



# Jälkiarviointitesti OL3- koulutussimulaattorilla - Loppuraportti

Tekijät: Passi, T., Laarni, J., Pakarinen, S., Salonen, T.-T., Lukander, K.,  
Liinasuo M., Koskinen H.

Luottamuksellisuus: Julkinen

## Tiivistelmä

---

Tutkimuksessa arvioitiin OL3-laitoksen digitaalisen valvomon/koulutussimulaattorin käyttöliittymien toimivuutta ja operaattoritoiminnan haasteita noin 1,5 vuotta laitoksen käyttöönoton jälkeen. Tavoitteena oli ymmärtää nykyisiä operointikäytäntöjä, tunnistaa kehityskohteita ja varmistaa, että käyttöliittymät tukevat turvallista ja tehokasta toimintaa. Tutkimus toteutettiin täysimittaisella koulutussimulaattorilla, ja siihen osallistui kaikki OL3:n operaattorivuorot.

Kaikki vuorot selviytyivät simuloituista vikatilanteista, mutta automaatiovikojen käsittelyssä oli jonkin verran eroja. Reaktoriohjaajat kokivat oman suoriutumisensa paremmaksi kuin muissa rooleissa toimivat operaattorit. Vuoropäälliköiden arviot vaihtelivat enemmän, mikä liittyi heidän vastuuseensa koko vuoron toiminnasta. Operaattorit muodostivat kokonaiskuvan tilanteesta yhdistämällä näyttöjen, trendien, hälytysten, ohjeiden ja kollegoiden kanssa käydyn keskustelun tiedot. Suurkuvanäytöt olivat keskeisiä yhteisen tilannetietoisuuden ylläpidossa. Viestintä kollegoiden kanssa oli ratkaisevaa turvallisen toiminnan ja yhteisen tilannekuvan varmistamisessa. Vaikka itseraportoitu yhteistyö oli korkealla tasolla, kouluttajien mukaan viestinnässä oli parannettavaa. Automaatiotilat ja monitehtävätilanteet lisäsivät kuormitusta erityisesti ajon alkuvaiheessa. Fysiologiset mittaukset osoittivat, että stressitaso nousi vaiheittain ja laski onnistuneiden päätösten jälkeen. Sykkeen ja liiketietojen analyysi osoitti, että henkinen virittyneisyys selitti muutoksia enemmän kuin fyysinen aktiivisuus.

Sekä sähköisiä että paperisia ohjeita käytettiin rinnakkain. Paperiohjeita pidettiin luotettavina ja helppokäyttöisinä erityisesti silloin, kun näyttötila oli rajallinen tai sähköiset ohjeet eivät olleet ajan tasalla. Automaatiota pidettiin välttämättömänä, mutta siihen ei luotettu sokeasti. Automaatiotilat koettiin haastaviksi ja ne lisäsivät epävarmuutta sekä työkuormaa. Yhteistyö automaatiokunnossapidon kanssa oli tärkeää vikatilanteissa.

Tutkimus osoitti, että OL3:n valvomon käyttöliittymät tukevat pääosin turvallista ja tehokasta operaattoritoimintaa, mutta erityisesti automaatiovikojen käsittelyssä, ohjeiden käytössä ja viestinnässä on kehittämistarpeita. Tiimityön ja tilannetietoisuuden kehittäminen sekä jatkuva koulutus ovat keskeisiä turvallisen toiminnan varmistamisessa.

## Sisällys

---

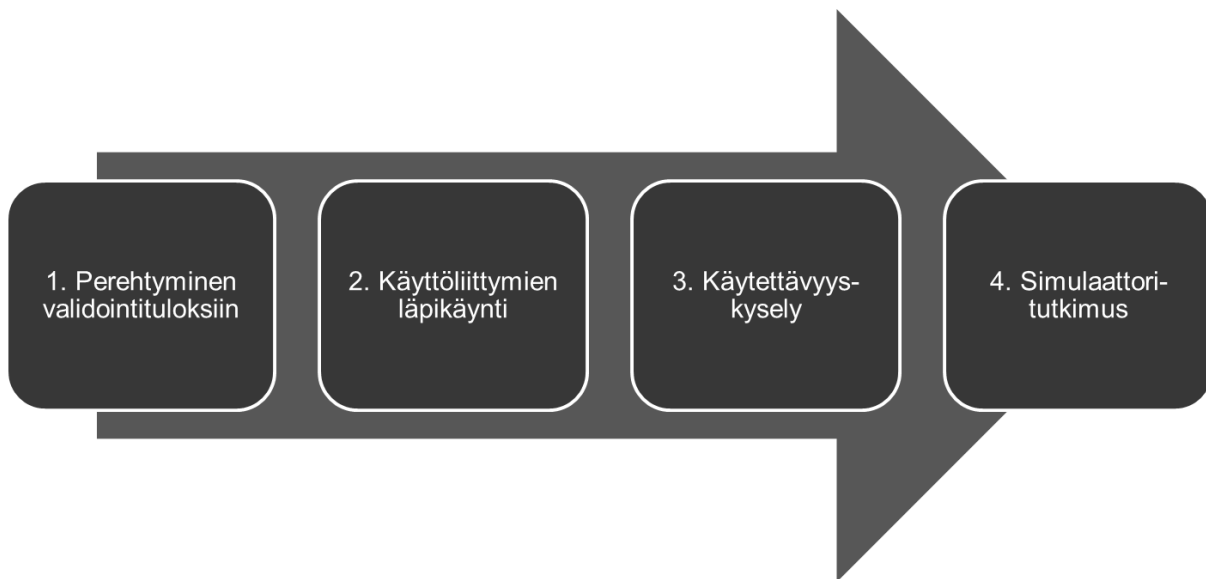
Tiivistelmä .....	2
Sisällys .....	3
1. Johdanto .....	5
1.1 Operaattoritoiminnan seuranta .....	5
1.2 TVO Olkiluoto 3 ydinvoimalaitos ja päävalvomon käyttöliittymät .....	6
1.2.1 Käyttöliittymien läpikäynti .....	6
1.2.2 Käytettävyyksikyselyn päätulokset .....	6
2. Tutkimuskysymykset .....	7
3. Menetelmät .....	8
3.1 Osallistujat .....	8
3.2 Skenaarion kuvaus .....	8
3.3 Mittarit .....	10
3.3.1 Psykofysiologiset ja muut objektiiviset mittarit .....	10
3.3.2 Subjektiiiviset mittarit .....	11
Testijärjestelyt ja tiedonkeruu .....	13
3.3.3 Simulaattoritesti .....	13
3.3.4 Psykofysiologinen mittaus .....	13
3.3.5 Kyselyt ja perustasomittaus .....	13
3.4 Tulosten analysointi .....	14
3.4.1 Kriittisten tapahtumien ja niiden ajankohdan tunnistaminen .....	14
3.4.2 Operaattoritoiminta .....	14
3.4.3 Itsearvioitu suoriutuminen .....	15
3.4.4 Työkuormitus ja stressi .....	15
3.4.5 Työkuormituksen ja stressin mittaaminen: Syke, sykevälivaihtelu, stressi- indeksi ja liikeaktiivisuus .....	16
3.4.6 Kommunikaatioanalyysi .....	17
3.4.7 Prosessiseurantahaastattelujen tulosten analysointi .....	18
3.4.8 Yksilöhaastattelujen tulosten analysointi .....	18
4. Tulokset .....	18
4.1 Operaattoritoiminta .....	18
4.1.1 Automaatiovian käsittely .....	18
4.1.2 Kouluttajien arviot operaattoriryhmien suoriutumisesta .....	20
4.1.3 Itseraportoitu suoriutuminen .....	21
4.2 Kuormittuneisuus ja stressi .....	21
4.2.1 Kouluttajien arvio kuormittavuudesta/stressistä ajon aikana .....	21
4.2.2 Itseraportoitu kuormittavuus sekä stressi .....	23
4.2.3 Psykofysiologia .....	27
4.3 Tiimin tilannekohtaisen työkuorman arviointi .....	42
4.4 Kommunikaatio .....	44
4.4.1 Vuoron tilannekatsaukset .....	48
4.5 Asenteet automaatiota kohtaan .....	48

4.6	Haastattelutulokset .....	51
4.6.1	Prosessiseurantahaastattelu .....	51
4.6.2	Yksilöhaastattelujen päähavainnot .....	54
5.	Tulosten tarkastelu .....	64
5.1	Operaattoreiden suoriutuminen .....	64
5.1.1	Suoriutuminen prosessinhallintatehtävistä .....	64
5.2	Tilannetietoisuus .....	65
5.3	Kommunikaatio ja yhteistoiminta .....	66
5.4	Monen asian suorittaminen rinnakkain .....	67
5.5	Kuormittuneisuus ja stressi .....	67
5.5.1	Automaatiovikojen käsittely ja kuormittuneisuus .....	68
5.6	Tulosten tulkintaa .....	68
5.6.1	Operaattoritoiminta ajoissa .....	68
5.6.2	Ohjekehitys .....	69
5.6.3	Käyttöliittymä- ja valvomosuunnittelu .....	69
5.6.4	Tutkimuksen arviointia .....	70
6.	Johtopäätökset .....	70
	Lähteet .....	72
	Lyhenneluettelo .....	74

## 1. Johdanto

Suoritimme valvomon käyttöliittymien jälkiarviointitutkimuksen (engl. post-validation test) OL3-koulutussimulaattorilla, kun laitoksen käyttöönosta oli kulunut n. 1,5 vuotta. Tavoitteena on edistää nykyisten operointikäytäntöjen ymmärtämistä ja analysointia sekä tunnistaa operaattoritoiminnan haasteita ja mahdollisuuksia. Tulosten perusteella on mahdollista mm. arvioida, missä määrin uudet valvomokäyttöliittymät tukevat turvallista ja tehokasta operaattoritoimintaa. Lisäksi ne antavat tietoa mahdollisista kehittämistarpeista. Tämä raportti käsittää simulaattoritutkimuksen keskeiset tulokset.

Valvomon ja sen käyttöliittymien jälkiarviointitutkimus käsittää Kuva 1 Kuvassa 1 esitetyt neljä osavaihetta. Tämä raportti keskittyy simulaattoritutkimukseen (vaihe 4).



Kuva 1. Jälkiarviointitutkimuksen vaiheet.

Tämä raportti käsittää simulaattoriajojen kaikki tulokset lukuun ottamatta simulaattoriajojen videonauhoituksiin ja silmänliikerekisteröintiin perustuvia analyyskejä ja tuloksia. Nämä tulokset raportoidaan SAFER2028-EASILY-projektin puitteissa vuonna 2026.

### 1.1 Operaattoritoiminnan seuranta

Inhimillisten tekijöiden suunnittelua (engl. Human factors engineering, HFE) koskeva ohjelma joka vaaditaan valvomojärjestelmien rakentamisen tai modernisoinnin yhteydessä, tarkastelee ko. järjestelmää elinkaarinäkökulmasta (Koskinen ym., 2016). NUREG-0711 -ohjeistuksessa (O'Hara ym., 2012) esitetään HFE-ohjelman osa-alueet. Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa eli suunnittelu- ja analyysivaiheessa käytetään erilaisia analyysimenetelmiä suunnitteluperusteiden ja käyttäjävaatimusten määrittämiseksi. Yksi HFE-ohjelman vaiheista on käyttökokemusten tarkastelu (engl. Operating Experience Review, OER), jossa operatiivisia, suunnittelu- ja rakentamisvaiheen kokemuksia kirjataan, käsitellään ja arvioidaan järjestelmällisesti. Tämän tarkastelun tavoitteena on kerätä ja analysoida olennaisia käyttökokemuksia, jotta aiempia virheitä ei toisteta ja hyviä käytäntöjä edistetään.

Lisäksi uuden valvomoratkaisun verifiointi- ja validointiprosessin (engl. verification & validation, V&V) aikana syvennetään ymmärrystä valvomojärjestelmien mahdollisuuksista ja rajoituksista. Esimerkiksi, kun valvomojärjestelmiä arvioidaan suunnitteluprosessin eri vaiheissa, tunnistetaan inhimilliseen turvallisuuteen liittyviä ongelmia (engl. Human Engineering Discrepancy, HED). Nämä havainnot ja arviointitulokset tulisi dokumentoida järjestelmällisesti,

esimerkiksi hyödyntämällä SUC-lähestymistapaa (engl. Systems Usability Case), jotta saadaan kattava käsitys valvomojärjestelmän laadusta suunnitteluprosessin tueksi (Koskinen ym., 2021; Koskinen ym., 2022). SUC-tuloksia voidaan hyödyntää useissa muissakin HFE-toiminnoissa, kuten tärkeiden operaattoritoimintojen (engl. Treatment of Important Human Actions) tunnistamisessa, ja sillä on myös yhteyksiä inhimillisten toimintojen luotettavuuden analysointiin (engl. Human Reliability Analysis, HRA). HED-havainnoilla saattaa olla myös vaikutuksia operaattoreiden koulutukseen. Lisäksi keskeisiä tunnistettuja inhimillisiin tekijöihin liittyviä ongelmia tulisi seurata uuden valvomoratkaisun käyttöönottovaiheessa.

HFE-ohjelman toteutusvaiheessa suunnitteluratkaisu toteutetaan ja järjestelmä otetaan käyttöön. Lisäksi käynnistetään operaattoritoiminnan seurantamenettelyt (engl. Human Performance Monitoring, HPM), joilla kerätään uusia valvomojärjestelmiä koskevia käyttökokemuksia. Järjestelmän käyttöä on tarpeen arvioida säännöllisesti käyttöönoton jälkeenkin, jotta mahdolliset puutteet voidaan asianmukaisesti korjata.

## 1.2 TVO Olkiluoto 3 ydinvoimalaitos ja päävalvomon käyttöliittymät

Olkiluoto 3 (OL3) on EPR-tyyppinen (engl. European Pressurized Reactor) painevesilaitos. EPR-laitokset ovat nykyisin käytössä olevista ydinvoimalaitoksista tehokkaimpia, ja niiden turvallisuusominaisuudet ovat edistyneempiä kuin muiden reaktorityyppien. EPR-painevesireaktorissa (engl. Pressurized Water Reactor, PWR) vesi pysyy nestemäisenä korkeassa paineessa, mikä estää sen kiehumisen reaktorin sisällä. Laitoksessa on kaksi pääasiallista lämmönsiirtopiiriä: primääripiiri ja sekundääripiiri sekä jäähdytysvesipiiri, joka tiivistää höyryn takaisin vedeksi.

OL3:n valvomo perustuu pääosin digitaalisiin ja tietokonepohjaisiin ratkaisuihin. Se koostuu ohjelmistopohjaisesta pääkäyttöliittymästä (engl. Process Information and Control System, PICS) ja Teleperm XP (TXP) -automaatiojärjestelmästä, sekä analogiseen tekniikkaan pohjautuvasta turvallisuuskäyttöliittymästä (engl. Safety Information and Control System, SICS). Normaalityltilassa laitoksen tilan seuranta ja ohjaus tapahtuvat suurkuvanäyttöjen ja tietokonekäyttöliittymien avulla, mikä mahdollistaa selkeän kokonaiskuvan sekä tarkemmat ja informatiivisemmat hälytykset verrattuna vanhempiin järjestelmiin. Tilanteissa, joissa laitoksen ohjaus tapahtuu turvallisuuskäyttöliittymän kautta, näkymä laitostilaan ja mahdollisuudet laitoksen ohjaamiseen rajoittuvat turvallisuuden kannalta kaikkein keskeisimpiin toimintoihin.

### 1.2.1 Käyttöliittymien läpikäynti

Uuden valvomon käyttöliittymien läpikäynti toteutettiin syksyllä 2023. Kolme VTT:n ja TTL:n tutkijaa ja kaksi kokenutta kouluttajaa/simulaattorihjaajaa osallistuivat läpikäyntiin OL3:n koulutussimulaattorilla. Läpikäynnin aluksi simulaattorikouluttajat alussa esittelivät valvomon peruslayoutin sekä eri operaattoriroolien omat työasemat. Tämän jälkeen keskusteltiin yksittäisistä käyttöliittymistä, kuten pääkäyttöliittymästä ja turvallisuuskäyttöliittymästä, käyttöohjeista, suurkuvanäytöistä ja hälytysnäytöistä. Läpikäynti videoitiin ja äänitettiin, ja tutkijat tekivät muistiinpanoja läpikäynnin aikana. Läpikäynnin havaintoja hyödynnettiin kohdassa 1.3.4 mainitun käytettävyykselyn laadinnassa.

### 1.2.2 Käytettävyykselyn päätulokset

Perustuen valvomon käyttöliittymien läpikäynnin sekä suunnitteludokumenttien tarkastelun tuloksiin laadittiin järjestelmien käytettävyyttä koskeva kyselylomake. Se jaettiin joulukuun 2023 alussa uuden ydinvoimalaitosyksikön OL3:n kaikille operaattoreille Questback™ (www.questback.com) -verkkokyselyalustan kautta.

Kyselyn tulosten mukaan operaattorit olivat yleisesti ottaen tyytyväisiä valvomoon ja sen käyttöliittymiin. He kokivat, että käyttöliittymät tukevat prosessinohjausta, auttavat ylläpitämään tilannetietoisuutta ja mahdollistavat päivittäisten tehtävien suorittamisen tehokkaasti.

Parannettavaa tunnistettiin kuitenkin joissain yksittäisissä käyttöliittymissä, kuten puhelinten sijoittelussa ja kamerajärjestelmän toiminnassa. Myös hälytysten priorisointia ja hallintaa sekä tiedonhakua toivottiin helpotettavan.

Huolimatta siitä, että digitaalisten valvomoiden on väitetty vaikeuttavan yhteisen tilannetietoisuuden ylläpitoa, kyselyn perusteella operaattorit kokivat, että valvomo ja käyttöliittymät mahdollistavat muiden työskentelyn seuraamisen ja tukevat yhteistyötä.

Kyselyn perusteella oli kuitenkin vaikea arvioida, miten ja mistä tietolähteistä yhteinen tilannetietoisuus muodostuu. Siksi tarvitaan täydentäviä haastatteluja, joilla voidaan syventää ymmärrystä työskentelytavoista ja operaattorin ja järjestelmän vuorovaikutuksesta.

Ns. avaimenreikäefekti (ts. rajoittunut näkymä prosessiin digitaalisten näyttöjen kautta) ei näyttäytynyt merkittävänä ongelmana. Näyttöjen määrää on lisätty aiemmasta, ja nykyinen määrä koetaan riittäväksi. Suurkuvanäyttöjä käytetään aktiivisesti tilannetietoisuuden ylläpitämiseen eri tilanteissa, ja ne ovat olennainen osa prosessin seuranta. Operaattorit eivät kokeneet, että toissijaiset tehtävät (esim. näyttöjen selaaminen, hälytysten hallinta) kuormittivat merkittävästi heitä.

Sekä paperi- että tietokonepohjaiset ohjeet ovat käytössä, mutta suurin osa operaattoreista suosi paperisia ohjeita. Siihen on syynä paperiohjeiden tuttuus, helppo selailtavuus ja mahdollisuus tehdä niihin merkintöjä. Myös tekniset ongelmat sähköisissä ohjeissa sekä halu säästää näyttötilaa prosessitiedolle vaikuttavat valintaan.

Kaikki käyttöliittymäinformaatio on englanniksi, mutta operaattorit kommunikoivat suomeksi. Tämä ei ole aiheuttanut merkittäviä väärinymmärryksiä, todennäköisesti laajan kaksikielisen koulutuksen ansiosta. Vain muutamat vastaajista kokivat käyttöliittymien kielen ongelmaksi.

## 2. Tutkimuskysymykset

---

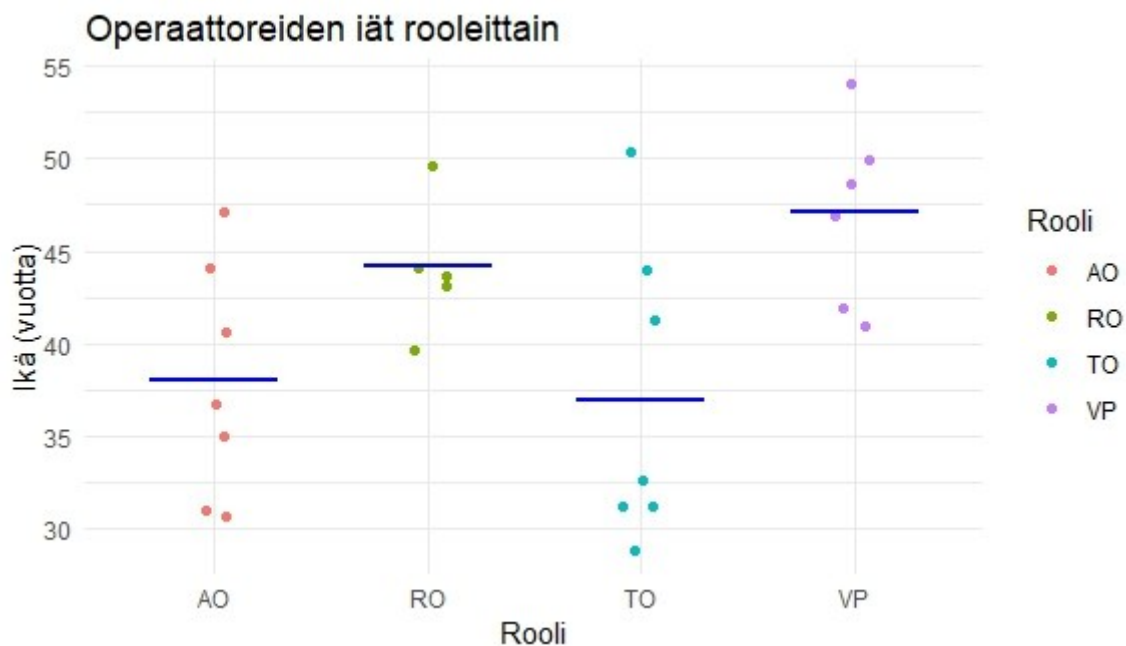
Tämän tutkimuksen päätavoitteet ovat:

- Tutkia prosessinohjaukseen liittyviä inhimillisiä tekijöitä (esim. tilannetietoisuus, kuormittuneisuus, viestintä, toiminnan koordinointi) digitaalisten valvomojärjestelmien käyttöön liittyen;
- Syventää ymmärrystä operaattoritoiminnasta digitaalisessa valvomossa suorittamalla jälkiarviointitesti OL3-koulutussimulaattorilla;
- Kerätä käyttökokemuksia ja palautetta operaattoreilta testin yhteydessä. Tavoitteena on varmistaa, että operaattorien toiminta tukee laitoksen turvallista käyttöä. Lisäksi halutaan varmistaa, että integroidun järjestelmävalidoinnin johtopäätökset ovat edelleen päteviä.

