures</b>			
Way of using procedures in process control			
<b>Way of collaboration</b>			
Way of communicating			
Way of team working			
Way of contacting outside CR			
<b>Successfulness of stabilisation</b>			

### 6.5.3 Crews' experience of the process control interface

In this section the results of the debriefing interview concerning the crews' experiences of the use of different process control interfaces are presented. In the first sub-section the different interface types are compared. In the second and third sub-section the focus is on EID. First we provide the results concerning

operators' experience of the operational features of EID, and then the operators' conceptions of the future potentials of EID as a process control tool are described.

#### 6.5.3.1 Crews' conceptions of the use of different display types

Each crew was interviewed after the execution of all scenarios. The questions were categorised under three main topics, the first of which concerned general characteristics of the three display types. The crews were also asked to compare the display types with regard to e.g. the amount of information, the clarity of displays, and the ease of getting an overview of the process and performing operations with the displays.

A summary of the answers of the crews is presented in Table 38. A common opinion among the operators was that there is too much information on EID displays which complicates their usage. The amount of information was not considered a problem in HAMBO displays (both advanced and traditional version). The operators generally preferred HAMBO's way of information presentation which was thought to be clearer than EID's. Probably this is partly due to the fact that many operators had used HAMBO or other similar displays before. However, not all operators had used any of the display variants before, but still all but one (the turbine operator of crew 1) preferred HAMBO over EID. A reason for this can be that HAMBO displays were said to represent more accurately the real process and the wall panels in the control room. The one operator who preferred EID had clearly the shortest experience and probably less fixed preferences. In the operators' opinion, in HAMBO displays the direction of flow and the placement of component symbols were more like in the real process, which made it easier to get an overview of the process.

The layout of EID displays was considered too full, which is why finding information and comparing the parameters of two components was more laborious with EID than with HAMBO. Also, in EID displays the trend graphs and other diagrams were often placed too far away from the components they referred to, which made it difficult to make the connection between the diagrams and the correct symbols, and thus, interpret the diagrams. Some EID features, such as the diagram showing the heating of feed water, were not considered useful at all, in which case they took too much space on the already full displays. One crew also thought that the colouring of EID is too dull, i.e. the diagrams easily merge into the background. For example, there is not enough contrast between a trend curve and the background, which would make the trend stand out from the display.

Although many aspects of the way of information presentation of the HAMBO variants were considered better than EID's, a couple of operators said that HAMBO lacks some good features of EID, because of which a combination of HAMBO and EID displays would be very useful. EID was said to provide different type of information, from which especially mass balances and valve position diagrams had proved to be useful in many occasions. According to many operators EID supports best the detection of small changes, especially in a

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

full power situation. It is easier to see tendencies in EID displays than in HAMBO displays, although the minitrends of HAMBO advanced were also considered useful. Because it is easy to see tendencies in EID displays, the operators notice quickly if there is something odd happening in the process. The operators of two crews said, however, that after the detection phase it is not that easy to find the fault and perform operations with EID than with HAMBO displays. On the other hand, one crew said that finding the cause of changes in the process is always difficult regardless of the user interface, and one operator said that it is easier to find faults with EID than with HAMBO displays. Many of the operators acknowledged that with a longer training period it would become easier to use EID displays. During the runs the operators didn't have enough time to go deeply into the EID-graphs (e.g. the condenser display) to interpret them.

Table 38. Summary of the results concerning general characteristics and comparison of the display concepts.

Crew 1	Crew 2	Crew 3	Crew 4	Crew 5	Crew 6
<b>Amount of information</b>					
Reactor operator: There is too much information on EID displays.	There is too much information on EID displays, which makes them difficult to use.			There is more information in EID and also different kind of information, e.g. mass balances.	There is too much information in EID but also some features that are quick to read (e.g. valve diagrams).
<b>Clarity of information presentation</b>					
Turbine operator: EID displays were the clearest.	HAMBO advanced was the best display variant. It was the clearest.  HAMBO displays are more like real process diagrams than EID displays.	The operators prefer HAMBO's way of presenting information. EID's way of presenting information is too tight.  In EID the graph diagrams merge into the background: displays are too grey. In HAMBO trends stand out more easily than in EID.	The operators couldn't say which display variant was the clearest. There are weaknesses and useful features in all of them.  The direction of flow is unclear in EID. It is difficult to grasp the overall picture. Valve symbols are too close to	HAMBO adv. displays are clearer than EIDs.  The operators like trends (as used in HAMBO) better than bar graphs (as used in EID).  In HAMBO it is easier to connect a value or a trend with the component it refers to. With EID it is more laborious to	In HAMBO the direction of flow is clearer than in EID.  HAMBO resembles more the real wall panels and PI diagrams.  When using EID the operator has to use more time to interpret the information. For example the feed

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

		HAMBO lacks some good features of EID. A combination of EID and HAMBO would be good.	each other, but instead, the valve graphs are useful and the best feature of EID. The feed water diagram takes too much space.	search for the valve that causes a change in a level or compare valve positions.	water warming figure is difficult to understand.
<b>Seeing overview, detecting changes, and carrying out operations</b>					
In EID is it easy to notice when something is happening. Valve positions and mass-balances are marked clearly.  It is easier to find faults when using EIDs than when using HAMBO displays.		It is easier to get an overview of the process with HAMBO. Also, it is easier to e.g. find components, compare positions of valves, and observe levels.  EID is useful in seeing tendencies quickly. After detecting, it takes more time to know what to do. Operating is easier with HAMBO.	EID displays are good for detecting things, but it was much more difficult to carry out operations with EID than with HAMBO. With EID it was not always possible to carry out actions as the operators would have wanted to.	After detection the turbine operator is not at all eager to use EID displays. This is due to not understanding the displays well enough.	
<b>Crew's experience on using displays, training</b>					
	The operators were more accustomed to HAMBO displays.	The operators have used HAMBO displays before, they prefer operating with them. Operation with EID would become easier with training	The operators had no prior experience in any of the display concepts.	The operators are more used to HAMBO-like displays.	If you would have more time to learn the EID displays, they would become easier to use.

### 6.5.3.2 Crews' evaluations of the operational features of EID displays

In the second phase of the interview the operators were asked to assess more specifically the features of the EID displays. The operators were shown prints of the EID displays and asked to point out the features they used during the runs and how they used them. The operators were also asked how EID displays support carrying out different process controlling tasks, and how the operators see the potential of EID displays as a future tool for process control. The questions were directed mainly to the turbine operators who had been using EID displays during the runs, but also the opinions of the reactor operators were inquired to get to know how the use of EID displays had affected their performance.

Operators' opinions of the EID features are summarised in Table 39. Mass balances and valve position graphs were most often mentioned to be the best features of EID. Mass-balances were considered an efficient feature. With tank level trends and pump curves the operators had problems in seeing alarms and the small dots indicating values. Some features, such as parts of the condenser display and the enthalpy/temperature/pressure trend curve in display 421, were thought to be too complicated to be used efficiently during the runs. The operators said that they would have needed more time to learn to interpret the graphs, but with more training the features would become more useful.

The crews thought that EID displays are good for detecting small deviations from stable conditions, especially when the process is running on full power. In this task mass-balance and valve position diagrams were said to be useful. Also the potential of the curves depicting changes in enthalpy, temperature, and pressure (in display 421) in showing small changes was acknowledged, but the current diagram was said to be too difficult to interpret. Whereas EID was seen better than both HAMBO display variants in seeing tendencies and quickly detecting changes, many operators said that finding the causes of changes and performing operations were more difficult with EID than with HAMBO. Crew 3 said that after detection it took more time with EID to find the cause of changes due to difficulties in finding right components. Crew 4 complained that not always had they been able to perform operations with EID as they would have wanted to. The turbine operator of crew 2 said that he did not like using EID displays after the detection phase because he felt that he did not understand the displays well enough to be able to operate with them. Instead, the turbine operator of crew 1 thought that finding faults was easier with EID than with HAMBO displays.

One reactor operator said that it seemed that the turbine operator had had to concentrate more on finding and interpreting information while using EID displays than when using HAMBO displays. Therefore it seemed that the task load of the turbine operator was higher then. Also, another reactor operator said that communicating was more difficult when the operators were using different types of displays (the reactor operator was using HAMBO displays and the

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

turbine operator EIDs) because the reactor operator was not able to see as well what was happening on the turbinist’s displays.

Table 39. Operators’ comments on the different EID features and displays.

EID feature or display	Opinions
Mass balance graphs	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Operators were able to quickly see small changes in the process.</li> <li>– It is confusing that mass balances had different directions in different displays.</li> <li>– When disturbances were large (a lot of leaking) the graphs became unclear.</li> <li>– All mass balance graphs could be collected to one display so that the operators would see all deviations in masses in the whole process at a glance.</li> <li>– Could be a useful feature for new operators.</li> </ul>
Valve position graphs	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Quick and useful.</li> <li>– Some operators had not understood the automation signals, but others thought they were useful on seeing if the valves were functioning properly.</li> </ul>
Tank level trends	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Level indication with a dot was not as good as with a trend.</li> <li>– Alarms (small red dots) were not very visible.</li> <li>– It was not easy to compare levels in different tanks (display 422).</li> <li>– Trends should be located next to the tanks so that observation is natural.</li> </ul>
Condenser display (display 461)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sea water part was clear and useful, ejectors were presented in a complicated way.</li> <li>– It was possible to see differences but more complicated to make conclusions of the reasons for changes.</li> <li>– Display was too complicated and full for efficient use.</li> </ul>
Pump curves	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Were understandable but not very useful, it was possible to see the same information elsewhere.</li> <li>– It was difficult to see the movements of the small dot.</li> </ul>
Feed water heating diagram (in displays 462 and 423/312)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Required a lot of space.</li> <li>– Could be useful in stabile situations.</li> </ul>
Enthalpy/temperature /pressure curves (in display 421)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Were useful in stabile situations in finding disturbances.</li> <li>– Enthalpy is a useful concept but the graphs should have been more simple; it was difficult to see changes over time.</li> </ul>

### 6.5.3.3 Experienced potential of EID as a future tool in process control

In the interview the operators were asked if they would like to use EID displays or some features of EID during normal work now or at some point in the future. Also, the operators were inquired if the use of EID would have any effects on the way of working.



In general, many operators (crews 1, 4, and 5) said that EID would be best when used as additional displays or “expert programs”, but not as the main source of information. EID displays could be helpful in monitoring because of their good support for the detection of small changes, but they should not be used in performing operations. It was said that because interpreting EID displays takes time they are not that suitable for on-line usage but more useful for the analysis of incidents (e.g. a couple of days after an incident has taken place). One crew thought that EID would be useful in their current control room because it is easier to see changes, like opening valves, in EID displays than on wall panels.

There were contradictory opinions of EID’s effect on the way of working. The operators of the crew 5 said that if EID displays were used as additional displays they wouldn’t affect much the way of working. However, they continued, that the use of some EID features, such as the mass-balances, could change operators’ way of thinking of the process: they claimed that nowadays operators rarely think of mass-balances. Crew 2 thought that usage of EID would change the way of working completely. The operators of the crews 3 and 1 thought that the use of EID (or other similar displays) would make working simpler because seeing changes is easier on displays than on the current wall panels. Crew 6 said that if operators would learn to use EID displays as well as the current user interfaces, they would be able to get a better overview of the process. Crew 4 resisted the introduction of displays to the control room by pointing out that using EID displays (or displays in general) would make collaboration among the operators more difficult because the operators wouldn’t be able to see the same information on the wall panels anymore.

## **6.6 Discussion of results**

In this chapter we shall discuss the results achieved through the preceding analysis. The discussion focuses on three issues: first, the operators’ experiences of the displays are dealt with, second, results of performance in process control, and third, results concerning the connection of habits of action with the display medium and situational demands, are summarised. Finally, conclusions with regard to the hypotheses concerning Systems Usability of the displays, and in particular the EID, will be made.

### **6.6.1 User experience of the displays**

The operators were found generally to prefer the advanced HAMBO displays for EID. The latter were seen to have too much information which complicated their usage. There were, however, operators who acknowledged the advantages of EID over advanced HAMBO, and hence, a combination of the information features of these two display types was considered very useful. It appeared that

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

only two crews did not see many advantages in the EID in operative process control. These two crews were the ones who in their conceptions of the process control work manifested a reactive orientation, even though strong interpretative features were found when considering habits of action.

Operators agreed that EID displays were well suited for identification of changes in the process but that they are not appropriate for operative tasks due to less clear indication of technical components and the direction of flows. Opinions were also expressed that EID could be used well in providing additional expert information for operations, or for off-line tasks like analysis of incidents.

Many crews acknowledged the connection between display type and work practices. It became evident that EID type displays would support functional way of thinking by supporting understanding of mass balances and connecting changes to global trends in the process. This way of thinking was considered less typical of the present practice, but at least some of the crews considered such way of working to improve overview of the process.

### 6.6.2 Crews' performance in process control

Performance in process control indicates the course of actual action and the outcomes of this action. The main results concerning the crews' performance in process control were the following:

First, the performances of each crew were analysed carefully and the results were described in visual charts. These charts revealed great variety in task performance with regard to scenario and display type. Second, when the result were summarised, the performance data indicated that no overall differences were found between the crews with regard to the level of process control performance. This provided a good basis for further analysis. It was also found that none of the scenarios, although qualitatively diverse, provided significantly more difficulties to the crews than others.

We found no differences in performance with regard to display type when any of the four single performance measures were used as criteria. However, differences between display types were found when also the scenario type was considered and a combined performance criterion was used. The results indicated that traditional HAMBO displays provided stronger support to operations than other displays in within design basis scenarios. EID supported efficiently detection and diagnosis in beyond design basis scenarios. This result which is achieved by using different performance measures than those used in the previously reported analysis (Skraaning et al. 2007) confirms the main result of that analysis.

### 6.6.3 Connections between habit of action, display and situation

A comprehensive qualitative analysis was accomplished to reveal the role of different types of displays in mediating the state of the process to the operators in different situations. The habit of action analysis was designed to reveal what are the habitual patterns of utilising the displays. Habits of action are considered patterns of behaviour that provide capabilities to act in different situations. Drawing on theory, it is considered that the more interpretative habits of action are the better the behaviour adapts to situational demands.

The results of the habits of action analysis provided us with the following generic results. When considering each crew's behaviour in five situations that put diverse demands on action, it was found out that for the first group of crews habit of action was sensitive to the match between the situational demands and display affordances (crews 1, 4, 6, and probably crew 3). If the match was good – i.e. situations with high operative demands combined with a display that visualises well spatial relations of systems and components, or situations characterised by demands on understanding overall physical phenomena were combined with a display that visualises well global process functions – more interpretative features in relevant components of habits of action and also good performance outcome were identified. If there was a mismatch, less interpretative features could be identified and the outcome of performance was less good. For the second group of crews the strengths of the habits of action were more stable and the display type played a less important role in these very experienced crews' acting. Depending on the situation these crews could manifest a very good habit of action profile, but interpretative features disappeared when the demands of the situation were not in accordance with the identified strengths of their practices (crews 2 and 5).

We also summed up the habits of action results over the crews in order to see more globally the possible connection between habits of action, display type and situational demands. In this analysis the original scenario type (with levels "In" and "Out" of design basis) was used. The results indicate that if all results are summed, both EID and advanced HAMBO link with interpretative habits of action, the former especially with regard to information search and collaboration, latter in addition also with regard to the way of reasoning failure causes. Advanced HAMBO is connected with high success in stabilising the process. Also traditional displays allowed a successful stabilisation. This overall result is well in accordance with the operators' experience and their preference for advanced HAMBO.

When the results are separated with regard to the scenario types, we may identify that EID supports interpretative habits of action in "In" scenarios but this support is not connected to excellent performance outcome. Advanced HAMBO supports interpretativeness less, but, it appears anyway to provide sufficient support in the circumstances that the "In" scenarios manifest. In the

case of “Out” scenarios EID displays’ support for interpretative practices is still present. In this case this support also results in excellent outcome in stabilisation of the process. Advanced HAMBO supports interpretativeness but the effect on performance outcome is not as clear. These results would indicate that the interface type has a role in shaping habits of action, but that the effect of this modulation on success of process control performance is dependent on the situational demands.

#### **6.6.4 Systems Usability of the displays**

In chapter 4 we formulated five hypotheses to study what information and why operators use in operating the process in the test environment, and to clarify why particular forms of presentation would probably communicate the process state better to the operators and, hence to facilitate process control. The hypotheses were formulated according to a theoretical assumption that tools fulfil three generic functions in activity: the instrumental, the psychological and the communicative functions. All these functions are needed to fulfil the demands of the core task. Evaluation of Systems Usability of complex tools is based on these assumptions.

The results presented in section 6.5.1 concerning the crews’ performance in process control, and results concerning operators’ experience of the usage of the displays (sections 6.5.3, 6.5.4 and 6.5.5) provide evidence for testing the hypotheses concerning the instrumental and psychological functions.

With regard to fulfilling the instrumental function two hypotheses were formulated. The first stated that there are no overall differences between the crews in performance level, due to the high competence of licensed operators. This hypothesis found support in our analysis (6.5.1.2). In this connection we also confirmed that none of the scenarios was more difficult than others to the operators.

The second hypothesis concerned the displays’ capability to provide sufficient support to operations. The hypothesis was formulated that all displays would enable an acceptable level of performance, also due to the high level of expertise of the operators. This hypothesis was tested with four different outcome measures and no differences between displays could be found. Hence also this hypothesis could be confirmed (6.5.1.3 a). Hypotheses 1 and 2 are confirmed.

Fulfilling of the psychological function of the studied displays has in the present study been understood to be indicated by results showing that displays fit well with the tasks of the operators. As indicators we have used the performance-based data concerning fulfilling of the identification, diagnostic, and operative tasks, and operator interviews concerning these issues.

We formulated two hypotheses with regard to the psychological function. The first of them, hypothesis 3, stated that the interplay between the new EID tool and the operators’ capabilities would, according to the design rationale of EID, be

good in situations where unexpected and obscure changes appear in the process. This would be the case in the identification phase of out of design basis scenarios. The results achieved in 6.5.1.3 b state this result and confirm the hypothesis.

In hypothesis 4 it was claimed that the traditional and advanced HAMBO would facilitate such demands as coping with operational resources and comprehension of spatial configurations of technical components. This would be the case with regard to the within design basis scenarios, and in particular in the mitigation phase of the scenarios. Also this result could be achieved, and the hypothesis 4 confirmed (6.5.1.3 b).

The results needed to verify hypotheses 3 and 4 had been accomplished already by the HRP, University of Toronto, and University of Waterloo investigators. The result was here achieved with a different set of performance criteria, and it supports the previous result.

Our final hypothesis 5 concerned the communicative function of tools. This function concerns a less frequently studied aspect of tools. The instrumental and psychological functions of tools become overt in peoples' actual course of action, i.e. in what people do and how well they accomplish the task. However, displays as tools also serve a communicative function by mediating the significance of information from the process to the operators who, in their behavioural reactions to process signals, indicate understanding of the meaning of these signals. Habits of action are meaningful reactions that indicate whether such understanding of the message from the process has been received by the operator, and whether the message will be mediated further to the fellow operators. An indication of such understanding was present when the habits of action portrayed interpretative features, instead of reactive ones. Intermediate features were labelled confirmative features. Operators' elaborations on the potential usages of the tools and opinions concerning the promisingness of the interfaces as future tools are also evidence when evaluating existence of communicativeness of displays.

Our results in section 6.5.2 provide evidence to test the hypothesis 5. This hypothesis had several sub-assumptions, but the main claim was that EID displays support interpretative habits of action better than the other displays. However, it was maintained, that this facilitative role of EID display becomes overt in the performance outcome only if situations require informativeness features that EID is designed to provide, and if such features are critical for the success of stabilisation of the situation. In other words, if there is a match between the situational demands and the informativeness features of the displays.

Our results made evident that EID facilitates interpretativeness of way of acting, and that this effect becomes evident in good performance outcome in out of design scenarios, in which the supportive capabilities of EID are critical. In more detailed considerations of the habits of action of each crew we could observe that in some cases operators' habits of action were sensitive to the match between the display and situational demands. Interpretativeness was connected to a good match between the two. Habit of action deteriorated if the match was

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

poor. In other cases crews' habit of action was more stable and its interpretativeness was connected to situational demands but not to the display affordances. This means that new display possibilities did not provide extra support to the crews. The crews belonging to the latter group did not find EID particularly promising. We conclude that also hypothesis 5 found support. Due to the complexity of the phenomena in question, more studies are certainly needed to understand the interactions formulated in the hypothesis five.

### 6.6.5 Limitations of the study

In this study a hermeneutic approach was used to complete the picture achieved in a quantitatively-oriented statistical analysis. In a hermeneutic analysis the test persons are treated as experts of the subject matter and their accounts concerning their activity and the used tools are considered as important data. Our problem in this study was that the operators' conceptions should have been considered more thoroughly. The researchers were incapable of fluently interviewing the operators in orientation interviews, and the operators' accounts concerning their performance after each run could not be discussed due to time limitations. The communications of the operators during the runs were, however, recorded and could be used to build up a picture of operators' reactions to the situations. The final interview after all runs gave a rich picture of the crews' overall opinions of the different displays.

The qualitative measures used in the study to rate process control performance, orientation and habits of action need further development. The challenge is that while these methods are context-dependent and the content of the selection of indicators and, in particular the operationalisation of the rating scales must be tailored for each studied work, we should develop an adequate and handy set of measures to verify the reliability of the ratings. Moreover, due to the complexity of the context and difficulty of making sense of rich video data, it is necessary that researchers collaborate in the analysis and try to acquire a consensus of the ratings. In this case it is necessary to define rating scales deliberately and make an effort to maintain a stable level of rating. This is what we did. When all ratings were accomplished, a control of the use of criteria was carried out by the researchers. Only in the orientation ratings we used independent raters. We counted the inter-rater reliability and found that it was only on a moderate level. It should be necessary to study further the sources of discrepancy and try to improve the reliability in the further studies.

Another problem for our analysis was the way of classifying scenarios. The used distinction to two categories, within design and beyond design basis, did not seem to be optimal since some of the scenarios had both "in" and "out" type of characteristics (i.e. anticipated or not anticipated by designers, familiar or not familiar to operators, and procedures existed or did not exist for the scenario or parts of it). Instead, we suggest the following dimensions of classification:

6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

- Operative complexity: while performing complex operations the operators have to take into account and understand 1) the availability of resources, and/or 2) the relation between operative actions and physical phenomena. The scenarios that belong to this class are the first phase of “In2” and “Out1”.
- Complexity of physical phenomena: because of the nature of the scenario it is demanding to grasp 1) the overall situation, 2) the criticality of the situation with regard to safety and productivity, and/or 3) which events are connected to each other. The scenarios that belong to this class are “In1”, the second phase of “In2”, “Out2” and “Out3”.
- Fastness: the situation propagates quickly which requires fast decisions and actions. Scenarios belonging to this class are the second phase of “In2”, “Out1” and “Out2”.

The match between the type of informativeness of the displays and the scenarios classified according to the above dimensions is presented in Table 40.

Table 40. Usefulness of the types of informativeness of the display concepts in the different scenarios.

	Functional purpose	Visualisation of change	Spatial relations
EID	IN2, OUT1, OUT2, OUT3	IN2, OUT1, OUT3	
ADV		IN2, OUT1, OUT3	IN1, IN2, OUT1
TRAD			IN1, IN2, OUT1

A final consideration concerns the video registration of the focus of attention of the turbine operator during the run. It was sometimes difficult to identify exactly on which display the operators were focusing. In many cases, however, the place and movements of the cursor supported the identification of the focus of attention. Eye tracking technology could help here but we see that even this does not compensate the need to consider the operators’ own accounts of what exactly they are looking at, and why. Even the present registrations of the actions, completed with the operators’ final interview, would, however, give a possibility to evaluate the use of different display elements in detail. We would be interested in accomplishing this kind of further analysis of the data in the future.