### 3. Menetelmät

#### 3.1 Osallistujat

Kaiken kaikkiaan seitsemän neljän valvomo-ohjaajan vuoroa, yhteensä 28 operaattoria osallistui mittauksiin. Kunkin vuoron neljä operaattoria olivat: vuoropäällikkö (VP) reaktorioperaattori (RO), turbiinioperaattori (TO) sekä alueohjaaja (AO). Simulaattoriajo oli osa heidän vuosikoulutusohjelmaansa. Operaattoreista 25 oli miehiä ja kolme naisia. Osallistujien keskimääräinen ikä oli 41 vuotta (Kuva 2). Kolme operaattoria ei raportoinut ikäänsä. Vuoropäälliköt olivat hieman keskivertoa iäkkäämpiä verrattuna muihin operaattoreihin.



Kuva 2. Operaattoreiden iät rooleittain. AO: alueohjaaja; RO: reaktoriohjaaja; TO: turbiiniohjaaja; VP: vuoropäällikkö. Vaakatasossa oleva viiva kuvastaa mediaaniarvoa ja yksittäiset pisteet havaittuja ikä.

#### 3.2 Skenaarion kuvaus

Testi koostui yhdestä skenaariosta, joka sisälsi useita vikatilanteita (Kuva 3). Ajon alkaessa laitos toimi täydellä teholla (100 %). Skenaarion päävaiheet olivat:

1) Ensimmäinen automaatiovika.

- Hälytykset aktivoituivat hetkeksi. Hälytyskortti kertoi mm. RCSL (engl. Reactor Control, Surveillance, and Limitation System) -toimintojen menetyksestä, mutta nämä toiminnot tulivat takaisin, kun tehtiin vaihto standby-tietokoneeseen. Hetken kuluttua hälytys oli poistunut, ja tilanne oli korjaantunut.

2) Sähköverkon häiriö - ei järjestelmäsuojausta & tehonrajoituksen aloitus.

- Hälytys ilmaisi sähköverkon järjestelmäsuojaajan olevan riittämätön. Vuoron tehtävä oli suunnitella ja aloittaa generaattoritehon laskeminen vaaditulle tasolle.

## 3) Toinen automaatiovika.

- Hälytysohje kertoi RCSL:n toimintojen osittaisesta menettämisestä. Lisäksi ohje kehotti tarkistamaan RCSL:n toimintojen tilan mm. höyrystimien pinnansäädön osalta. Vika aiheutti mm. SG2-syöttövesiventtiilien ja paineistimen ruiskutusventtiilien automaattisen säätötoiminnon menettämisen. Koska järjestelmäsuoja oli aktiivinen, vuoron tuli jatkaa generaattoritehon laskemista edellä mainituista vioista huolimatta.

## 4) Syöttöveden menetys ja reaktoripikasulku.

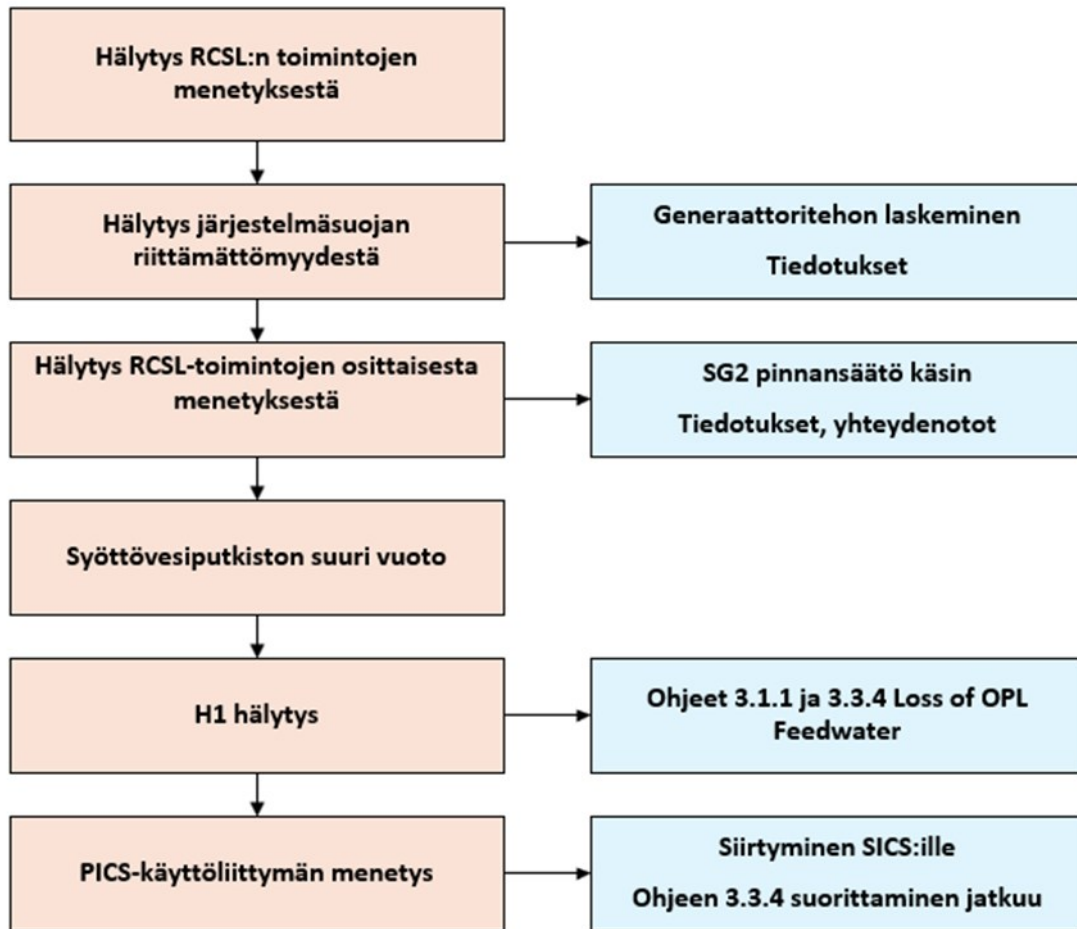
- Vikatoiminto aiheutti syöttövesiputkiston suuren vuodon. Syöttövedenvirtaus höyrystimiin romahti, jolloin tapahtui reaktoripikasulku, höyrystimen matalasta pinnasta (ts. pinta oli alle 13,8 m). Suuresta vuodosta syöttövesijärjestelmässä aiheutui myös syöttöveden menetys kokonaan. Vuoropäällikkö siirtyi H1-hälytyksen perusteella ohjeeseen 3.1.1 (GEOS). Olennaista tässä vikatilanteessa oli, että tilannetta ei tunnisteta heti hätätilanteeksi, sillä höyrystimien pintojen tulee laskea alle 10,6 m, ennen kuin tilanne voidaan tunnistaa ja siirtyä oikeaan ohjeeseen.

## 5) Käyttöautomaation käyttöliittymän (PICS) kaatuminen ja siirtyminen käyttämään turvallisuusautomaation käyttöliittymiä (SICS).

- Vuorot tunnistivat PICS-käyttöliittymän menetyksen ohjeen tai hälytyskortin avulla. Kun SICS on "otettu käyttöön", jatkoi vuoro hätätilanneohjeen suorittamista.

## 6) Laitoksen alasajo.

Simulaattoriajo päättyi, kun hätätilanneohjeen mukaan aloitettiin laitoksen jäähdytys.



Kuva 3. Simulaattorirajon kulku (teksti vaaleanpunaisella taustalla) ja tärkeimmät toimenpiteet ja ohjeet (teksti vaaleansinisellä taustalla).

### 3.3 Mittarit

Ennen varsinaisen simulaattoritestin alkamista operaattorit täyttivät seuraavat taustakyselyt: 1) terveys- ja elämäntapakysely, 2) unta koskeva kysely sekä 3) työaikoja koskeva kysely.

Operaattorien ja vuoron suorituskyvyn sekä operaattorien stressin ja kuormittuneisuuden arvioimiseksi käytettiin sekä subjektiivisia että objektiivisiä mittareita seuraavasti:

#### 3.3.1 Psykofysiologiset ja muut objektiiviset mittarit

- Stressin ja työkuorman jatkuva mittaaminen
  - Sydämen aktiivisuus: sydämen syke (lyöntiä minuutissa) ja sydämen sykevälivaihtelu. Sydämen syke nousee ja sykevälivaihtelu laskee psykologisen stressin tai työtaakan kasvaessa.
  - Fyysinen liike/aktiivisuus: kolmiakselinen kiihtyvyyssanturi. Liikettä hyödynnetään analyyseissä useimmiten silloin kun halutaan kontrolloida liikkeen vaikutus sydämen toimintaan. Liikeaktiivisuuden lisääntyminen voi ilmetä sydämen sykkeen nousuna.

- Operaattoreiden kommunikaatio luokiteltiin kuuteen luokkaan reaaliaikaisesti tutkijoiden toimesta.
- Tarkkaavaisuuden suuntautumista tutkittiin rekisteröimällä silmänliikkeitä SMI:n (SensoMotoric Instruments) silmänliikelaitteistolla, joten jälkikäteen on mahdollista tarkastella silmänliikkeitä videolta.
  - Viidessä vuorossa silmänliikkeet rekisteröitiin vuoropäälliköltä; kahdessa vuorossa silmänliikkeet rekisteröitiin reaktorihjaajalta vuoropäällikön sijaan.
- Vuoron muille operattoreille puettiin GoPro HERO12 -pääkamerat, joiden nauhoituksesta voidaan arvioida, mihin operaattorin katse kullakin hetkellä suuntautuu.

### 3.3.2 Subjektiiiset mittarit

- Vuoron suoriutumisen arviointi
  - Perustui simulaattorikouluttajien asiantuntija-arviointiin (asteikolla 1–5). *Teknisen asiantuntijuuden* (engl. technical competence) asteikko koostui seuraavista kategorioista: hälytysten käsittely, prosessiymmärrys, prosessivasteen monitorointi, vikojen syiden löytäminen, seurantatoimenpiteet häiriön jälkeen ja osaaminen. *Inhimillistä suorituskkyä* (engl. human performance) koskeva asteikko koostui seuraavaista kategorioista: ohjeiden käyttö, kommunikaatio, tilannetietoisuus, tehtävien jakaminen/tilannekohtainen johtajuus sekä vaihtoehtoisten tulkintojen tarkastelu.
  - Ohjaajien itsearvioitu suoriutuminen (Nasa-TLX; asteikko 0–10, jossa 0 = epäonnistuminen, 10 = täydellinen suoriutuminen).
  - Tiimitoimintaa arvioitiin tiimin kuormitusta mittaavalla asteikolla (engl. Team Workload Assessment Scale, TWAS; Lin et al., 2011).
- Kuormittavuuden arviointi
  - Operaattoreiden kokemaa stressiä ja kuormitusta mitattiin NASA Task Load Index (NASA-TLX) -itsearviointimittarilla. Mittari koostuu oman suoriutumisen arvioinnista (kts. edellinen kohta) sekä viidestä kuormituskategoriasta: *ponnistelu*, *turhautuminen* sekä *ajallinen*, *henkinen* ja *fyysinen kuormittuneisuus* (asteikko 0–10, jossa 0 = hyvin alhainen kuormitus, 10 = hyvin korkea kuormitus).
  - Operaattorit arvioivat kokemaansa stressiä myös skenaarion eri tilanteissa (asteikko 0–10, jossa 0 = ei kuormitusta/stressiä, 10 = äärimmäinen kuormitus/stressi).
  - Lisäksi ennen simulaatioharjoitusten alkamista, simulaattorikouluttajat arvioivat skenaarion eri vaiheiden kuormittavuutta vastaavanlaisella lomakkeella (asteikko 0–10, jossa 0 = ei kuormitusta/stressiä, 10 = äärimmäinen kuormitus/stressi).
- Asenteita automaatiota kohtaan mitattiin Merrittin ym. (2019) kehittämällä AICP-R (engl. Automation Induced Complacency Potential) -kyselyllä, joka mittaa automaatioon liittyvää huolettomuustaipumusta (engl. complacency potential). Mittari koostuu kahdesta kategoriasta: automaation käyttö työkuorman lievittämisessä (engl. Alleviating workload) ja automaation tarkkailu (engl. Monitoring).

- Haastattelut

Simulaattoriajon jälkeen toteutettiin kaksi haastattelua. Molemmat haastattelut nauhoitettiin ääninauhurilla.

- Koko vuoroa koskeva prosessiseurantahaastattelu toteutettiin ensimmäiseksi ajon jälkeen. Yksi tutkija keskusteli vuoron kanssa suoritetusta ajosta. Myös simulaattorikouluttajat osallistuivat ko. keskusteluun. Keskustelussa ajon tapahtumat käytiin pääpiirteissään läpi vaihe vaiheelta. Kutakin päävaihetta tarkasteltaessa kysyttiin kultakin operaattorilta, mitä hän oli tehnyt ko. vaiheessa ja miten hän arvioi omaa suoritustaan. Lisäksi keskusteltiin käyttöliittymien ja ohjeiden käytöstä sekä ajon kuormittavuudesta. Haastattelu kesti n. 30 minuuttia.
- Puolistrukturoidut yksilöhaastattelut toteutettiin tutkimussession päätteeksi. Yksi tutkija haastatteli aina yhtä operaattoria. Haastattelut kestivät n. 30 minuuttia. Haastattelut käsittelivät seuraavia aiheita:
  - 1) Yleiskuvan muodostaminen
    - Miten muodostat yleiskuvan tilanteesta?
    - Mikä on suurkuvanäytön merkitys yleiskuvan muodostamisessa?
      - i. Mitä näytetään yleensä suurkuvanäytöllä?
    - Miten valvomo tukee yhteisen tilannekuvan luomista (vai tukeeko)?
      - i. Mitä tietolähteitä käytätte?
      - ii. Mikä merkitys on kommunikoinnilla kollegoiden kanssa?
  - 2) Automaation käyttö
    - Miten näet automaation roolin, vaatiiko se ohjausta vai onko se itsenäinen toimija?
    - Vaatiiko automaatio seuraamista vai ilmoittaako se, milloin on operaattorin vuoro toimia?
    - Onko sinulla mielestäsi riittävästi tietoa/osaamista automaation toiminnan ymmärtämiseksi?
      - i. Minkälaista tietoa automaation ymmärtäminen edellyttää (riittääkö tietää, mitä minun pitää tehdä missäkin tilanteessa/mikä on automaation toiminnan logiikka)?
    - Minkälaisia ongelmia on automaation kanssa ollut?
    - Miten toimit automaatio-ongelman ilmetessä?
      - i. Miten toimitaan sellaisten ongelmien kanssa, joita et pysty itse ratkaisemaan?
    - Minkälaista on työskentely automaation kunnossapidon kanssa
      - i. Onko aina helppo kuvata automaatin ongelmaa kunnossapidolle?
      - ii. Onko helppo ymmärtää, mitä toinen tarkoittaa (käytättekö samoja käsitteitä yms.)?
  - 3) Ohjeiden käyttö
    - Käytätkö mieluummin vain yhtä ohjetyyppiä (paperiohje tai sähköinen ohje), miksi?
    - Mitä mieltä olet siitä, että ohjeet ovat kahdessa eri muodossa?
      - i. Mitä haasteita liittyy tilanteeseen, jossa siirrytään sähköisistä ohjeista paperisiin?
    - Minkälaisia ohjeet ovat mielestäsi niiden käyttämisen kannalta?
      - i. Mitä hyviä puolia on paperiohjeissa?
      - ii. Mitä hyviä puolia on sähköisissä ohjeissa?

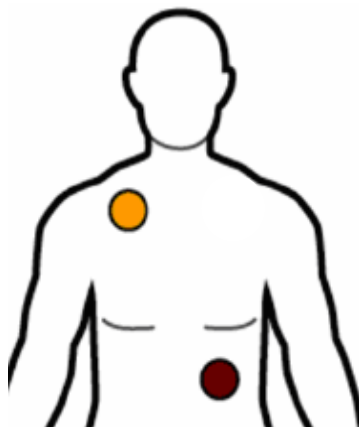
## Testijärjestelyt ja tiedonkeruu

### 3.3.3 Simulaattoritesti

Simulaattoritesti toteutettiin TVO Olkiluoto 3 -laitoksen fyysisellä, täyden mittakaavan koulutussimulaattorilla osana operaattoreiden vuosittaista simulaattorikoulutusta.

### 3.3.4 Psykofysiologinen mittaus

Sydämen toimintaa mitattiin Faros 180 -laitteella (Bittium Oyj) ja Ambu BlueSensor -elektrodeilla 500 Hz:n näytteenottotaajuudella. Faros-laite rekisteröi myös liikeaktiivisuutta 3D-kiihtyvyyssantureilla 50 Hz:n näytteenottotaajuudella. Toinen elektrodeista asetettiin oikeanpuoleisen solisluun alapuolelle ja toinen kehon vasemmalle puolelle, kylkikaareen sydämen alapuolelle (Kuva 4).



*Kuva 4. Sydämen toimintaa mittaavien elektrodien asettelu oikean solisluun alapuolelle ja vasemmalle kylkikaarelle sydämen alapuolelle.*

### 3.3.5 Kyselyt ja perustasomittaus

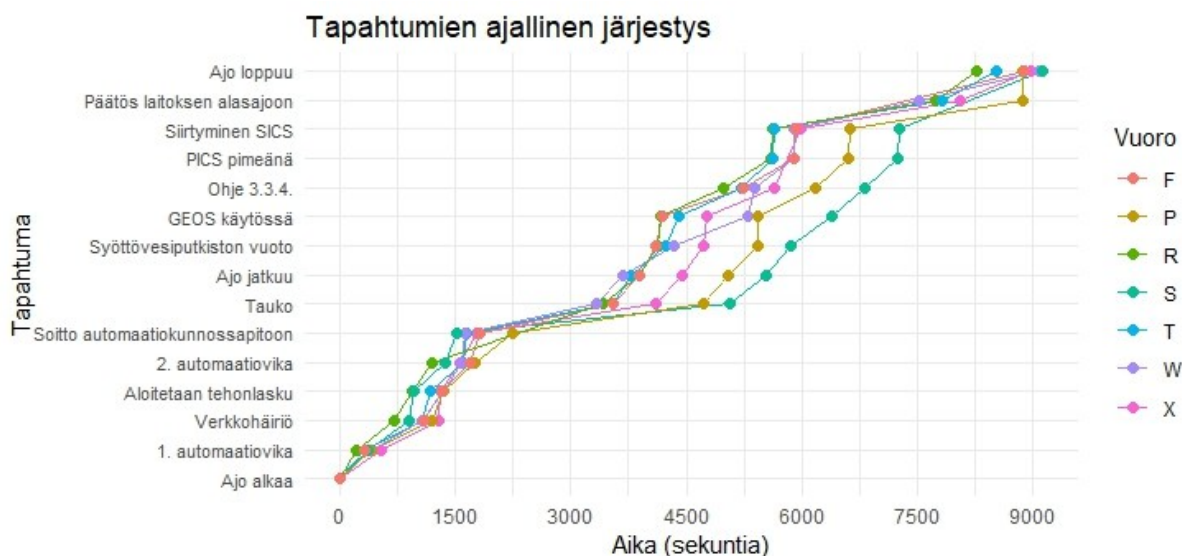
Perustasomittaukset (*baseline*) tehtiin ennen ja jälkeen simulaattoriajon. Mittauksissa rekisteröitiin tutkittavien sydämen toimintaa ja liikeaktiivisuutta rauhallisessa, ei kuormittavassa tilanteessa istuma-asennossa operaattoreiden omilla työpisteillä heidän täyttäessään kyselylomakkeita.

Haastattelut toteutettiin simulaattoriajon jälkeen, kun kyselyt oli ensin täytetty. Koska kahvi ja nikotiini aktivoivat sympaattista hermostoa, näiden käyttöä viimeisen 24 tunnin aikana kysyttiin esitietolomakkeella.

## 3.4 Tulosten analysointi

### 3.4.1 Kriittisten tapahtumien ja niiden ajankohdan tunnistaminen

Kaksi riippumatonta tutkijaa kirjasi kriittisten tapahtumien aikaleimat simulaattoriajon aikana (Kuva 5). Mikäli kirjatuissa aikaleimoissa oli eroavaisuuksia, nämä yhdenmukaistettiin joko keskustelemalla tai videotarkastuksen avulla.



*Kuva 5. Kriittisimmät tapahtumat (y-akseli) ajon aikana ja niiden ajallinen toteutuminen sekunneissa (x-akseli) mitattuna ajon alusta lähtien. Kuvassa operaattorivuorot on pseudonymisoitu.*

### 3.4.2 Operaattoritoiminta

#### 3.4.2.1 Simulaattoriajon kesto

Keskimääräinen ajon kesto oli 147 minuuttia (keskihajonta (SD) = 5,14 min). Operaattorivuorojen välillä kesto vaihteli 138 minuutin ja 152 minuutin välillä.

Simulaattoriajo keskeytettiin hetkellisesti siinä vaiheessa, kun toisen automaatiiovian keskeiset prosessivaikutukset oli tunnistettu pääkameroiden akkujen vaihtamiseksi. Tauko kesti keskimäärin 6,11 minuuttia (SD = 1,36 minuuttia). Vuorojen välillä tauon kesto vaihteli 4,17 ja 8,02 minuutin välillä.

#### 3.4.2.2 Automaatiiovian käsittely

Sitä, miten vuorot selvittelivät skenaarion alkupuolella ilmenneitä automaation vikatilanteita, tarkasteltiin simulaattoriajojen videonauhoitusten avulla. Yksi tutkija havainnoi vuoron toimintaa ko. vikojen aikana ja pyrki löytämään yhteneväisyyksiä ja eroja vuorojen välillä.

Simulaattoriajojen videonauhoitusten tarkastelua jatketaan v. 2026.

#### 3.4.2.3 Asiantuntija-arvio vuoron toiminnasta

Koulutuksesta vastasi kaksi operaattorikouluttajaa. He arvioivat kunkin operaattorivuoron suorituksen itsenäisesti. Suoritumista arvioitiin kahdessa pääkategoriassa: *tekninen*

*osaaminen* ja *inhimillinen suorituskyyky*, joilla kummallakin oli omat alakategoriansa. Arviointiasteikko oli 1–5 (1 = tyydyttävä suoritustaso; 3 = hyvä suoritustaso; 5 = erinomainen suoritustaso). Arvosanat 2 ja 4 olivat väliarvosanoja vierekkäisten sanallisten arvosanojen välillä, mutta niille ei ollut erillistä sanallista kuvausta.

### 3.4.3 Itsearvioitu suoriutuminen

Simulaattoriajon jälkeen operaattorit raportoivat suoriutumisensa jatkuvana muuttujana NASA-TLX-kyselyn *oma suoriutuminen* –alakategorian avulla. Tulosten analysointia varten tämä muuttuja luokiteltiin kymmenportaiseksi asteikoksi, jossa edettiin puolen pisteen välein. Tässä kyselyssä korkeampi arvosana vastasi parempaa suoriutumista. Operaattoriroolien välisiä eroja suoriutumisessa arvioitiin Kruskal-Wallis kolmen tai useamman riippumattoman ryhmän vertailuun tarkoitettuna epäparametrisen testin avulla. Näin voitiin huomioida pieni otoskoko ja arvojen mahdollinen poikkeama normaalijakaumasta. Mikäli roolien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero, suoritettiin parittaiset vertailut Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testillä, ja merkitsevyydet korjattiin Bonferronin menetelmällä.

### 3.4.4 Työkuormitus ja stressi

#### 3.4.4.1 NASA-TLX

Operaattorit arvioivat simulaattoriajon aikana kokemaansa kuormittuneisuutta NASA-TLX-kyselyn alakategorioiden *henkinen vaativuus*, *fyysinen vaativuus*, *ajallinen vaativuus*, *vaivannäkö* sekä *turhautuneisuus* avulla. Eri kuormituksen alakategorioiden välisiä eroja selvitettiin useamman riippumattoman otoksen t-testillä, jolla verrattiin eri NASA-TLX-alakategorioita toisiinsa (esim. eroaako operaattoreiden kokema henkinen vaativuus fyysisestä vaivuudesta?). Myös tässä merkitsevyydet sovellettiin Bonferroni-korjausta.

Vertailtaessa kuormitusta eri operaattoriroolien välillä (esim. kokevatko vuoropäälliköt suurempaa kuormitusta kuin alueohjaajat?), käytettiin Kruskal-Wallis-testiä. Mikäli roolien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero, suoritettiin parittaiset vertailut Wilcoxonin testillä. Merkitsevyydet sovellettiin Bonferronin menetelmää.

#### 3.4.4.2 Itseraportoitu stressi ajon tapahtumien aikana

Operaattorit arvioivat kokemansa kuormituksen ja stressin ennalta määriteltyjen ajon eri tapahtumien (*ajo alkaa*, *ensimmäinen automaatiovika*, *verkkohäiriö*, *toinen automaatiovika*, *syöttövesiputkiston vuoto*, *reaktoripikasulku*, *PICS-näytöt pimeäksi*, *siirtyminen SICS:iin*, *siirtyminen laitoksen alasajoon*) aikana yksitoistaportaisella stressikyselyllä (0 = ei lainkaan kuormitusta/stressiä — 10 = äärimmäinen kuormitus/stressi). Simulaation aikaisten tapahtumien vaikutusta koettuun stressiin arvioitiin lineaaristen sekamallien avulla. Mallit rakennettiin käyttäen nlme-paketin lme-funktiota R-ohjelmistossa (R versio 4.3.0). Jokaisessa mallissa tutkittava toimi satunnaismuuttujana. Itseraportoidun stressin muutosta ajon eri tapahtumien aikana verrattiin alkutilanteeseen (*ajo alkaa*). Tarkastelimme myös, erosivatko eri operaattoriroolit toisistaan koetun kuormituksen ja stressin suhteen. Tässä analyysissä tapahtuman lisäksi malliin lisättiin selittäväksi tekijäksi operaattorirooli (VP, RO, TO, AO). Muuttujien merkitsevyyttä tutkittiin anova-funktiolla. Mikäli operaattorirooli osoittautui merkitseväksi selittäjäksi mallissa, selvitimme edelleen, mitkä operaattoriroolit eroavat toisistaan käyttäen emmeans-paketin emmeans-funktiota. Emmeans-paketissa merkitsevyydet korjataan Tukeyn menetelmällä.

### 3.4.4.3 Itsearvioitu tiimin tilannekohtainen kuormitus ja asenteet automaatiota kohtaan

Simulaattoriajon jälkeen operaattoreita pyydettiin arvioimaan heidän asenteitaan automaatiota kohtaan Merrittin ym. (2019) kehittämällä Automation Induced Complacency Potential-Revised (AICP-R) -kyselyllä, joka mittaa automaatioon liittyvää huolettomuutta viisiportaisella Likert-asteikolla (1 = Täysin eri mieltä; 2 = Jossain määrin eri mieltä; 3 = Ei samaa mieltä eikä eri mieltä; 4 = Jossain määrin samaa mieltä; 5 = Täysin samaa mieltä). Sen lisäksi operaattorit arvioivat tiimin tilannekohtaista työkuormaa 17 väitettä sisältävällä TWAS-kyselyllä 10-portaisella asteikolla, joka ulottuu vaihtoehdosta ”Väite pitää paikkansa huonosti” vaihtoehtoon ”Väite pitää paikkansa hyvin”. Kysely käsittää neljä väiteryhmää: *koordinoituminen, kommunikaatio, johtajuus ja tuki sekä ajan jakaminen*.

Näiden kyselyiden tulokset visualisoitiin käyttämällä likert-funktiota R-ohjelmiston likert-paketissa.

### 3.4.5 Työkuormituksen ja stressin mittaaminen: Syke, sykevälivaihtelu, stressi-indeksi ja liikeaktiivisuus

#### 3.4.5.1 Syke- ja liikeaineiston esikäsittely

Sykedata esikäsiteltiin Kubios (Kubios HRV Scientific 4.1.2.1) -ohjelmalla. Jatkovasta EKG-aineistosta valittiin kunkin keskeisen tapahtuman käynnistymisestä neljän minuutin analyysijakso tarkempaa tarkastelua varten. Lisäksi laskettiin kummankin kahden perustasomittausten ajalta vastaavat 4 minuutin analyysijaksot. Kustakin 4 minuutin analyysijaksosta poistettiin häiriöt sekä tunnistettiin QRS-kompleksit ja sydämen lyöntipiikit. Kullekin tutkittavalle, kustakin analyysijaksosta laskettiin sykettä, sykeväliä ja sykevälivaihtelua kuvaavat muuttujat (HR, RMSSD, SDNN, NN50 ja pNN50), taajuustason muuttujat (VLF, LF, HF, sekä LF/HF-suhde) sekä parasympaattisen ja sympaattisen hermoston aktiviteettia kuvaavat PNS- ja SNS-indeksit ja Baevskyn stressi-indeksi (Baevsky & Chernikova, 2017; Cowley ym., 2016). Tilastolliseen tarkasteluun valittiin yleisemmin käytetyt ja stressiä ja kuormitusta tavallisimmin kuvaavat suureet keskisyke (HR), sykevälivaihtelu (RMSSD), sekä stressi-indeksi.

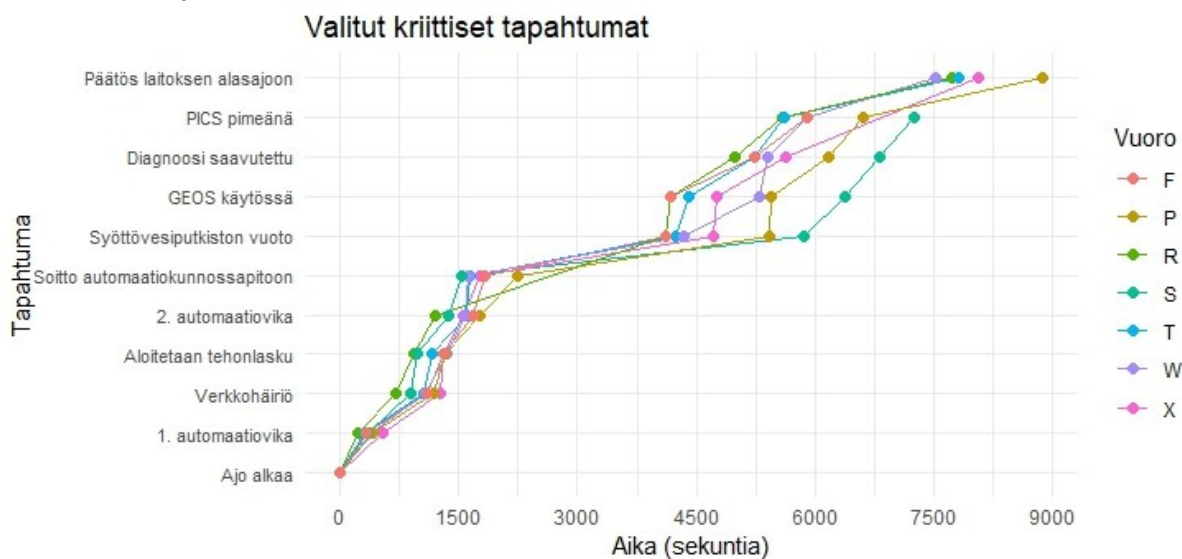
Jatkuva-aikainen liikedata prosessoitiin Python-ohjelmistoympäristössä. 10 sekunnin aikaikkunoista laskettiin fyysistä aktiivisuutta kuvaava ”aktigrafi-indeksi” suodattamalla pois korkea- ja matalataajuinen kohina ja muuntamalla kolmiakselinen kiihtyvyydata kynnysarvon ylittävien liiketapahtumien määrää kuvaavaksi indeksiksi. Näistä koostettiin tilastollista tarkastelua varten sykedataa vastaavat tapahtumakohtaiset arvot (kynnysarvojen ylittävien tapahtumien kokonaismäärä 4 minuutin tarkastelujaksolla tapahtuman alusta lukien).

#### 3.4.5.2 Syke- ja liikeaineiston tilastollinen tarkastelu

Ajon aikaisten keskeisten tapahtumien (Kuva 6) yhteyttä sydämen sykkeeseen (engl. heart rate, HR), sykevälivaihteluun (engl. root mean square of successive differences, RMSSD), stressi-indeksiin ja liikeaktiivisuuteen tarkasteltiin lineaarisilla sekamalleilla (engl. *linear mixed-effects models*). Mallit rakennettiin käyttäen R-ohjelmiston *nlme*-paketin *lme*-. Jokaisessa mallissa oli satunnaisvakio tutkittavalle. Kutakin muuttujaa (HR, RMSSD; stressi-indeksi ja liikeaktiivisuus) tapahtuman aikana verrattiin perustasomittaukseen (*baseline*). Perustasoksi valikoitui mittaus, joka tehtiin loppukyselyjen aikana. Perustasoksi ei valittu ennen simulaatioajoja tehtyä perustasomittauksia, koska siinä nähtiin viitteitä kohonneesta sykkeestä, mahdollisen alkujännityksen vuoksi.

Selvitimme ensin ajon tapahtuman yhteyttä edellä mainittuihin muuttujiin. Tämän lisäksi testasimme, onko operaattoriroolilla yhteyttä psykofysiologisiin muuttujiin. Muuttujan merkitsevyyttä tarkasteltiin anova-funktiolla. Mikäli tilastollisesti merkitsevä vaikutus havaittaisiin operaattoriroolin kohdalla, se jätettäisiin malliin ajon aikaisen tapahtuman lisäksi. Jos operaattorirooli oli merkitsevä selittäjä mallissa, tutkimme mitkä operaattoriroolit eroavat toisistaan merkitsevästi käyttäen emmeans-paketin emmeans-funktiota. Emmeans-paketti käyttää p-arvojen korjaamiseen useissa parittaisvertailuissa Tukeyn menetelmää. Lisäksi tarkastelimme, parantaako jäännösvariانسsin mallintaminen mittauskerta- ja operaattorivuorotasolla mallin sovittuvuutta. Tätä varten sallimme jäännösvariانسsin vaihdella tapahtumittain tai operaattoriryhmittäin varldent-rakenteella. Mallien sovittuvuutta vertailtiin likelihood ratio -testillä sekä AIC- ja BIC-arvojen perusteella. Lisäksi arvioimme mallien sopivuutta visuaalisesti tarkastelemalla jäännösten jakaumaa ja hajontaa.

Sydämen toiminta on yhteydessä liikeaktiivisuuden määrään; liikeaktiivisuuden lisääntyessä sydämen syke kohoaa ja sykevälivaihtelu pienenee. Valvomoympäristössä operaattorit liikkuvat vapaasti ja näin ollen muutokset sydämen toimintaa kuvaavissa parametreissa voivat stressin ja kuormituksen lisäksi johtua myös muutoksista liikeaktiivisuudessa. Arvioidaksemme liikeaktiivisuuden vaikutusta sykeaineistoon tarkastelimme, selittääkö simulaatioharjoituksen aikana mitattu liikeaktiivisuus sykkeen muutoksia. Tätä varten em. lineaariseen sekamalliin lisättiin liikemuuttuja kovariaatiksi. Myös tässä mallissa tutkittava oli asetettu satunnaismuuttujaksi.



*Kuva 6. Ennen simulaattoriajaja valitut ajon aikaiset keskeiset tapahtumat. Syke laskettiin 4 minuutin segmenteissä tapahtumahetkestä kuvastamaan tapahtuman aikaista fysiologista tilaa. Tapahtuma (y-akseli) ja sen tapahtuma-aika sekunneissa ajon alusta (x-akseli). Kuvassa operaattorivuorot on pseudonymisoitu.*

### 3.4.6 Kommunikaatioanalyysi

Vuorokommunikaation analyysi perustui Nonose ym. (2015) kehittämään puheilmausten luokittelujärjestelmään, jossa ilmaisut luokitellaan kuuteen kategoriaan:

- 1) *Kysely*: Kysytään tai varmistetaan, mitä tiedetään. Ilmaistaan, että ei tiedetä jotakin asiaa ja uskotaan, että toinen tietää.
- 2) *Informointi*: Tiedotetaan vuoron jäsenille tehtävään liittyvistä asioista tai päätöksistä. Vastataan toisen esittämään kysymykseen.

- 3) *Organisointi*: Järjestellään vuoron töitä. Ehdotetaan muille suunnitelmista. Käsketään jotakuta tekemään jotain.
- 4) *Ristiriita*: Korjataan, mikäli toinen on ymmärtänyt viestin väärin. Ollaan eri mieltä sen kanssa, mitä toinen on sanonut.
- 5) *Hyväksyntä*: Ollaan samaa mieltä sen kanssa, mitä toinen sanoo. Vahvistetaan vastaanotettu tieto.
- 6) *Muu*: Puhutaan itsekseen (monologi), tervehditään, huudahdetaan, nauretaan jne.

Kolme tutkijaa luokitteli operaattoreiden (VP, RO, TO) kommunikaation yllä mainittuihin luokkiin siten, että yksi tutkija keskittyi aina yhden operaattorin puheviestien luokitteluun. Tutkijat pyrkivät myös kirjoittamaan sanasta sanaa ylös sen, mitä operaattori kussakin tilanteessa sanoi. Kommentit kirjoitettiin Excel-taulukkoon, johon myös kirjautui aikaleima minuutin tarkkuudella.

Operaattoriroolin ja vuoron vaikutusta lausumien määrään tutkittiin kaksisuuntaisen varianssianalyysin avulla. Mikäli näiden muuttujien suhteen havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero, suoritettiin parittaiset vertailut Tukeyn testillä.

Laskimme myös vuorojen pitämien tilannekatsauspalaverien lukumäärän ajon aikana.

#### 3.4.7 Prosessiseurantahaastattelujen tulosten analysointi

Prosessiseurantahaastattelujen ääninauhokitukset muutettiin kirjoitetuksi tekstiksi, joista pyrittiin löytämään vastaukset edellä kohdassa 3.3.2 mainittuihin teemoihin.

#### 3.4.8 Yksilöhaastattelujen tulosten analysointi

Yksilöhaastattelujen ääninauhokitukset muutettiin kirjoitetuksi tekstiksi. Operaattoreiden vastaukset kohdassa 3.3.2 mainittuihin haastattelukysymyksiin siirrettiin Excel-taulukkoon, johon keskeiset kutakin aihetta koskevat ajatukset ja huomiot merkittiin värikoodein.

## 4. Tulokset

---

### 4.1 Operaattoritoiminta

#### 4.1.1 Automaatiovian käsittely

Seuraavassa tarkastellaan Reactor control, surveillance, and limitation (RCSL) -järjestelmän osittaisen menetyksen käsittelyä ajon aikana. Ko. järjestelmän tehtävänä on tunnistaa normaalitoimintaa vaarantavia rajaehdoja, reagoida niihin ja antaa hälytys tarvittaessa. Ko. järjestelmän menetyksen tarkempi käsittely on perusteltua, koska operaattoreilla on varsin vähän kokemusta tämän tyyppisistä automaatiovivoista ja niiden vaikutuksista prosessiin. Häiriön käsittelyä vaikeutti lisäksi se, että vuorot olivat samaan aikaan laskemassa tehoa järjestelmäsuojaohjelmien takia.

RCSL-hälytys tapahtui n. 25 minuutin kuluttua ajon alkamisesta ja muutamia minutteja järjestelmäsuojaohjelmien jälkeen. Vuoron tärkein tehtävä oli selvittää RCSL:n osittaisen

menetyksen vaikutukset prosessinhallintaan ja pyytää automaatiokunnossapitoa selvittämään vian syy ja korjaamaan se. Lisäksi vuoron oli päätettävä, jatkaako se järjestelmäsuojan menetyksen vaatimaa tehon laskua vai keskeytetäänkö tehonlasku.

Kaikki vuorot ottivat hälytyksen jälkeen lähes välittömästi yhteyttä automaatiokunnossapitoon ja pyysivät automaatiohenkilöä selvittämään ja korjaamaan vika. Yleensä vuoropäällikkö soitti ko. henkilölle. Vuorot ottivat tarkastelujakson aikana 2–3 kertaa yhteyttä automaatiokunnossapitoon. Jos operaattorin mielestä automaatiohenkilö ei ollut toiminut tarpeeksi ripeästi, häntä pyydettiin kiirehtimään ja selvittämään vika viivyttelämättä.

Valvomossa vian vaikutuksista keskusteltiin useimmissa vuoroissa aktiivisesti. Pääosa keskusteluista tapahtui vuoropäällikön ja reaktoriohjaajan välillä, mutta myös turbiiniohjaaja osallistui keskusteluun. Yleensä vuoropäällikkö esitti kysymyksiä, joihin reaktoriohjaaja tai turbiiniohjaaja vastasivat. Keskustelun määrässä oli vuorojen välillä varsin suuria eroja.

Yksi vuoro soitti ydinturvallisuusvalvontaan ja pyysi sieltä apua RCSL:n menetyksestä seuraavien tarkkailuvaatimusten tunnistamiseen. Toinen vuoro lähetti kunnossapidon katsomaan, palaako automaatiokaapissa valo.

Seitsemästä vuorosta viisi suoritti tehon laskun loppuun saakka, kaksi vuoroa sen sijaan keskeytti sen.

RCSL:n osittaisen menetyksen selvittelyssä hälytyskortti oli tärkein informaatiolähde. Erityisesti reaktoriohjaaja etsi lisää tietoa myös prosessikäyttöliittymän näytöiltä.

RCSL:n menetys vaikuttaa yhden höyrystimen pinnansäätöön sekä primääripiirin paineenhallintaan. Kaikki vuorot yhtä lukuun ottamatta mainitsivat keskustelussa selkeästi molemmat vaikutukset, mutta yksi vuoro ei maininnut selkeästi primääripiirin paineenhallintaa. Automaatiiovialla ei ollut vaikutusta ajon myöhempisiin tapahtumiin eivätkä operaattorit tällaiseen keskusteluissa viitanneetkaan, vaikka ilmeisesti joillakin operaattorilla tämä oli ehkä käynyt mielessä (ks. kohta 4.5.1).

Hälytyskortissa mainitaan useita muitakin vaikutuksia, joista vuorot keskustelivat vaihtelevasti. Esimerkiksi vain kaksi-kolme vuoroista toi keskustelussa esiin, että DNBR (engl. Departure from Nucleate Boiling Ratio) -valvonta ei toiminut. Osa vuoroista keskusteli selvästi enemmän ko. vian mahdollisista vaikutuksista kuin toiset; osa myös pyrki muita vuoroja enemmän ennakoimaan seurauksia, jos tilanne olisi pahentunut entisestään.