## 6.7 Conclusions

In conclusion we may state that the tested new EID display appears to have potential as a new tool when evaluated according to the Systems Usability

## 6. The Ecological Interface Design Experiment (2005) – Qualitative Analysis of Operator Practices in Three Interface Conditions

criteria made available in this study. This display type appears, in particular, to support understanding the global state of the process. This capability is an indication of what we have called the communicative function of a tool. Other display features, particularly those in the advanced HAMBO, facilitated action by fulfilling well the instrumental and psychological tool functions, i.e. it provided effective support for operations and fitted well with the operators' conceptions of the process.

Our study made evident that there is a complex interaction between operators' learned ways to react in work situations, the ways of presenting information of the process, and the particular situations, in which action is required. It appears that adaptive features of behaviour (identified here via interpretativeness of habits of action) are not necessarily stable over situations, that adaptive features become overt when interface characteristics facilitate tackling of central demands of the situation, and that adaptiveness of ways of working have an effect on performance outcome in more complex situations. It is necessary, in further studies, to study these observations further.

As a final conclusion we may state, and this was also the opinion of all operators, that a diversity of informativeness should be made available to support operating optimally in varying situations.



## 7. Yhteenveto

Tässä julkaisussa esitettyjen tutkimusten tarkoituksena on löytää vastauksia uusien käyttöliittymien asettamiin haasteisiin ja sitä kautta palvella uusien valvomokäyttöliittymien suunnittelua. Olemme esimerkiksi kysyneet, onko paras ratkaisu pyrittäessä operaattoreiden tilannetietoisuuden tukemiseen jonkinlainen sekoitus uutta ja vanhaa vai pitäisikö pyrkiä täysin uusiin ratkaisuihin. Uusi ja vanha voivat sekoittuvat Fortumin suurkuvanäytöissä, joissa IRD-konseptin ja vanhojen prosessitietokonenäyttöjen suunnitteluperiaatteet kohtaavat. Uusi ja vanha voivat myös kohdata HAMMLABin ns. EID-näytöissä, joissa PI-kaavio-pohjaisiin näyttöihin on upotettu EID-konseptiin perustuvia graafisia elementtejä.

Useiden operaattorien toive on, että he saisivat ”vanhan valvomon” takaisin. Mitä he oikeastaan tällöin toivovat? Operaattorit tuskin haluavat, että automaatiouudistuksen lopputulos olisi jonkinlainen analogisten ja digitaalisten järjestelmien sekoitus. Tällainen hybridivalvomo on ehkä enemmänkin se, mistä halutaan päästä eroon. Sen sijaan näyttäisi siltä, että monet operaattorit haluavat, että uusi valvomo olisi eräänlainen analogisen valvomon digitaalinen versio. Tämä visio on myös lähellä sitä tulevaisuuden älykkään valvomon konseptia, jota on kehitelty VTT:n rahoittamassa NASE -hankkeessa (*Novel Affordance of Smart Environments*).

Keskeinen osa NASE-konseptia on ns. tarjoumapöytä (*Affordance Table*), joka on intuitiivisen, operaattorien yhteistyötä tukevan käyttöliittymän metafora. Konkreettisimmillaan tarjoumapöytä voi tarkoittaa pöydän kaltaista monikosketusnäyttöä, jonka ääreen operaattorit voivat kerääntyä suunnittelemaan ja tekemään yhdessä ohjaustoimenpiteitä. Hankkeessa on tähän mennessä kehitetty grafiikkasovellusdemonstraattorin konsepti, joka perustuu kombivoimalaitoksen toiminnan funktionaaliseen mallinnukseen. Ydinvoimapuolella on sovittu tutkimusyhteistyöstä *Enlarged Halden Reactor Groupin* edustajien kanssa tulevaisuuden älykkäiden valvomoiden kehittämiseksi.

Tässä kirjassa esitettyjen tutkimusten yhtenä keskeisenä tavoitteena on löytää ne kysymykset, joihin uusien tiedonesitysratkaisujen suunnittelussa on etsittävä vastauksia. Yksi keskeinen tulos on edellä esitelty suurkuvakonseptin perusjäsenitys. Meidän mielestämme uusia ratkaisuja tulisi tarkastella tätä jäsennyistä vasten ja miettiä, minkälaisia vastauksia ne antavat jäsennyksen kysymyksiin. On esimerkiksi todennäköistä, että Fortumin IRD-pilotti tarjoaa erilaisia vas-

tauksia näihin kysymyksiin kuin nykyvalvomon paneelit ja pulpetit. Toinen keskeinen tulos on näyttöjen luokittelu sen mukaan, miten informaatiota on ryhmitelty ja korostettu. EID-näyttöjä koskevassa tutkimuksessa näytöissä käytetyt tiedonesitystavat jaoteltiin kolmeen luokkaan: 1) funktionaalinen tietoesitys, joka välittää tietoa järjestelmän toiminnallisesta päämäärästä tukemalla tai heikentämällä järjestelmän osien välisten yhteyksien ja kokonaisuuden hahmottamista, 2) muutoksia havainnollistava tietoesitys, joka komponenttien ja osajärjestelmien muutoksia kuvaamalla välittää tietoa prosessin ajallisista tapahtumista sekä 3) spatiaalinen tietoesitys, joka välittää tietoa teknisten komponenttien spatiaalisista suhteista ja niiden toiminnasta.

Siitä on hyötyä, että kompleksinen tieto tuodaan käyttäjää lähemmäksi visualisoinnin keinoin (esim. Ware, 2004). Visualisoinnin avulla voidaan havainnollistaa suuria tietomääriä ja siten helpottaa niiden ymmärtämistä. Visualisoimalla voidaan myös paljastaa kohteeseen liittyviä piileviä ominaisuuksia, joita käyttäjät eivät ole osanneet ennakoida. Lisäksi visualisointikeinot auttavat käyttäjää näkemään metsän puilta, vaikka toisaalta ne auttavat häntä myös havaitsemaan nopeasti yksityiskohdat, jotka poikkeavat normaalista. Vaikka kompleksisen tiedon visualisoinnista on hyötyä, tässä kirjassa esitetyt IRD- ja EID-konseptia koskevat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että visualisointiin liittyy myös ongelmia, joita harvoin tuodaan esiin alan kirjallisuudessa. Keskeinen ongelma on, että jokainen visualisointikuva vie tilaa muulta käyttäjän tarvitsemalta tiedolta. Virtauskaaviokuvaan upotettu visualisointikuva myös helposti rikkoo kokonaisuuden ja vaikeuttaa järjestelmän spatiaalisten suhteiden hahmottamista. Näyttösuunnittelun kannalta keskeinen kysymys onkin, integroidaanko visualisointikuvat PI-kaavikuvaan vai esitetäänkö ne erillisellä näytöllä.

Tässä raportissa on käsitelty pääasiassa erilaisia visuaalisia tiedonesitystapoja. Sen sijaan muihin aisteihin (kuulo- ja tuntoaisti) pohjautuvia tiedonesitysratkaisuja ei ole tässä yhteydessä pohdittu. Raportissa ei ole myöskään tarkasteltu syöttö- ja ohjauslaitteita eikä operaattorien käyttämiä ohjeita ja ohjeistuksia. Tutkimuksemme seuraavana tavoitteena onkin kehittää digitaalisia valvomoja koskeva operointikonsepti, johon kaikki nämä käyttöliittymän osatekijät kuuluvat. On ilmeistä, että tämä tehtävä on vielä huomattavasti vaativampi kuin ne, jotka liittyvät tämän kirjan tutkimuksiin. Hanketta tukee johdannossa mainittu NASE-projekti, jossa kehitetään intuitiivisiin käyttöliittymiin perustuvaa älykkään valvomon konseptia.

Ilmeisesti käyttöliittymien digitalisoinnin vaikutukset eivät ole yksiselitteisesti myönteisiä tai kielteisiä eivätkä uudentyyppiset näytöt ratkaise kaikkia tilannetietoisuuden rakentumiseen, häiriöiden havaitsemiseen ja operaattoreiden väliin yhteistoimintaan liittyviä ongelmia. Kaiken kaikkiaan olemme vasta alkutaipaleella digitalisoinnin vaikutusten ymmärtämisessä ja uusien tiedonesityspeiraatteiden soveltamisessa valvomokäyttöliittymien suunnitteluun.

# Lähdeluettelo

- Abla, G., Flanagan, S. M., Peng, Q., Burruss, J. R. & Schissel, D. P. 2006. Advanced tools for enhancing control room collaborations. *Fusion Engineering and Design* 81. S 2039–2044.
- Albrechtsen, H., Andersen, H. H. K., Bödker, S. & Pejtersen, A. M. 2001. Affordances in activity theory and cognitive systems engineering. Roskilde: Risø National Laboratory. Arnkil, T. E., Eriksson, E. & Arnkil, R. 2000. Kunnallisten palvelujen dialoginen kehittäminen – ylisektorinen lastensuojelu, vanhustenhuolto ja kaupunkipolitiikka. Helsinki: Työministeriö.
- Badillo, B., Bowman, D. A., McConnel, W., Ni, T. & da Silva, M. G. 2006. Literature survey on interaction techniques for large displays. Technical Report TR-06-21. Computer Science, Virginia Tech.
- Ball, R. & North, C. 2005. An analysis of user behavior on high-resolution tiled displays. *Proceedings of INTERACT '05, Rome Italy*. S. 350–364.
- Baudisch, P., Good, N., Bellotti, V. & Schraedley, P. K. 2002. Keeping things in context: A comparative evaluation of focus plus context screens, overviews, and zooming. *Proceedings of ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY: ACM Press. S. 259–266.
- Baudisch, P., Cutrell, E. & Robertson, G. 2003. High-density cursor: A visualization technique that helps users keep track of fast-moving mouse cursors. New York, NY: ACM Press. S. 236–243.
- Baudisch, P. & Rosenholtz, R. 2003. Halo: a technique for visualizing off-screen objects. *Teoksessa: Gilbert, G. C. & Korhonen, P. (toim.). April*. New York, NY: ACM Press. S. 481–488.
- Bellotti, V. & Rogers, Y. 1997. From Web press to Web pressure: multimedia representations and multimedia publishing. New York, NY: ACM Press. S. 279–286.
- Bezerianos, A. & Balakrishnan, R. 2005. View and space management on large displays. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 25. S. 34–43.
- Braarud, P. O. & Skraaning Jr., G. 2006. Insights from a benchmark integrated validation of a modernized NPP control room: Performance measurement and the comparison to benchmark system. American Nuclear Society – Nuclear power plant instrumentation and control and human-machine interface technology. November 12–16. Albuquerque, NM: ANS. Braseth, A. O., Welch, R. & Veland, O.

2003. A building block for Information Rich displays. Paperi joka on esitetty kongressissa Ifea conference on "alarmhandtering", Gardemoen, 25.–26.11.2003.
- Braseth, A. O., Veland, Ö & Welch, R. 2004. Information Rich display design. Proceedings of the Fourth American Nuclear Society Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls and Human-Machine Interface Technologies (NPIC & HMIT 2004). Columbus, Ohio, September. Braseth, A. O. 2008. Loviisa large screen tutorial. IFE/HR/F-1.2.2008.
- Brignull, H. & Rogers, Y. 2003. Enticing people to interact with large public displays in public spaces. September SP17 OP24. Teoksessa: Proceedings of INTERACT'03. S. 17–24.
- Burns, C. M. & Hajdukiewicz, J. R. 2004. Ecological interface design. Boca Raton: CRC Press.
- Buxton, W., Hill, R. & Rowley, P. 1985. Issues and techniques in touch-sensitive tablet input. Vol. 19. Teoksessa: Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. S. 215–224.
- Bödker, S. & Andersen, P. B. 2005. Complex mediation. Human Computer Interaction, Vol. 20. S. 353–402.
- Cao, X. & Balakrishnan, R. 2003. VisionWand: Interaction techniques for large displays using a passive wand tracked in 3D. Teoksessa: Proceedings of UIST 2003, ACM Symposium on User Interface Software & Technology. S. 193–202.
- Churchill, E., Nelson, L., Denoue, L., Murphy, P. & Snowdon, D. 2003. The plasma poster network. Teoksessa: K. O'Hara, M. Perry, E. Churchill & D. Russell (toim.) Public and Situated Displays. Social and Interactional Aspects of Shared Display Technologies. Dordrecht: Kluwer. S. 233–260.
- Cole, M. & Peleprat, E. 2003. Mediation and human development: From language and thought to digital networks and virtual communities. Invited talk at Toiminta 2003 -conference held in Kauniainen, Finland in December 2–3, 2003. <http://www.iscar.org/fi/>. University of Helsinki, Center for Activity Theory and Developmental Work Research.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. & DeFanti, T. 1993. Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. Teoksessa: Proceedings of SIGGRAPH 93 Computer Graphics Conference. ACM SIGGRAPH, New York: ACM Press. S. 135–142.

- Czernuszenko, M., Pape, D., Sandin, D., DeFanti, T., Dawe, G. & Brown, M. D. 1997. The ImmersaDesk and Infinity Wall projection-based virtual reality displays. *ACM Computer Graphics*, Vol. 31. S. 46–49.
- Czerwinski, M., Smith, G., Regan, T., Meyers, B., Robertson, G. & Starkweather, G. 2003. Toward characterizing the productivity benefits of very large displays. *Teoksessa: Rauterberg, M., Menozzi, M. & Wesson, J. (toim.). Proceedings of INTERACT '03*, IOS Press. S. 9–16.
- Czerwinski, M., Robertson, G. G., Meyers, B., Smith, G., Robbins, D. C. & Tan, D. S. 2006. Large display research overview. *Teoksessa: CHI Extended Abstracts 2006*, New York, NY: ACM Press. S. 69–74.
- Davey, E. 2005. A task-based usage strategy for control centre wall displays. *Canadian Nuclear Society Conference, Toronto, Ontario, 12.–15.6.2005*. Dourish, P. 2001. *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Dreyfus, H. L. & Wakefield, J. 1991. *Intentionality and the phenomenology of action. Teoksessa: John Searle and his critics*. Lepore, E. and Gullick, R. Van. Cambridge, UK: Basil Blackwell.
- Dugger, M. & Barley, D. 2000. Guidelines for the implementation of large screen displays in an integrated command environment. *Teoksessa: Hamburger, P. (toim.). Proceedings of SPIE. Vol. 4126, Integrated Command Environments*. S. 228–235.
- Elrod, S., Bruce, R., Gold, R., Goldberg, D., Halasz, F., Janssen, W., Lee, D., McCall, K., Pedersen, E., Pier, K., Tang, J. & Welch, B. 1992. Liveboard: a large interactive display supporting group meetings, presentations, and remote collaboration. *Teoksessa: Conference Proceedings on Human Factors in Computing Systems (SIGCHI'92)*. S. 599–607.
- Emery, L., Catchpole, K. R., Macklin, C., Dudfield, H. J. & Myers, E. 2001. Big is better? Empirical results of an assessment of command teams with large screen displays. *Teoksessa: Proceedings of the Second International Conference on Human Interfaces in Control Room Cockpits and Comman Centres*, IEEE Computer Society Press. S. 86–91.
- Endsley, M. R. 1995. Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, Vol. 37. S. 65–84.
- Engeström, Y. 1999. Activity theory and individual and social transformation. *Perspectives on Activity Theory*. *Teoksessa: Engeström, Y., Miettinen, R. & Punamäki, R.-L.* Cambridge, UK: Cambridge University Press. S. 19–38.

- EPRI 1008122. 2004. Human factors guidance for control room and digital human-system interface design and modification: Guidelines for planning, specification, design, licensing, implementation, training, operation, and maintenance. EPRI, Palo Alto CA.
- Fallman, D., Kruzeniski, M. & Andersson, M. 2005. Designing for a Collaborative Industrial Environment: The Case of the ABB Powerwall. Proceedings of DUX 2005, Conference on Designing for User Experience, San Francisco, CA, 3.–5.11. New York: ACM Press.
- Fitts, P. M. 1954. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. S. 381–391.
- Fortum 2009a, Lauhdelaikset. Available: [http://www.fortum.fi/dropdown\\_document.asp?path=14020;14028;14029;14055;14244;14248;41108;41110](http://www.fortum.fi/dropdown_document.asp?path=14020;14028;14029;14055;14244;14248;41108;41110) [2009, 01/19].
- Fortum 2009b, Lämmöntuotanto. Available: [http://www.fortum.fi/dropdown\\_document.asp?path=14020;14028;14029;14055;14244;14248;41108;41111](http://www.fortum.fi/dropdown_document.asp?path=14020;14028;14029;14055;14244;14248;41108;41111) [2009, 01/19].
- Garbis, C. & Waern, T. 1999. Team coordination and communication in a rescue command staff: The role of public representations. *Le Travail Humain*, Vol. 62. S. 273–291.
- Gibson, J. J. 1979. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Grossman, T. & Balakrishnan, R. 2005. The bubble cursor: enhancing target acquisition by dynamic resizing of the cursor's activation area. *Teoksessa: Proceedings of CHI 2005 – the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. S. 281–290.
- Grudin, J. 1994. Groupware and social dynamics: Eight challenges for developers. *Communications of the ACM*, Vol. 37. S. 92–105.
- Gutwin, C. & Greenberg, S. 2000. The Mechanics of collaboration: Developing low cost usability evaluation methods for shared workspaces. *Teoksessa: Proceedings IEEE 9<sup>th</sup> International Workshop on Enabling Technologies, IEEE Computer Society Press*. S. 98–103.
- Hawkey, K., Kellar, M., Reilly, D., Whalen, T. & Inkpen, K. M. 2005. The proximity factor: Impact of distance on co-located collaboration. *Teoksessa: Proceedings of the ACM International Conference on Supporting Group Work (GROUP 2005) Sanibel Island, FL, USA, November*. New York, NY: ACM Press. S. 31–40.
- Helsingin Energia 2009, Hanasaaren voimalaitos [2009, 01/19].
- Hollnagel, E. & Woods, D. 2005. *Joint cognitive systems. Foundations of Cognitive systems engineering*. Boca Raton: Taylor & Francis.

- Huang, E. M. 2005. Design and analysis of groupware for large displays. Teoksessa: CHI'05 Extended abstracts on human factors in computing systems, 02.–07.4. New York: ACM Press. S. 1118–1119.
- Huang, E. M., Mynatt, E. D., Russell, D. M. & Sue, A. E. 2006. Secrets to success and fatal flaws: The design of large-display groupware. IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 26. S. 37–45.
- Hutchins, E. 1995. Cognition in the Wild. Cambridge: MIT Press. Jamieson, G. A. 2007. Ecological Interface Design for Petrochemical Process Control: An Empirical Assessment. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 37. S. 906–920.
- Jamieson, G. A., Miller, C. A., Ho, W. H. & Vicente, K. J. 2007. Integrating Task-and Work Domain-Based Work Analysis in Ecological Interface Design: A Process Control Case. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 37. S. 887–905.
- Johanson, B., Fox, A. & Winograd, T. 2002. The Interactive Workspaces Project: Experiences with ubiquitous computing rooms. IEEE Pervasive Computing, Vol. 1. S. 67–75.
- Järvilehto, T. 1998. The theory of organism-environment system (I). Description of the theory. Integrative Physiological and Behavioral Science, Vol. 33, No. 4. S. 317–330.
- Kensing, F. & Madsen, K. H. 1991. Generating visions – Future workshops and metaphorical design. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Kensing, F. 1998. Prompted reflections: A technique for understanding complex work. Interactions, Vol. 5, No. 1. S. 7–15.
- Khan, A., Fitzmaurice, G. W., Almeida, D., Burtnyk, N. & Kurtenbach, G. 2004. A remote control interface for large displays. Teoksessa: UIST '04: Proceedings of the 17<sup>th</sup> annual ACM symposium on User Interface Software and Technology, New York, NY: ACM Press. S. 127–136.
- Khan, A., Matejka, J., Fitzmaurice, G. & Kurtenbach, G. 2005. Spotlight: directing users' attention on large displays. Teoksessa: Proceedings of CHI 2005 – the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY: ACM Press. S. 791–798.
- Klein, G. A., Orasanu, J., Calderwood, R., Zsombok, C. E., Orasanu, J., Calderwood, R. & Zsombok, C. E. 1993. Decision Making in Action: Models and Methods. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Laarni, J., Ravaja, N. & Saari, T. 2005. Presence experience in mobile gaming. Teoksessa: Proceedings of DIGRA 2005.

- Laarni, J. & Norros, L. 2006. Control room modernization at Finnish nuclear power plants – two projects compared. Teoksessa: Proceedings of the 5th ANS International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls, and Human Machine Interface Technology, Albuquerque Nov 12–16, 2006.
- Laarni, J. 2007. Suurkuvanäytöt prosessiteollisuuden valvomoissa – Kirjallisuuskatsaus. Raportti. VTT.
- Laarni, J., Norros, L., Salo, L., Koskinen, H. & Huovinen, H. 2007. Loviisan automaatio-uudistuksen 1. vaiheen integroitu järjestelmävalidointi. VTT.
- Laarni, J., Norros, L., Koskinen, H. & Salo, L. 2008. Designing large screen displays for process monitoring and control. Proceedings of the EHPG meeting. Loen, Norway, May. Lau N., Skraaning jr G., Jamieson G. A. & Burns C. M., 2008. The Impact of Ecological Displays on Operator Task Performance and Workload. Halden. OECD Halden Reactor Project (HWR-888).
- Leont'ev, A. N. 1978. Activity, Consciousness, and Personality. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Lin, J. W., Duh, B. L., Abi-Rached, H., Parker, D. E. & Furness, T. A. I. 2002. Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. Teoksessa: Proceedings of IEEE Virtual Reality 2002, IEEE Computer Society Press. S. 164–171.
- MacIntyre, A. 1984. After Virtue: Study in Moral Theory. Notre Dame, Indiana: University of Notre Dame Press.
- Malik, S. & Laszlo, J. 2004. Visual touchpad: a two-handed gestural input device. Teoksessa: International Conference on Multimodal Interface (ICMI 2004), New York, NY: ACM Press. S. 289–296.
- Malik, S., Ranjan, A. & Balakrishnan, R. 2005. Interacting with large displays from a distance with vision-tracked multi-finger gestural input. Teoksessa: Proceedings of the 18<sup>th</sup> annual ACM symposium on User Interface Software and Technology, New York, NY: ACM Press. S. 43–52.
- Mandryk, R. L., Scott, S. D. & Inkpen, K. M. 2002. Display factors influencing co-located collaboration. Teoksessa: Conference Supplement to Computer-Supported Cooperative Work (CSCW 2002), New Orleans, LA, USA. S. 137–138.
- Mankoff, J. & Dey, A. K. 2003. From conception to design. Teoksessa: O'Hara, K., Perry, M., Churchill, E. & Russell, D. (toim.) Public and Situated Displays. Social and Interactional Aspects of Shared Display Technologies. Dordrecht: Kluwer. S. 210–230.