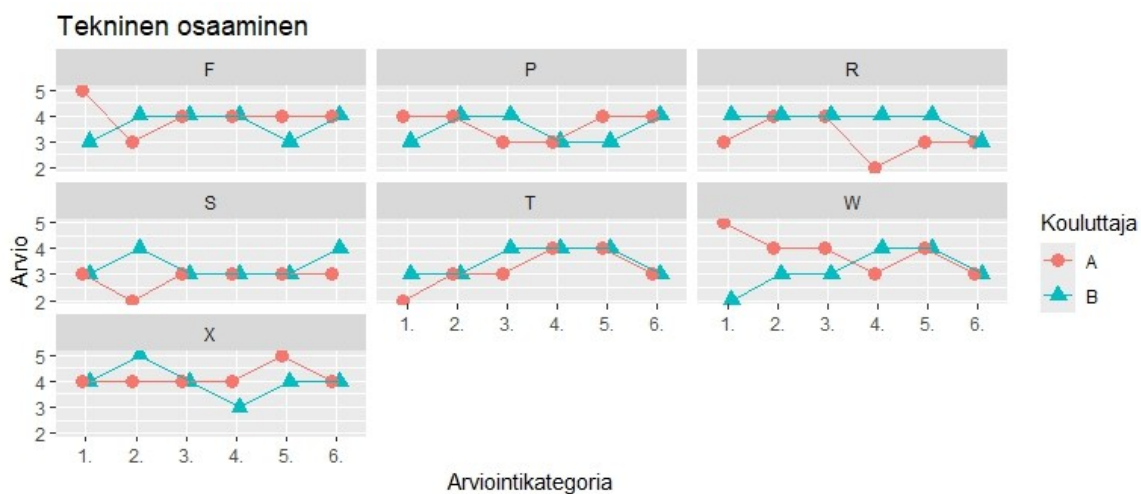
Useimmilla seitsemästä vuorosta oli jonkin verran haasteita tilanteen tulkinnessa. Seuraavassa on esitetty muutamia operaattoreiden kommentteja, jotka kuvastavat tilanteen haasteellisuutta.

- "Siellä on RCSL huonossa kunnossa; tarkkailla vaan niitä kaikkia säätöjä, jos vaikka jostain muualtakin on jotain menetetty."
- "Automaattiset toiminnot voivat olla heikoilla. Rajoitus- ja valvontatoimia on menetetty, mutta on epäselvää, missä säädöissä on ongelmia. Onkohan reaktoritehon valvonta käytössä?"
- "Voiko jotain muuta kakkosdivarissa ollut mennyt manuaalille? Kertooko hälytyskorttikan enempää kuin tuon höyrystimen pinnansäädön?"
- "Se on hieman hankalaa, kun me ei ihan tarkkaan tiedetä, mitä me ollaan noista sydämen rajoituksista menetetty."
- "Kakkosdivarista tulee hälytys, mutta ykkösdivari voidaan menettää... Tätä en ihan ymmärrä..."

Kaiken kaikkiaan vaikuttaa siis siltä, että ko. vika oli varsin haasteellinen, ja vuorot joutuivat enemmän tai vähemmän epä mukavuusalueelle vian vaikutusten selvittelyssä. Osalla operaattoreista oli automaatioinsinöörin koulutus. Tuli vaikutelma, että vuoroissa, joiden operaattoreilla – erityisesti vuoropäälliköllä - oli automaatioalan koulutusta, automaatiovikojen selvittäminen oli jonkin verran helpompaa, mutta aineiston niukkuuden vuoksi tämä jää pelkäksi oletukseksi.

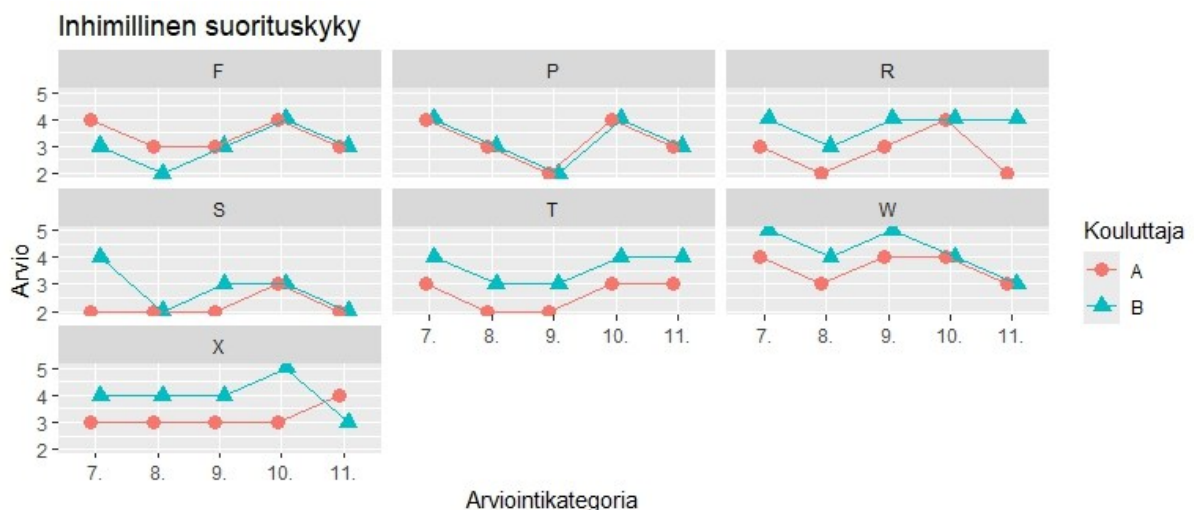
#### 4.1.2 Kouluttajien arviot operaattoriryhmien suoriutumisesta

Vuorojen *tekninen osaaminen* oli kouluttajien arvioiden perusteella kauttaaltaan korkealla tasolla, ja arvosanat olivat 3 tai sitä suurempia (Kuva 7). Ainoastaan yhdellä vuorolla (T) Hälytysten hallinnan arvosana jäi alle kolmen.



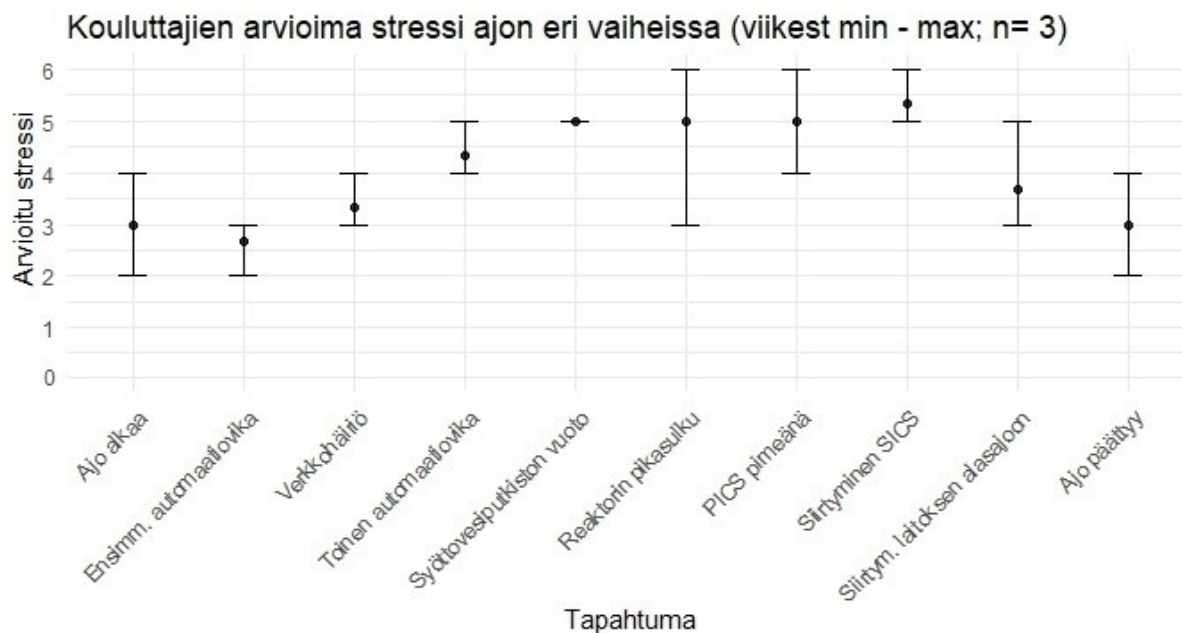
Kuva 7. Teknisen osaamisen (x-akseli) arvioinnit (y-akseli) kouluttajittain. Teknisen osaamisen alakategoriat: 1. = Hälytysten hallinta; 2. = Prosessin ymmärtäminen; 3. = Prosessin vasteen seuranta; 4. = Vian etsintä; 5. = Jatkotoimien suunnittelu; 6. = Tekninen osaaminen. Asteikko: 1 = tyydyttävä suoritustaso; 3 = hyvä suoritustaso; 5 = erinomainen suoritustaso.

*Inhimillisen suorituskvyn* alakategorioissa Viestintä, Tilannetietoisuus ja Vaihtoehtoisten tulkintojen teko oli eniten eroja vuorojen välillä (Kuva 8). Neljällä vuorolla (F, R, S ja T) Viestintä jäi alle 3:n; kolmella vuorolla (P, S ja T) Tilannetietoisuus ja yhdellä vuorolla (S) Vaihtoehtoisten tulkintojen teko jäi alle 3:n.

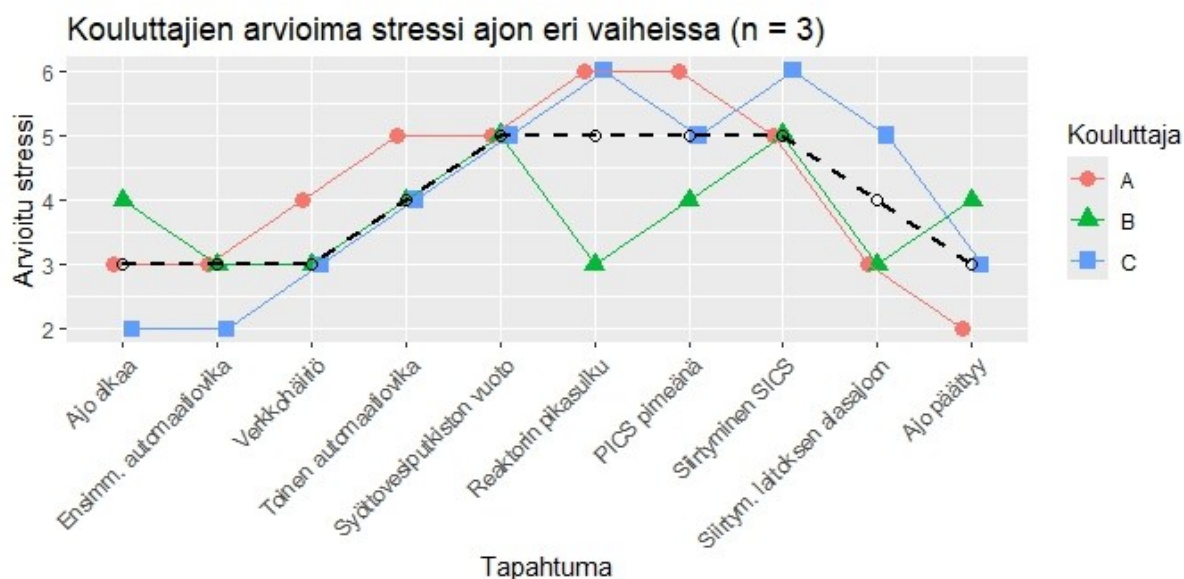




ennustettiin lisääntyvän toisen automaatiovian jälkeen ja olevan korkeimmillaan reaktorin pikasulun ja PICS näyttöjen pimenemisen sekä SICS:lle siirtymisen aikana. Hieman eriävyyttä havaittiin erityisesti reaktoripikasulun kuormittavuudessa/ stressaavuudessa, jonka yksi kouluttaja arvioi kuormittavan/stressaavan operaattoreita vain lievästi, kun taas toiset arvioivat tapahtuman kuormittavan/stressaavan voimakkaasti. Kouluttajat arvioivat, että enimmillään operaattorit kokevat voimakasta työkuormitusta/stressiä joissakin vaiheissa ajon aikana. Kuormituksen/stressin nähtiin olevan matalimmillaan ajon alussa sekä ajon päättyessä.



Kuva 10. Kolmen kouluttajan ennustama keskimääräinen stressi ajon eri vaiheiden aikana. Piste kuvaa keskiarvoa ja viiksien ylä- ja alapää minimi ja maksimi arvoja. Asteikko: 0 = Ei kuormitusta/stressiä; 2 = lievä kuormitus/stressi; 4 = kohtalainen kuormitus/stressi; 6 = voimakas kuormitus/stressi; 8 = erittäin voimakas kuormitus/stressi; 10 = Äärimmäinen kuormitus/stressi.



Kuva 11. Kolmen kouluttajan ennustama stressi ajon aikana. Pisteet kuvaavat havaittuja arvoja ja katkoviiva arvioiden lähimpään kokonaislukuun pyöristettyä keskiarvoa. Asteikko: 0 = Ei kuormitusta/stressiä; 2 = lievä kuormitus/stressi; 4 = kohtalainen kuormitus/stressi; 6 = voimakas kuormitus/stressi; 8 = erittäin voimakas kuormitus/stressi; 10 = Äärimmäinen kuormitus/stressi.

#### 4.2.2 Itseraportoitu kuormittavuus sekä stressi

##### 4.2.2.1 Itseraportoitu kuormittavuus: NASA-TLX

Osa NASA-TLX:n alakategorioista erosi toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $\chi^2(4) = 40.74$ ,  $p < .001$ ). *Post-hoc* parivertailut osoittivat seuraavat tilastollisesti merkitsevät erot alakategorioiden välillä (ks. Taulukko 1; Kuva 12). Kuva 12. NASA-TLX-alakategorioiden (x-akseli) havaitut arvot (y-akseli). Laatikko (box) kuvaa 50 % kaikista arvoista (interkvartiiliväli, IQR). Viiksien ylä- ja alapääts osoittavat minimi- ja maksimiarvot, pois lukien poikkeavat havainnot (poikkeaviksi määritellään arvot, jotka ovat yli  $1,5 \times$  IQR:n päässä laatikon reunoista). Laatikon sisällä oleva vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa. Asteikko: 0 = Matala vaatavuus — 10 = Korkea vaatavuus.

Koetut vaatimustasot olivat seuraavat (*Md* = mediaani; *IQR* = interkvartiiliväli):

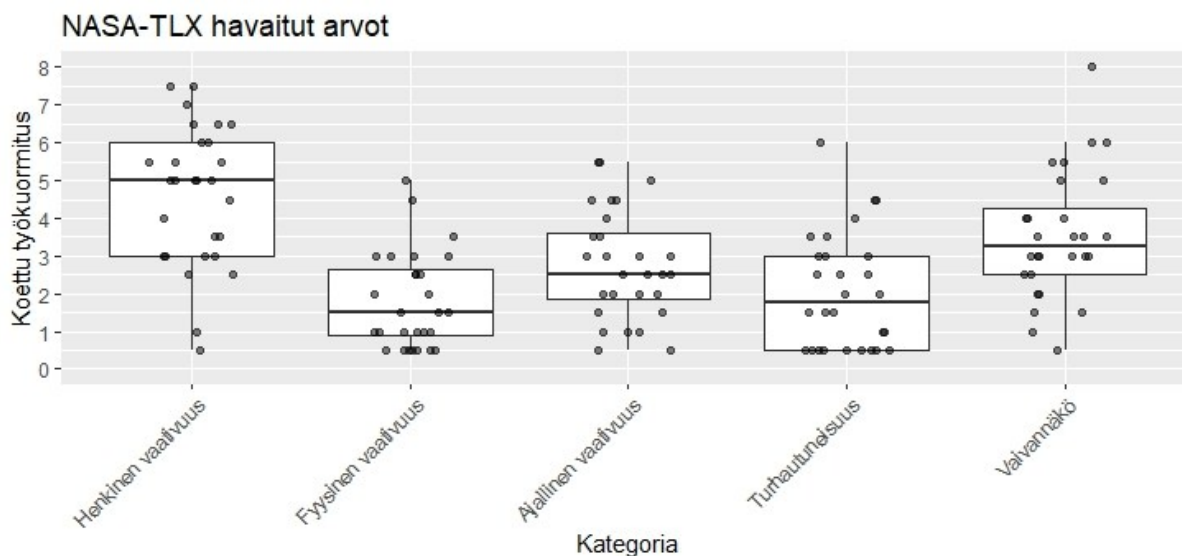
- Henkinen vaatavuus: *Md* = 5.0, *IQR* = 3
- Fyysinen vaatavuus: *Md* = 1.5, *IQR* = 1.75
- Ajallinen vaatavuus: *Md* = 2.5, *IQR* = 1.75
- Turhautuneisuus: *Md* = 1.75, *IQR* = 2.5
- Vaivannäkö: *Md* = 3.25, *IQR* = 1.75

Henkistä vaatavuutta operaattorit kokivat ajon aikana enemmän kuin fyysistä vaatavuutta, ajallista vaatavuutta tai turhautuneisuutta. Samoin vaivannäköä koettiin enemmän kuin fyysistä vaatavuutta tai turhautuneisuutta. Kuten alla olevasta Kuvasta 12 Kuva 12 käy ilmi, koettu henkinen vaatavuus sekä vaivannäkö vaihtelivat paljon operaattoreiden välillä. Osa koki hyvin matalaa henkistä vaatavuutta sekä vaivannäköä, kun taas toiset kokivat hyvin korkeaa henkistä vaatavuutta sekä vaivannäköä; henkinen vaatavuus vaihteli 0.5:n ja 7.5:n välillä ja vaivannäkö 0.5:n ja 8.0:n välillä (Asteikko: 0 = Matala vaatavuus/vaivannäkö, 10 = Korkea vaatavuus/vaivannäkö).

Taulukko 1. NASA-TLX alakategorioiden välisten parittaistet vertailut (Wilcoxonin testi).

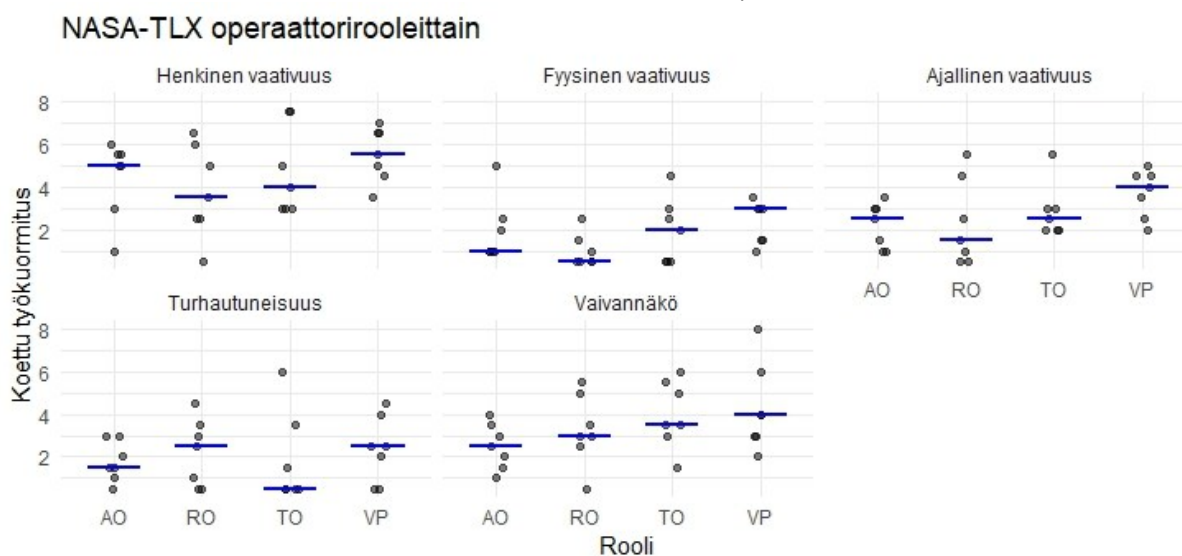
	Henkinen vaativ.	Fyysinen vaativ.	Ajallinen vaativ.	Turhautuneisuus
Fyysinen vaativ.	<i>Md</i> $\Delta$ = 3.5***	-	-	-
Ajallinen vaativ.	<i>Md</i> $\Delta$ = 2.5**	<i>Md</i> $\Delta$ = -1	-	-
Turhautuneisuus	<i>Md</i> $\Delta$ = 3.25***	<i>Md</i> $\Delta$ = -0.25	<i>Md</i> $\Delta$ = 0.75	-
Vaivannäkö	<i>Md</i> $\Delta$ = 1.75	<i>Md</i> $\Delta$ = -1.75**	<i>Md</i> $\Delta$ = -1.25	<i>Md</i> $\Delta$ = -1.5*

$p < .001$  \*\*\*  $p < .01$ \*\*  $p < .05$  \* **Huom.** *Md*  $\Delta$  = mediaanien erotus (vaakarivi – pystyrivi).  
Positiivinen arvo osoittaa suuremman mediaanin vaakarivillä olevalle muuttujalle.



Kuva 12. NASA-TLX-alkategorioiden (x-akseli) havaitut arvot (y-akseli). Laatikko (box) kuvaa 50 % kaikista arvoista (interkvartiiliväli, IQR). Viiksien ylä- ja alapääts osoittavat minimi- ja maksimiarvot, pois lukien poikkeavat havainnot (poikkeaviksi määritellään arvot, jotka ovat yli  $1,5 \times IQR$ :n päässä laatikon reunoista). Laatikon sisällä oleva vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa. Asteikko: 0 = Matala vaativuus — 10 = Korkea vaativuus.

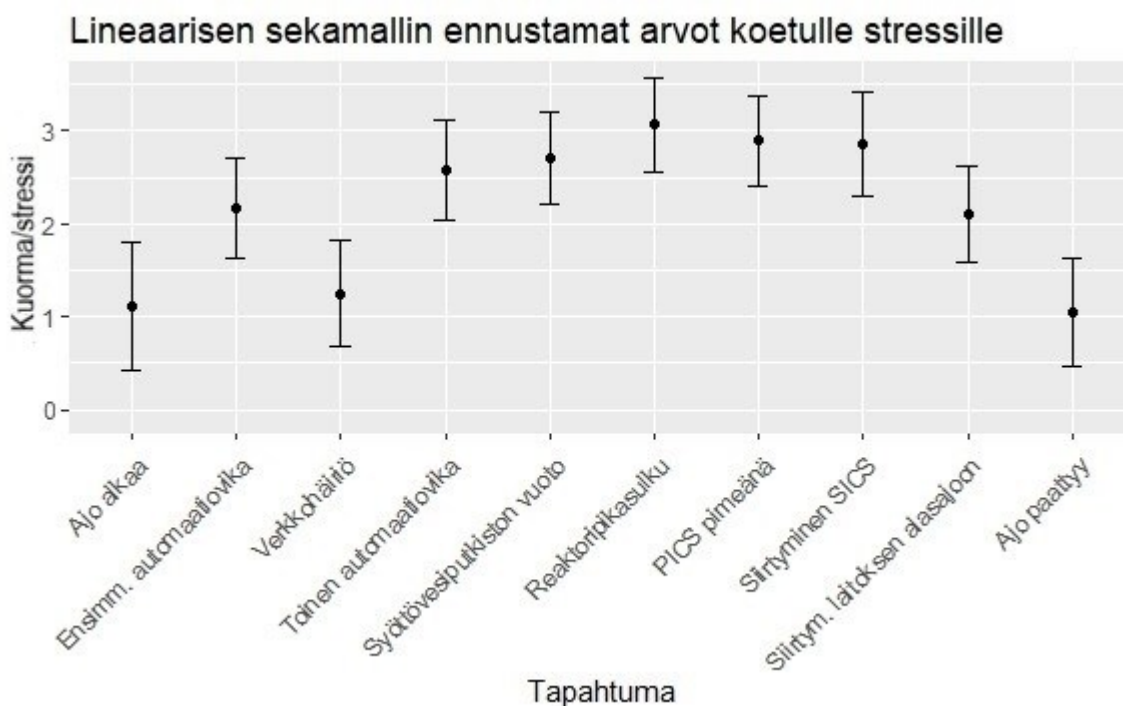
Roolien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja NASA-TLX:n alakategorioissa (Kuva 13). Kuva 13. NASA-TLX koettu työtaakka (y-akseli) operaattorirooleittain (x-akseli). Vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa, ja pisteet ovat koetun työtaakan havaittuja arvoja. Roolit: AO = Alueohjaaja; VP = Vuoropäällikkö; TO = Turbiinioperaattori; RO = Reaktorioperaattori. Asteikko: 0 = Matala vaativuus — 10 = Korkea vaativuus.).



Kuva 13. NASA-TLX koettu työtaakka (y-akseli) operaattorirooleittain (x-akseli). Vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa, ja pisteet ovat koetun työtaakan havaittuja arvoja. Roolit: AO = Alueohjaaja; VP = Vuoropäällikkö; TO = Turbiinioperaattori; RO = Reaktorioperaattori. Asteikko: 0 = Matala vaativuus — 10 = Korkea vaativuus.

#### 4.2.2.2 Itseraportoitu kuormittuneisuus/stressi ajon eri vaiheissa

Seuraavassa tarkastellaan itseraportoitua kuormittuneisuutta ja stressiä ajon eri vaiheissa. Malliin sallittiin tapahtumittain vaihteleva jäännösvarianssi (heteroskedastisuus) käyttäen *varIdent*-rakennetta *nlme*-paketista, mikä paransi mallin istuvuutta merkitsevästi verrattuna malliin, jossa oletettiin jäännösvarianssin homogeenisuus ajon eri tapahtumien välillä (likelihood ratio -testi:  $\chi^2(9) = 19.08$ ,  $p = 0.025$ ). Ajon eri vaiheet selittivät koettua kuormaa/stressiä tilastollisesti merkitsevästi ( $F[9, 236] = 15.86$ ,  $p < .001$ ). Operaattoriroolin välillä ei ollut eroa koetussa kuormassa/stressissä. Kuormitus/stressi kohosi merkitsevästi vaiheiden *ensimmäinen automaatiovika*, *toinen automaatiovika*, *syöttövesiputkiston vuoto*, *reaktoripikasulku*, *PICS:in menetys*, *siirtyminen SICS:lle* ja *laitoksen alasajo* aikana (Kuva 14; Taulukossa 2 mallin estimoima kuorma/stressiarvo tilanteessa *ajo alkaa* sekä koetun kuorman/stressin muutos suhteessa tähän tapahtumaan).



Kuva 14. Mallin ennustamat keskiarvot itsearvioidulle kuormalle/stressille ajon eri tapahtumien aikana. Mallissa on huomioitu ajon tapahtumien jäännösvarianssin heterogeenisyys. Pisteet kuvaavat mallin arvioimia keskimääräisiä stressitasoja kussakin ajon vaiheessa, ja viiksien ylä- ja alapäätt esittävät ennustettujen keskiarvojen 95 %:n luottamusvälit. 0 = Ei kuormaa/stressiä; 2 = lievä kuormitus/stressi; 4 = kohtalainen kuormitus/stressi; 6 = voimakas kuormitus/stressi; 8 = erittäin voimakas kuormitus/stressi; 10 = Äärimmäinen kuormitus/stressi.

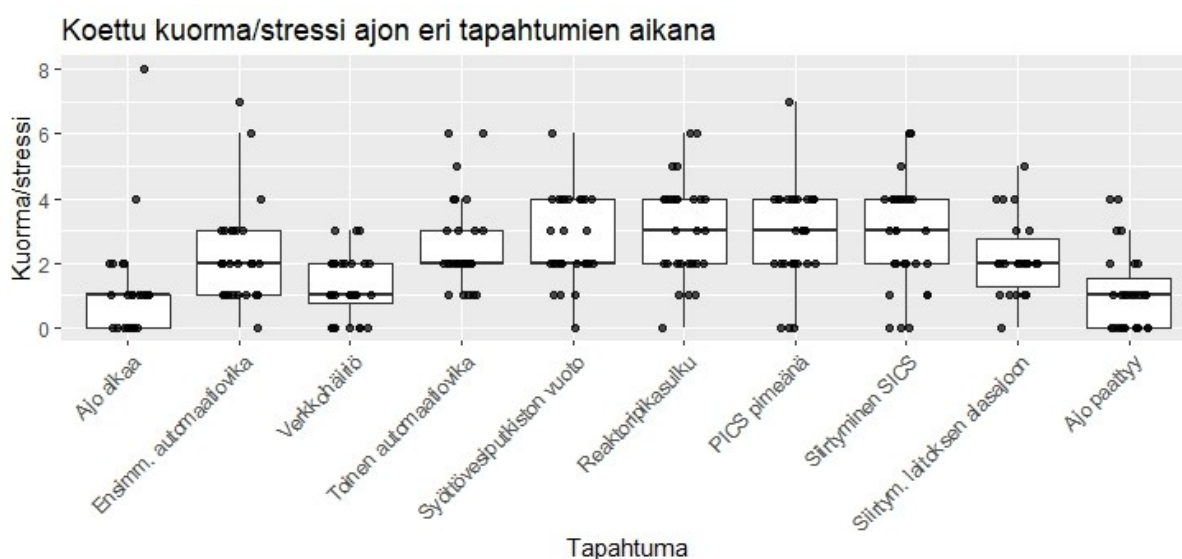
Taulukko 2. Mallin estimaatit — tapahtuman aikaisen itsearvioidun stressin muutos suhteessa perustasoön (baseline).

Tapahtumat	Itseraportoitu stressi		
	Estimaatit	95 % CI	p
Ajo alkaa (perustaso)	1.11	0.42–1.80	<.01
1. Automaatiovika	1.07	0.41–1.73	<.01
Verkkohäiriö	0.14	-0.54–0.83	0.683
2. Automaatiovika	1.46	0.80–2.12	<.001
Syöttövesiputkiston vuoto	1.61	0.98–2.23	<.001
Reaktori pikasulku	1.96	1.33–2.60	<.001

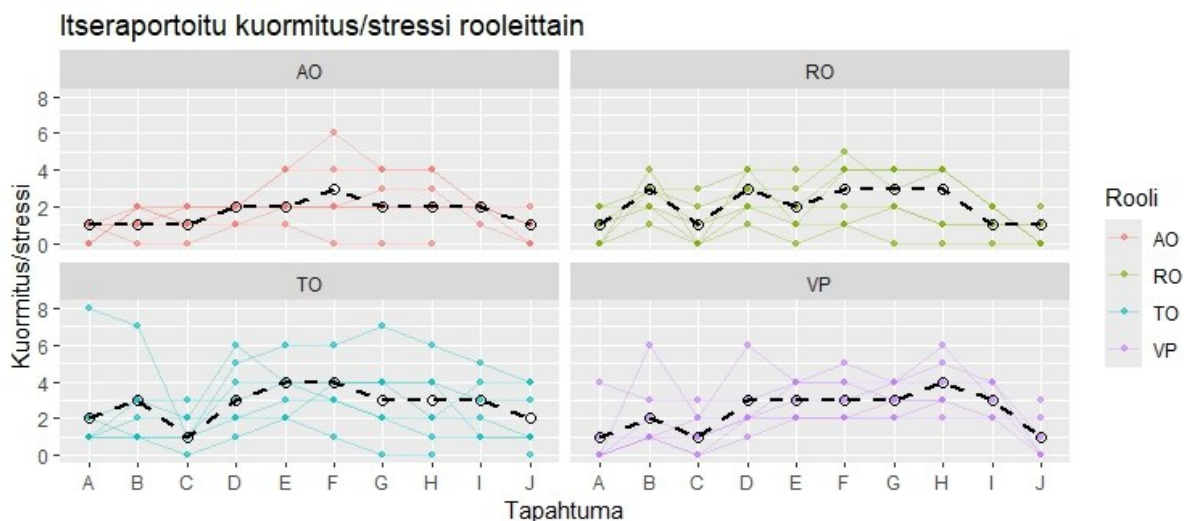
PICS menetys	1.79	1.16–2.41	<.001
Siirtyminen SICS:lle	1.75	1.07–2.43	<.001
Laitoksen alasajo	0.99	0.34–1.63	<.01
Ajo loppuu	-0.05	-0.75–0.63	0.878

Kuva 15 esittää koettua stressiä ajon eri tapahtumien aikana. Kuten havaitaan, ajon alussa useimmat operaattorit kokivat matalaa kuormitusta/stressiä, vaikkakin muutamalla havaittiin ajon alkuvaiheissa todennäköisesti alkujännitykseen liittyvää korkeaa stressiä. Operattoreiden välillä—roolista riippumatta—koetun kuormituksen/stressin kokemus vaihteli melko paljon; osa operaattoreista koki ajon tapahtumien aikana hyvin matalaa kuormitusta/stressiä, kun taas toiset kokivat melko korkeaa kuormitusta/stressiä. Korkeimman kuormituksen/stressin operaattoreille vaikuttaisi aiheuttavan reaktoripikasulku sekä PICS:in menetys ja siirtyminen SICS:lle. Yleisesti voidaan sanoa, että—kouluttajien ennustuksen mukaisesti—koetun stressin/kuorman kokemus alkaa lisääntyä toisen automaatiovian jälkeen ja sitten taas laskea ajon loppua kohti mentäessä.

Kuva 16 esittää koettua stressiä operaattorirooleittain. Operaattoriroolien välillä kuormituksen/stressin muutos on hyvin samansuuntaista yli ajon tapahtumien. Kuvan perusteella vaikuttaisi siltä, että suurin vaihtelu koetussa kuormituksessa/stressissä olisi turbiinioperaattoreiden välillä. Vaikkakaan tilastollisia eroja ei operaattoriroolien välillä havaittu, voidaan silmämääräisesti sanoa, että alueohjaajien kokema stressi ajon tapahtumien aikana saattaa olla keskimääräisesti hieman lievempää kuin muiden operaattorien.



Kuva 15. Itseraportoituun kuormitukseen/stressiin perustuvat havaitut arvot (y-akseli) ajon eri tapahtumien (x-akseli) aikana. ajo alkaa = perustaso (baseline). Laatikko (box) kuvaa 50 % kaikista arvoista (interkvartiiliväli, IQR). Viiksien ylä- ja alapääts osoittavat minimi- ja maksimiarvot, pois lukien poikkeavat havainnot (poikkeaviksi määritellään arvot, jotka ovat yli  $1,5 \times IQR$ :n päässä laatikon reunoista). Laatikon sisällä oleva vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa. 0 = Ei kuormaa/stressiä; 2 = lievä kuormitus/stressi; 4 = kohtalainen kuormitus/stressi; 6 = voimakas kuormitus/stressi; 8 = erittäin voimakas kuormitus/stressi; 10 = Äärimmäinen kuormitus/stressi.



Kuva 16. Itseraportoidun kuormituksen/stressin arvot (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli) operaattorirooleittain (havaitut arvot). Tapahtumat: A = Ajo alkaa; B = Ensimmäinen automaatiovika; C = Verkkohäiriö; D = Toinen automaatiovika; E = Syöttövesiputkiston vuoto; F = Reaktoripikasulku; G = PICS menetys; H = Siirtyminen SICS:lle; I = Laitoksen alasajo; J = Ajo loppuu. Musta katkoviiva edustaa keskiarvoa ja pisteet sekä värilliset viivat edustavat havaittuja arvoja koetusta kuormittumisesta/stressistä. Roolit: AO = Alueohjaaja; VP = Vuoropäällikkö; TO = Turbiinioperaattori; RO = Reaktorioperaattori. Asteikko: 0 = Ei kuormaa/stressiä; 2 = lievä kuormitus/stressi; 4 = kohtalainen kuormitus/stressi; 6 = voimakas kuormitus/stressi; 8 = erittäin voimakas kuormitus/stressi; 10 = Äärimmäinen kuormitus/stressi.

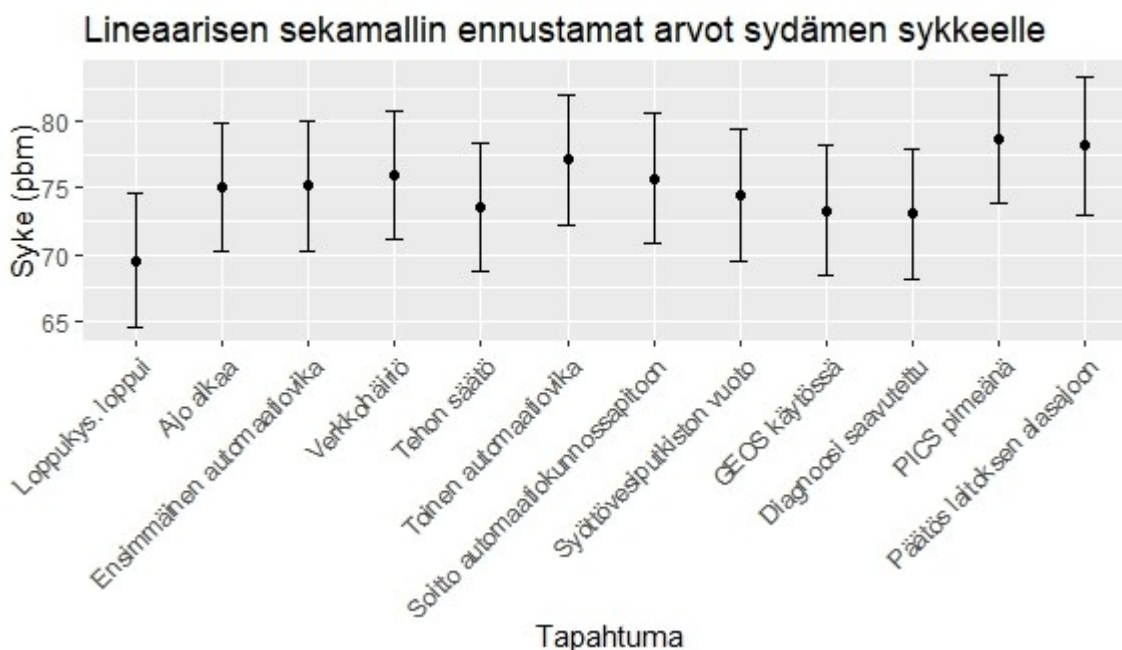
#### 4.2.3 Psykofysiologia

##### 4.2.3.1 Sydämen syke

Tässä osiossa tarkastellaan sydämen eri sykemuuttujien (sydämen syke, RMSSD ja stressi-indeksi) sekä liikkeen määrän vaihtelua. Sydämen syke muuttuu usein liikkeen lisääntymisen vuoksi, mutta myös stressin ja kuormittumisen seurauksena. Tämän jälkeen tarkastellaan sydämen sykevälivaihtelumuuttujia RMSSD:tä sekä stressi-indeksiä. Näistä RMSSD kuvastaa sydämen nopeaa sykevälivaihtelun muutosta ja tämän muuttujan on tulkittu kuvastavan parasympaattisen hermoston (rentoutuminen/palautuminen) aktivaation muutosta. Parasympaattisen hermoston aktivaation laskun ajatellaan kuvastavan tarkkaavaisuuden lisääntymistä käsillä olevaan tehtävään tai kuormittumisen/stressin lisääntymistä. Stressi-indeksi taas on geometrinen sykevälivaihtelun muuttuja, jonka ajatellaan kuvastavan sympaattisen hermoston aktivaatiota ja tässä erityisesti psyykkisen tai fyysisen stressin lisääntymistä.

Malliin sallittiin sydämen sykkeen jäännösvarianssin vaihtelu (heteroskedastisuus) tapahtumittain käyttäen *varldent*-rakennetta *nlme*-paketista, mikä paransi mallin istuvuutta merkittävästi verrattuna malliin, jossa oletettiin jäännösvarianssin homogeenisuus eri tapahtumien välillä (likelihood ratio -testi:  $\chi^2(11) = 27.13, p < .01$ ).

Ajon eri tapahtumat selittivät sydämen sykkeen muutoksia tilastollisesti merkittävästi ( $F[11, 285] = 12.08, p < .001$ ). Operaattoriroolilla ei ollut merkittävää päävaikutusta sydämen sykkeeseen, kun ajon tapahtumat ja yksilötason vaihtelu huomioitiin. Syke kohosi merkittävästi kaikkien ajon tapahtumien aikana verrattuna perustasomittaukseen (Kuva 17; Taulukossa 3 mallin estimoima syke perustasossa ja sykkeen muutos suhteessa perustasoon).



Kuva 17. Lineaarisen sekamallin ennustamat keskiarvot sydämen sykkeelle (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli). Perustaso (baseline) = Loppukys. Loppui. Mallissa on huomioitu ajon tapahtumien jäännösvarianssin heterogeenisuus. Operaattoreiden sydämen syke oli ajon tapahtumien aikana korkeammalla verrattuna perustasomittaukseen. Loppukys. Loppui = perustasomittaus (baseline). Viiksien ylä- ja alapäävät kuvastavat ennustettujen arvojen 95 % luottamusvälejä.

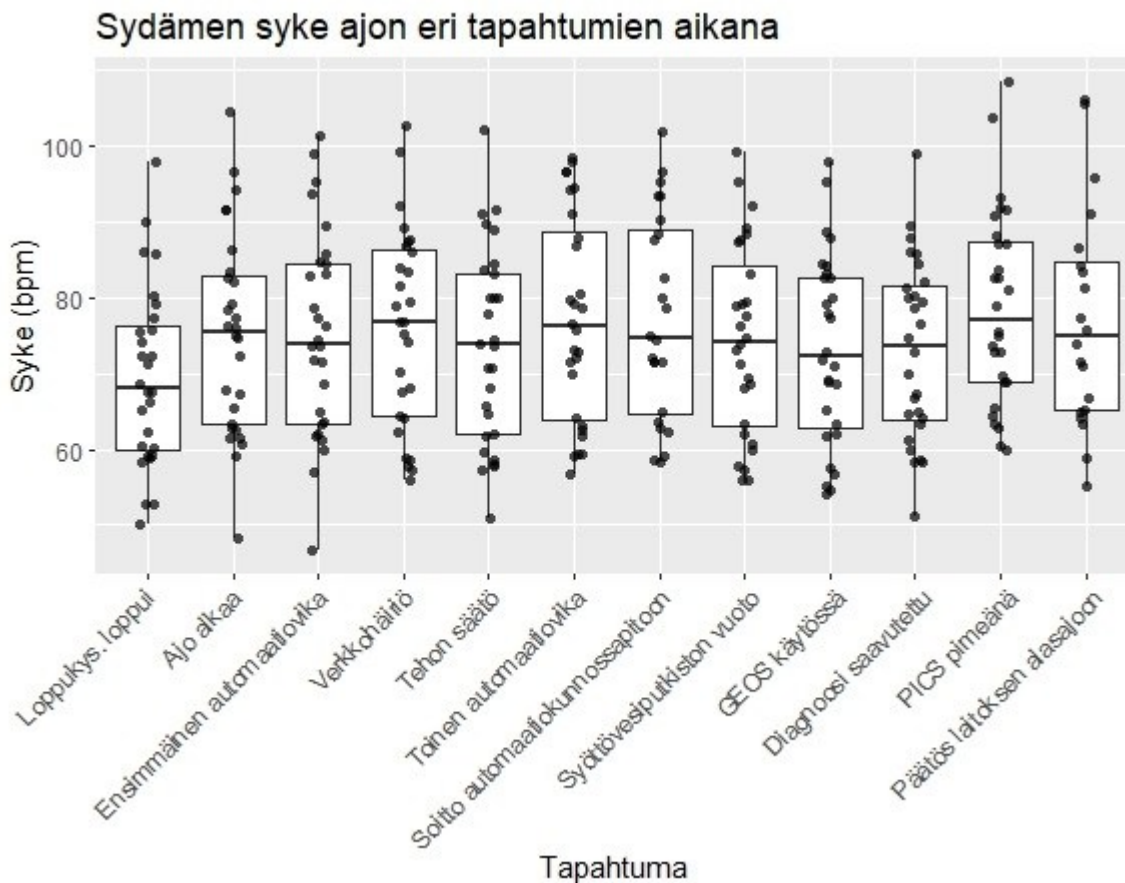
Taulukko 3. Mallin estimaatit — tapahtuman aikaisen sydämen sykkeen (bpm) muutos suhteessa perustasoon.