- McCarthy, J. F. 2003. Promoting a sense of community with ubiquitous peripheral displays. Teoksessa: O'Hara, K., Perry, M., Churchill, E. & Russell, D. (toim.) *Public and Situated Displays. Social and Interactional Aspects of Shared Display Technologies*. Dordrecht: Kluwer. S. 283–308.
- McClelland, I. 1995. Product assessment and user trials. Teoksessa: Wilson, J. R. & Corlett, E. N. (toim.). *Evaluation and Human Work: A Practical Ergonomics Methodology*. 2<sup>nd</sup> ed. London: Taylor & Francis.
- Miberg-Skjerve, A. B. & Skraaning, G. 2003. A classification of validation criteria for new operational design concepts in nuclear process control. NEA/CSNI Workshop on Modifications at Nuclear Power Plants. 6–9 October. Paris, France: OECD.
- Miles, M. B. & Huberman, A. 1994. *Qualitative Data Analysis: A Sourcebook of New Methods*. London: Sage Publications.
- Ni, T., Schmidt, G., Stadt, O., Livingston, M., Ball, R. & May, R. 2006. A survey of large high-resolution display technologies, techniques, and applications. Teoksessa: *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2006*, Alexandria, VA: IEEE Computer Society Press. S. 223–234.
- Norros, L. 2004. Acting under Uncertainty. The Core-Task Analysis in Ecological Study of Work. VTT Publications 546. Espoo: VTT. Available also URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2004/P546.pdf>.
- Norros, L. & Savioja, P. 2004. Usability evaluation of complex systems. A literature review. Report STUK-YTO-TR 204, Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Helsinki, Finland.
- Norros, L. & Nuutinen, M. 2005. Performance-based usability evaluation of a safety information and alarm system. *International Journal of Human-Computer Studies*, No. 63. S. 328–361.
- Norros, L. & Savioja, P. 2005. Theoretical justification of performance indicators for integrated validation of complex systems. Enlarged Halden programme Group meeting. October 16<sup>th</sup>–21<sup>st</sup>. Lillehammer: OECD Halden Reactor Project. Vol. 2. S. C5.10.
- Norros, L. & Savioja, P. 2006. Towards a theory and method for usability evaluation of complex human-technology systems. 16th World Congress of International Ergonomic Association. 10–14 July, 2006. Maastricht, The Netherlands. S. 143–150.
- Norros, L. & Salo, L. 2009. Design of joint systems – a theoretical challenge for cognitive-systems engineering. *Cognition Technology and Work*, Vol. 11, No. 1. S. 43–56.

- Nunamaker, J. F., Dennis, A. R., Valacich, J. S., Vogel, D. R. & George, J. F. 1991. Electronic meeting systems to support group work. *Communications of ACM*, heinäkuu 1991. S. 42–61.
- NUREG-0700, R.2. 2002. Human-Systems Interface Design Review Guidelines. U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- O'Hara, J. M. 1999. A quasi-experimental model of complex human-machine system validation. *Cognition, Technology & Work*, Vol. 1, No. 1. S. 37–46.
- O'Hara, J. 2003. Overview of different types of control rooms and their human system interface solutions. Teoksessa: Övre, F. & Björlo, T. (toim.). *International Summer School on Design and Evaluation of Human System Interfaces*. 25.–29.8.2003. Halden, Norway: OECD NEA and Halden Reactor Project. S. 3/1.
- Peirce, C. S. 1958. *Letters to Lady Welby*. Teoksessa: *Selected writings of C. C. Peirce*. New York: Dover Publications. S. 380–432.
- Peirce, C. S. 1998. *The Harvard Lectures on Pragmatism*. Teoksessa: *The Essential Peirce. Selected Philosophical Writings*. Vol. 2. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press.
- Pihlström, S. 2002. "Im Anfang war die Tat" – Wittgenstein, kielelliset käytännöt ja pragmatismi. Teoksessa: *Käytäntö*. Pihlström, S., Rolin, K. & Ruokonen, F. Helsinki: Yliopistopaino. S. 301–313.
- Plaue, C., Miller, T. & Stasko, J. 2004. Is a picture worth a thousand words? An evaluation of information awareness displays. Teoksessa: *Proceedings of the 2004 Conference on Graphics Interface*. S. 117–126.
- Pulkkis, A. & Ala-Laurinaho, A. 2005. Learning workshop: an arena for experiential learning. Teoksessa: *Proceedings of the 4th International Conference on Researching Work and Learning*, University of Technology Sydney, Australia.
- Pulkkis, A. & Ala-Laurinaho, A. 2007. *Dialogiset menetelmät suunnittelussa*. Helsinki: Teknologiateollisuus.
- Päällysaho, J. 2007. Näytöstä näön vuoksi – niskojaakaan unohtamatta. Esitelmä Havaitseminen ja toiminta uuden tietotekniikan maailmassa -seminaarissa 16.5.2007, Espoo, Otaniemi.
- Raskar, R., van Baar, J., Willwacher, T. & Rao, S. 2004. Quadric transfer for immersive curved screen displays. Teoksessa: *Proceedings of the 2004 Eurographics*, Vol. 23, No. 3, 2004.

- Rinttilä, E. 2007. Pohjoismainen yleisnäyttökonseptin kehityshanke – Pilot-Loviisa. Esitys SAFIR/O'PRACTICE-workshopissa 1.10.2007 ed. Espoo.
- Robertson, G., Czerwinski, M., Baudisch, P., Meyers, B., Robbins, D., Smith, G. & Tan, D. 2005. The large display user experience. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 25. S. 44–51.
- Rogers, Y. & Rodden, T. 2003. Configuring spaces and surfaces to support collaborative interactions. Teoksessa: O'Hara, K., Perry, M., Churchill, E. & Russell, D. (toim.) *Public and Situated Displays. Social and Interactional Aspects of Shared Display Technologies*. Dordrecht: Kluwer. S. 45–79.
- Rogers, Y. & Lindley, S. 2004. Collaborating around vertical and horizontal displays: which way is best? *Interacting With Computers*, Vol. 16. S. 1133–1152.
- Roth, E. M., Lin, L., Thomas, V. M., Kerch, S., Kenney, S. J. & Sugibayashi, N. 1998. Supporting situation awareness of individuals and teams using group view displays. Teoksessa: *Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society 42<sup>nd</sup> Annual meeting 1998*, Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society. S. 244–248.
- Rückriem, G. 2003. Tool or medium? The Meaning of Information and Telecommunication technology to Human Practice. A quest for Systemic Understanding of Activity Theory. Invited talk at Toiminta 2003 -conference held in Kauniainen, Finland in December 2–3, <http://www.iscar.org.fi/fi/>, University of Helsinki, Center for Activity Theory and Developmental Work Research.
- Sabri, A. J., Ball, R. G., Fabian, A., Bhatia, S. & North, C. 2007. High-resolution gaming: Interfaces, notifications, and the user experience. *Interacting with Computers*, Vol. 19. S. 151–166.
- Salo, L., Laarni, J. & Savioja, P. 2006. Operator experiences on working in screen-based control rooms. The 5<sup>th</sup> ANS International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls and Human Machine Interface Technology, Albuquerque, 12.–16.11.
- Salo, L. 2007. Haastattelututkimus valvomomuutoksesta ja digitaalisten työvälineiden käytöstä I–IV. VTT.
- Savioja, P. & Norros, L. 2008. Systems usability – promoting core-task oriented work practices. Teoksessa: *Maturing Usability: Quality in Software, Interaction and Value*. London: Springer. S. 123–143.

- Scott, S. D., Wan, J., Rico, A., Furusho, C. & Cummings, M. L. 2007. Aiding team supervision in command and control operations with large-screen displays. Teoksessa: Proceedings of HSIS 2007: ASNE Human-Systems Integration Symposium, 19.–21.3., Annapolis, MD, USA. <http://scripts.mit.edu/~sdscott/wiki/pmwiki.php>.
- Shen, X., Moere, A. & Eades, P. 2005. An intrusive evaluation of peripheral display. Teoksessa: Stephen N. Spencer, S. N. (toim.). Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and Southeast Asia 2005, Dunedin, New Zealand, 29.11.–2.12.
- Sherburne, D. W. 1995. Whitehead, Alfred North. Teoksessa: Audi, R. (toim.). The Cambridge Dictionary of Philosophy, Cambridge: Cambridge University Press.
- Skraaning Jr., G., Lau, N., Welch, R., Nihlwing, C., Andresen, G., Brevig, L. H., Veland, O., Jamieson, G., Burns, C. & Kwok, G. 2007. The ecological interface design experiment (2005). Halden. OECD Halden Reactor Project (HWR-833).
- Somervell, J., Wahid, S. & McCrickard, D. S. 2003. Usability heuristics for large screen information exhibits. Teoksessa: Proceedings of the IFIP TC.13 Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT '03), Zurich Switzerland, syyskuu 2003. S. 904–907.
- Streitz, N. A., Tandler, P., Müller-Tomfelde, C. & Konomi, S. 2001. Roomware. Towards the next generation of human-computer interaction based on an intergrated design of real and virtual worlds. Teoksessa: Carroll, J. (toim.). Human-Computer Interaction in the New Millenium, Redwood City: Addison Wesley. S. 553–578.
- Su, R. & Bailey, B. 2005. Put them where? Towards guidelines for positioning large displays in interactive workspaces. Teoksessa: Proceedings of the Tenth IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT). S. 337–349.
- Suchman, L. A. 1987. Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication. New York: Cambridge University Press.
- Swaminathan, K. & Sato, S. 1997. Interaction design for large displays. Interactions, Vol. 4. S. 15–24.
- Tan, D., Czerwinski, M. & Robertson, G. 2003. Women Go with the Optical Flow. Teoksessa: Proceedings of the ACM Conference of Human Factors in Computing Systems, New York: ACM Press. S. 209–215.
- Tan, D. S. 2004. Exploiting the cognitive and social benefits of physically large displays. Doctoral Thesis. Computer Science Department, School of Computer Science, Carnegie Mellon University.

- Tani, R. E., Horita, M., Yamaashi, K., Tanikoshi, K. & Futakawa, M. 1994. Courtyard: integrating shared overview on a large screen and per-user detail on individual screens. Teoksessa: Proceedings of ACM'94, New York, NY: ACM Press. S. 44–49.
- Van Laar, D. L. 2001. Psychological and cartographic principles for the production of visual layering effects in computer displays. *Displays*, Vol. 22. S. 125–135.
- Van Laar, D. L. & Deshe, O. 2002. Evaluation of a visual layering methodology for colour coding control room displays. *Applied Ergonomics*, Vol. 33. S. 371–377.
- Vantaan Energia 2009a, Tuotantolaitokset ja verkostot. Saatavissa: [http://www.vantaanenergia.fi/tietoa\\_konsernista/yrityskuvaus/fi\\_FI/tuotantolaitokset\\_ja\\_verk\\_ostot/](http://www.vantaanenergia.fi/tietoa_konsernista/yrityskuvaus/fi_FI/tuotantolaitokset_ja_verk_ostot/) [2009, 01/19].
- Vantaan Energia 2009b, Vuosien virtaa. Available: [http://www.vantaanenergia.fi/tietoa\\_konsernista/historia/fi\\_FI/historia/](http://www.vantaanenergia.fi/tietoa_konsernista/historia/fi_FI/historia/) [2009, 01/19].
- Veland, Ö. & Eikås, M. 2007. A novel design for an ultra-large screen display for industrial process control. Teoksessa: Dainoff, M. J. (toim.). *Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers*, International Conference, EHAWC 2007, Held as Part of HCI International 2007, Beijing, China, July 22–27, 2007, Proceedings. Springer. Vol. 4566.
- Vicente, K. J. & Rasmussen, J. 1992. Ecological interface design: Theoretical foundations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 22. S. 589–606.
- Vicente, K. J. 1999. *Cognitive Work Analysis. Toward a Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Publishers.
- Vicente, K. J. 2002. Ecological Interface Design: Progress and Challenges. *Human Factors*, Vol. 44, No. 1. S. 62–78.
- Vogel, D. & Balakrishnan, R. 2005. Distant freehand pointing and clicking on very large high resolution displays. Teoksessa: Proceedings of the 18<sup>th</sup> Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, New York, NY: ACM Press. S. 33–42.
- Von Wright, G. H. 1998. *In the Shadow of Descart. Essays in the Philosophy of Mind*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Vygotsky, L. S. 1978. *Mind in Society. The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Ware, C. 2004. *Information Visualization. Perception for Design*. 2<sup>nd</sup> ed. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.

- Welch, G., Fuchs, H., Raskar, R. & Towles, H. 2000. Projected imagery in your “office of the future”. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 20. S. 62–67.
- Wilson, A. 2004. TouchLight: An imaging touch screen and display for gesture-based interaction. *Teoksessa: Proceedings of the International Conference on Multi-modal Interfaces, 2004*. S. 69–76.
- Wilson, S., Galliers, J. & Fone, J. 2006. Not all sharing is equal: The impact of a large display on small group collaborative work. New York, NY: ACM Press. S. 25–28.
- Woods, D. 2003. Correspondence principles in workspace coordination. [csel.eng.ohio-state.edu/woods/design/principles/Workspace\\_coord\\_v2.pdf](http://csel.eng.ohio-state.edu/woods/design/principles/Workspace_coord_v2.pdf).
- Woodson, W. E., Tillman, B. & Tillman, P. 1992. *Human Factors Design Handbook*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw-Hill.
- Xiao, Y. & Vicente, K. J. 2000. Framework for epistemological analysis in empirical laboratory and field studies. *Human Factors*, Vol. 42, No. 1. S. 87–101.
- Yost, B., Haciahmetoglu, Y. & North, C. 2007. Beyond visual acuity: the perceptual scalability of information visualizations for large displays. *Teoksessa: CHI'07: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY: ACM Press. S. 101–110.

## Liite A: Esimerkkejä sovelluksista

### Barco:

Barcolta löytyy taustaprojisoituja näyttöjä (*OV-D2*- sekä *Overview D* -sarja) valvomokäyttöön.

[http://www.barco.com/controlrooms/en/products/videowall/video\\_wall\\_displays.asp](http://www.barco.com/controlrooms/en/products/videowall/video_wall_displays.asp)

### Christie:

Christien *TotalVIEW Control Room Products* -sarjan tuotteita on käytössä erilaisissa valvomoympäristöissä.

<http://www.christiedigital.com/AMEN/Markets/CommandControlRooms/commandControlRooms.htm>

### Clarity Visual Systems:

Claritylta löytyy monia erilaisia seinänäyttöratkaisuja valvomoympäristöihin.

<http://www.clarityvisual.com/applications/commandcontrol/>

### Eyevis:

Yritykseltä löytyy erilaisia taustaprojisointiin perustuvia seinänäyttöratkaisuja.

[http://www.eyevis.de/html/content\\_UK/03\\_produkte/03\\_00\\_frameset.html](http://www.eyevis.de/html/content_UK/03_produkte/03_00_frameset.html)

### Hitachi:

Hitachilta löytyy *Whiteboard*-tyyppisiä näyttöjä.

<http://www.hitachi-eu.com/products/business.jsp?sectionid=3&catid=24&productid=175&marker=2>

### **NEC Mitsubishi:**

Projektiokuutioista on mahdollisuus rakentaa videoseinä (*MegaView Wall*). Löytyy sekä edestä- että taustaprojisoituja järjestelmiä.

<http://www.mitsubishi-megaview.com/>

*Diamond Vision* -suurkuvanäyttöjä käytetään erilaisissa näyttelytiloissa niin ulko- kuin sisäolosuhteissakin.

<http://global.mitsubishielectric.com/bu/diamondvision/products/led01.html>

### **NEC:**

<http://www.necddisplay.com/Products/>

### **Toshiba:**

*Toshiba Lighting & Technologyn* taustaprojisoituja suurkuvanäyttöjä on käytössä muun muassa japanilaisissa voimalaitoksissa.

<http://www.tlt.co.jp/tlt/ds/english/videow/example.htm>

### **Muita (aakkosjärjestyksessä):**

#### **Crestron Electronics:**

<http://www.crestron.com/features/applications/business/>

#### **Datapath:**

<http://www.datapath.co.uk/datavideowall%20prods.htm>

#### **Paradigm Audio Visual:**

<http://www.rearpro.com/default.asp>



## **Liite B: Suurkuvanäyttöjen suunnitteluohjeita**

### **NUREG-0700**

NUREG-0700:n mukaan suurkuvanäytöt ovat ns. ryhmänäyttöjä. Ryhmänäytöllä tarkoitetaan näyttöä, jonka avulla useat henkilöt voivat samanaikaisesti katsella samaa tietoa siitä huolimatta, että he ovat eri puolilla valvomoa. Tällainen ryhmänäyttö voi tarjota operaattoreille yleiskuvan laitoksen tilasta, ohjata operaattoreita lisätiedon lähteille, tukea vuoron koordinaatiota ja tietoisuutta siitä, mitä muut ovat tekemässä sekä tukea kommunikaatiota ja yhteistyötä tilanteissa, joissa operaattoreiden on etsittävä syy prosessivikoihin tai suoritettava yhdessä jokin ohjaustoimenpide.

Keskeinen kysymys on, onko ryhmänäyttö erillinen ja itsenäinen kokonaisuus vai onko se kytkeytynyt henkilökohtaisiin työasemiin. Jälkimmäisessä tapauksessa käyttäjä voi tehdä valintoja suurkuvanäytöltä, jotka näkyvät työasemanäytöllä. Käyttäjällä voi olla myös mahdollisuus ohjata sekä työasemanäyttöjä että suurkuvanäyttöjä käyttäen samaa ohjausvälinettä, esimerkiksi hiirtä.

### **Ryhmänäyttöjen hallinta**

Ryhmänäyttöjen hallinnan tulisi olla joustavaa ja tehokasta. Keskeinen hallintaan liittyvä kysymys on se, saako vain yksi operaattori kerrallaan olla vuorovai-  
kutuksessa näytön kanssa (esim. siirtää tietoa työasemien näytöltä suurkuvanäytölle tai takaisin) vai voiko useampi kuin yksi henkilö käyttää sitä samanaikaisesti. Tämän asian ratkaisu vaikuttaa siihen, minkälaisia käyttöliittymäratkaisuja kannattaa käyttää. Jos esimerkiksi suurkuvanäyttöä voi käyttää vain yksi operaattori kerrallaan, yksi kursori riittää; jos useamman operaattorin on mahdollista käyttää sitä samanaikaisesti, tarvitaan ehkä useampia kursoreita. Jos taas järjestelmä kykenee näyttämään erillisiä ikkunoita, eri käyttäjät voivat operoida näyttöä samanaikaisesti, edellyttäen että heidän toimenpiteensä kohdistuvat eri ikkunoihin.

Tärkeää on myös ratkaista, miten kontrolli siirtyy suurkuvanäytöltä työasemanäytölle ja takaisin. Kun suurkuvanäyttöä ja työasemanäyttöjä ohjataan eri välinein, ne on suunniteltava sellaisiksi, että niitä voidaan käyttää koordinoitusti.

Pitää esimerkiksi varmistaa, ettei operaattori voi vahingossa käyttää väärää hiirtä ohjaukseen.

Kun tietoa siirretään suurkuvanäytön ja työasemanäytön välillä, tiedon pitää siirtyä ilman viivytyksiä. On myös tärkeää, että aktiivisena oleva näyttö erottuu selvästi ei-aktiivisesta näytöstä.

## **Ryhmänäytöillä esitettävä tieto**

Näytöllä ei pidä esittää mitään sellaista, mitä ei voida esittää myös työasemanäytöillä. Tiedon esitystapa voi kuitenkin poiketa siitä, miten tieto esitetään työasemien näytöillä. Mikäli eroja on, niiden tulee perustua niiden tehtävien asettamiin vaatimuksiin, joita ryhmänäyttö pyrkii tukemaan.

## **Yleiskuva prosessista**

Ryhmänäytön tulee tarjota yleiskuva, jossa yhdistetään tietoa eri lähteistä tavalla, joka tukee operaattorityöskentelyä. Yleiskuvan tulee välittää tietoa tärkeistä laitostapahtumista ja auttaa operaattoreita hahmottamaan, mikä on prosessin kokonaistila. Tästä on erityisesti apua tilanteissa, joissa operaattoreilla on niin kiire, että he eivät ehdi itse kerätä tietoa eri lähteistä. Tieto voi olla myös hajallaan eri puolilla valvomotilaa tai tietojen vertailu voi olla hankalaa ja aikaa vievää.

Suurkuvanäytön tulisi auttaa hahmottamaan laitoksen tila yhdellä silmäyksellä. Sen tulisi palvella esimerkiksi operaattoria, joka vuoron vaihtuessa saapuu valvomoon ja haluaa saada nopeasti yleiskuvan laitoksen tilasta.

Jotta operaattori kykenee tarvittaessa hahmottamaan prosessin kokonaistilan nopeasti yhdellä silmäyksellä, on suurkuvanäytöllä esitettävän tiedon määrä optimoitava. Informaatio on myös esitettävä suurkuvanäytöllä tavalla, joka tukee nopeaa tilanteen hahmottamista. Erityisen tärkeää tietoa voidaan korostaa, epäolennainen voidaan jättää esittämättä ja toisiinsa liittyviä tietoja voidaan ryhmitellä yhteen. Ylipäätään tiedon abstraktiotaso tulee miettiä huolella, jotta käyttäjät osaavat arvioida laitoksen tilan nopeasti ja virheettömästi.

## **Huomion suuntaaminen**

Suurkuvanäytön tulisi välittää tietoa keskeisistä laitoksen tilan muutoksista, kuten hälytyksistä. Sen tulisi antaa tietoa muutosten nopeudesta sekä merkityksestä laitoksen nykyisen ja tulevan tilan kannalta. Suurkuvanäyttö voi auttaa operaattoria suuntaamaan huomionsa uusiin asioihin ja siirtämään huomiota yksityiskohdista kokonaistilanteeseen ja takaisin. Huomion ohjaamisessa ei tulisi kuitenkaan käyttää esimerkiksi välkettä tai liikettä, joka pakottaa tarkkaavaisuuden suuntautumaan tiettyyn kohtaan näytöllä, koska tämä voi häiritä meneillään olevan tehtävän suoritusta.

Suurkuvanäyttö voi auttaa operaattoria jäljittämään yksityiskohtaista tietoa, josta on hyötyä käsillä olevassa tehtävässä. Kyse voi olla tiedosta, jonka määrä voi olla poikkeuksellisen suuri, joka on hajaantunut eri kategorioiden alle tai jota voi olla muuten vaikea löytää.

## **Vuoron koordinaatio, kommunikointi ja yhteistoiminta**

Suurkuvanäyttö voi välittää tietoa, joka parantaa vuoron koordinaatiota. Kyse on siitä, että tuetaan operaattorien mahdollisuuksia säilyttää tietoisuus muiden operaattoreiden aikomuksista ja toiminnasta siten, että erilliset toiminnot voidaan koordinoida ja operaattorit voivat seurata muiden toimintaa ja korjata mahdolliset virheet ja antaa heille tarvittaessa tukea. Tämä informaatio voi käsittää tietoa esimerkiksi siitä, missä operaattorit navigoivat näyttöjärjestelmässä, mitä näyttöjä heillä on näkyvillä, missä vaiheessa tietyn ohjeen toteutus on ja mitä toimenpiteitä he ovat parhaillaan suorittamassa.

Sen lisäksi, että suurkuvanäyttö voi auttaa operaattoreita koordinoimaan erillisiä tehtäviä, se voi auttaa operaattoreita tekemään asioita yhdessä. Suurkuvanäyttö voi tarjota operaattoreille yhteisen viitekehyksen sekä välineitä vuorovai-  
kutukseen. Se voi myös auttaa operaattoreita muodostamaan yhteisen käsityksen tehtävästä tai ongelmasta. Tämä on erityisen hyödyllistä, kun operaattorit työskentelevät saman tehtävän parissa ja kun heidän on vaikea keskustella keskenään kasvokkain.