Tapahtumat	Sydämen syke		
	Estimaatit	95 % CI	p
Perustaso (baseline)	69.50	64.45–74.55	<.001
Ajo alkaa	5.55	3.41–7.68	<.001
1. Automaatiovika	5.67	3.48–7.86	<.001
Verkkohäiriö	6.41	4.34–8.49	<.001
Tehon säätö	4.05	2.16–5.93	<.001
2. Automaatiovika	7.62	5.45–9.79	<.001
Soitto autom.kunnossapit.	6.22	4.09–8.37	<.001
Syöttövesiputk. vuoto	4.94	2.63–7.26	<.001
GEOS käytössä	3.81	1.58–6.04	<.001
Diagnoosi saavutettu	3.55	1.26–5.84	<.01
PICS pimeänä	9.19	7.05–11.33	<.001
Päätös laitoks.alasajo	8.65	5.78–11.52	<.001

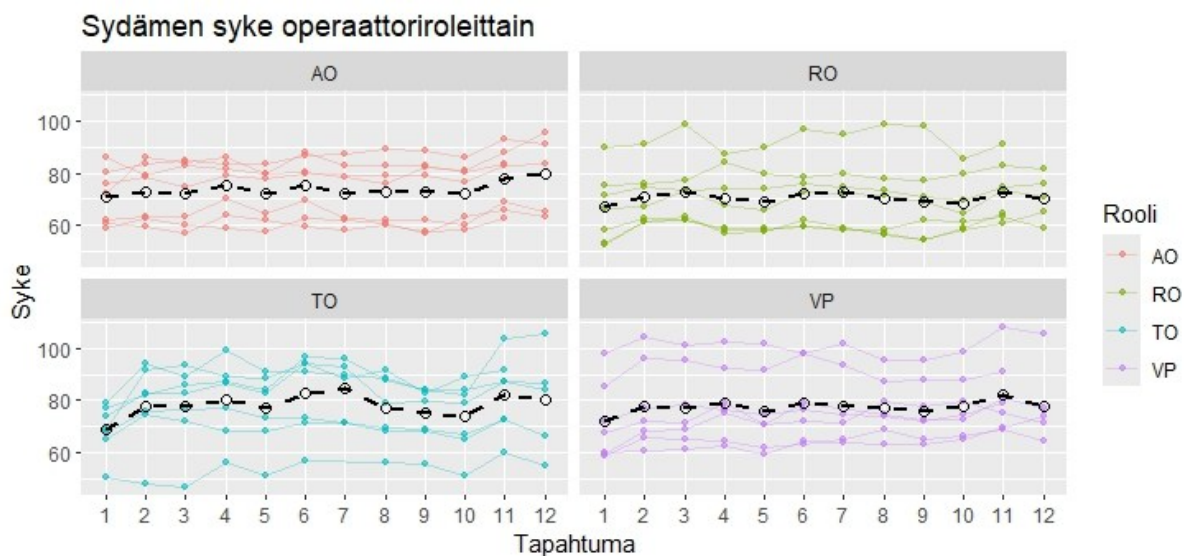
**Huom.** Perustasona käytettiin simulaattoriajon loppukyselyn aikaista sydämen sykettä.

Kuvassa 18 on esitetty kaikkien operaattoreiden havaitut sydämen sykkeet ajon eri tapahtumien aikana, ja Kuvassa 19 on kuvattu havaitut sydämen sykkeet operaattorirooleittain ajon eri tapahtumien aikana. Sykkeen muutokset ajon aikana muistuttavat itseraportoidun stressin muutoksia. Syke on koko ajon aikana korkeammalla kuin perustasomittauksessa ja edelleen hieman koholla kriittisimpien tapahtumien aikana. Syke on erityisesti hieman enemmän koholla toisen automaatiovian yhteydessä ja silloin kun PICS menetetään ja

siirrytään SICS:lle sekä kun päätetään siirtyä laitoksen alasajoon, kun näitä verrataan ajon muihin tapahtumiin. Yleisesti ottaen sykkeen nousu on melko maltillista verrattuna perustasomittaukseen (enimmillään hieman alle 10 lyöntiä minuutissa). Kuvasta 19 voidaan havaita, operaattoriroolien keskimääräinen keskisykkeen vaihtelu on hyvin samankaltaista.



*Kuva 18. Operaattoreiden havaitut sydämen sykkeen arvot (y-akseli) ajon eri vaiheissa (x-akseli). Perustaso (baseline) = Loppukys. Loppui. Laatikko (box) kuvaa 50 % kaikista arvoista (interkvartiiliväli, IQR). Viiksien ylä- ja alapää osoittavat minimi- ja maksimi-arvot, pois lukien poikkeavat havainnot (poikkeaviksi määritellään arvot, jotka ovat yli  $1,5 \times IQR$ :n päässä laatikon reunoista). Laatikon sisällä oleva vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa.*



Kuva 19. Sydämen syke (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli) operaattorirooleittain (havaitut arvot). Tapahtumat: 1 = perustasomittaus (baseline); 2 = Ajo alkaa; 3 = Ensimmäinen automaatiiovika; 4 = Verkkohäiriö; 5 = Tehon säätö; 6 = Toinen automaatiiovika; 7 = Soitto automaatiokunnossapitoon; 8 = Syöttövesiputkiston vuoto; 9 = GEOS käytössä; 10 = Diagnoosi saavutettu; 11 = PICS pimeänä; 12 = Päätös laitoksen alasajoon. Musta katkoviiva edustaa keskiarvoa ja pisteet sekä värilliset viivat edustavat havaittuja arvoja. Roolit: AO = Alueohjaaja; VP = Vuoropäällikkö; TO = Turbiinioperaattori; RO = Reaktorioperaattori.

#### 4.2.3.2 Sydämen sykevälivaihtelu (RMSSD)

Seuraavaksi tarkastellaan sydämen sykevälivaihtelun (RMSSD) tuloksia. Malliin sallittiin sydämen sykevälivaihtelun jäännösvarianssin vaihtelu (heteroskedastisuus) operaattoriryhmittäin käyttäen *varIdent*-rakennetta *nlme*-paketista, mikä paransi mallin istuvuutta merkittävästi verrattuna malliin, jossa oletettiin jäännösvarianssin homogeenisuus eri operaattoriryhmien välillä (likelihood ratio -testi:  $\chi^2(6) = 67.13$ ,  $p < .001$ ).

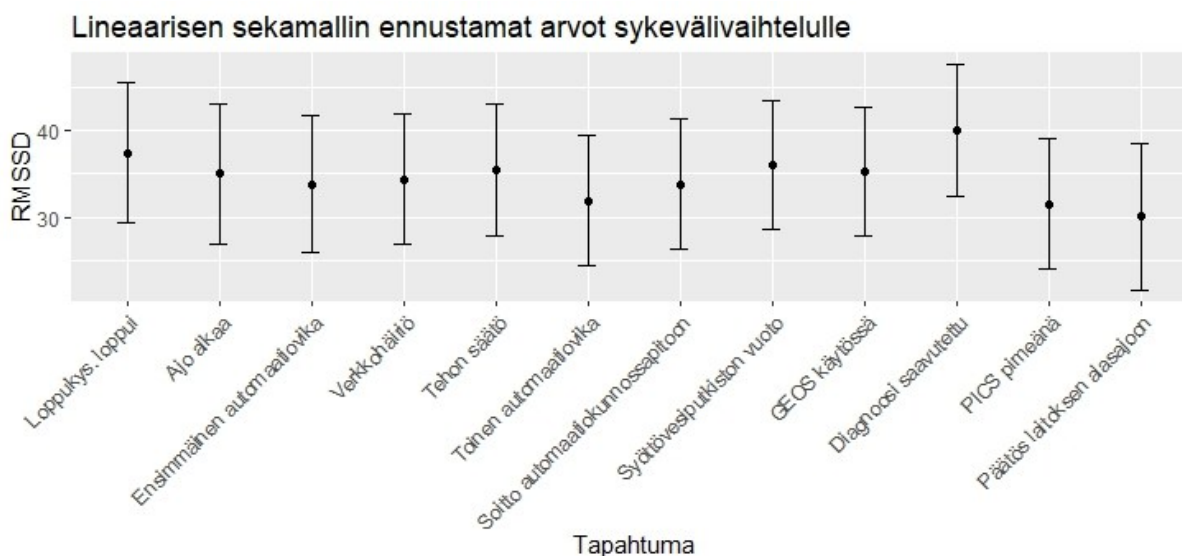
Ajon eri vaiheet ( $F[11, 285] = 3.53$ ,  $p < .001$ ) selittivät sydämen sykevälivaihtelua (RMSSD) tilastollisesti merkittävästi. Operaattoriroolilla ei ollut merkittävää päävaikutusta sykevälivaihteluun, kun ajon vaiheet ja yksilötason vaihtelu huomioitiin. Tapahtumien ensimmäinen automaatiiovika, toinen automaatiiovika, PICS pimeänä ja päätös siirtyä laitoksen alas-ajoon aikainen sydämen sykevälivaihtelu oli alentunut (ts. stressi kohonnut/tarkkaavaisuus tehtävään lisääntynyt) verrattuna perustasoon (Kuva 20; Taulukossa 4 mallin estimoima RMSSD perustasossa ja RMSSD:n muutos suhteessa perustasoon).

Taulukko 4. Mallin estimaatit — tapahtuman aikaisen sykevälivaihtelun muutos suhteessa perustasoon.

Tapahtumat	RMSSD		
	Estimaatit	95 % CI	p
Perustaso (baseline)	36.53	28.95–44.10	<.001
Ajo alkaa	-1.99	-4.85–0.86	.171
1. Automaatiiovika	-4.25	-7.10– -1.39	<.01
Verkkohäiriö	-1.37	-4.22–1.49	.347
Tehon säätö	-1.13	-3.99–1.73	.437

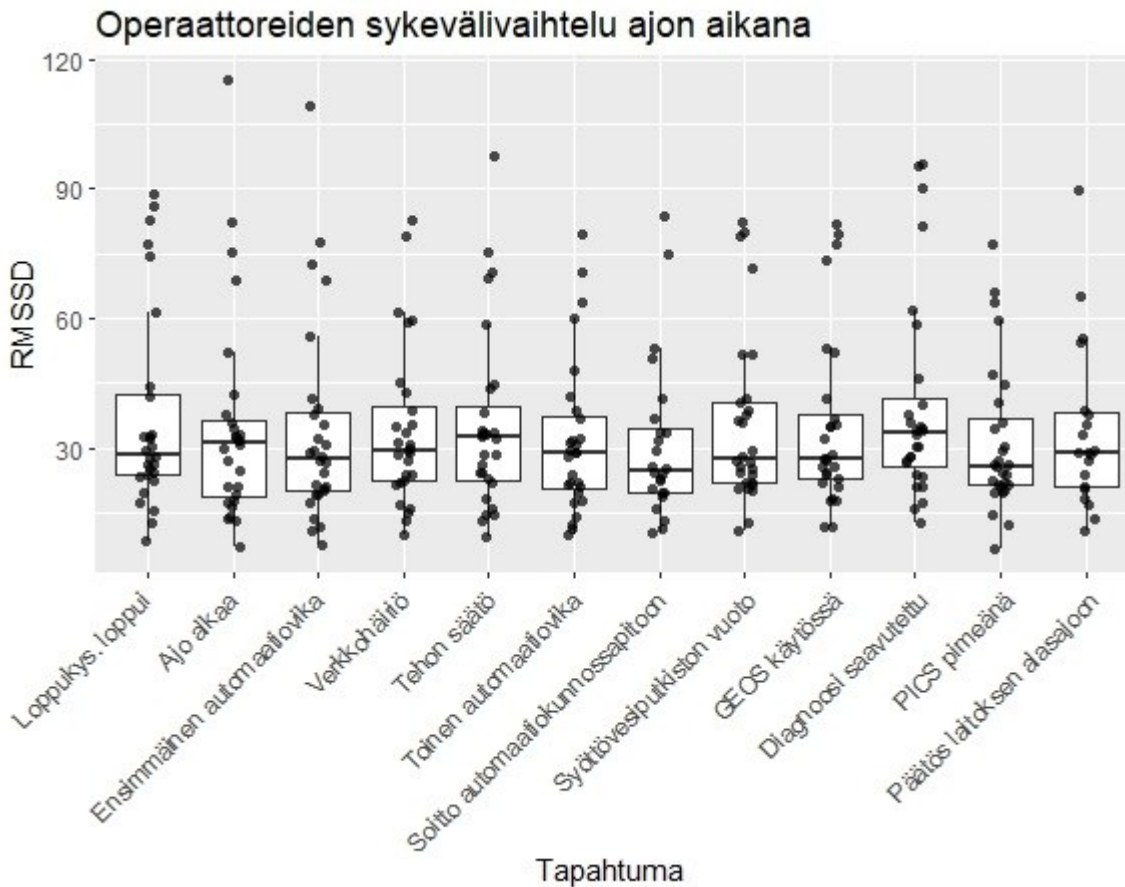
2. Automaatiovika	-4.30	-7.16– -1.44	<b>&lt;.01</b>
Soitto autom.kunnossapit.	-2.88	-5.76–0.01	.051
Syöttövesiputk. vuoto	-0.85	-3.71–2.00	.557
GEOS käytössä	-1.38	-4.24–1.47	.342
Diagnosi saavutettu	2.03	-0.83–4.89	.163
PICS pimeänä	-3.41	-6.27– -0.56	<b>&lt;.05</b>
Päätös laitoks.alasajo	-4.92	-8.29– -1.55	<b>&lt;.01</b>

**Huom.** Perustasona käytettiin simulaattoriajon loppukyselyn aikaista sydämen sykettä.

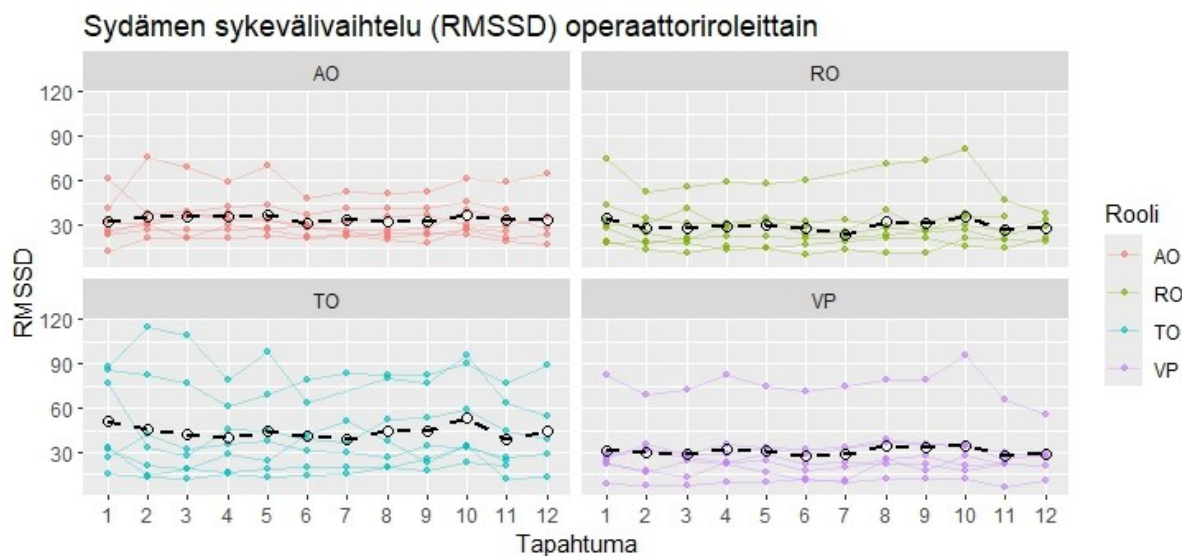


Kuva 20. Lineaarisen sekamallin ennustamat keskiarvot sydämen sykevälivaihtelulle (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli). Perustaso (baseline) = Loppukys. Loppui. Mallissa on huomioitu operaattoriryhmien jäännösvarianssin heterogeisuus. Ajon aikaisia muutoksia verrattiin perustasomittaukseen. Loppukys. Loppui = perustasomittaus (baseline). Viiksien ylä- ja alapäävät kuvastavat ennustettujen arvojen 95 % luottamusvälejä.

Kuvassa 21 on esitetty kaikkien operaattoreiden sykevälivaihtelut ajon eri vaiheissa, ja Kuva 22 seuraavassa kuvassa 22 on kuvattu sykevälivaihtelu operaattorirooleittain ajon eri tapahtumien aikana.



Kuva 21. Operaattoreiden havaittu sydämen sykevälivaihtelu, arvot (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli). Perustaso (baseline) = Loppukys. Loppui. Laatikko (box) kuvaa 50 % kaikista arvoista (interkvartiiliväli, IQR). Viiksien ylä- ja alapääts osoittavat minimi- ja maksimiarvot, pois lukien poikkeavat havainnot (poikkeaviksi määritellään arvot, jotka ovat yli  $1,5 \times IQR$ :n päässä laatikon reunoista). Laatikon sisällä oleva vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa.



Kuva 22. Sydämen sykevälivaihtelu (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli) operaattorirooleittain (havaitut arvot). Tapahtumat: 1 = perustasomittaus (baseline); 2 = Ajo alkaa; 3 = Ensimmäinen automaatiovika; 4 = Verkkohäiriö; 5 = Tehon säätö; 6 = Toinen automaatiovika; 7 = Soitto automaatiokunnossapitoon; 8 = Syöttövesiputkiston vuoto; 9 = GEOS käytössä; 10 = Diagnoosi saavutettu; 11 = PICS pimeänä; 12 = Päätös laitoksen alasajoon. Musta katkoviiva edustaa keskiarvoa ja pisteet sekä värilliset viivat edustavat havaittuja arvoja. Roolit: AO = Alueohjaaja; VP = Vuoropäällikkö; TO = Turbiinioperaattori; RO = Reaktorioperaattori.

#### 4.2.3.3 Stressi-indeksi

Seuraavaksi tarkastellaan sykeaineistosta laskettuun stressi-indeksiin perustuvia tuloksia. Malliin sallittiin stressi-indeksin jäännösvarianssin vaihtelu (heteroskedastisuus) operaattoriryhmittäin käyttäen *varIdent*-rakennetta *nlme*-paketista, mikä paransi mallin istuvuutta merkittävästi verrattuna malliin, jossa oletettiin jäännösvarianssin homogeenisuus eri operaattoriryhmien välillä (likelihood ratio -testi:  $\chi^2(6) = 45.63$ ,  $p < .001$ ).

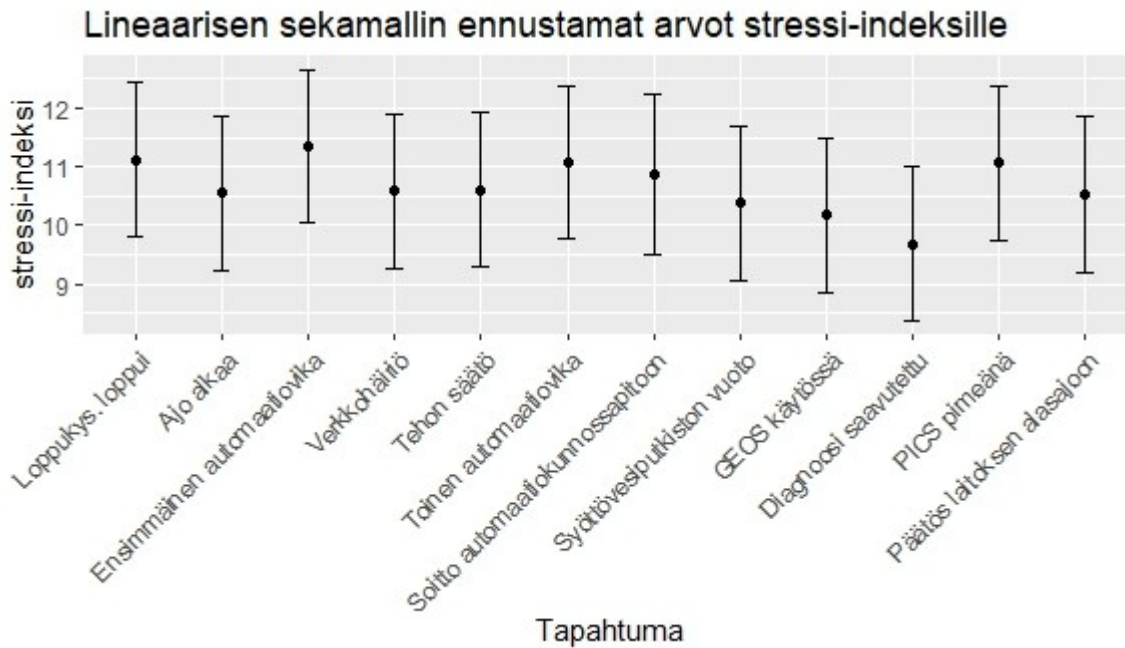
Ajon eri vaiheet ( $F[11, 285] = 2.29$ ,  $p = .011$ ) selittivät stressi-indeksiä tilastollisesti merkittävästi. Operaattoriroolilla ei ollut merkittävää päävaikutusta stressi-indeksiin, kun ajon vaiheet ja yksilötason vaihtelu huomioitiin. Stressi-indeksi aleni (ts. stressi väheni) tilastollisesti merkittävästi tapahtumien *GEOS esillä* ja *diagnoosi saavutettu* aikana (Kuva 23; Taulukossa 5 mallin estimoima stressi-indeksi perustasossa ja stressi-indeksin muutos suhteessa perustasoon).

Taulukko 5. Mallin estimaatit — tapahtuman aikaisen stressi-indeksin muutos suhteessa perustasoon.

Tapahtumat	Stressi-indeksi		
	Estimaatit	95 % CI	p
Perustaso (baseline)	11.10	9.13–13.06	<.001
Ajo alkaa	-0.56	-1.42–0.29	.195
1. Automaatiovika	0.23	-0.62–1.08	.593
Verkkohäiriö	-0.53	-1.38–0.33	.226
Tehon säätö	-0.52	-1.38–0.33	.234
2. Automaatiovika	-0.04	-0.89–0.81	.925

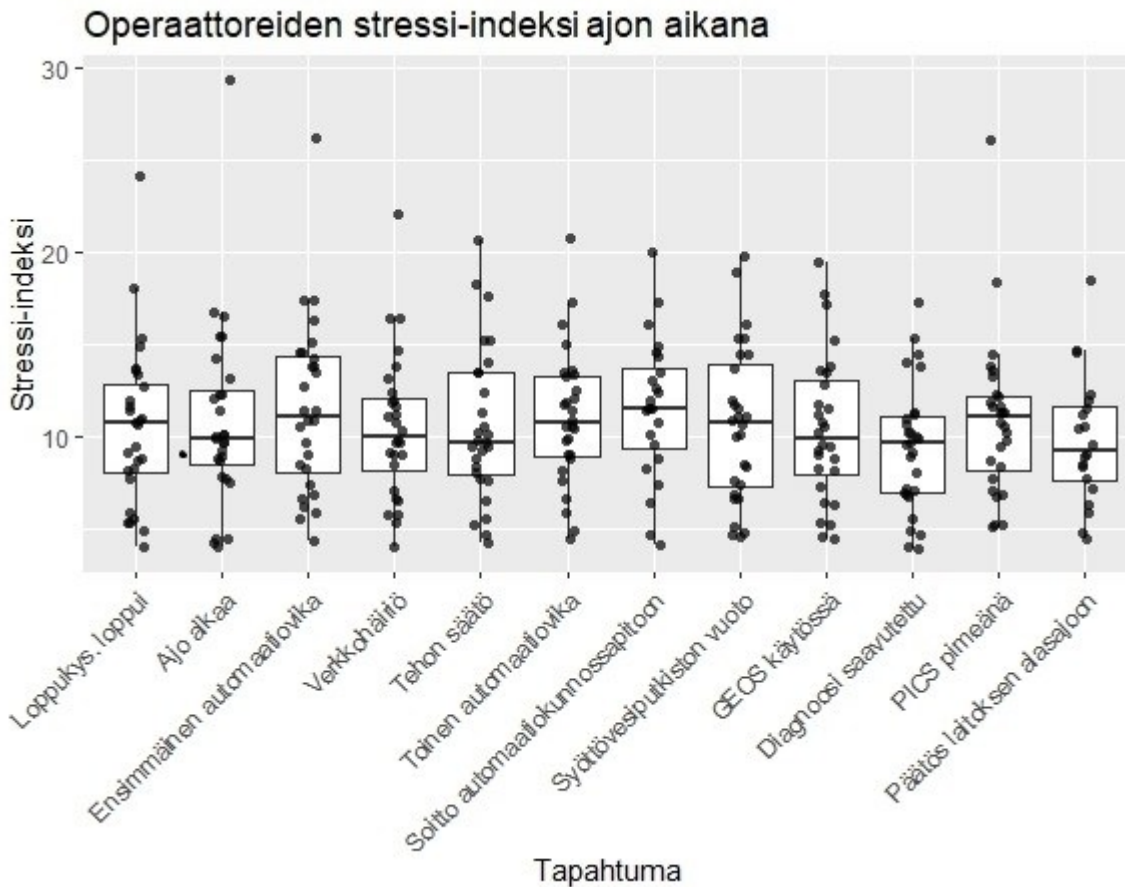
Soitto autom.kunnossapit.	-0.24	-1.19–0.70	.604
Syöttövesiputk. vuoto	-0.74	-1.59–0.11	.088
GEOS käytössä	-0.94	-1.79– -0.08	<b>&lt;.05</b>
Diagnoosi saavutettu	-1.44	-2.29– -0.59	<b>&lt;.01</b>
PICS pimeänä	-0.06	-0.91–0.80	.896
Päätös laitoks.alasajo	-0.58	-1.48–0.31	.201

**Huom.** Perustasona käytettiin simulaattoriajon loppukyselyn aikaista stressi-indeksiä.

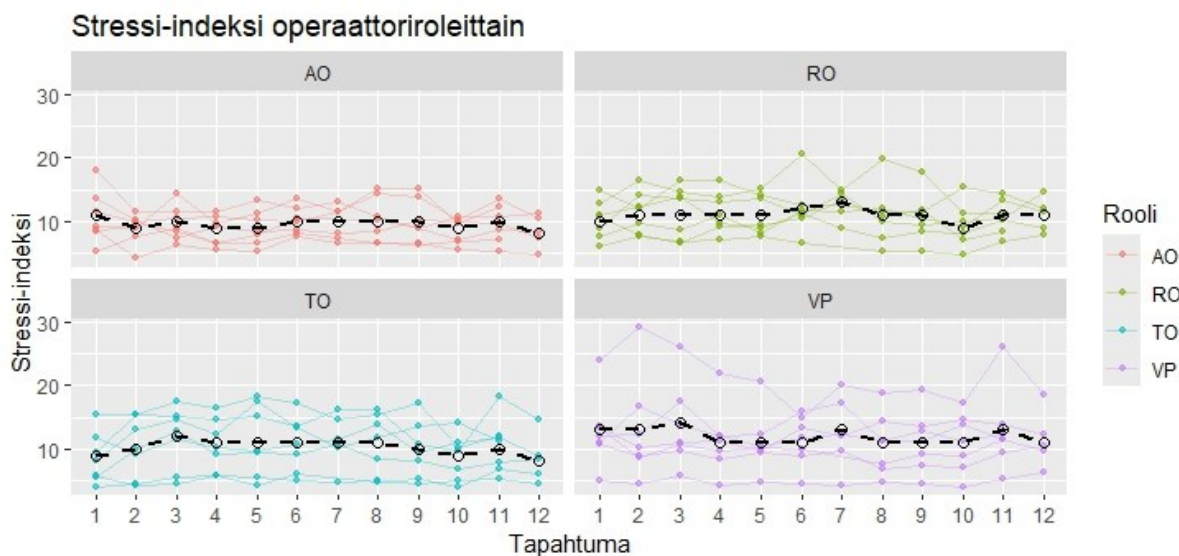


Kuva 23. Lineaarisen sekamallin ennustamat keskiarvot stressi-indeksille (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli). Perustaso (baseline) = Loppukys. Loppui. Mallissa on huomioitu operaattoriryhmien jäännösvarianssin heterogeenisuus. Ajon aikaisia muutoksia verrattiin perustasomittaukseen. Loppukys. Loppui = perustasomittaus (baseline). Viiksien ylä- ja alapäävät kuvastavat ennustettujen arvojen 95 % luottamusvälejä.

Kuvassa 24 esitetty operaattoreiden havaitut stressi-indeksin arvot ajon eri vaiheissa, ja Kuvassa 25 on kuvattu stressi-indeksit operaattorirooleittain ajon eri tapahtumien aikana.



Kuva 24. Operaattoreiden havaitut stressi-indeksin arvot (y-akseli) ajon eri vaiheissa (x-akseli). Perustaso (baseline) = Loppukys. Loppui. Laatikko (box) kuvaa 50 % kaikista arvoista (interkvartiiliväli, IQR). Viiksien ylä- ja alapää osoittavat minimi- ja maksimiarvot, pois lukien poikkeavat havainnot (poikkeaviksi määritellään arvot, jotka ovat yli  $1,5 \times \text{IQR}$ :n päässä laatikon reunoista). Laatikon sisällä oleva vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa. Erään tulkinnan mukaan arvojen asteikko: < 7 matala stressi; 7-12 normaali stressi; 12-16 kohonnut stressi; > 16 korkea stressi/kuormittunut tila.



Kuva 25. Stressi-indeksi (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli) operaattorirooleittain (havaitut arvot). Tapahtumat: 1 = perustasomittaus (baseline); 2 = Ajo alkaa; 3 = Ensimmäinen automaatiiovika; 4 = Verkkohäiriö; 5 = Tehon säätö; 6 = Toinen automaatiiovika; 7 = Soitto automaatiokunnossapitoon; 8 = Syöttövesiputkiston vuoto; 9 = GEOS käytössä; 10 = Diagnoosi saavutettu; 11 = PICS pimeänä; 12 = Päätös laitoksen alasajoon. Musta katkoviiva edustaa keskiarvoa ja pisteet sekä värilliset viivat edustavat havaittuja arvoja. Roolit: AO = Alueohjaaja; VP = Vuoropäällikkö; TO = Turbiinoperaattori; RO = Reaktorioperaattori.

#### 4.2.3.4 Liikeaktiivisuus

Liikeaktiivisuuden havaittiin vaihtelevan tapahtumittain sekä operaattorirooleittain. Malliin sallittiin liikeaktiivisuuden jäännösvarianssin vaihtelu (heteroskedastisuus) operaattoriryhmittäin sekä tapahtumittain käyttäen *varComb*-rakennetta *nlme*-paketista, mikä paransi mallin istuvuutta merkittävästi verrattuna malliin, jossa oletettiin varianssin homogeenisuus molempien muuttujien välillä (likelihood ratio -testi:  $\chi^2(17) = 135.40$ ,  $p < .001$ ). Samoin tämän mallin istuvuus oli parempi verrattuna malleihin, joissa jäännösvarianssin heterogeenisuus sallittiin yksin joko tapahtuman (likelihood ratio -testi:  $\chi^2(6) = 35.46$ ,  $p < .001$ ) tai operaattoriryhmän välillä (likelihood ratio -testi:  $\chi^2(11) = 85.93$ ,  $p < .001$ ).

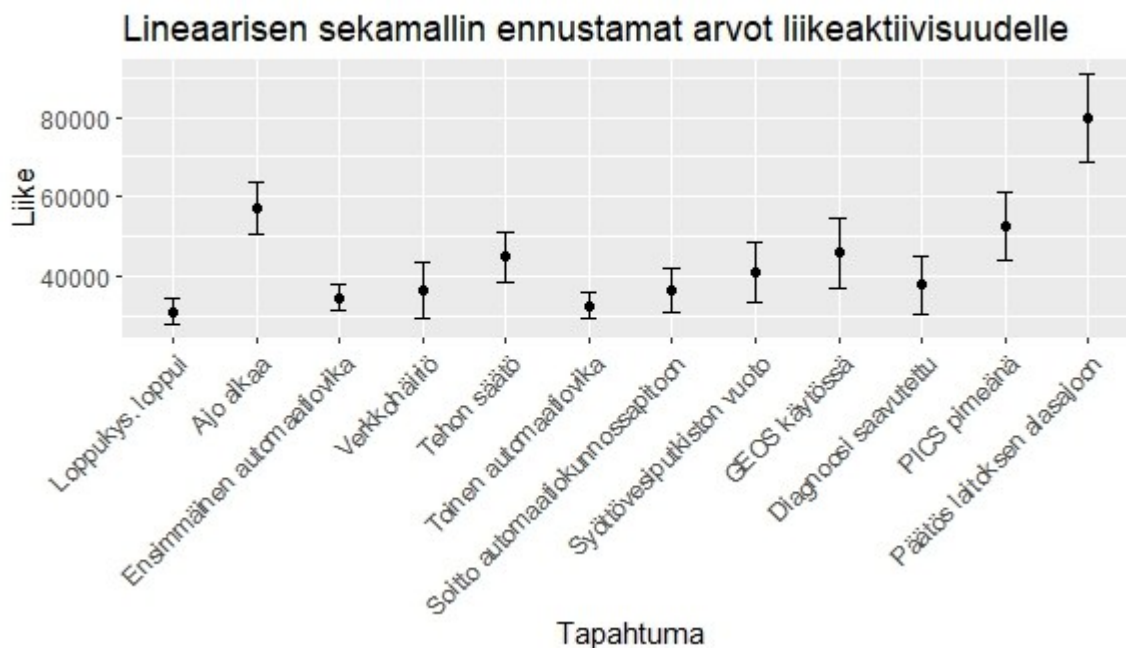
Ajon eri tapahtumat selittivät liikeaktiivisuuden vaihtelua tilastollisesti merkittävästi ( $F(11, 285) = 13.9$ ,  $p < 0.001$ ), ja lisäksi operaattoriroolilla havaittiin tilastollisesti merkittävä päävaikutus sekamallissa ( $F(3, 24) = 5.05$ ,  $p < 0.01$ ). Liike lisääntyi perustasoon verrattuna ajon tapahtumissa ajo alkaa, ensimmäinen automaatiiovika, tehon säätö, soitto automaatiokunnossapitoon, syöttövesiputkiston vuoto, GEOS käytössä, PICS pimeänä ja siirtyminen laitoksen alasajoon (Kuva 26; Taulukossa 6 mallin estimoima liike perustasossa ja liikkeen muutos suhteessa perustasoon). Lisäksi havaittiin, että vuoropäälliköt liikkuvat tilastollisesti merkittävästi enemmän kuin reaktorioperaattorit (Kuva 27; RO – VP erotus = – 14738,  $p < .01$ ).

Taulukko 6. Mallin estimaatit — tapahtuman aikaisen liikeaktiivisuuden muutos suhteessa perustasoon.

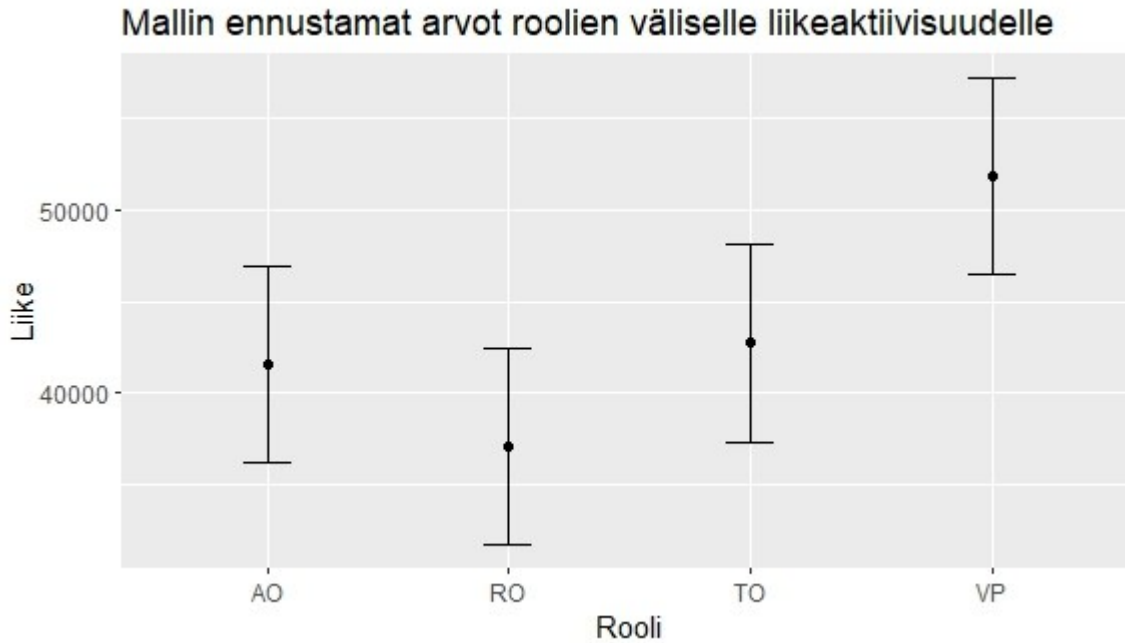
Tapahtumat	Liike Estimaatit	95 % CI	p
Perustaso (baseline)	29087	23523–34651	<.001

Ajo alkaa	26215	19432–32999	<.001
1. Automaatiovika	3684	21–7152	<.05
Verkkohäiriö	5535	-1772–12842	.137
Tehon säätö	14072	7715–20428	<.001
2. Automaatiovika	1708	-1463–4880	.290
Soitto autom.kunnossapit.	5627	79–11176	<.05
Syöttövesiputk. vuoto	10047	2603–17492	<.01
GEOS käytössä	14905	5944–23866	<.01
Diagnosi saavutettu	6869	-624–14361	.072
PICS pimeänä	21678	13270–30086	<.001
Päätös laitoks.alasajo	49228	38119–60338	<.001

**Huom.** Perustasona käytettiin simulaattoriajon loppukyselyn aikaista liikeaktiivisuutta.

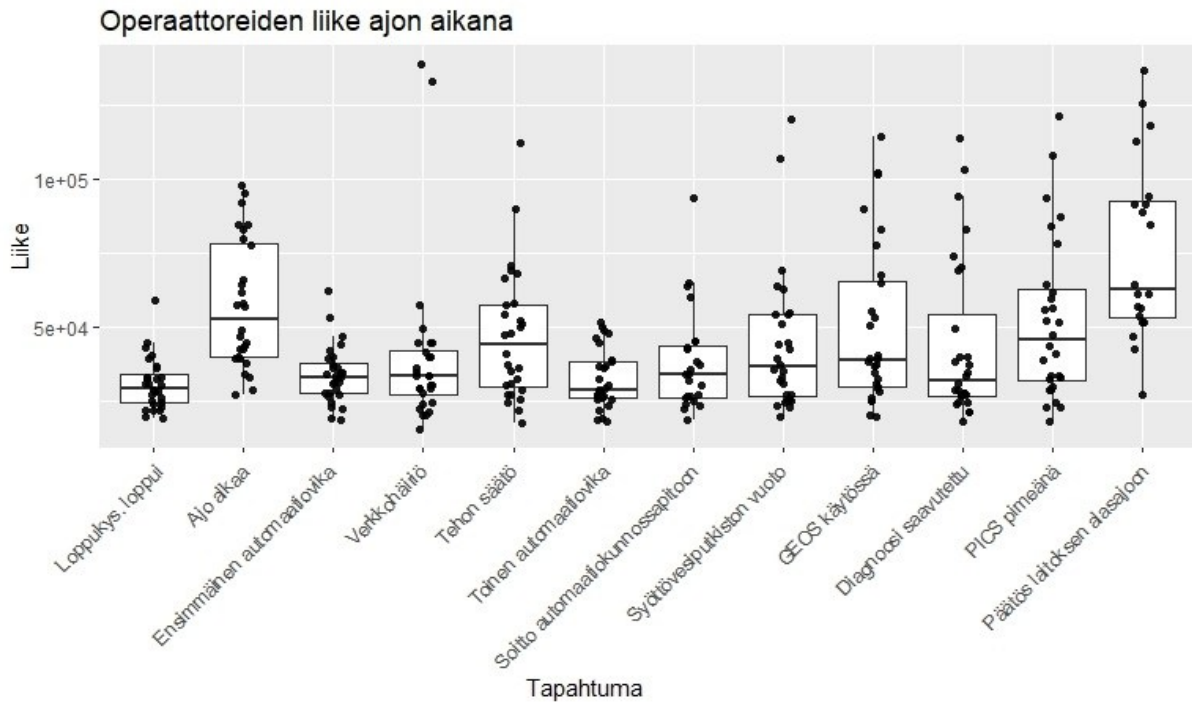


Kuva 26. Lineaarisen sekamallin ennustamat keskiarvot liikeaktiivisuudelle (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli). Perustaso (baseline) = Loppukys. Loppui. Ajon aikaisia muutoksia verrattiin perustasomittaukseen. Loppukys. Loppui = perustasomittaus (baseline). Viiksien ylä- ja alapäävät kuvastavat ennustettujen arvojen 95 % luottamusvälejä.

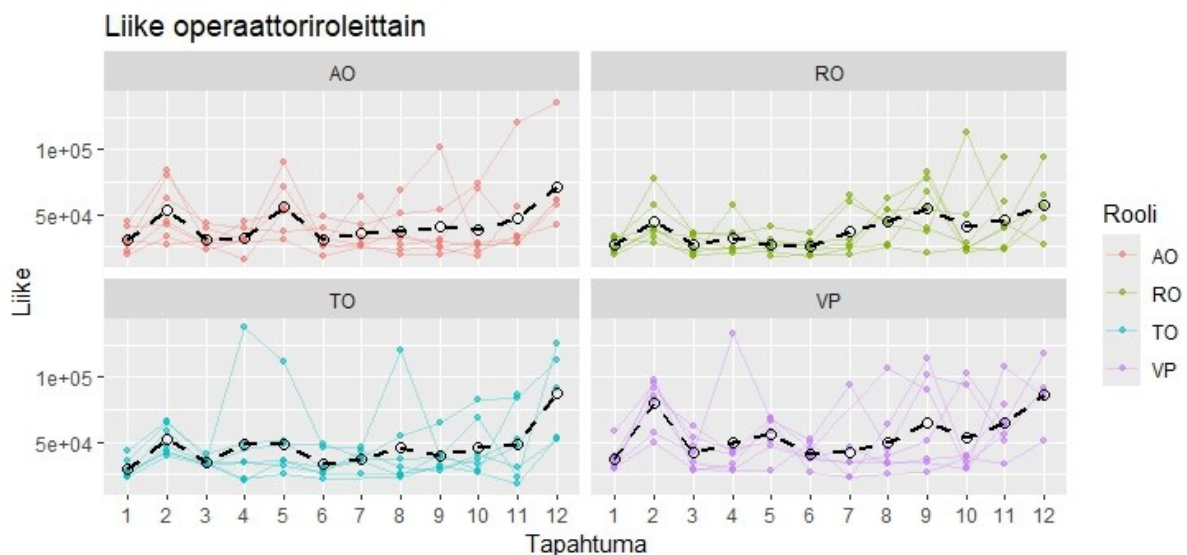


*Kuva 27. Lineaarisen sekamallin ennustamat keskiarvot liikeaktiivisuudelle (y-akseli) eri roolien välillä (x-akseli). Vuoropäälliköt liikkuvat keskimäärin tilastollisesti merkitsevästi enemmän ajon aikana verrattuna reaktorioperaattoreihin. Roolit: AO = Alueohjaaja; VP = Vuoropäällikkö; TO = Turbiinioperaattori; RO = Reaktorioperaattori. Viiksien ylä- ja alapääät kuvastavat ennustettujen arvojen 95 % luottamusvälejä.*

Kuvassa 28 on esitetty operaattoreiden havaittu liikeaktiivisuus ajon eri vaiheissa, ja Kuvassa 29 on kuvattu havaittu liikeaktiivisuus operaattorirooleittain ajon eri tapahtumien aikana.