## **Tiedon esitystapa**

Kun mietitään tiedon esitystapaan liittyviä kysymyksiä, on otettava huomioon, minkälaista tietoa operaattorit tarvitsevat ja miten he sijoittuvat työtilaan. Operaattoreiden on kyettävä erottamaan olennainen tieto kaikilta katseluetäisyyksiltä. Arvioitaessa, kuinka suuria aakkosnumeeristen merkkien ja muiden yksityiskoh-  
tien on oltava, on huomioitava, pitääkö operaattoreiden tunnistaa kaikki mahdolliset yksityiskohdat vai riittääkö, että he havaitsevat olennaiset muutokset. Lisäksi on otettava huomioon, onko suurkuvanäytöillä oleva tieto esitetty myös työasemien näytöillä.

On tärkeää, että operaattoreiden ei tarvitse katsoa suurkuvaa vinosti sivulta, sillä se vääristää kuvan spatiaalisia mittasuhteita. Myös kuvan kirkkaus ja värien toisto heikkenevät, kun kuvaa katsotaan sivulta. Erityisesti kun suurkuvanäyttöjä on useita, ne näytöt, joita tietty operaattori käyttää, eivät saisi sijaita liian kaukana sivulla. Jos näin kuitenkin on, vierekkäisiä suurkuvanäyttöjä tulisi kääntää niin, että poikkeama ei ole liian suuri. On myös pidettävä huolta siitä, että suurkuvanäytölle on esteetön näkyvyys joka puolelta valvomoa.

## **Työasemanäyttöjen käyttö**

Näyttöjä, jotka on kehitetty pöytäkoneiden monitoreja varten, ei tulisi siirtää sellaisenaan suurkuvanäyttöille ilman, että niiden soveltuvuus ensin huolella arvioidaan. Esimerkiksi suurkuvanäyttöjen kirkkaus ja erotuskyky ovat alhaisemmat kuin työasemanäyttöjen.

## **Halden-reaktoriprojekti**

Seuraavassa esitettävät suurkuvanäyttöjen suunnitteluohjeet perustuvat Haldenin reaktoriprojektin työhön (ks. Collier, 2007). Ohjeet käsittelevät seuraavia teemoja:

1. Suurkuvanäyttöjen suunnitteluprojektin yleiset puitteet
2. Tilanneanalyysi
3. Suurkuvanäyttöjen suunnittelun tavoitteet
4. Antropometria
5. Työasemien suunnittelu
6. Valvomosuunnittelu
7. Näyttösuunnittelu
8. Värien käyttö
9. Kirkkaus ja kontrasti
10. Valaistus

### **1. Suurkuvanäyttöjen suunnitteluprojektin yleiset puitteet**

Projektin tulisi noudattaa työasemien suunnittelun yleisiä standardeja (esim. ISO 11064). Sen tulisi perustua käyttäjäkeskeisen suunnittelun periaatteisiin ja integroida ergonomia tekniseen suunnitteluun.

Järjestelmät tulisi suunnitella sellaisiksi, että ne sietävät virheitä. On myös varmistuttava, että käyttäjät pääsevät osallistumaan suunnitteluun, suunnittelu-ryhmä on poikkitieteellinen ja ergonomisen suunnittelun periaatteet on dokumentoitu.

### **2. Tilanneanalyysi**

Suurkuvanäyttöjen suunnittelun tulisi perustua havaittuihin ongelmiin ja puutteisiin. Tällaisia voivat esimerkiksi olla se, että operaattoreiden on vaikeaa ylläpitää tilannetietoisuutta tai että heillä on vaikeuksia saada nopeasti tietoa järjestelmän tilasta ja koordinoita toimintaansa.

### **3. Suurkuvanäyttöjen suunnittelun tavoitteet**

Suunnittelun lähtökohtana on oltava yleiset suurkuvanäyttöjä ja vaatimuksia koskevat periaatteet. Ongelmana on, että vaatimukset vaihtelevat sen mukaan, mihin pyritään. Yleisesti suurkuvanäyttöjen tulee parantaa käyttäjien ja vuoron tilannetietoisuutta, helpottaa prosessitapahtumien seurantaa eri puolilta valvomoa ja tarjota keskustelulle yhteinen viitekehys.

### **4. Antropometria**

Suunnittelussa on otettava huomioon yleiset antropometriset tekijät (esim. käyttäjien pituus ja ruumiinrakenne). Esimerkiksi miesten ja naisten koon ja ruumiinrakenteen eroilla saattaa olla merkitystä.

### **5. & 6. Työasemien ja valvomon suunnittelu**

Suunnittelun tulee perustua tehtävän vaatimukseen eli siihen, mistä operaattorin on saatava tietoa voidakseen suoriutua tehtävistään. On myös ratkaistava, missä määrin hänen on nähtävä tiedon yksityiskohdat vai riittääkö yleiskuva ja pitääkö suurkuvanäytöillä oleva tieto näyttää myös työasemien näytöillä. Erityisesti on pidettävä huolta, että operaattorit erottavat kaikki yksityiskohdat, jotka heidän tulee nähdä tietyltä etäisyydeltä.

### **7. Näyttösuunnittelu**

Näyttöjen suunnitteluun liittyy monia haasteita, jotka liittyvät projektorien ja näyttöjen ominaisuuksiin. Esimerkiksi aakkosnumeeristen ja muiden merkkien mittasuhteet saattavat näyttää vääristyneiltä tai yksittäiset pikselit ovat paljain silmin nähtävissä. Ns. näyttö-ovi-efekti (*screen-door effect, fixed-pattern noise*) on projektoriteknologian tuottama virhe, jossa projektorin kuvaelementtejä erottavat viivat näkyvät heijastetussa kuvassa. Virheen takia kuva näyttää siltä kuin sitä katsottaisiin hienon verkon läpi. Virhettä voidaan korjata säätämällä kuva hieman epäteräväksi, mikä samentaa pikselien reunat niin, että ne eivät enää erotu erillisinä. Tietyntyyppisissä näytöissä esiintyy taas ns. sateenkaariefekti, jossa havaitsija näkee värillisiä varjomaisia välähdyksiä siirtäessään katsettaan pitkin näyttöä.

### **8. Värien käyttö**

Värejä on helppo käyttää väärin, mutta toisaalta oikein käytettynä värit tekevät suurkuvanäytöstä selkeämmän. Onkin pohdittava, mihin värien käytöllä pyritään. Värit auttavat ryhmittelemään yhteen kuuluvia asioita ja erottamaan asioita, jotka eivät kuulu yhteen. Ne myös tekevät näytöstä miellyttävämmän näköisen.

## **9. Kirkkaus ja kontrasti**

Perussääntö on, että kaikkien kohteiden, joiden pitäisi näyttää yhtä vaaleilta tai kirkkailta, tulisi myös olla yhtä vaaleita tai kirkkaita.

## **10. Valaistus**

Valaistusolosuhteisiin on kiinnitettävä erityistä huomiota, ja valvomon valaistus on suunniteltava huolellisesti ja riittävän ajoissa. Valaistuksen huolellisella suunnittelulla voidaan muun muassa minimoida näytön pinnalla näkyvät häiritsevät heijastukset.

# **Liite C: Suurkuvanäytöt ja visuaalinen ergonomia**

## **Kontrasti ja valaistusolosuhteet**

Kohteen havaittavuus tai silmiinpistävyys riippuu kohteen ja kontekstin välisestä kontrastista. Kysymys on riittävästä kohteen ja kontekstin välisestä väri-, kirkkaus- tai pintarakenteiden (tekstuurin) tiheyden eroista. Kohteen havaittavuus on parhaimmillaan, kun kontrasti on suurin mahdollinen kaikkien kolmen ominaisuuden suhteen.

Lukeminen on helpointa, kun (luminanssi) kontrastisuhde on noin 1:8. ISO:n suositusten mukainen vähimmäiskontrasti on 1:3, ihanteellinen kontrasti: 1:10. Mitä pienemmistä yksityiskohdista on kyse, sitä suurempi kirkkauskontrastin on oltava.

Suositteltu valaistuksen taso lukemiseen on noin 20 cd/m<sup>2</sup> (kandelaa per neliömetri) /70 fl (footlambertia). Mitä iäkkäämmistä ihmisistä on kysymys, sitä enemmän valaistusta tarvitaan.

## **Syväterävyys**

Syväterävyys tarkoittaa etäisyysväliä, jolla kuva on terävä. Ihmissilmän syväterävyys vaihtelee pupillin koon mukaan. Jos katselija kohdistaa katseensa noin 50 cm:n päähän, kuva on terävä välillä 43–60 cm. Kun kohde on 3 metrin päässä, terävyysalue ulottuu 1,5 metristä äärettömyyteen.

## **Näkötarkkuus ja sen heikkeneminen etäisyyden funktiona**

Tarkan näkemisen alue (fovea) on noin kahden näkökulman asteen levyinen alue silmän verkkokalvolla. Tarkin näkö on puolen näkökulman asteen levyisellä alueella. Kun haluamme tunnistaa jonkin kohteen, käännämme katsetta automaattisesti niin, että kohteen kuva muodostuu silmän verkkokalvon tarkan näkemisen alueelle.

Tarkan näkemisen alueen läpimitta katseluetäisyyden funktiona:

57 cm	->	2 cm
114 cm	->	4 cm
228 cm	->	8 cm
456 cm	->	15,9 cm
912 cm	->	31,8 cm
1824 cm	->	63,7
3648 cm	->	127,4 cm

Näkötarkkuus heikkenee hyvin jyrkästi siirryttäessä tarkan näkemisen alueen ulkopuolelle. Näemme siis yksityiskohtia tarkasti vain keskeisnäön alueella.

## Aakkosnumeeristen merkkien havaitseminen

Tekstin tunnistamisen tai lukemisen kannalta tärkeitä tekijöitä ovat:

- kirjainten/numeroiden koko
- kirjasinlaji (fontti)
- kirjasintyyli (normaali, kurssiivi, lihavoitu)
- käytetäänkö isoja vai pieniä kirjaimia
- viivan leveys
- merkin leveyden suhde korkeuteen
- merkkien/sanojen etäisyys toisistaan (välistys)
- rivin pituus
- riviväli

### Merkkien koko

Mikä on paras kirjainten tai numeroiden koko?

Koko voidaan laskea seuraavan kaavan perusteella:

$$H (\text{kirjaimen korkeus}) = 0,0022D + K1 + K2$$

jossa

D = katseluetäisyys

K1 = korjaustekijä valaistuksen ja katseluolosuhteiden huomioimiseksi

K2 = korjaustekijä kohteen tärkeyden huomioimiseksi.

Tekstin luettavuus riippuu ensisijaisesti x-korkeudesta. Ihanteellinen tekstin koko on sellainen, ettei tekstin suurentaminen enää paranna näkyvyyttä.

Kirjainten erottelukyky on 5 kaariminuuttia. Voidaksemme siis tunnistaa ison E-kirjaimen sen korkeuden tulisi olla vähintään 5 kaariminuuttia. Tämä tarkoittaa,



että kirjaimen korkeuden tulisi olla noin 1,5 cm, jos halutaan, että se tunnistetaan 10 metrin etäisyydeltä.

Virheetön tunnistaminen edellyttää kuitenkin kaksinkertaista kirjaimen korkeutta (10’):

- 0,9 cm 3 metrin päästä
- 3,0 cm 10 metrin päästä.

Jotta kohteet joidenkin suositusten mukaan olisivat helposti havaittavissa, niiden tulisi olla kooltaan 2,5-kertaisia pienimpään havaittuun kokoon verrattuna.

Standardin mukaiset merkkien koot (kuinka korkeita merkkien tulisi olla tietyltä katseluetäisyydeltä):

9,6 mm -> 0,91 m – 1,83 m

17 mm -> 1,83 m – 3,66 m

29 mm -> 3,66 m – 6,10 m

Myös valaistusolosuhteet on otettava huomioon: heikossa valaistuksessa kirjainten tulisi olla 30 prosenttia suurempia kuin päivänvalossa.

## **Viivan leveys**

Suosittelava viivan paksuus noin puolen metrin etäisyydeltä on 0,30 mm. Lehtimainosten otsikoissa viivan paksuus on usein 1,5–2,0 mm. Kun katseluetäisyys on 10 m, viivan paksuuden olisi oltava siis 30 mm, jotta erottuvuus olisi samaa luokkaa kuin lehtimainosta katsottaessa. 3 metrin etäisyydeltä viivan paksuuden tulisi olla 0,9 mm. Viivanleveyden suhteen korkeuteen tulisi olla 1:6–1:8.

## **Kirjainlaji ym.**

Päätteellisten ja päätteettömien fonttien luettavuudessa ei yleensä ole eroa. Kun tekstiä luetaan kaukaa, pitäisi käyttää riittävän leveitä kirjaimia, mielellään groteski-tekstityyppejä. Kaiken kaikkiaan eri fonttien luettavuudessa ei ole suuria eroja. Eri kirjainlajeihin liittyy erilaisia mielikuvia, jotka kannattaa ottaa fontin valinnassa huomioon.

Yleensä tulisi käyttää pieniä kirjaimia, koska niillä kirjoitetut sanat ovat helpommin tunnistettavissa sanahahmon perusteella kuin isoilla kirjaimilla kirjoitetut. Isot kirjaimet ovat kuitenkin paremmin havaittavia ja tunnistettavia. Niitä kannattaa siis käyttää yksittäisissä sanoissa ja otsikoissa. Kursiivia luetaan selvästi hitaammin kuin normaalia tekstityyppejä.

Merkin leveyden suhdetta korkeuteen luettavuuden kannalta tarkasteltaessa paras suhde on 1:1–3:5, kun on kyse isoista kirjaimista. Kun on kyse numeroista, paras suhde on 3:5. Toisen ohjeen mukaan kirjaimen leveyden suhteen korkeuteen tulisi olla 70–80 prosenttia.

Yhtenäinen viiva näkyy paremmin kuin katkoviiva, ja katkoviiva näkyy paremmin kuin pisteviiva.

## Välistys ym.

Sopiva kirjainväli on vähintään sama kuin kirjaimen viivan leveys. Sanojen välisen etäisyyden tulisi olla suurempi kuin kirjainten välisen etäisyyden. Kun tekstiä katsotaan sivultapäin, merkit ja sanat ovat lähempänä toisiaan kuin suoraan edestä katsottaessa. Koska ulkomainoksia katsotaan usein sivultapäin, sanat puuroutuvat, ellei välistys ole riittävän suuri.

## Merkkien värin vaikutus

Mikäli käytetään valkoisia merkkejä mustalla taustalla, viivan paksuuden suhde merkin korkeuteen on oltava 1:8–1:10. Mikäli käytetään mustia merkkejä valkoisella taustalla, suhteen tulisi olla 1:6–1:8. Syynä siihen, että valkoiset merkit voivat olla pienempiä, on valkoisten merkkien leviäminen taustan alueelle (ns. irradiaatio).

Peruskäsitteet

Näkökulma-aste: verkkokalvokuvan koko ilmaistaan näkökulma-astein

Kirkkaus (*brightness*): kuinka paljon valoa pinnasta heijastuu silmään

Vaaleus/valoisuus: pinnan heijastuskyky

Luminanssikontrasti:  $(B1-B2)/B1 \times 100$ , jossa B1 ja B2 ovat pintojen luminanssit.

## Värien havaitseminen

Peruskäsitteet

Värisävy (*hue*)

Värin kylläisyys (*saturation*)

Värin kirkkaus (esim. *luminosity*)

Siihen, minkä väriseltä jokin pinta näyttää, vaikuttaa monta tekijää:

- pinnan rakenne: rosoisuus/tasaisuus, tummuus/vaaleus, kiiltävyys, pölyisyys
- pinnan koko ja muoto
- katselijan asema pintaan nähden
- se, mistä suunnasta valaistus tulee
- se, sijaitseeko kohteen ympärillä muunvärisiä kohteita
- jne.

Mitä kauempana värillinen kohde katselijasta on, sitä harmaammalta se näyttää. Tämä johtuu valonsäteiden intensiteetin heikkenemisestä etäisyyden funktiona.

## Väriin perustuva koodaus

Yksityiskohtien erottaminen pelkästään värin perusteella on vaikeaa. Tämä perustuu näköaistin fysiologiaan. Värikoodausta pitäisikin käyttää ensisijaisesti huomion herättämiseen.

Kohdevärin tulisi sijaita ympäröivän taustan värien muodostaman monikulmion ulkopuolella CIE-väriavaruudessa.

Koskaan ei tulisi asettaa rinnakkain kirkkaita ristiriitavärejä. Tällaisia väripareja ovat sininen ja punainen sekä sininen ja vihreä. Erityisesti sinisen ja punaisen yhdistelmä on huono muodon havaitsemisen kannalta. Sininen sopii taustaksi mutta ei tekstiin ym. pieniin yksityiskohtiin.

Kannattaa käyttää lähinnä vain perusvärejä, joita ovat punainen, vihreä, keltainen, sininen, valkoinen ja musta. Värikoodien maksimimäärä on 5–10.

Mikäli käytetään kahdeksaa väriä, niiden *Munsell*-koodien tulisi olla: 1R, 9R, 1Y, 7GY, 9G, 5B, 1P ja 3RP. Mikäli käytetään seitsemää väriä: 5R, 3YR, 5Y, 1G, 7BG, 7PB, 3RP. Mikäli käytetään kuutta väriä: 1R, 3YR, 9Y, 5G, 5B ja 9B. Mikäli käytetään viittä väriä: 1R, 7YR, 7GY, 1B ja 5B.

Seuraavassa (tyhjentävä) lista koodaukseen sopivista väreistä:

- 1) punainen
- 2) vihreä
- 3) keltainen
- 4) sininen
- 5) musta
- 6) valkoinen
- 7) vaaleanpunainen
- 8) syaaninsininen
- 9) harmaa
- 10) oranssi
- 11) ruskea
- 12) purpuranpunainen.

Yllämainitut värit soveltuvat erityisen hyvin koodaukseen sen takia, että ne sijaitsevat riittävän kaukana toisistaan väriavaruudessa. Kyseessä ovat myös eniten käytetyt värikäsitteet eli värien nimet.

Erään toisen tutkijan mukaan parhaat koodaukseen sopivat värit ovat (pienimmästä aallonpituudesta suurimpaan):

- violetti (430 nm)
- sininen (476 nm)
- vihreä (515 nm)

keltainen (582 nm)

punainen (642 nm)

valkoinen.

Värikoodattujen kohteiden tulisi olla riittävän suuria. Tämä johtuu siitä, että olemme ikään kuin värisokeita kovin pienille alueille. Erityisesti tämä värisokeus koskee sini–kelta-akselin koodeja.

Kylläisiä värejä pitäisi käyttää pieninä pintoina huomion herättämiseksi. Laajoilla pinnoilla (taustan alueella) tulisi käyttää vaaleita värejä, joiden kylläisyys on pieni. Vaihtoehtoisesti isoilla pinnoilla voi käyttää tummennettuja sävyjä.

Luettavia kohtia tulisi korostaa käyttämällä suurta kontrastia. Taustatekijät tulisi taas esittää vähäisellä kontrastilla.

Kontrastivaikutuksia voi vähentää käyttämällä vain muutamia värejä. Kannattaa myös ympäröidä värillinen kohde ohuella, mustalla tai valkoisella rajaviivalla.

Noin 10 prosenttia miehistä ja noin 1 prosenttia naisista kärsii jonkinlaisesta värinäön häiriöstä. Tämä tarkoittaa, että yli puolella miljoonalla suomalaisella on jonkinasteinen värinäön häiriö.

## **”Peräkkäinen” kontrasti**

Ihmisen näköjärjestelmä on sopeutunut havaitsemaan ensisijaisesti ärsykeissä tapahtuvia spatiaalisia ja temporaalisia muutoksia, ei niinkään vakiona pysyviä ärsykeitä. Tämän takia värihavaintokin on voimakkaampi silloin, kun tietynlainen valon intensiteettijakauma kohtaa silmän ja saman tien häviää.

## **Jälkikuvailmiöt**

Jälkikuvan voimakkuus riippuu väristä. Punainen aiheuttaa voimakkaimman jälkikuvan, sininen heikoimman. Jälkikuva riippuu tietysti myös värillisen pinnan koosta: mitä suurempi pinta, sitä todennäköisemmin silmä väsy.

## **Simultaanikontrasti**

Värejä, joiden kirkkaus on sama, ei tulisi koskaan asettaa rinnakkain. Yhtä kirkkaat kohteet voivat tällöin sekoittua. Esimerkiksi yhtä kirkasta sinistä ja puna-oranssia ei tulisi asettaa rinnakkain.

Tietynvärisen pinnan vieressä oleva alue näyttää sävyttyvän vastavärin suuntaan. Tämä induktioilmiö perustuu osittain lateraaliseen inhibitioon. Kun punainen kohde on valkoista taustaa vasten, sen äärioviiva näyttää vihreältä, mikä korostaa kohdetta. Kun keltainen kohde on valkoista taustaa vasten, sen äärioviiva näyttää violetilta.

Tilanne on mutkikkaampi, jos tausta ei ole valkoinen. Esimerkiksi kun punainen kohde on keltaista taustaa vasten, näemme sen ääriviivan sävyttyvän violetin suuntaan ja keltaisen pinnan sävyttyvän vihreän suuntaan.

Mitkä tekijät vaikuttavat simultaanikontrastin voimakkuuteen? Ainakin seuraavat tekijät on otettava huomioon:

- Kuinka kaukana vuorovaikutuksessa olevat pinnat ovat toisistaan?
- Millä tavoin kyseiset värit käyttäytyvät, kun ne asetetaan vierekkäin: ovatko ne vastavärejä vai eivät ja kuinka suuri on niiden välinen kirkkaus- ja sävyero?
- Miten vaaleita ja tummia sekä lämpimiä ja kylmiä värit ovat?
- Minkälainen ja kuinka voimakas valaistus on?
- Erottaako ääriviiva värejä toisistaan?
- Mikä on värien kylläisyyden aste?
- Minkälaisella taustalla tarkasteltavat värit sijaitsevat sekä mikä niistä nähdään kuviona ja mikä kuuluu taustaan?
- Minkälaisen kuvion värit muodostavat?
- Millaiset ovat pintojen koot ja muodot ja niiden sijainti toisiinsa nähden?
- Millaiset ovat pintarakenteen ominaisuudet?

Värikontrasti riippuu pintojen etäisyydestä. Kaksi värillistä pintaa näyttää samanlaisilta, vaikka ne eivät sitä ihan olisikaan, mikäli ne sijaitsevat riittävän kaukana toisistaan. Esimerkiksi kaksi riittävän etäällä toisistaan olevaa keltaista pintaa näyttävät samanlaisilta, vaikka toiseen olisi lisätty hieman punaista ja toiseen hieman vihreää.

Kun vastavärit asetetaan rinnakkain, niiden kirkkaus ja kromaattinen intensiteetti kasvavat. Näyttöelementit tulisi asettaa suhteellisen neutraalia taustaa vasten ja siten, että vastavärisyys otetaan huomioon: tummat kohteet suhteellisen vaaleaa taustaa vasten, vaaleat suhteellisen tummaa taustaa vasten. Värit siis korostuvat, kun ne asetetaan rinnakkain vastavärinsä kanssa.

Myös värien kylläisyys muuttuu rinnastuksen seurauksena. Esimerkiksi toisen värin kylläisyyden lisääminen saa toisen värin näyttämään vähemmän kylläiseltä.

## Värit ja kuvio–tausta-erottelu

Se, että värillinen kohde nähdään selkeästi rakentuneena kuviona tiettyä taustaa vasten, vahvistaa värikonstanssia (sitä, että pinnan väri näyttää samanlaiselta). Kohde siis säilyttää värinsä, vaikka taustan väri muuttuukin; sen sijaan taustan väri herkästi muuttuu, kun kohteen väriä muutetaan.

Pinnan koko ja värikontrasti vaikuttavat kuvio–tausta-erotteluun, kun väreillä on vaaleus- tai tummuusero tai ne ovat kirkkaudeltaan erilaisia. Esimerkiksi pieni keltainen, vaaleanpunainen tai punainen kohde laajaa tummanvihreää, vio-

lettiä tai sinistä taustaa vasten nähdään kuviona taustaa vasten. Vaikka värit vaihdetaan, kuvio–tausta-suhde ei muutu.

Irradiaation (leviämisen) vuoksi samankokoiset värilliset pinnat eivät yleensä näytä samankokoiselta (vrt. ed.). Esimerkiksi keltainen neliö näyttää isommalta kuin vieressä oleva sininen neliö.

## Väreihin liittyvät kineettiset ym. efektit

Eriväriset pinnat näyttävät myös usein sijaitsevan eri etäisyyksillä katselijasta. Seurauksena on kineettinen efekti: syntyy vaikutelma, että kyseiset pinnat liikkuvat – osa katselijasta pois päin, osa katselijaa kohti.

Esimerkkejä tästä etäisyyssefektistä (voimakkaimmasta heikoimpaan):

- keltainen (suhteellisen pieni pinta) mustalla taustalla kohoaa selvästi taustasta
- oranssi mustalla taustalla
- punainen mustalla taustalla
- vihreä mustalla taustalla
- sininen mustalla taustalla.

Violetti mustalla taustalla ei sen sijaan näytä kohoavan taustasta lainkaan. Mikäli tausta on valkoinen, tummat värit näyttävät puolestaan tulevan lähemmäs katselijaa.

Ilmiö perustuu värien väliseen kirkkauseroon. Tätä kohteiden esiintyöntymistä ja vetäytymistä voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi kolmiulotteisen vaikutelman tuottamiseksi. Mikäli haluamme välttää kyseisiä ilmiöitä, värien on oltava yhtä kirkkaita.

## Värien kirkkaus

Valkoisella taustalla värit näyttävät himmeämmiltä mutta sävyltään voimakkaammilta. Mustalla taustalla vaaleat värit näyttävät entistään vaaleammilta ja kirkkaammilta, tummat värit taas näyttävät sävyltään heikommilta mutta kirkkaammilta.

Mikäli värien välinen voimakas kirkkausero tuottaa häiritsevän vaikutelman, ongelma voidaan korjata erottamalla värilliset pinnat ohuin mustin tai valkoisin ääriivivoin. Erityisesti ohut musta viiva erottaa värejä tehokkaasti ilman, että niiden sävy muuttuu.

Värien kirkkauden korostuminen johtuu usein pintojen välisestä värierosta. Se voi kuitenkin johtua myös värin ja vaaleuden vastakkainasettelusta.

Kohteiden ja niiden värien havaittavuus riippuu siitä, mikä on kohteen ja taustan välinen kontrastiero. Esimerkiksi pientä keltaista tai vihreää neliötä erivärisellä taustalla ei kyetä havaitsemaan edes muutaman metrin päästä. Esimerkiksi

hyvin pieni sininen täplä näyttää mustalta kolmen metrin etäisyydeltä. Samankokoinen punainen täplä näyttää punaiselta noin merin päähän, mutta esimerkiksi kuuden metrin päästä sekin näyttää mustalta.

## Sommittelu

Yleensä näyttö kannattaa jakaa osiin tasaamalla pystyasennossa oleva pinta kolmeen osaan, joista keskimmäiseen sijoitetaan kuva. Vaaka-asennossa oleva pinta kannattaa jakaa kahteen vierekkäiseen palstaan.

### Osien ryhmittelyä säätelevät periaatteet

Periaatteet, joiden perusteella ärsykeitä voidaan ryhmitellä yhteen:

- Läheisyys: lähellä toisiaan olevat kohteet ryhmitellään yhteen.
- Samankaltaisuus: esimerkiksi väriltään ja muodoltaan samankaltaiset kohteet ryhmitellään yhteen.
- Jatkuvuus: viivojen koetaan risteyskohdissa jatkuvan niin, että niiden suunta muuttuu mahdollisimman vähän.
- Symmetria: osat, joista muodostuu symmetrinen kokonaisuus, ryhmitellään yhteen.
- Yhteenliittyneisyys: toisiinsa liittyneet kohteet, esimerkiksi kuva ja puhekupla, ryhmitellään yhteen.
- Sulkeutuvuus: kuvio, josta puuttuu pieni osa, nähdään kokonaisena.
- *Common region*: samanlaisella taustalla tai ympäröivän viivan sisäpuolelle jäävät kohteet ryhmitellään yhteen.

Näitä periaatteita voidaan käyttää esimerkiksi kuvan/kuvioiden ja tekstin linkittämiseen.

### Kuvio–tausta-erottelu

Kuvio–tausta-erottelua koskevat periaatteet:

- 1) Ympäröivyyys: ympäröivä alue on kuvio.
- 2) Suunta: vaakasuorat/pystysuorat alueet nähdään kuviona.
- 3) Kontrasti: se alue, jonka kontrasti on taustaan nähden suurempi, nähdään kuviona.
- 4) Kuperuus: kuperat alueet nähdään kuviona.

- 5) Yhdensuuntaisuus: kuvion ääriviivat ovat yhdensuuntaiset.
- 6) Symmetrisyys: symmetriset alueet nähdään kuviona.
- 7) Merkityksellisyys: aikaisemmat kokemukset vaikuttavat siihen, mikä osa nähdään kuviona.

## **Kuvien ja graafisten esitysten havaitseminen**

### **Muotoon perustuva koodaus**

Ympyrä, suorakaide, risti ja kolmio ovat hyviä muotokodeja; neliöt, monikulmiot ja ellipsit taas huonoja.

### **Kumpi on parempi: kuva vai sana?**

Kuvien avulla on helpompi esittää asioiden välisiä rakenteellisia suhteita (esim. bussireittikartat). Tiedon paikallistaminen onnistuu paremmin, kun käytetään kuvia. Yleisesti ottaen kuva muistetaan paremmin kuin sana. Abstraktit kuvat muistetaan kuitenkin huonommin.

Yksityiskohtien ja ulkoisen rakenteen kuvaamiseen kuva soveltuu paremmin kuin teksti. Teksti on parempi abstraktien käsitteiden (sellaisten kuin vapaus tai demokratia) kuvaamiseen. Ohjeiden tai määräysten esittämiseen teksti tai teksti ja kuva yhdessä soveltuu yleensä paremmin kuin pelkkä kuva.

Yhden katseenkohdistuksen (fiksaation) aikana, jonka kesto on 150–300 ms, kyetään tunnistamaan useampi kuin yksi kohde (Biederman ym. 1982).

Yleensä silmäilemme ensin kuvaa ja sitten tutkimme tarkemmin mielenkiintoisia yksityiskohtia. Tärkeät asiat kannattaa sijoittaa lähelle kuvan keskiosaa. Tämä johtuu siitä, että katsomme kuvan keskiosaa enemmän kuin sen reunaosia.

Mikäli huomio suuntautuu kuvaan, ei ole olemassa ylärajaa sille, kuinka monta kuvaa kykenemme muistamaan (Standing, 1973). Standingin kokeiden perusteella on arvioitu, että muistista haun nopeus on jopa 51 180 sanaa sekunnissa.

Ääriviivapiirroksia on usein vaikea tunnistaa. Niiden prosessointi vie enemmän aikaa kuin esimerkiksi karikatyyrien. Yksinkertaiset piirroskuvat ovat yleensä parempia kuin paljon yksityiskohtia sisältävät valokuvat.

Kuvan kohde tunnistetaan paremmin, mikäli olemme ikään kuin virittäytyneet havaitsemaan sen.



## Tarkkaavaisuuden suuntaaminen ja silmänliikkeet

### Sakkadit eli nopeat silmänliikkeet

Niiden laajuus on 10°–20°, kesto 45 ms tai enemmän ja nopeus jopa 600°/s. Silmä siis liikkuu nopeasti paikasta toiseen ballistisin liikkein. Se pysähtyy noin 150–300 ms:n ajaksi (fiksaatio) kerrallaan.

Usein havaitsemistilanteessa vallitsee ristiriita sen välillä, mitä odotamme näkevämme ja mitä todella näemme. Tätä ilmiötä nimitetään visuaaliseksi dissonanssiksi.

### Tehokas näkökenttä

Se, kuinka suurelta alueelta tietoa voidaan kerätä yhdellä silmäyksellä, riippuu kohteiden koosta ja tiheydestä. Alue, jolta tietoa voidaan kerätä nopeasti (ns. *useful field of view*) on 1–4 näkökulman astetta, kun on kysymys kuvasta, jossa elementtitiheys on suuri. Mikäli kuvaelementit ovat yli asteen etäisyydellä toisistaan, tämä alue voi olla halkaisijaltaan jopa 15 näkökulman astetta.

Silmällä on taipumus suuntautua keskiviivan vasemmalle puolelle. Silmä liikkuu vasemmalta oikealle. Hallitsevan piirteen tulee sijaita vasemmalla ja sitä tukevien piirteiden oikealla.

### Preattentiivinen havaitseminen

Kohteet, jotka pitäisi havaita välittömästi, tulisi olla silmiinpistäviä, jotta ne havaittaisiin myös silloin, kun emme katso suoraan kohdetta. Ärsykepiirteet, joita koskevat erot ovat välittömästi havaittavissa, ovat

- viivan suunta
- viivan pituus
- viivan paksuus
- viivojen yhdensuuntaisuus
- koko
- kaarevuus
- ryhmittäminen läheisyyden perusteella
- lisäykset kohteeseen
- elementtien lukumäärää koskevat erot
- värisävy
- intensiteetti
- välkyntä
- liikesuunta
- sijainti kaksiulotteisella pinnalla

- stereosyvyys
- varjostuksen tuottamat kuvut ja kuopat.

Voimme valikoivasti suuntautua vain tiettyihin kuvan elementteihin. Jos esimerkiksi tiedämme, että etsimämme kohde on punainen, voimme keskittyä etsimään sitä punaisten kohteiden joukosta.

## Liite D: Esimerkki suunnittelutyöpajan kulusta

Samaa rakennetta noudatettiin myös suunnittelijoille järjestetyssä workshopissa.

9.30–9.35	Workshopin avaus
9.35–9.50	Voimalaitoksen puheenvuoro
9.50–10.30	VTT:n tutkijoiden esitys Suurkuvanäytöt ydinvoimalaitoksen valvomossa: <i>state-of-the-art</i>
10.30–10.40	Ryhmätehtävien esittely ja ryhmiin jako (2–3 ryhmää) Suurkuvakonseptin ideointi ja kehittäminen
10.40–11.30	Ryhmätyöskentelyä
11.30–12.15	Lounas
12.15–13.00	Ryhmätyöskentely jatkuu
13.00–14.30	Ryhmien tulosten esittely
14.30–15.00	Yhteenveto (VTT:n tutkijat)



# Liite E: Suunnittelutyöpajan tehtävät

## 1. Suurkuvanäyttöjen rooli (miksi suurkuva?)

- Minkäläisten tehtävien suorittamista suurkuvanäytön pitäisi tukea?
  - prosessin monitorointia
  - operointia
  - yhteistoimintaa, vuoron kommunikointia
  - ongelmanratkaisua
  - toiminnan ennakoivaa suunnittelua
  - yhteisen käsityksen muodostamista prosessin tilasta
  - koulutusta
  - tiedottamista.

## 2. Suurkuvanäytön/-näyttöjen sijoittuminen valvomotiilaan

- Suurkuvanäyttöjen määrä ja tyyppi
- Suurkuvanäyttöjen sijoittelu (esim. etäisyys työpisteistä, korkeus, kaltevuus ja sijainti seinällä)

Tuottakaa suunnitteluratkaisu suurkuvanäytön käytöstä osana valvomoa (graafinen layout valvomotilasta ja miten eri käyttöliittymät/työasemat ym. ovat sijoituneet sinne).

## 3. Informaatioisisältö eri tilanteissa (mitä esitetään?)

- Eri käyttötilanteiden asettamat vaatimukset suurkuvanäytöllä esitettävän informaation sisällölle ja toiminnallisuudelle (esim. järjestelmät ja järjestelmien tilatiedot, joista olisi syytä esittää tietoa suurkuvanäytöllä, hälytykset ja ohjeet). Käyttötilanteita ovat:

- normaaliajo/testaukset
  - häiriö- ja hätätilanteet
  - (ylös- ja alasajo)
  - (seisokki).
- Mistä ydinvoimalaitoksen järjestelmistä tulisi esittää tietoa suurkuvanäytöillä? (Esim. pääkiertopumppu, syöttövesipumppu ja -venttiilit, lauhdutusjärjestelmän pumput ja venttiilit, keskeiset turvajärjestelmien pumput ja venttiilit, jälkilämmönpoistopumput ja -venttiilit, tehonsyötönkatkaisijat, varasähköjärjestelmä, päähöyryn eristysventtiilit, varoventtiili, suojajärjestelmät.)
  - Mitä laitoksen tilatietoja tulisi esittää suurkuvanäytöillä? (Esim. tehotaso, laitosteho, energiatasapaino, vuodot (massatasapaino), reaktorin jäähdytysjärjestelmän paine, reaktorin jäähdytysjärjestelmän lämpötila, höyryn virtaus ja paine, lauhduttimen alipaine, reaktorin jäähdytyksen virtaus, paineistimen taso, reaktoriastian taso, varatehon tila.)
  - Mistä turvallisuusfunktioista tulisi esittää tietoa suurkuvanäytöllä?

#### **4. Käyttöliittymän ominaisuudet (miten esitetään?)**

- Tekstimuotoisen esitystavan käyttö (tarkkaa tietoa) vs. graafinen esitystapa (yleiskuvaa antava kuvallinen esitystapa)
- Fontin koko suurkuvanäytöllä
- Värien käyttö
- Kvantarkkuus, riittävä resoluutio (kuvapisteitä pinta-ala yksikköä kohden)
- Muiden aistikanavien kautta välittyvän informaation (esim. ääni, tunto/kosketus) käyttäminen
- Liikkuvan videokuvan näyttäminen suurkuvanäytöllä
- 3D-visualisointitekniikoiden käyttö
- Animaatio
- Huomion suuntaamista auttavien tekniikoiden käyttö (esim. valospotti)
- Näyttöpinnan jakaminen osiin (useita ikkunoita näyttöpinnalla)
- Suurkuvanäyttöjen näyttöhierarkia
- Näyttöhierarkiassa liikkuminen/navigointi
- Interaktiotapa suurkuvanäytön kanssa (esim. hiirellä, laserpointterilla, kosketuksella)

Tuottakaa suunnitteluratkaisu suurkuvanäytön tietosisällöistä ja tiedon esitystavoista (graafinen esitys siitä, mitä suurkuvanäytön tulisi sisältää ja miten tuo tieto tulisi esittää).

## 5. Suurkuvanäytön käyttötapa

- Onko suurkuvanäyttö tarkoitettu ensisijaisesti prosessitiedon esittämiseen vai voidaan sen avulla tehdä ohjauksia?
- Interaktiotapa suurkuvanäytön kanssa (esim. annetaanko komennot hiirellä, laserpointterilla, kosketuksen avulla?)
- Sisällön hallinta (esim. yksi käyttäjä / monta käyttäjää samanaikaisesti, tarvitaanko pääkäyttäjää, kuka on pääkäyttäjä?)

## 6. Suurkuvanäytön sisällön hallinta

- Kuka toimii suurkuvanäytön pääkäyttäjänä / valitsee, mitä esitetään jne.?
- Miten suurkuvanäytön sisällöstä päätetään?
- Vaihtuuko/vaihdetaanko suurkuvanäytön sisältö?
- Onko mahdollista siirtää tietoa suurkuvanäytöltä henkilökohtaiselle työasemalle tai päinvastoin?







<b>Suurkuvakonseptin perusjäsenitys</b>																
Laitoksen tila: (esim. normaali tehoj(o))																
<b>Funktio/rooli</b> (Miksi?)	<b>Käyttötapa</b> (Miten käytetään?)					<b>Informaation sisältö</b> (Mitä esitetään?)										
Muutoksen havaitseminen	<b>Vastuunjako</b>					<b>Abstraktiotaso</b>										
	keskitetty					hajautettu					yksityiskohtainen				abstrakti	
	<b>Vuorovaikutteisuus (järjestelmän kanssa)</b>					<b>Kohteen kuvaamisen laajuus</b>										
	interaktiivinen					ei interaktiivinen					valikoivasti			kattavasti		
	manuaalinen					automaattinen										
	<b>Integroitavuus (muihin järjestelmiin)</b>					<b>Tiedon rakenteellisuuden aste</b>										
	itsenäinen					osa kokonaisuutta					rakenteellinen					ei rakenteellinen
	<b>Yhteistoiminnallisuus (ryhmänä)</b>					<b>Dynaamisuu den aste</b>										
	yksi käyttäjä					ryhmä					dynaaminen			staattinen		
	läpinäkyvä					ei läpinäkyvä					Tiedon vastaanottaja					
					<b>Sisällön räätälöinnin taso</b>											
					yhdel le käyttäjäl le							ryhmäl le				
					kopiointi							Sisällön räätälöinti			räätälöity	
					<b>Käyttöliittymien yhdenmukaisuus</b>							yhdenmukainen			ei yhdenmukainen	





## **Liite G: Suurkuvakonseptin hahmottelua**

(Ks. tarkemmin Laarni 2007.)

Suurkuvanäytöt voivat tarjota operaattoreille yleiskuvan laitoksen tilasta, ohjata operaattoreita lisätiedon lähteille, tukea vuoron koordinaatiota ja tietoisuutta siitä, mitä muut ovat tekemässä, sekä tukea kommunikaatiota ja yhteistyötä tilanteissa, joissa operaattoreiden on etsittävä syy prosessivikoihin tai suoritettava yhdessä jokin ohjaustoimenpide (EPRI; NUREG, 2002).

Standardien ja ohjeistusten mukaan operaattoreille tulee tarjota digitaalisessa valvomossa yhteinen viitekehys (EPRI; NUREG, 2002). Tähän soveltuu parhaiten suurkuvanäyttö, joka tarjoaa yleiskuvan prosessista (ks. kuva). Siinä yhdistetään tietoa eri lähteistä tavalla, joka tukee operaattorityöskentelyä.

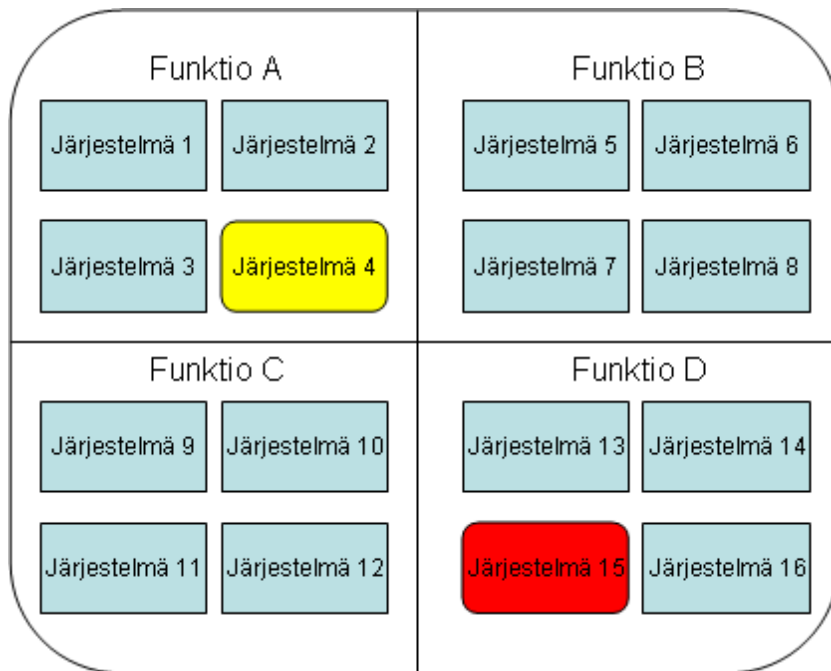
Suurkuvanäytön tulee välittää tietoa tärkeistä laitostapahtumista ja auttaa operaattoreita hahmottamaan, mikä on prosessin kokonaistila. Tästä on erityisesti apua tilanteissa, joissa operaattoreilla on niin kiire, että he eivät ehdi itse kerätä tietoa eri lähteistä. Tieto voi olla myös hajallaan eri puolilla valvomotilaa tai tietojen vertailu voi olla hankalaa ja aikaa vievää. Suurkuvanäytön tulisi auttaa hahmottamaan laitoksen tila yhdellä silmäyksellä. Sen tulisi palvella esimerkiksi operaattoria, joka vuoron vaihtuessa saapuu valvomoon ja haluaa saada nopeasti yleiskuvan laitoksen tilasta.

### **Suurkuvanäyttöjen sisältö**

Yleiskuvanäytön tulee sisältää tärkeimmät järjestelmien ja komponenttien tilaa koskevat tiedot. Kaiken järjestelmien tilaa koskevan tiedon tulee myös olla välittömästi havaittavissa. Tärkeiden prosessijärjestelmien seurantajärjestelmän (SPDS) asettamat vaatimukset tulisi ottaa huomioon suurkuvanäyttöjen kehittämisessä (EPRI 1008122, 2004). Tärkeiden prosessijärjestelmien seurantajärjestelmän keskeisten paramet-

rien tulisi olla kaiken aikaa näkyvissä tai niissä pitäisi olla hälytysmekanismi, kuten tärkeiden prosessijärjestelmien tilaindikaattorit.

Suurkuvanäytön tulisi välittää tietoa myös keskeisistä laitoksen tilan muutoksista kuten hälytyksistä. Sen tulisi antaa tietoa muutosten nopeudesta sekä merkityksestä laitoksen nykyisen ja tulevan tilan kannalta. Se voi myös auttaa operaattoria suuntaamaan huomionsa uusiin asioihin ja siirtämään huomiota yksityiskohdista kokonaistilanteeseen ja takaisin.



Kuva G1. Esimerkki yksinkertaisesta yleiskuvanäytöstä, jossa on kuvattu neljä erillistä funktiota (ks. EPRI, 2004). Ongelmia on järjestelmissä 4 ja 15.

Suurkuvanäyttö voi auttaa operaattoria jäljittämään yksityiskohtaista tietoa, joka auttaa häntä käsillä olevassa tehtävässä. Kyse voi olla tiedosta, jonka määrä voi olla poikkeuksellisen suuri, joka on hajaantunut eri kategorioiden alle tai jota voi olla muuten vaikea löytää. Lisäksi suurkuvanäyttö voi välittää tietoa, joka parantaa vuoron koordinaatiota. Operaattoreiden on sen avulla helpompaa olla tietoisia muiden operaattoreiden aikomuksista ja toiminnasta. Tällaista tietoa on muun muassa tieto siitä, missä toinen operaattori on parhaillaan näyttöjärjestelmässä, mitä hän operoi ja missä hän on tietyn ohjeen läpikäynnissä. Kun operaattorit seuraavat muiden toimintaa suurkuvanäy-

tön kautta, he voivat korjata muiden tekemiä virheitä ja tarvittaessa auttaa näitä. Tämä informaatio voi käsittää tietoa esimerkiksi siitä, missä operaattorit navigoivat näyttöjärjestelmässä, mitä näyttöjä heillä on näkyvillä, missä vaiheessa tietyn ohjeen toteutus on ja mitä toimenpiteitä he ovat parhaillaan suorittamassa.

Sen lisäksi, että suurkuvanäyttö voi auttaa operaattoreita koordinoimaan erillisiä tehtäviä, se voi auttaa operaattoreita tekemään asioita yhdessä. Se voi tarjota operaattoreille yhteisen viitekehyksen sekä välineitä vuorovaikutukseen. Suurkuvanäyttö voi myös auttaa operaattoreita muodostamaan yhteisen käsityksen tehtävästä tai ongelmasta. Tämä on erityisen hyödyllistä, kun operaattorit työskentelevät saman tehtävän parissa ja kun heidän on vaikea keskustella keskenään kasvokkain. Suurkuvanäyttöjen tulisi tarjota alusta yhteistyölle vuorovaihdossa, näyttöjä yhdessä tutkittaessa, yhdessä tehtävissä ohjaustoimenpiteissä sekä huoltotilausten tekemisessä. Yhteistyötä varten näytöllä pitäisi olla yhteinen alue, johon kaikki voivat tuoda tietoa ja jossa olevaa tietoa kaikki voivat manipuloida.

## Tiedon esitystapa

Jotta operaattori kykenee tarvittaessa hahmottamaan prosessin kokonaistilan nopeasti yhdellä silmäyksellä, on suurkuvanäytöllä esitettävän tiedon määrä optimoitava. Informaatio on myös esitettävä suurkuvanäytöllä tavalla, joka tukee nopeaa tilanteen hahmottamista. Erityisen tärkeää tietoa voidaan korostaa, epäoleellinen jättää esittämättä ja toisiinsa liittyviä tietoja ryhmitellä yhteen. Ylipäättään tiedon abstraktiotaso tulee miettiä huolella, jotta käyttäjät osaavat arvioida laitoksen tilan nopeasti ja virheettömästi.

Kun mietitään tiedon esitystapaan liittyviä kysymyksiä, on otettava huomioon, minkälaista tietoa operaattorit tarvitsevat ja miten he sijoittuvat työtilaan. Operaattoreiden on kyettävä erottamaan kaikki olennainen tieto kaikilta katseluetäisyyksiltä. Arvioitaessa sitä, kuinka suuria aakkosnumeeristen merkkien ja muiden yksityiskohtien on oltava, on otettava huomioon, pitääkö operaattoreiden tunnistaa kaikki mahdolliset yksityiskohdat vai riittääkö, että he havaitsevat olennaiset muutokset. Lisäksi tulee huomioida, onko suurkuvanäytöillä oleva tieto esitetty myös työasemien näytöillä.

On tärkeää, että operaattoreiden ei tarvitse katsoa suurkuvaa vinosti sivulta, sillä se vääristää kuvan spatiaalisia mittasuhteita. Myös kuvan kirkkaus ja värien toisto heikkenevät, kun kuvaa katsotaan sivulta. Erityisesti kun suurkuvanäyttöjä on useita, ne näytöt, joita tietty operaattori käyttää, eivät saisi sijaita liian kaukana sivulla. Jos näin kuitenkin on, vierekkäisiä suurkuvanäyttöjä on käännettävä niin, että

poikkeama ei ole liian suuri. On myös pidettävä huolta siitä, että suurkuvanäytölle on esteetön näkyvyys joka puolelta valvomoa.

## **Suurkuvanäyttöjen hallinta ja käyttö**

Keskeisin kysymys on, kuka voi siirtää tietoa suurkuvanäytölle tai muuten vaikuttaa sen tietosisältöjen hallintaan. Tähän liittyy myös se, voiko vain yksi operaattori kerrallaan olla vuorovaikutuksessa suurkuvanäytön kanssa (esim. siirtää tietoa työasemien näytöltä suurkuvanäytölle tai takaisin) vai voiko useampi kuin yksi henkilö käyttää sitä samanaikaisesti. Tämän asian ratkaisu vaikuttaa siihen, minkälaisia käyttöliittymäratkaisuja kannattaa valita. Jos esimerkiksi suurkuvanäyttöä voi käyttää vain yksi operaattori kerrallaan, yksi kursori riittää; jos useamman operaattorin on mahdollista käyttää sitä samanaikaisesti, tarvitaan ehkä useampia kursoreita. Jos taas järjestelmä kykenee näyttämään erillisiä ikkunoita, eri käyttäjät voivat operoida näyttöä samanaikaisesti, edellyttäen että heidän toimenpiteensä kohdistuu eri ikkunoihin. Näytöltä pitäisi myös näkyä, jos kursori on käytössä, ja myös se, kuka sitä missäkin tilanteessa käyttää.

On mietittävä, onko suurkuvanäyttö erillinen ja itsenäinen kokonaisuus vai onko se kytkeytynyt henkilökohtaisiin työasemiin. Jälkimmäisessä tapauksessa käyttäjä voi tehdä valintoja suurkuvanäytöltä, jotka näkyvät työasemanäyttöillä. Käyttäjällä voi olla myös mahdollisuus ohjata sekä työasemanäyttöjä että suurkuvanäyttöjä samalla ohjausvälineellä, esimerkiksi hiirellä.

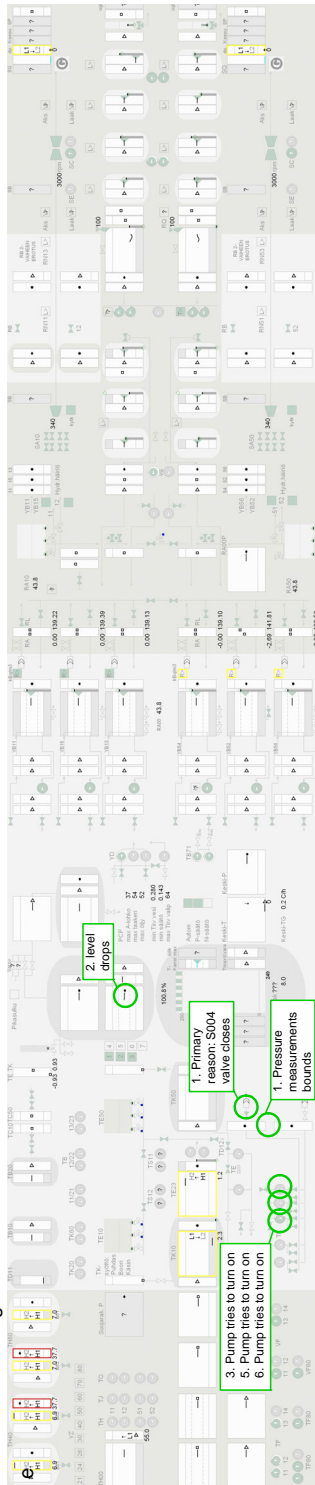
Tärkeää on myös ratkaista, miten kontrolli siirtyy suurkuvanäytöltä työasemanäytölle ja takaisin. Kun suurkuvanäyttöä ja työasemanäyttöjä ohjataan eri välinein, ne on suunniteltava sellaisiksi, että niitä voidaan käyttää koordinoitusti. Pitää esimerkiksi varmistaa, ettei operaattori voi vahingossa käyttää väärää hiirtä ohjaukseen. Kun tietoa siirretään suurkuvanäytön ja työasemanäytön välillä, tiedon pitää siirtyä ilman viivytyksiä. On myös tärkeää, että aktiivisena oleva näyttö erottuu selvästi ei-aktiivisesta näytöstä.

On myös mietittävä, miten toimii yhteistyö laitoksen muiden ohjauspaikkojen kanssa. Olisi järkevää, että suurkuvanäytön kuvia voitaisiin esittää muuallakin ilman ohjausmahdollisuutta.

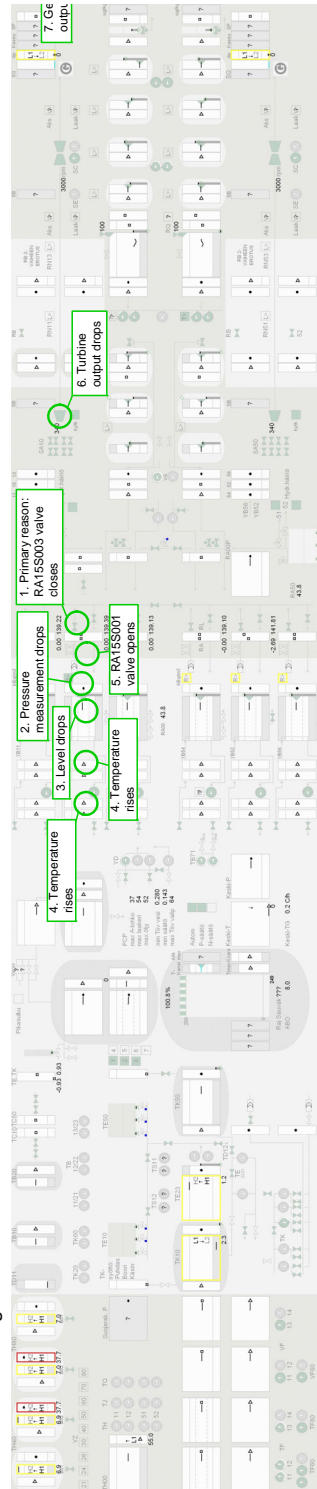


# Lite H: Screenshots from the IRD displays

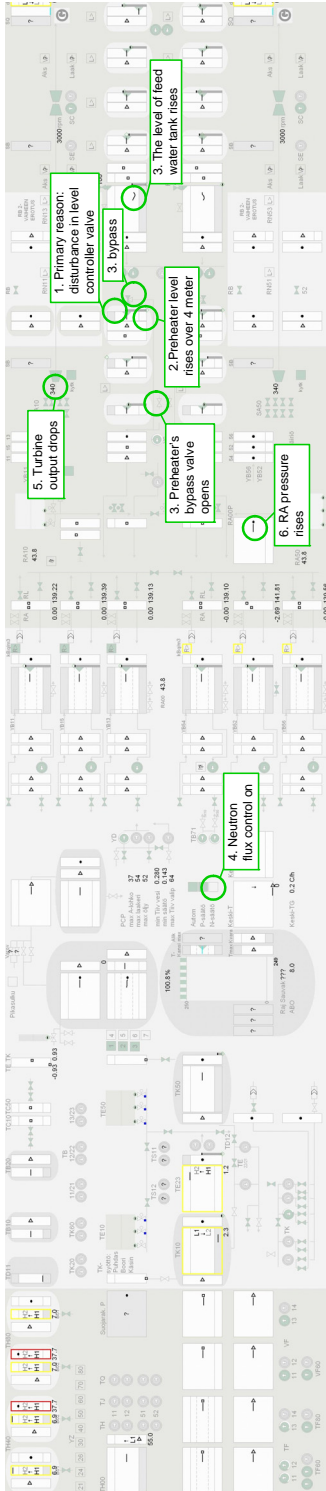
Scenario 1: Closing of the line TK10



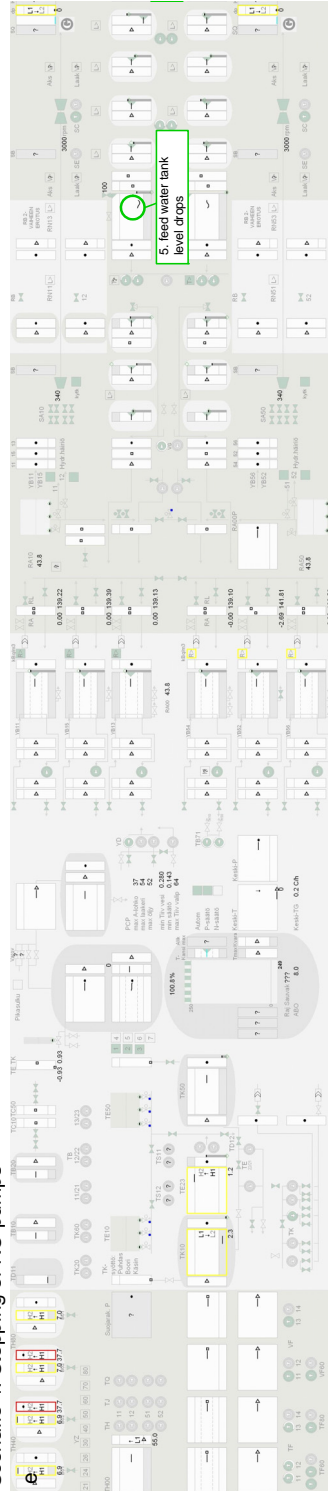
Scenario 2: Closing of the main steam line RA15S03



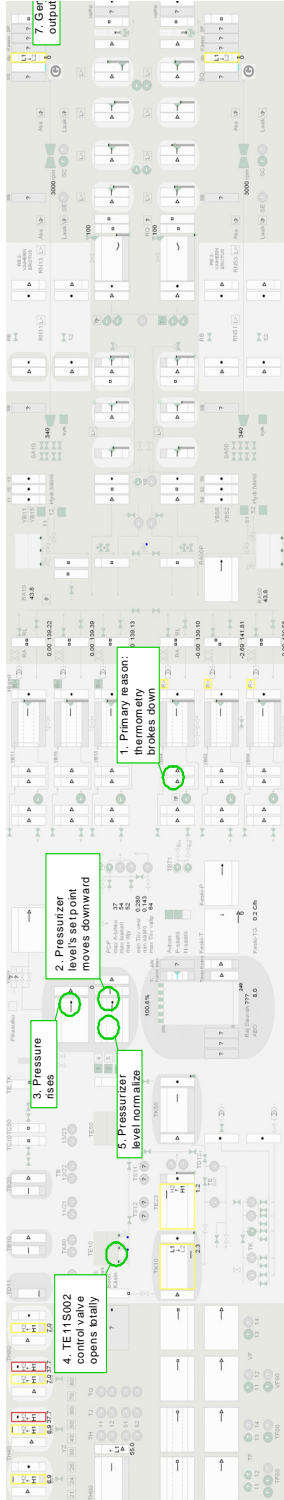
Scenario 3: Breakdown of the level control of RN23S01



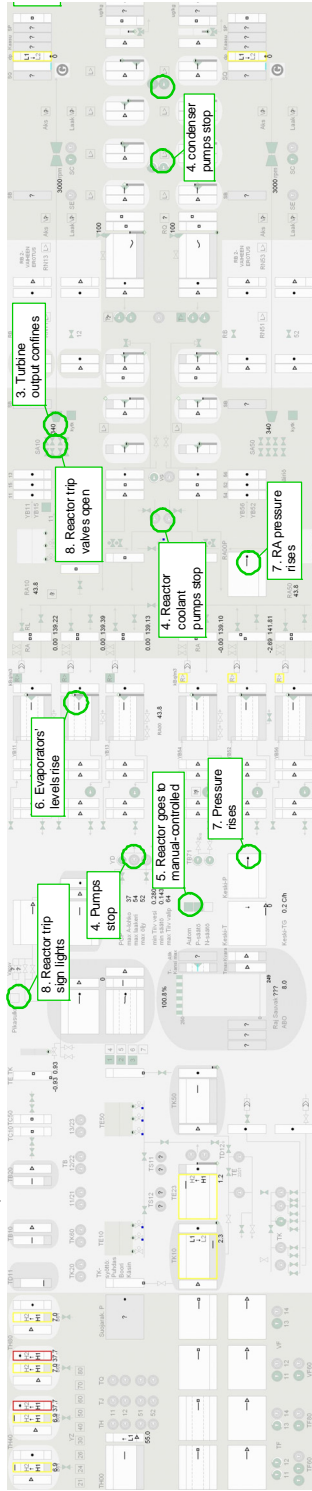
Scenario 4: Stopping of RU-pumps



Scenario 5: Failure of the temperature measurement of YA 14T01



Scenario 6: Failure in electrical power centre





## Liite I: IRD-tests: time schedule

Time	Wednesday 05.03. Training (Crews 1 &2)	Time	Thursday 27.03. Test (Crew 1)	Time	Friday 28.03. Test (Crew 2)
		9:00	Opening	9:00	Opening
		9:05	Short repetition of the training session (including one practice run)	9:05	Short repetition of the training session (including one practice run)
		10:00	Testing Scenario 1 (IRD) Scenario 2 (IRD) Scenario 3 (IRD)	10:00	Testing (scenarios 1–3) Scenario 4 (IRD) Scenario 5 (IRD) Scenario 6 (IRD)
		11:30	Lunch	11:30	Lunch
		12:30	Testing Scenario 1 (trad.) Scenario 2 (trad.) Scenario 4 (IRD)	12:30	Testing (scenarios 4–6) Scenario 1 (trad.) Scenario 2 (trad.) Scenario 1 (IRD)
		14:00	Break	14:00	Break
		14:15	Testing Scenario 5 (IRD) Scenario 6 (IRD)	14:15	Testing (scenarios 7–8) Scenario 2 (IRD) Scenario 3 (IRD)
		15:15	Final discussion/debriefing	15:15	Final discussion/debriefing
		16:00	End of the day	16:00	End of the day



## Liite J: Observational findings for each scenario and for each crew

	Crew 1	Crew 2	Crew3
Scenario 1			
IRD	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Pump at a time went off and yellow ring appeared around them. Yellow frame was already around the first stopped pump when operator noticed it.</p> <p><b>Difficulties:</b> S004 valve is not shown on IRD. Set point symbol was not remembered/ recognized. Reading direction in the middle part of the IRD was commented.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Turbine operator first observes from the IRD that TK50 pumps were tripping (yellow alarm frame appear around the pump). At the same time reactor operator raises his glance from workstation displays and the moving black dots (pressure) catch his eyes. After that an alarm was triggered and the colour of the circle of the pump symbol was changed.</p> <p><b>Difficulties:</b> S004 valve is not shown on IRD. Operators also complained that they did not have enough individual screens in use.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Operator first observed that there is an alarm at TK and then reported that TK51 pumps give alarm (yellow alarm frame appeared around them) and that they have stopped. After that they could see when pressurizer level was subsiding.</p> <p><b>Difficulties:</b> S004 valve is not shown on IRD which is why operators thought that from the alarm list they could then find the reason why TK pumps stopped. Operator needed to follow the capacity of the pumps from the workstation displays.</p>
Trad.	<p><b>The failure was detected:</b> LSD Trad.</p> <p><b>First observations:</b> operator detected when valve started to close, its colour changed from full white to back with only white frames. The failure could be detected faster with the trad. displays.</p> <p><b>Difficulties:</b> Trad. large screen display was experienced too crowded.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> Event list</p> <p><b>First observations:</b> Operator observed from event list that for some reason valve was closed. After that he observed movement in event list and saw that TK pumps were tripping. Even though failure was detected through individual workstation displays operator thought it was illustrative presented on LSD.</p> <p><b>Difficulties:</b> Trad. large screen display was experi-</p>	<p><b>The failure was detected:</b> LSD trad.</p> <p><b>First observations:</b> Operator first observed that something happened to TK51 pump. After while he states that valve might have switch off and start to see it little bit more carefully and then find out that valve TK10S004 has closed.</p> <p><b>Difficulties:</b> In trad. LSD both S004 valves are showed whereas in IRD those are not presented. One operator commented</p>

Liite J: Observational findings for each scenario and for each crew

		enced crowded and one operator reported that because he had not used display so much he had difficulties to find elements.	that knowing the exact numerical value helped him to evaluate the situation. On the other hand operators wanted to see also trend information that they thought to complement numerical values. Operators also commented that flickering helped them to see the closing valve and that colour change only is not enough.
<b>Scenario 2</b>			
IRD	<p><b>The failure was detected:</b> Event list</p> <p><b>First observations:</b> Operator was waiting something to happen and saw on IRD when red frame appeared around the valve</p> <p><b>Difficulties:</b> It was not easily observed when the outlet valve opened. By-passing was not detected easily. No clear picture about the extent of the change in steam generator's level.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Operator noticed that Rockwell went again off based on his observations that the level rose (red alarm frames) and steam generators pressure rose. After that also the relief valve was observed to be opened (red alarm frame appeared around it).</p> <p><b>Difficulties:</b> At the first place operator had difficulties to recognize which was the valve where red alarm frames appeared around.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Operators first observations were that RA-pressure started to drop down (not yet alarm frames) and in the steam generator it was something like 56... Before RA-pressure was mentioned there was already two red alarm frames appeared on IRD (operators did not notice these) After this they recognized that steam Rockwell had switch off and relief valve opened (red alarm frames around).</p> <p><b>Difficulties:</b> The visualization of by-passing state was not distinctive enough.</p>
	<p><b>The failure was detected:</b> LSD Trad.</p> <p><b>First observations:</b> Rockwell turned off and symbol colour turned from white to red (alarm).</p> <p><b>Difficulties:</b> flow information was not perceived from trad. display so easily → no trend inf.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> LSD Trad</p> <p><b>First observations:</b> Turbine operator notice first that Rockwell closes. Reactor operator noticed what was happened when turbine operator informed him. After that he could see from LSD that valve was closed and pressure was high.</p> <p><b>Difficulties:</b> Reactor operator commented that it was not really easy to see failure from trad. LSD either. He needed to carefully concentrate on recognizing the right line and elements.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> LSD trad.</p> <p><b>First observations:</b> Operator first saw that something happened in steam generator 56. Pressure he reported to be 58 and asked if it is possible to see if the relief valve is open. Then he reports that Rockwell is flickering and it is closed and that steam flow has gone to zero.</p> <p><b>Difficulties:</b> Operators had difficulties to see if the relief valve was opened (valve is then coloured with white). Operators thought that by-passing was clearly presented. RD was not presented in trad. LSD and its level information in this situation would have been important.</p>
Trad.			



Scenario 3			
IRD	<p><b>The failure was detected:</b> From the workstation display/ IRD</p> <p><b>First observations:</b> preheater's level rises and yellow frame appears around bar graph (when operator detected this there was already alarm frame around the bar). Then stuck valve was noticed. Other signs that the reactor operator detected and recognized were that the control rods were raising, RA-pressure and the level of pressurizer were changing.</p> <p><b>Difficulties:</b> By-passing was not detected clearly it was described faint. Valve codes were wanted to be shown to be able to locate right one.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> because of the technical problems with the simulator getting into the right starting state was difficult and took long time. For those reason it was not possible to start up the planned scenario</p> <p><b>First observations:</b> Even though in the end it was not possible to run the planned scenario operators got a lot of operating experience with IRD display.</p> <p><b>Difficulties:</b> Output power were tried to increase from 80% to 100% at the beginning of this scenario. The IRD display was glanced now and then to see that everything was as it should (no yellow colour). Reactor operator commented that some important measurements that he wanted to follow were a bit scattered around the screen. Also bypassing was not detected clearly it was described faint.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> High pressure preheater's level is rising. The level seems to rise and then drop down a bit and then again starting to rise (moving direction arrow illustrates that). Operator tries to operate some valves and open them to see what kind of affect these activities has on the process. Level is still rising. After while they start to think it might be some kind of controller fault.</p> <p><b>Difficulties:</b> Operator liked direction arrows that appeared to bar graphs. Direction information was essential and helped to see the situation and the affect of their operations. Operators had difficulties to read control calve panel information or they did not noticed that there was so big deviation between the actual and expected valve positions.</p>
Scenario 4			
IRD	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Feed water tank's level started to sink (when operator noticed this red alarm frame had appeared already around it).</p> <p><b>Difficulties:</b> Operators wanted to see three-way valve's position information, not shown on IRD at the moment. It was not noticed when RU pumps stopped running.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> The operator looked at the flow graphs that showed 0 and then he noticed that the RU pumps had stopped. The other operator did not notice that but he found that the levels of feed-water tanks were sinking (this happened before red alarm frame appeared around the bar graph).</p> <p><b>Difficulties:</b> Because the RU pump had just stopped and not tripped there wasn't any alarm frames attached to it which made noticing it more difficult.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Operator found out that RU pumps have stopped because he noticed that feed water tank's level is dropping down.</p> <p><b>Difficulties:</b> The colour change in pump symbol when the pump state changes from on to off is not strong enough and it was not perceived.</p>

Liite J: Observational findings for each scenario and for each crew

Scenario 5			
IRD	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> The operator detected the failure by looking at one of the bar graphs. Triangle symbol dropped down and numerical value appeared underneath it. After that he could see that TE11 valve opened.</p> <p><b>Difficulties:</b> It is not first clear either the broken thermometry is in cold leg or hot leg. Operators have difficulties to interpret display layout because there is no codes</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> The operator first noticed a small but abrupt deviation of the level of pressurizer (red alarm frame had appeared around it) which usually points to some sudden measuring error our fault. Then he opened alarm list and noticed thermometer alarm was released.</p> <p><b>Difficulties:</b> Other operator had difficulties to interpret the situation and signs on IRD when there were no element's codes offered.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Turbine operator observes that pressurizer's level has risen abrupt. After that they are able to see there is one thermometry gone to 0 (one triangle in bar graph has dropt down).</p> <p><b>Difficulties:</b> Operators reported that it would have been easier to see the broken thermometry if around the bar graph presenting it would have appeared yellow alarm frames (Need for defining conditions in which frames could appear around the thermometry).</p>
	Scenario 6		
IRD	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> It was detected that RA pump turned off (alarm frames appeared and pump changed colour). Feed water pumps started to alarm.</p> <p><b>Difficulties:</b> Simulator caused problems because some pumps at IRD appeared to be on even in reality they were not. Information about how much RCs were open was needed. Loop's pressure is not clearly presented in IRD. Rearranging electricity board was wanted.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> The operator noticed that RV pump stopped (colour change and alarm frame). After that also the other pumps were observed to be stopped (colour change and alarm frame).</p> <p><b>Difficulties:</b> Simulator caused problems because one pump at IRD appeared to be on even in reality it was not. Operators also reported that in this situation sounds in control room would have been essential information source.</p>	<p><b>The failure was detected:</b> IRD</p> <p><b>First observations:</b> Operators noticed that there is something serious going on and that pumps are not working as they should. They also reported that steam generators' levels are dropping down rapidly.</p> <p><b>Difficulties:</b> Because of the simulator model some pump appeared to still running on the IRD and this confused operators. After while the whole simulator turns down and run is stopped. During the debriefing they noticed that there has been outage in one of the redundancy (there is not voltages in BV bus bar).</p>

# Liite K: Debriefing questions

## LOVIISA-PILOT-TESTI

### Kysymykset kunkin ajon jälkeen yhteisesti molemmille operaattoreille

1. Mikä oli ensimmäinen vihje jostakin poikkeavasta?
2. Missä ko. informaatio näkyi (IRD-näytöllä tai muualla)?
  - Oliko selvää, mitä ko. tieto tarkoittaa?
  - Miten ko. tieto oli mielestänne esitetty?
  - Tarvittiinko lisätietoa?
  - Mitä tästä tapahtumasta seuraa?
  - Mitä operaattorin pitää tehdä / mitä teitte?
3. Mikä oli seuraava asia, jonka huomasitte?
4. Missä ko. informaatio näkyi (IRD-näytöllä tai muualla)?
  - Oliko selvää, mitä ko. tieto tarkoittaa?
  - Miten ko. tieto oli mielestänne esitetty?
  - Tarvittiinko lisätietoa?
  - Mitä tästä tapahtumasta seuraa?
  - Mitä operaattorin pitää tehdä / mitä teitte?
5. Mihin asioihin sen jälkeen kiinnititte huomiota?
6. Miten nämä IRD-näytöt palvelivat tämän tehtävän suorittamista?
  - Missä määrin IRD-näytöt helpottivat tilanteen hahmottamista?

7. *Miten hyvin tehtävässä tarvittavat tiedot löytyivät näytöltä?*

- Olisiko tiedon esitystapaa mahdollista parantaa?

8. *Mikä oli erityisen hyvää/puutteellista?*

9. *Tapahtuiko ajon aikana IRD-näytöillä muutoksia, joiden syytä ette ymmärtäneet?*

10. *Oliko jotain, minkä olisi pitänyt näkyä näytöllä tässä tehtävässä mutta jota ei kuitenkaan näkynyt/tapahtunut?*

- Toimiko järjestelmä tavalla, joka vastaa sitä, miten sen teidän mielestänne pitäisi toimia?
- Parantaako IRD-näyttö tämänkaltaisen tehtävän suorittamista verrattuna perinteiseen suurkuvanäyttöön/prosessitietokonenäyttöihin?

11. *Miltä tuntui käyttää IRD-näyttöjä yhdessä prosessitietokonenäyttöjen kanssa tässä tehtävässä?*

12. *Olisiko teillä joitakin parannusehdotuksia koskien tämänkaltaisiin tapahtumiin liittyvän tiedon esittämistä?*

## **Loppukeskustelu**

**Yleisvaikutelma:** Minkälainen yleisvaikutelma IRD-näytöistä teille muodostui?

**Poikkeamien havaitseminen:** Auttavatko IRD-näytöt operaattoreita havaitsemaan häiriöt / poikkeavat tapahtumat?

**IRD-näyttöjen keskeiset ominaisuudet:** Mitä mieltä olette IRD-näyttöjen keskeisistä ominaisuuksista?

- Normalisointi
- Trendien ja palkkien ryhmittely
- *Dull Screen* -periaate, värien käyttö

Tietosisällöt: Onko IRD-näytöillä esitetty kaikki olennaiset tiedot? Onko jotakin turhaa?

Tiedon esitystapa: Miten tiedot on mielestänne esitetty IRD-näytöillä? Missä on parantamisen varaa?

Miten arvioisitte IRD-näyttöjä seuraavien ominaisuuksien suhteen?

- Näytön selkeys
- Näytön jäsenyisyys ja osakokonaisuuksien erottuminen
- Osakokonaisuuksien sijoittelu
- Esitystavan yhdenmukaisuus
- Värien käyttö
- Symbolien käyttö
- Putkilinjojen esittäminen
- Elementtien kytkeytyminen toisiinsa
- Informaation (esim. numeeriset merkinnät) yksityiskohtaisuus

**Tiedon löytäminen:** Oliko tiedot helppo löytää IRD-näytöiltä?

**Yhteiskäyttö:** Miten IRD-näyttöjen ja prosessitietokonenäyttöjen yhteiskäyttö sujui?

**Oppiminen, perehtyminen:** Miten helppoa IRD-näyttöä on oppia käyttämään? Mitkä opitte helposti, minkä oppiminen oli vaikeampaa? Oliko saamanne perehdytys riittävä? Minkälaista perehtymisen tulisi olla sisällöltään? Pystyittekö hyödyntämään yhdistettyä (*information rich*) informaatiota?

Normalisoinnin seuraukset?

Kadotetaanko yhteys fyysikaaliseen todellisuuteen / ydinvoimaproessiin?

**Tilannetietoisuus:** Auttavatko IRD-näytöt operaattoreita hahmottamaan, mistä tilanteesta/tapahtumassa on kyse?

**Yhteistoiminta:** Mikä vaikutus IRD-näytöillä on operaattorien väliseen yhteistoimintaan?

**Jatkokehitys:** Miten näitä näyttöjä pitäisi kehittää edelleen?

**Lupaavuus:** Miten lupaavilta IRD-näytöt teistä tuntuvat? Ovatko IRD-näytöt teidän mielestänne ratkaisu digitaalisten valvomoiden keskeisiin ongelmiin? Korvaavatko IRD-näytöt paneelit?



## Liite L: Positive comments concerning the Fortum IRD pilot displays

**(Or1, sken2, IRD)** Kyllähän tuon näki tuolta hyvin. Kyllähän tuo erottui aika hyvin tuosta tuo Rokwelli ja varo, eihän siinä mitään... Voisi sanoa että olennaiset näky kyllä ihan hyvin. (Pääkiertopumput pysäytettävä, varoventtiili lähti auki, höyrystimen pintaa seurattava, tehonrajoitukset.)

**(Or1, sken2, IRD)** No siitä mä näin juu tuosta ja sitten mä pysäytin pumpun ja sitten kyllä tästä näkee että pumppu pyörii takaperin... Tietysti sitä ennen pitää katsoa että tehot tippuu tuonne.

**(Or1, sken3, IRD) Jari:** Joo... Niin sä sanoit että tuo on ihan hyvä nuoli että?  
**O:** On joo on... (näyttää suunnan)

**(Or1, sken2, trad) O:** Niin siis tässä (trad) ei näe sillain niin kun niitä virtauksia sillain ihan niin kun (??) kuin siinä kun ne palkit tiedätkö menee niin siitä huomasi heti että mitä on tapahtunut...

**Jari:** Juu'u.

**O:** Että tuo arvon lähti tietysti alas mutta...

**Jari:** Tässä on nyt... niissä näytöissä on sitä palkki ja trendidataa joka...

**O:** Niin siinä suhteessa se on parempi kuin...

**(Or1, sken2, trad) Jari:** Mikäs se paras ratkaisu olisi... Olisiko se jokin näiden kombinaatio...

**O:** Ai ai nyt tuli paha kysymys...

**Jari:** Tai mihin suuntaan te lähtisitte tätä kehittämään? Jari: No varmaan tämähän on jonkunlainen se minkä te olette...

**O:** Pakkohan se on varmasti jonkinlainen kompromissi oltava...

**(Or1, sken4, IRD)** Kun nää pumppusymbolit ymmärtää niin nää on aika kuvaannolliset. Tossakin kun käynnistin ton niin se otti tehoa, virtaa tonne...

**(Or1, sken6, IRD) O:** Että tuossahan on nuo höyrystimen nuolet ylöspäin niin ne on kyllä ihan kuvaavat että pinnat ovat nousussa.

**(Or2,sken4, IRD) O:** Kyllähän ne tuosta tietysti jos tuosta nyt haetaan... tai tollain... Näkeehän tuosta hyvin yhdellä silmäyksellä että ne vaikuttaa sitten...

**O:** Vaikutus on halutunlainen.

**Jari:** Joo.

**(Or2,sken4, IRD) O:** Vaikea... Sitä on niin vaikea sanoa kun on tottunut johonkin ja sitten yhtäkkiä sitten uusi... Mutta kyllähän mä tietysti näkeehän sen nyt muutaman minuutin jälkeen tuosta pystyi katsomaan... Varmaan se on aika... Hyvin vaikea sanoa että mikä on paras tapa esittää mitäkin mutta kyllä tuosta nyt selville käy.

**(Or2,sken4, IRD) Jari:** Joo... Nuo trendit ovat havainnolliset?

**O:** Joo kyllä nuo on aika hyvät tuo syöttövesi ja lauduttimen.

**Jari:** Joo.



## **Liite M: Summary of debriefing discussions**

The interview summary table presenting operators' comments on the IRD concept and the pilot is divided into two sections: 1) Information Rich concept – general features and 2) Loviisa Information Rich Display pilot.

The first column describes and defines the design problem under consideration in each row. The second column includes citations that have been collected from interviews and discussions carried out with the operators during the training and testing sessions (this part of the table is in Finnish). Third column sums up the amount of comments or discussions around the concerned subject (1 to 7 is marked with yellow colour, 8 to 16 with orange and 17 to 24 with red). The last column describes in more detail the problem and/or presents proposals for improvements.

	Design problem definition	Operators' comments	Amount	Proposal for improvement
<b>Information rich display – general features</b>	<b>IRD function</b>			
	Display is designed for 100% power	Crew2 (end discussion): "Toisekseen kun tämä on tarkoitettu tehoajon yleisnäytöksi...Se on rajoittanut." Crew2 (end discussion): "Minä en itse näe järjeä...Uhraisinko minä valvomosta näin ison osan tätä tarkoitusta varten." Crew3 (scen3, debriefing): "Tuolta käynnistyisi periaatteessa eri näyttö" ... "jossa on painotettu sitten semmoisia olennaisia." Crew3 (end discussion): "Turbiinilaitoksen tietyt asiat pois siitä silloin kun on pikasulkuventtiilit kiinni niin silloin siihen saisi just kaikki RCT ja ulospuhallusventtiilit ja vähän niin kuin seisokki tila formaattia enemmän..." Crew3 (end discussion): "Samasta konseptista joku redusoituversio tai semmoinen missä olisi tiettyjä asioita..."	10	Plant state based displays.  Some parts or elements of IRD full power display disappears when moved to a different plant state. New, plant state relevant information should be shown instead.  Display should change automatically when entered to the new plant state.
	<b>Information presentation</b>			
	Display normalization, physical measurements and numerical values	(training): "On paljon prosessiarvoja, joissa on normaalisti jatkuvaa muutosta. Esimerkiksi primääripaine, jossa on vastuksia ja pumppuja, jotka automaattilla puuttuu peliin. Siksi pitäisi koko ajan näyttää alkuperäistä signaalia, ei voi ikinä näyttää normalisoitua mittausta." (training): "Tuossa ei ole siis ajateltu, että minitrendissä olisi lukuarvoja?" Crew1 (scen3, debriefing) "Nuo nuolet ovat kuvaavat mut nouseeko pinta nopeasti vai hitaasti?" "Katsotaan me siitä putkeltakin että kun pinta laskee tai nousee niin meneekö se liian nopeasti." Crew1 (scen3, debriefing): "Kuvaako tämä nyt sitten miten paljon lämpötila on tippunut alas?" Crew3 (scen3,debriefing): "Minä laittaisin tuohon kylkiäisenä sen numeroarvon." Crew3 (scen4,debriefing): "Operois ja katsoisi kokonaiskuvaa siitä... Ei minua hirveästi kiinnosta tuo käyrä että laskeeko vai nouseeko se... Kyllä minua siinä vaiheessa kiinnostaa enemmän se että paljon sitä vettä siellä on."	22	While operating a component the exact physical measurement /numerical value appears next to the operated target element at IRD.  Exact numerical value can be brought out by pointing the IRD element with cursor.  Exact numerical values are shown all the time at IRD from the most critical components.
	Similarities and differences between the interface concepts used in the control room	(training): "Onko tää nyt meidän prosessista?" Crew2 (scen5, debriefing) "No periaatteessa meillähän on joissakin tällainen automaattinen/manuaali mitä tähän nyt vielä löytämiseen... Ehkä tuolla voisi	5	Symbols and symbols' colours should be used as coherently as possible.

	<p>esittää kirjaimilla a on automaatti ja m manuaali.”</p> <p>Crew3 (end discussion): ”Tuohon niin kuin tuo PI-kuva ja toi kuva ja toi, ne on kaikki erilaisia... Ne on kaikki eri paikassa.”</p> <p>Crew3 (end discussion): ”Onhan meillä tällä hetkellä PI-kuva niin siitä on tehty versio mikä on siellä seinällä” ... ”Jos se tehdään niin kuin uusia kuvia niin mun mielestä ne pitäisi tehdä samoille pohjille.”</p>		
Control valve panel and valve information connected to the mini trend symbols	<p>(training): ”Meillähän on paneeleilla sellaisia säätäjiä joista näkyy.” ”Tuollainenhan on ihan olennainen ominaisuus että jostakin on nähtävä säätöpoikkeama.”</p> <p>Crew2 (end discussion): ”Ainakin tällä kokemuksella jää täysin niin kuin huomioimatta niin kuin tuo asetusarvo tai säätöventtiilin asento mikä se nyt onkaan sitten.”</p> <p>Crew3 (scen3, debriefing): ”No kyllä se olisi pitänyt huomata että se poikkeaa siitä että pyyntiä on enemmän kun venttiili on auki... Mä en sitä huomannut lukea.”</p> <p>Crew3 (scen3, debriefing): ”Näkykö se tarpeeksi hyvin se että just se lähtö että mitä se automatiikka haluaisi sen asennon olevan ja mikä se asento on.”</p>	4	With this amount of training, operators were not able to take advantage of valve position information.
Flickering information	<p>(training): ”Meillähän vilkkuu niin kauan kuin kuitataan hälytys.”</p> <p>Crew1 (scen2, debriefing): ”Sitten tietäisi jos pitäisi kuitata niitä hälytyksiä... Tässä pitäisi... Aina välillä että se välkyntä poistuu.”</p> <p>Crew1 (end discussion) ”Jonkun aikaa sen pitäisi siinä vilkkua, sitten sen pitäisi poistua sitten kun se on kuitattu.”</p>	4	Information about the need to acknowledge an event should be provided for the operators.
Symbols for pressure, temperature, flow and level	<p>(training): ”Paine on pallukka ja viiva on pinta. ... Kolmio ois niinkun luonnollinen virtauksen symboli, mutta...”</p> <p>(training): ”Mikäs toi pallukka oli?” ”Paine. Sekin kiinnostaisi kyllä se arvo.”</p> <p>Crew3 (scen 4, during the scenario): ”Tai sehän on RU pinta... Ai niin se oli pinta... Vai onko tämä neliö... Ei kun on se RV-virtaus...”</p>	3	With this amount of training, operators still misinterpreted symbols sometimes. More testing and driving with IRD is needed.
Symbols' sizes	<p>Crew2 (scen3, debriefing): ”Venttiilit ne ovat aika pieniä tuossa.”</p> <p>Crew2 (scen5, debriefing): ”Varmaan nyt kannattaa ainakin miettiä onko noita mahdollista isontaa noita symboleita.”</p>	3	
Pump symbols' running speed information	<p>(training): ”Sellasi pumpput on paljon, mut onko tollasi olenkaan mitä peilataan 100 % tehoon?”</p> <p>(training): ”Sitten kun siellä on neljä pumpputa käynnissä koko ajan, tälläkin hetkellä Loviisa ykkösellä niin yks</p>	1	The usefulness of pumps' running speed information should be considered in the case of Loviisa pilot.

	pumppu pumppaa 225 ja neljäs pump- pu pumppaa 176 kiloo, mut se johtuu siitä se on niinku palkat, kaikki on erilaisia vehkeitä, ei oo kahta saman- laista vehettä.”		
<b>Display layout and structure</b>			
Arranging mini trends and bars in continuous lines	Crew1 (scen1, debriefing): ”Just tämä lukusuunta niin tämä on vähän... En tiedä. No se että katso kun mehän kirjoitetaan ja luetaan vasemmalta oikealle...” Crew1 (scen1, debriefing): ”Prosessia luetaan niin kuin tuolta oikealta vasem- malle tuossa keskellä ja kuitenkin kaikki mittarit ja lukuarvot luetaan niin kuin vasemmalta oikealle.” Crew1 (end discussion): ”Sitten kun mennään normaalin lukusuunnan suhteen väärään suuntaan ei siinä arabitkaan pärjää kun trendit menee toiseen suuntaan... Niin pitäisikö tämä miettiä ihan kokonaan uudestaan... Kun mehän luetaan vasemmalta oikealle.”	3	
<b>IRD colour concept</b>			
Green and grey colour in IRD elements	(training): ”Niin kuin oli puhetta niin vihreä väri ei kyllä erotu alkuunkaan.” (training): ”On niin pieni ero toi harmaa ja vihreä.”	8	The green colour is experienced most problematic in IRD because it has been used for many different elements at IRD and the green colour also indicates many differ- ent meanings.
Dull Screen -principle	(training): ”Eikä harmaa harmaalla pohjalla käy.” (training): ”Tumma pohja on sikäli helpompi, että se meillä on ollut en- nen.” ”Saadaan sellainen harmaa, hirveä mössö.” Crew3 (end discussion): ”Sehän tulee tällaiseksi... Niin sittenhän se (musta- tausta) poikkeaa liikaa... Kun kerran kuvaputket tulee tämmöiseksi... Että tätä nämä operaattorit eivät nyt ota huomioon... Ne tykkää että tähän on totuttu tähän mustaan...”	4	The display is thought to be too grey. The green colour is experienced most problematic.
Alarm colours	Crew2 (end discussion): ”Siinä jää epäselväksi että onko se käynnissä vai eikö se ole.” ”Riippuu kuinka tarkasti värejä näkee.” Crew2 (end discussion): ”Keltainen muuttaa sen sisäosan värin.” Crew2 (end discussion): ”Värikontrasti on hirveän paljon kiinni tästä esityslait- teistosta.” Crew2 (end discussion): ”Vaan tällai- nen ohut keltainen rinkula tässä... En tiedä sitten... Sen tarvitsee näkyä kuitenkin sen käyntitiedonkin.”	2	Generally alarm colours were considered good.  Yellow alarm frames mix up with the colour inside these frames especially green and grey colour.

<b>Information presentation</b>				
<b>Fortum Information Rich Display pilot</b>	Elements' code and name information	<p>(training): "Onks noi virtauksia?" "Kyllä." "Mut mitä virtauksia? RU?" "Se on RV:stä se toinen pumpu. Ja RU-säiliön pinta." "Mistä sen voi tietää?" "Ne pitää opetella ulkoo."            (training): "Jotakin sentään tunnuksia pitää laittaa."            Crew1 (scen1, debriefing): "Mulla on vielä tämä näyttö vielä vähän hakusesa että mikä on mitäkin tuolla... Että pitäisikö siellä olla enemmän noita tuommoisia tunnuksia."            Crew1 (scen3, debriefing): "Niin sekin pitää tietää että se on just se venttiili... Kun ei siinä ole tunnusta."            Crew2 (scen3, debriefing): "Kesti vähän aikaa että ymmärsin että se oli luupinmittaus sama luupinmittaus siinäkin." "Niin kun siinä ei ole mitään tunnuslukuja."            Crew2 (end discussion): "Saisiko sinne vielä ne tunnuksinkin."            Crew3 (scen 4, during the scenario): "Tässähän pitää arvailla mitä syytty tuolla."</p>	11	<p>Codes and names for the elements are presented (for example with grey colour as a part of static background).</p> <p>Checking easily elements' codes and names is made possible (moving the mouse cursor over the element).</p>
	Presenting pipe lines	<p>(training): "En mä vaan tiedä, ei ookaan kun se on syöttövesitukki, kun siinä on nuolet toleen, vai mistäs ton nyt tietää?"            Crew1 (end discussion): "Miksi tuossa on tuommoiset nuolet?" "Siinä on höyrytukki pätkittäin, se vaan osoittaa että se jatkuu seuraavaan pätkään." "Nuolellahan yleensä kuvataan virtaussuuntaa... Tässä vois olettaa että virtaa tuonne... Tässä nämä kaikki RA-tukin virtaukset on piirretty tuohon RQ00 meneväksi."            Crew1 (end discussion) "Kyllä ne pitää näkyä jos ne korvataan ne taulut sieltä." "Niitä on lisätty...Noita linjoja ei ollut, syöttövesi- ja höyrylinjoja... Ja venttiilejä on lisätty lukemattomia."            Crew3 (end discussion): "Mehän on totuttu että kun on isoa putkea ettei ne ole mitään 0.1 viivoja... Se on ihan tärkeä se kokonaisuus hahmottuu että..."</p>	5	<p>Presenting more pipe lines should be considered.</p> <p>Pipe lines that in reality are large size should be presented with thicker/stronger lines also on the IRD.</p>
	Mini trend and bar-like symbol information	<p>(training): "Riippuu prosessista, kuinka paljon arvoja on seurattavana. Normaalisissa tilanteissa ydinvoimalaitoksessa reaktorimestari seuraa 100 arvoa, turbinisti 300 arvoa, joten trendejä tarvittaisiin todella paljon."            Crew2 (end discussion): "Generaattorin tehoista ei tullut tehtyä historiaikkunaa eikä neutronitehosta."</p>	3	<p>Generally the information presentation through trends was perceived good. Bar-like symbols were perceived more problematic as they did not offer history information or numerical values.</p>

Liite M: Summary of debriefing discussions

	Broken thermometry	Crew3 (scen 5, debriefing): "Tuossa kun olisi tuo mittaus, niin kuin täällä tuli, jos se menee rikki siihen tulisi joku keltainen raami... Sieltä sen heti näkisi."	1	Defining conditions in which yellow frames could be shown when some of the temperature measurement gets broken.
<b>Display layout and structure</b>				
	Location/placement of some components are illogical and unfamiliar to operators	Crew1 (end discussion) "Tuo kuva vois järjestyä uudelleen jos jatketaan." Crew1 (end discussion) "Pystyiskö tätä ryhmittelyä jotenkin eri tavalla?" Crew2 (end discussion): "On selvä että pitää tiivistää...Nyt vie turhaa tilaa." Crew2 (scen3, debriefing) "Siinä on vähän ripoteltu vähän reaktorimestarin kannalta ainakin tuo paine RA-paine on tuolla ja sitten tuolla on paineistimen pinta ja neutroniteho että en tiedä pitäisikö niitä jotenkin vähän järkkäillä..." Crew3 (end discussion): "Sekundaaripiirissä mä haluaisin että tuo viiva olisi noin ja toi noin niin se olisi selkeämpi...koska tuo RA-tukki on sellainen ohut laiha ja siitä ne ulospuhallusventtiilit ja siitä ne RC:t niin huonosti." Crew3 (end discussion): "Pumput kun ne ovat tuolla puolella ja ne on yleensä meidän puolella... Ollaanko me loukkaantuneita siitä?"	24	Preheaters take too extensive role: presenting RH as a one container.  RY exhaust is misplaced.  RA-log should be brought up strongly.  RC made more visible in reactor trip.  RT pumps should be relocated to the right side of the IRD.  More space should be arranged for the reactor coolant pumps.  All auxiliary (e.g. VG, RU) pumps could be located in one place.  Generators should be relocated after the turbines.  TC is misplaced and TF should be presented.
	Electric board	(training): "Nuo sähkötaulut poistetaan tuosta. Ei niillä ole mitään. Se on Rein keksintöä." (training): "Meillähän on erottimen tunnuksset pyöreitä ja katkaisijat on neliöitä." Crew1 (end discussion): "Kun ei väriä se on auki, kun se on vihreä se on kiinni, mutta sitten se ryhmittely miten sen pitäisi olla, sen vois ajatella uudestaan." Crew2 (end discussion): "Sähköjärjestelmien ei tarvis olla tällä näytöllä." "Dieselit vois jättää muut vois syrjäyttää." Crew2 (end discussion): "Elän edelleen siinä toivossa että näistä sähköjärjestelmistä saataisiin oma taulunsa."	5	Rearranging the electric board.  Illogical use of green colour. Green colour should be used uniformly through whole IRD (green pump is on, whereas green electric switch is off).

Separated process parts and subsystems	Crew3 (end discussion): "Sitten jos sinne tulee sitä mimiikkakuvaa niin sittenhän pitäisi jotenkin näkyä että tuossa on RM10 paketti sieltä taululta että se on erotettu... Niin kuin nyt meillä on laitetaan laput tuonne nappuloiden päälle." Crew3 (end discussion): "Täytyyhän se sitten näkyä täältäkin että mikä osa on korjauksessa."	1	Separated components/subsystems should be presented.
<b>Fortum pilot's colour concept</b>			
Colouring of bypassing	(training): "Aika vaatimaton." Crew1 (scen2, debriefing): "Ei se ole kovin iso se muutos, tehokkaasti se häviää tuohon massaan." Crew3 (end discussion): "Mä kysyin häneltä että onko RHssa mitään vikaa niin eihän siitä nähnyt kun se oli pikkuisen haalea... Siellä on kaksi ohitukseksa... Ja sehän on ihan väreillä tehostaa tai että sieltä olisi vallon lähtenyt ne pöntöt pois..." Crew3: "Mäkin jouduin tässä kauan miettimään että kun pinta korkea että onko se ohituksella."	13	Stronger visual cue or difference between normal state and bypassing state (with colours or by taking/removing the elements when they are bypassed).
Alarm information	Crew3 (end discussion): "Hälytysinformaation mukaan otto niin siihen pitää ilman muuta satsata." Crew1 (end discussion): "Kun nyt tässä RC:t on auki niin olettaa tuon punaisen häiriönä." Crew1 (scen6, debriefing): "Vähintään piti muuttaa punaiseksi sen katkasi-jan." "Olisi saattanut jäädä multakin huomaamatta."	8	The use of alarm colours (yellow and red) in Loviisa pilot. Red colour is used illogically to pick out/highlight events happened in IRD even if everything had worked as it should (e.g. quick-closing valves).  Alarm priorities must be congruently defined in both operators' personal workstations and large screen displays.  The logic behind presenting alarms at IRD must be that the alarm signs/frames are used only when something is working abnormally or malfunctioning.
Light grey background	(training): "Kontrasti on yleisesti ottaen karmaiseva." Crew1 (scen3, debriefing): "No ainakin tämä kun täällä on niin pimeätä että täällä on hirveä kontrasti että ei tätä pystyisi kahdeksaa tuntia katsomaan." "Vähän liian kirkas tällaiseen." Crew3 (scen 4, during the scenario): "Pitää firman hankkia niitä aurinkolaseja."	4	As it is now the light gray background of IRD is perceived too bright.

Liite M: Summary of debriefing discussions

	<p>The colour change between pump's states on/off</p>	<p>Crew2 (end discussion): "Pumppujen väri on tietysti huono."          Crew2 (end discussion): "Siinä on vihreätä mutta kun siinä on se keltainen niin se sotkee kun vertaa noihin mitkä on tuolla päällä ja siinä on se valkoinen."          Crew3 (scen 4, during the scenario): "Nyt on semmoinen juttu, että huomasin että RU-pumput on seis... katselin että syöttövesisäiliön pinnat laskevat... Muuten en olisi oikein huomannut tuosta väristä...Huomaatko sinä että joku pumppu on seis... Kun ne on harmaat."          Crew3 (scen 4, during the scenario): "Se voisi olla selvempi jos semmoisista pumpuista joista yksi täytyy käydä ja jos molemmat on seis niin ne tulisi sitten paremmin esille."</p>	<p>5</p>	<p>There is too small difference between grey (off) and green (on) colour used for describing pump states.</p>
	<p>Control rows, green colour</p>	<p>Crew1 (scen6, debriefing): "Kun ne sauvat putoavat alas niin että se on normaalin näköistä ja vihreää, niin se ei ole oikein loogista."          Crew1 (scen6, debriefing): "Loogista olisi että kun nuo sauvat on alhaalla niin olisi hälytyskehys." "Ei se saa olla tuon värinen kun ei se ole perus."</p>	<p>1</p>	<p>The use of green colour is problematic because even if the control rows have dropped down the situation at IRD looks normal. Changes at control rows are not easily perceived.</p>
<p><b>Usage practice</b></p>				
	<p>Interaction and complementary information</p>	<p>Crew2 (scen2, debriefing): "Olisi just hyvä nähdä sieltä suurkuvanäytöltä mitä kaveri tekee..."          Crew3 (end discussion): "Sieltä pitäisi saada niin kuin lisäinformaatiota hiirellä tuolta..."          Crew3 (end discussion): "Ei ole ihan mahdotonta sekään että siihen tuodaan niin kuin kursori siihen ja sä voit klikata sinne niin siitä tulee ikkunoita..."</p>	<p>10</p>	<p>IRD should be more interactive: it could offer more detailed information (e.g. numerical, codes and maintenance info) and information about other operators' actions.           Operating windows could be "clicked" open through IRD.</p>



## Liite N: Heuristic evaluation form

(1 erittäin negatiivinen – 5 erittäin positiivinen annetulla dimensiolla)

### Visuaalinen ilme

1. Onko heti tunnistettavissa, mitä näyttö esittää? (*familiarity*) \_\_\_\_\_
2. Onko tieto esitetty näytöllä loogisesti? (*logic*) \_\_\_\_\_
3. Erottavatko erityyppiset tiedot riittävän selvästi toisistaan?  
(*distinctiveness*) \_\_\_\_\_
4. Onko esitetty tieto helppo havaita ja lukea? (*readability*) \_\_\_\_\_
5. Onko näyttö jäsentynyt/selkeä? (*clarity*) \_\_\_\_\_
6. Miten arvioisit näytön sen selkeyden suhteen? (*overall clarity*) \_\_\_\_\_

### Yhtenäisyys

1. Ovatko merkintätavat yhtenäiset? (*consistency*) \_\_\_\_\_
2. Onko samantyyppinen tieto esitetty aina samassa paikassa näytöllä?  
(*consistency in placement*) \_\_\_\_\_
3. Onko tietyyntyyppinen tieto esitetty aina samassa muodossa?  
(*consistency in form*) \_\_\_\_\_

### Tuttuus

1. Ovatko merkintätavat tuttuja nykyisin käytössä olevasta  
käyttöliittymästä? (*familiarity of notations*) \_\_\_\_\_
2. Onko käytetty tuttuja termejä? (*familiarity of terms*) \_\_\_\_\_
3. Ovatko mittayksiköt samoja kuin nykyisessä käyttöliittymässä?  
(*familiarity of measures*) \_\_\_\_\_

### Yleinen käytettävyys

1. Onko uutta järjestelmää helppoa oppia käyttämään?  
(*overall usability*) \_\_\_\_\_



# Liite O: Functional situation model (FSM) of scenario Out3

Table O1. Functional situation model of Out3.

Function / Significance	Process events	Task	Information available		
			TRAD	ADV	EID
	Initial state: Full power				
Efficiency of the condenser, flow through the condenser	One seawater pump 441PB1 starts to decrease in speed and stops after 5 minutes. Increasing pressure in chamber 461EA1E2 => flow decreases from the pump => temp. after the chamber increases	T: Identify 441 PB1 decrease of speed  T: Identify increase of condenser pressure  R: Identify rise of reactor effect	Digital measurement of speed (% diff.)  Digital measurement of 331 HC pumps' speed	Digital measurement of speed (% diff.)  Digital measurement of 331 HC pumps' speed  Pressure minitrend	Graphical representation of pump's speed  Condenser efficiency diagram  Pressure minitrend
Condenser's heat transfer decreases  Plant efficiency decreases	Increase of seawater temp from 6 to 18C in 5 minutes => increase in condenser pressure and temperature	R: reduce reactor power  R&T: Read safety technical spec.: if seawater increases to 18, stopping cooling would be adequate	441 digital measurements of seawater temp., condenser pressure and pump's speed  Also long time trends	441 digital measurements of seawater temp., condenser pressure and pump's speed  Pressure minitrend	461 digital measurements of pressure, temperature and seawater temp.  Pressure minitrend  Graphical representation of pump's speed

Liite O: Functional situation model (FSM) of scenario Out3

		(If noticed 441 PB1 decreasing this problem may be interpreted falsely to follow from that)		Also long time trends	Condenser efficiency diagram
	Leak in 314VC3	R: Identify leaking valve	Alarm	Alarm	Alarm
Plant efficiency decreases Fortify the earlier problems	Load equipment malfunction and bypass valves open slightly	R: reduce power to close the bypass valves, manually open the spray valve	Valves not open, digital measurement	Valves not open, digital measurement	In display 421 graphical indication of bypass valves' position
Cooling of plant threatened	Increase of seawater temp to 25C		See above	See above	See above
Condenser functioning	421VA3V1 valve malfunction: opening slightly=> no cooling flows in the bypass inlet to the condenser	T: Manual opening of the valve possible	Digital measurements	Digital measurements	Small change in the 421 figure
Cooling containment's atmosphere Cooling of plant threatened	Heat exchangers' 723EA1 and EB1 efficiency decreases Temp. increases in the cooling system	R&T: Stop station, but manual protection chains are not available except containment isolation  R&T: Manual power reduction should be started	Display 723	Display 723	Display 723

## Liite P: Orientation interview

Med arbetsorientering menar vi personens subjektiva uppfattning av arbetets föremål/ändamål/innehåll. Orienteringen är en kunskapsmässig attityd som har en styrande effekt på det situationsmässiga agerandet.

1. Vad tänker du, vad är den kärnuppgiften i processoperatorns arbete? (vad är betydelsen/meningen/funktionen av ditt arbete?)
2. Hurdan är en god processoperatör?
3. I kontrollrummet finns det mycket information av processen:
  - a. Hur underhåller/skaffar du känslan om processen (/processens kondition)?
  - b. På vilken information följer du mest/vanligtvis? Varför?
  - c. Är larm den huvudsakliga utgångspunkten för ditt agerande?
4. Vad tänker du om procedurernas roll i processkontroll:
  - a. På vilka situationer eller vid vilken punkt tar du fram procedurerna?
  - b. Bestämmer du eller procedurerna?
  - c. Finns det situationer där procedurerna inte är tillräckliga för gott agerande?
5. Vad är som mest intressant i ditt arbete? Vad är som svåraste?
6. Presentation av processinformation i kontrollrummet har säkert ändrat under den tid som du har jobbat på kärnkraftverket:
  - a. Vad ser du som positiv utveckling?
  - b. Finns det också några negativa aspekter?
  - c. Har ändringarna inverkat på arbetssättet eller samarbetsättet?
  - d. Har du egna förbättringsförslag?



# Liite Q: Debriefing interview

Innehållet av debriefing-sessionen

Sessionens längd: cirka en timme

## A. Jämförelsen av de tre skärmkoncepten

(Vi tar fram bilder av de tre skärmkoncepterna, A: EID, B: Hambo trad., C: Hambo advanced.)

Ni hade säkert märkt att några skärmar varierade från en session till en andra. Syftet av detta experiment var ju att undersöka användbarhet av olika informationspresentationsformer. Det är intressant att höra era åsikter om användbarhet av dessa tre presentationsformer.

### Generell karakteristik av presentationsformerna:

1. Märkte ni att vi använde olika informationspresentationsformer i de här sex körningarna? Kunde ni skilja de tre presentationsformerna från varandra? (Ta fram bilder av de tre skärmtyperna.)
2. I vilka avseende skiljer de här presentationsformerna sig från varandra? Vilka var mer iögonfallande skillnader?
3. (Frågan till reaktormästaren.) Märkte du att presentationsformerna varierade mellan körningarna?

Tre olika skärmtyper användes i turbinmästarens arbetsplats. Om reaktormästaren har åsikter om alla dessa former, hans kommentarer är också välkomna.

4. Vilken skärmtyp var den tydligaste av de tre alternativen? Varför?
5. Vilken skärmtyp var den rörigaste och svåröverskådligaste av de tre? Varför?

## B. EID-skärmarnas noggrannare genomgång

(Vi tar fram bilder av EID-skärmar och konstaterar att vi härnäst analyserar noggrannare en av de tre koncepterna.)

Allmän utvärdering av EID-skärmar:

6. Under några körningar såg ni på dessa fem skärmar i mitten av de andra. Vilka slags särskilda egenskaper och kvaliteter märkte ni i den här presentationformen? Kunde du påpeka några exemplar av dessa egenskaper?

Särskilda frågor om EID egenskaper:

Nu är vi intresserade om hur väl tyckte du att den här skärmtypen stödde er i processkontroll. Till exempel:

7. Var de nyttiga vid felupptäcktet?
8. Var de nyttiga vid felhanteringen?
9. Var de nyttiga vid utredningen av felet?

Vi ställer härnäst specifika frågor om de skärmar och element som borde ha varit nyttiga i EID-körningar. (Man visar med fingret varje kritisk element.)

10. Kommer ni ihåg att ni utnyttjade denna egenskap under körningen?
11. Kommer ni ihåg hur ni utnyttjade denna egenskap?

EIDs potential som presentationskoncept:

12. Tycker ni att det skulle vara nyttigt att använda dessa slags egenskaper i informationspresentationen i er arbetsplats?
13. Tycker ni att det finns här egenskaper som i inget fall borde användas?
14. Om dessa slags egenskaper användas, vilken inverkan skulle de ha på er arbetssätt och samarbetssätt?
15. Var det svårt för dig att lära dig att använda dessa egenskaper?

**C. Allmänna frågor om experimentet:**

Till slut ställer vi några allmänna frågor:

16. Ni har utfört sex körningar under de två sista dagarna. Hur tyckte ni om dem?
17. Vad tyckte ni om de tre telefonavbrotten?
18. Tycker ni att dessa avbrott hade någon påverkan på er processkontroll?
19. Hur realistiska tycker ni att körningarna i simulatoren var?  
(Om tiden tillåter, skall vi också ställa följande frågor.)
20. Hur säkerhetskritiska tycker ni att scenarierna var?
21. Hur svåra/kniviga tycker ni att scenarierna var?
22. Tyckte ni att ni hade en möjlighet att kontrollera vad som hände?
23. I jämförelse till er normalt arbete, hur belastande/stressande var körningarna?
24. Tycker ni att ni vill delta senare i en motsvarande forskning?





Julkaisun sarja, numero ja  
raporttikoodi

VTT Tiedotteita 2495  
VTT-TIED-2495

Tekijä(t) Hanna Koskinen, Leena Salo & Iina Aaltonen (toim.)		
Nimeke <b>Tilannetietoisuutta tukevat näytöt prosessiteollisuuden valvomoissa</b>		
Tiivistelmä Tämä kirja sisältää viisi osaraporttia, jotka perustuvat SAFIR-tutkimusohjelman ( <i>Safety of Nuclear Power Plants – Finnish National Research Programme</i> ) Valvomoiden käyttäjäkeskeinen kehittäminen – IDEC ( <i>Interaction Approach to the Development of Control Rooms</i> ) ja Operointikäytännöt ja käyttöliittymät digitaalisissa valvomoissa – O’PRACTICE ( <i>Operator Practices and Human-system Interfaces in Computer-based Control Stations</i> ) -hankkeissa vuosien 2005–2008 aikana tehtyihin tutkimuksiin. IDEC-hankkeen keskeisenä tavoitteena oli kehittää toimintalähtöinen arviointimenetelmä ydinvoimalavalvomoiden toimivuuden ja käytettävyyden arvioimiseen. O’PRACTICE-hankkeessa taas tavoitteena on tukea digitalisoidujen valvomoiden käyttöliittymien suunnittelua ja kehittämistä tutkimalla yhteistoiminnan ja kommunikaation rakentumista ja tilannetietoisuuden muodostumista näyttöinformaation varassa sekä ohjeiden käyttöä. Tutkimusten toteutuksesta vastaa VTT:n Systeemitutkimuksen osaamiskeskuksen Toiminnan tutkimus ja systeemikäytettävyys -tiimi (tiiminvetäjä Leena Norros, Iina Aaltonen, Hanna Koskinen, Jari Laarni, Marja Liinasuo, Leena Salo ja Paula Savioja). Tiimin jäsenet ovat osallistuneet lukujen kirjoittamiseen seuraavasti: Leena Norros, luvut 2, 4, 5 ja 6; Hanna Koskinen, luvut 4 ja 5; Jari Laarni, luvut 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 7; Leena Salo, luvut 2, 4 ja 5 ja Paula Savioja, luvut 2 ja 5. Kirjan tekstien, kuvien, taulukoiden ja lähdeluettelon viimeistelystä painoasuun vastasivat Hanna Koskinen, Leena Salo ja Iina Aaltonen. Tässä kirjassa esiteltävien tutkimusten tuloksia on aiemmin esitelty useissa seminaareissa, tieteellisissä kongressijulkaisuissa sekä artikkeleissa.		
ISBN 978-951-38-7312-7 (nid.) 978-951-38-7313-4 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinumero 32528
Julkaisu-aika Marraskuu 2009	Kieli Suomi, englanti	Sivuja 236 s. + liitt. 66 s.
Projektin nimi O’PRACTICE		Toimeksiantaja(t)
Avainsanat Situation awareness, human-system interface, large screen display, digital control room		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374





Series title, number and  
report code of publication

VTT Research Notes 2495  
VTT-TIED-2495

Author(s) Hanna Koskinen, Leena Salo & Iina Aaltonen (eds.)		
Title <b>Displays supporting situation awareness in process industry</b>		
Abstract <p>This publication contains five working reports of a research carried in two projects included in the SAFIR, the Finnish research program on the nuclear power plant safety, IDEC (Interaction Approach to the Development of Control rooms) and O'PRACTICE (Operator practices and human-system interfaces in computer based control stations). While in the IDEC the main focus was on developing evaluation and validation method for assessing the safety impacts of the digital user interfaces in nuclear power plants' control rooms, the O'PRACTICE concentrates on supporting the design and development of the new digital interfaces by studying the crew co-operation and communication, creation of situation awareness and the use of procedures.</p> <p>The research is carried by VTT Human activity and systems usability team (team leader Leena Norros, Iina Aaltonen, Hanna Koskinen, Jari Laarni, Marja Liinasuo, Leena Salo ja Paula Savioja). The team members have contributed to the writing process of the book chapters as follows: Leena Norros, chapters 2, 4, 5 and 6; Hanna Koskinen, chapters 4 and 5; Jari Laarni, chapters 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7; Leena Salo, chapters 2, 4 and 5 and Paula Savioja, chapters 2 and 5. Hanna Koskinen, Leena Salo and Iina Aaltonen have been responsible of the editing process of the texts, pictures, tables and the list of references as well as the finishing of the typographical details. The research results reported in this book have also been presented in several seminars, scientific conference publications and articles.</p>		
ISBN 978-951-38-7312-7 (soft back ed.) 978-951-38-7313-4 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Series title and ISSN VTT Publications 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Project number 32528
Date November 2009	Language Finnish, English	Pages 236 p. + app. 66 p.
Name of project O'PRACTICE		Commissioned by
Keywords Situation awareness, human-system interface, large screen display, digital control room		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Suomen ydinvoimalaitoksissa uudistetaan parhaillaan automaatiojärjestelmiä ja valvomokäyttöliittymiä. Näissä valvomojärjestelmiin kohdistuvissa uudistuksissa digitaalinen tekniikka korvaa perinteisen analogisen tekniikan, ja valvomoissa prosessin monitoroinnissa ja ohjaustoimenpiteiden suorittamisessa siirrytään käyttämään työasemapohjaisia käyttöliittymiä perinteisen ohjauspaneeli- ja pulpettijärjestelmän sijasta. Uusien teknologioiden kehittäminen ja käyttöönotto valvomoympäristöissä on välttämätöntä, mutta samalla on havaittu, että automaatiojärjestelmien ja valvomokäyttöliittymien muutokset vaikuttavat monin tavoin myös voimalaitosten henkilöstön toimintaan ja työkäytäntöihin. Tutkimuksiin pohjautuvaa tietoa digitalisoinnin vaikutuksista operaattoritoimintaan on kuitenkin varsin vähän.

Tässä julkaisussa esitellään viisi tutkimusta, jotka on toteutettu SAFIR-tutkimusohjelmaan kuuluvissa IDEC (Valvomoiden käyttäjäkeskeinen kehittäminen) ja O’PRACTICE (Operointikäytännöt ja käyttöliittymät digitaalisissa valvomoissa) -hankkeissa vuosien 2005–2008 aikana. Tutkimuksissa käsitellään yleisesti digitalisoinnin vaikutusta operaattoritoimintaan ja työhön sekä erityisesti sitä, miten tiedon esittämiseen tarkoitettujen näyttöjen (suurkuvanäyttöjen ja työasemanäyttöjen) avulla voidaan tukea prosessin turvallista ja tehokasta valvontaa. Toivomme tämän julkaisun avaavan näkökulmia siihen, miten uusien käyttöliittymäteknologioiden tarjoamia mahdollisuuksia valvomoympäristöissä hyödynnetään parhaiten.