Kuva 28. Operaattoreiden havaitut liikeaktiivisuusarvot (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli). Perustaso (baseline) = Loppukys. Loppui. Laatikko (box) kuvaa 50 % kaikista arvoista (interkvartiiliväli, IQR). Viiksien ylä- ja alapäätt osoittavat minimi- ja maksimiarvot, pois lukien poikkeavat havainnot (poikkeaviksi määritellään arvot, jotka ovat yli  $1,5 \times \text{IQR}$ :n päässä laatikon reunoista). Laatikon sisällä oleva vaakasuora viiva edustaa mediaaniarvoa.



Kuva 29. Liike (y-akseli) ajon eri tapahtumien aikana (x-akseli) operaattoriroleittain (havaitut arvot). Tapahtumat: 1 = perustasomittaus (baseline); 2 = Ajo alkaa; 3 = Ensimmäinen automaatiovika; 4 = Verkkohäiriö"; 5 = Tehon säätö; 6 = Toinen automaatiovika; 7 = Soitto automaatiokunnossapitoon; 8 = Syöttövesiputkiston vuoto; 9 = GEOS käytössä; 10 = Diagnoosi saavutettu; 11 = PICS pimeänä; 12 = Päätös laitoksen alasajoon. Musta katkoviiva edustaa keskiarvoa ja pisteet sekä värilliset viivat edustavat havaittuja arvoja. Roolit: AO = Alueohjaaja; VP = Vuoropäällikkö; TO = Turbiinioperaattori; RO = Reaktorioperaattori.

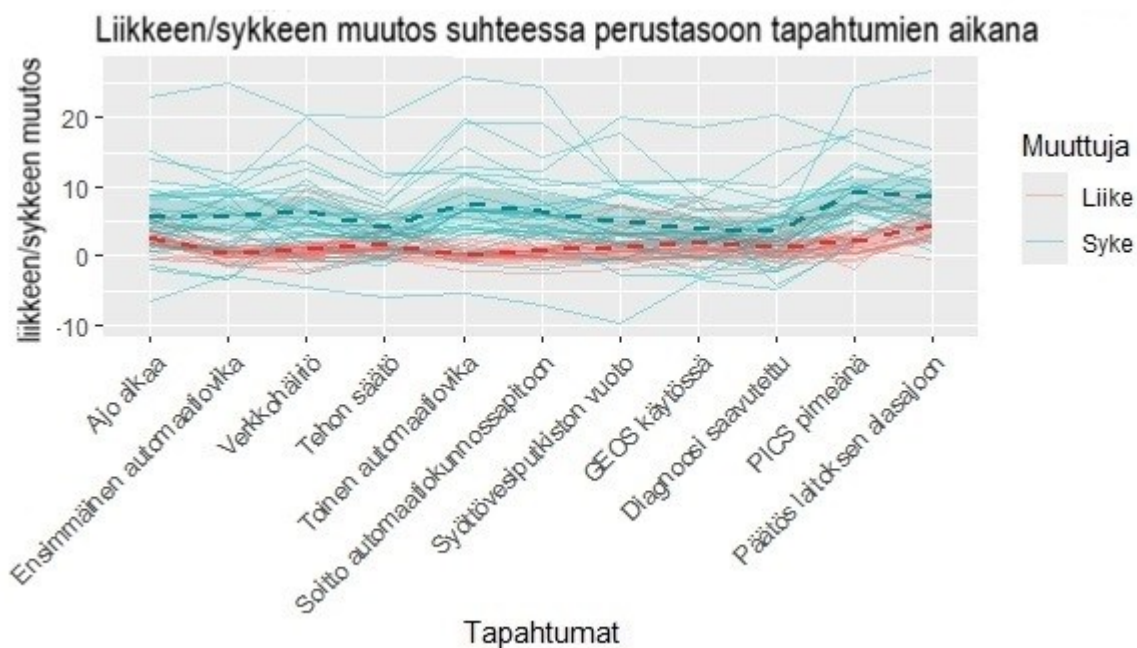
#### 4.2.3.5 Liikeaktiivisuuden ja sykkeen välinen yhteys

Seuraavaksi tarkastellaan liikeaktiivisuuden ja sykkeen välistä yhteyttä. Mallin riippumattomien muuttujien (tapahtuma ja liikeaktiivisuus) välisen multikollinearisuuden tarkistamiseksi laskettiin Variance Inflation Factor (VIF) -arvot lineaariselle mallille, jossa sykettä selitettiin ajotapahtumalla ja liikeaktiivisuudella. Tulokset osoittivat, että korjatut VIF-arvot olivat erittäin pieniä (tapahtuma: 1.01; liikeaktiivisuus: 1.12, yleisesti  $VIF > 5$  katsotaan ongelmalliseksi). Näin ollen tapahtuma ja liikeaktiivisuus voitiin sisällyttää lineaariseen sekamalliin ilman, että niiden välinen korrelaatio vääristäisi mallin tuloksia. Toisin sanoen voitiin todeta, että liike ja ajon aikainen tapahtuma ovat tarpeeksi erillisiä, että ne voidaan sisällyttää malliin.

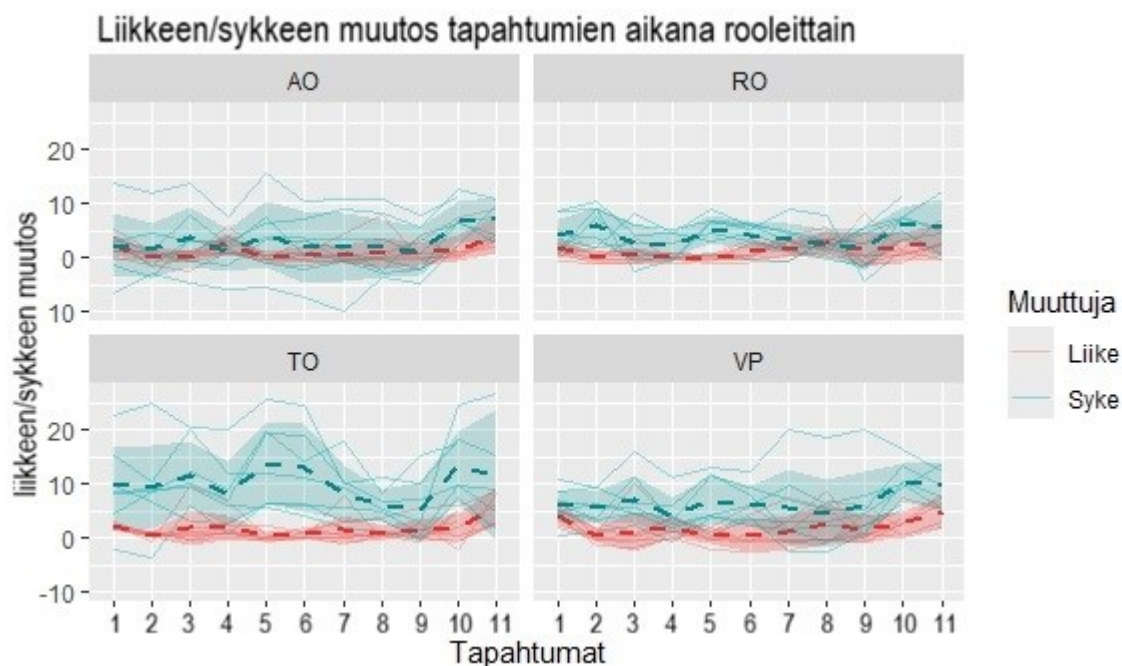
Linearisessa sekamallissa, jossa sydämen sykettä selitettiin ajon aikaisella tapahtumalla ja liikeaktiivisuudella, ainoastaan tapahtuma oli merkittävä selittäjä ( $F[11, 284] = 12.02, p < .001$ ; liikeaktiivisuus,  $F[1, 284] = 0.06, p = .801$ ). Tulos osoittaa, että ajon tapahtuman yhteydessä tapahtuva sykkeen muutos ei johdu niinkään liikeaktiivisuuden lisääntymisestä vaan mahdollisesti esimerkiksi yleisestä vireystilan kasvusta.

Tarkastelimme sykkeen ja liikkeen välistä yhteyttä, niin että laskimme sykkeen ja liikkeen muutoksen perustasoon nähden (liike tapahtumassa  $x = \text{liike tapahtuma} x - \text{liike perustasossa}$ ; syke tapahtumassa  $x = \text{syke tapahtuma} x - \text{syke perustasossa}$ ). Positiivinen syke/liike tarkoittaa sykkeen/liikkeen lisääntymistä perustasoon nähden. Negatiivinen syke/liike kuvastaa sitä, että syke/liike vähenee perustasoon nähden. Kuvassa 30 on esitetty yksilöiden sykkeen ja liikkeen muutokset ajon eri tapahtumien aikana. Kuvasta on nähtävissä, että sykkeen ja liikkeen muutoksissa on hyvin vähän yhteneväisyyttä; toisin sanoen liike ja syke vain harvoin nousee ja laskee saman aikaisesti. Tapahtumien aikainen sykkeen muutos johtuu siis enimmäkseen muista tekijöistä kuin liikkeen määrän muutoksesta.

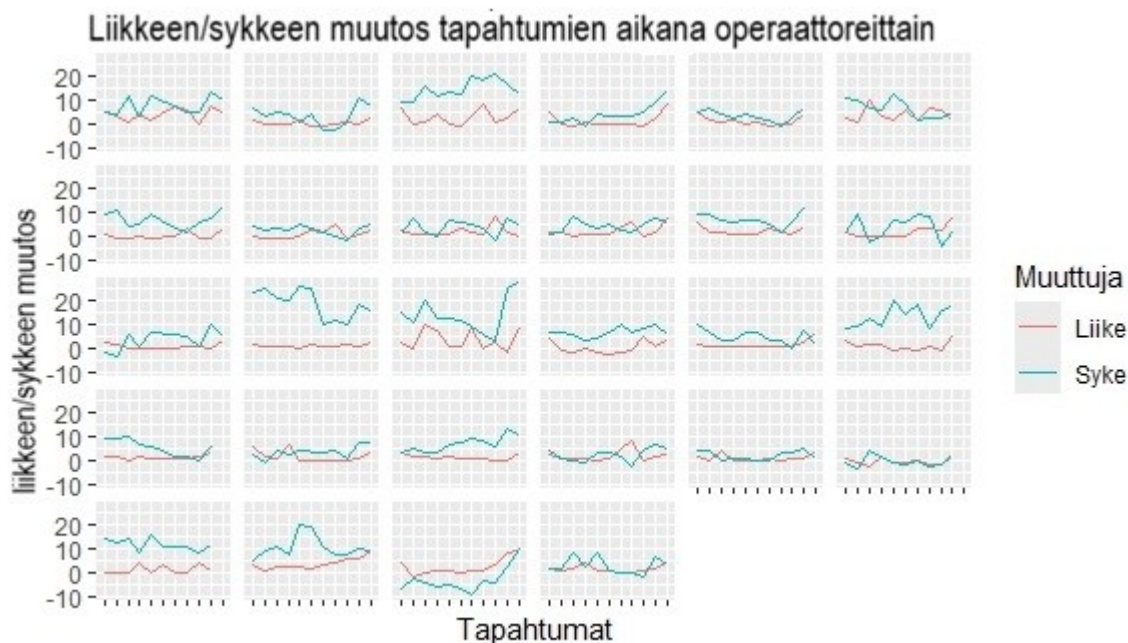
Kuvassa 31 on esitetty liikkeen ja sykkeen vaihtelu ajotapahtumien aikana operaattorirooleittain. Kuvassa 32 on kuvattu liikkeen ja sykkeen muutoksen vaihtelu kunkin ajotapahtuman aikana.



Kuva 30. Liikeaktiivisuuden ja keskisykkeen muutos perustasosta ajon eri tapahtumien aikana. Tapahtumien aikaisesta keskisykkeestä ja liikkeestä on vähennetty perustason aikainen keskisyke ja liike. Yksittäiset viivat kuvastavat operaattoreiden henkilökohtaisten keskisykkeiden ja liikkeen määrän muutosta suhteessa perustasoon kunkin tapahtuman aikana. Katkoviiva kuvastaa kaikkien operattoreiden keskisykkeen ja liikeaktiivisuuden muutoksen keskiarvoa.



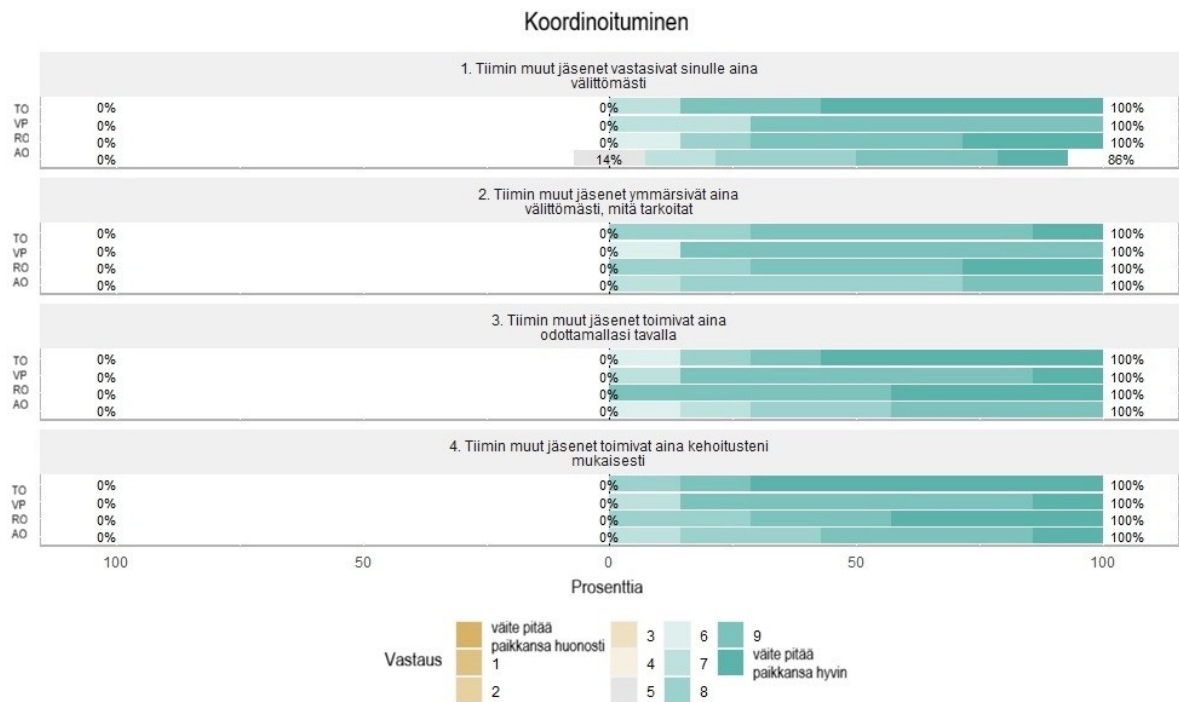
Kuva 31. Liikkeen ja keskisykkeen vaihtelu ajotapahtumien aikana operaattorirooleittain. Tapahtumien aikaisesta keskisykkeestä ja liikkeestä on vähennetty perustason aikainen keskisyke ja liike. Yksittäiset viivat kuvastavat operaattoreiden henkilökohtaisten keskisykkeiden ja liikkeen määrän muutosta suhteessa perustasoon kunkin tapahtuman aikana. Katkoviiva kuvastaa kaikkien operaattoriroolien keskisykkeen ja liikeaktiivisuuden muutoksen keskiarvoa. 1 = Ajo alkaa; 2 = Ensimmäinen automaatiiovika; 3 = Verkkohäiriö; 4 = Tehon säätö; 5 = Toinen automaatiiovika; 6 = Soitto automaatiokunnossapitoon; 7 = Syöttövesiputkiston vuoto; 8 = GEOS käytössä; 9 = Diagnoosi saavutettu; 10 = PICS pimeänä; 11 = Päätös laitoksen alasajoon.



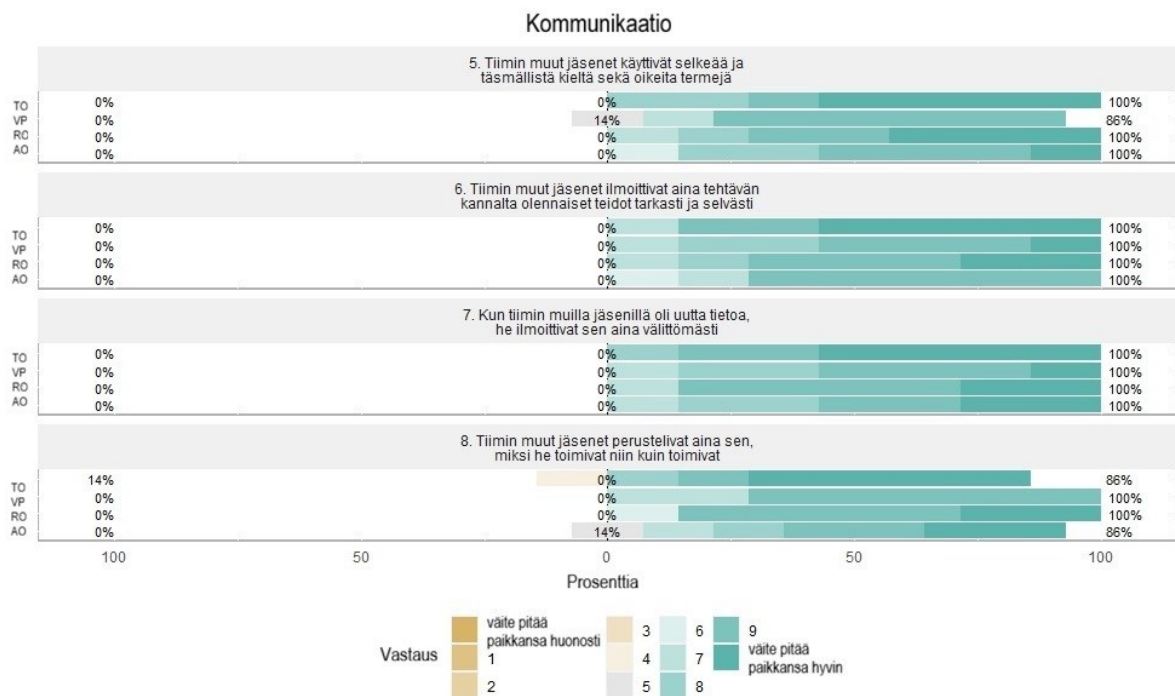
Kuva 32. Liikkeen ja keskisykkeen muutoksen vaihtelu kunkin ajotapahtuman aikana. Kukin ruutu edustaa yhtä tutkittavaa. Tapahtumien aikaisesta keskisykkeestä ja liikkeestä on vähennetty perustason aikainen keskisyke ja liike. Kuvan tapahtumat järjestyksessä ovat: Ajo alkaa; Ensimmäinen automaatiovika; Verkkohäiriö; Tehon säätö; Toinen automaatiovika; Soitto automaatiokunnossapitoon; Syöttövesiputkiston vuoto; GEOS käytössä; Diagnoosi saavutettu; PICS pimeänä; Päätös laitoksen alasajoon.

### 4.3 Tiimin tilannekohtaisen työkuorman arviointi

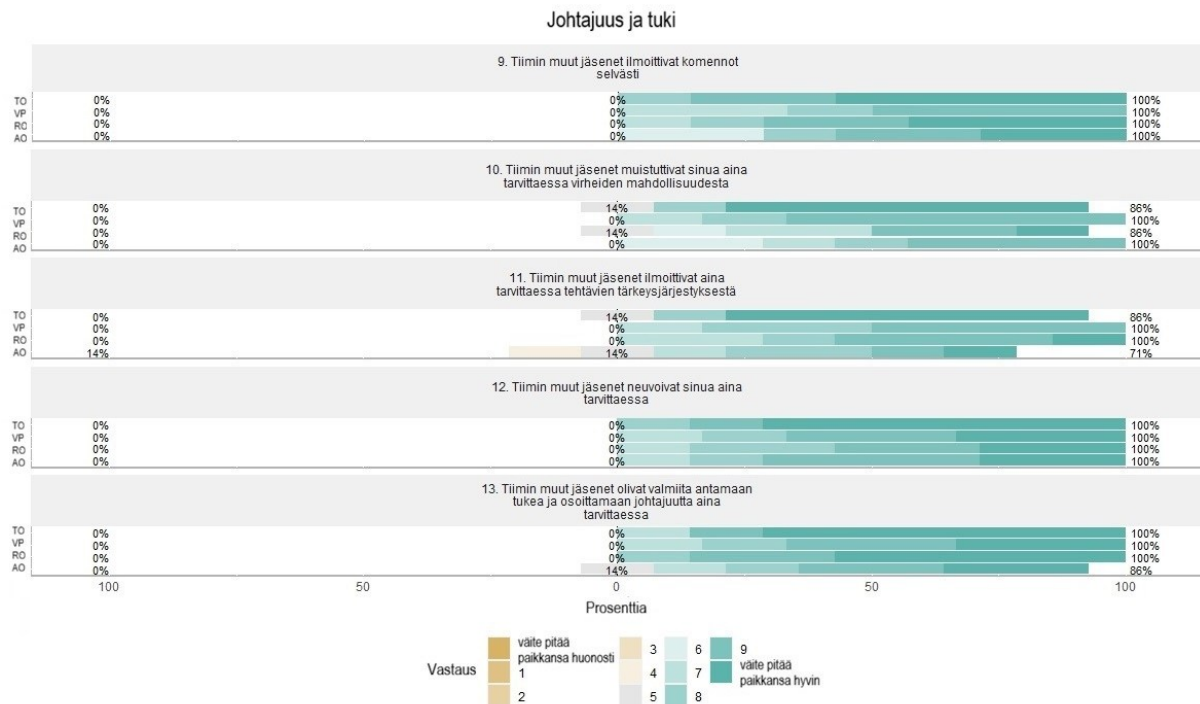
Simulaattoriajon jälkeen tiimin tilannekohtaista työkuormaa arvioitiin 17 kohtaa sisältäneen kyselyn avulla (Kuvat 33–36). Pistemäärät kommunikaatiota, toiminnan koordinoitua sekä johtajuutta ja tukea koskeviin väittämiin olivat kauttaaltaan korkeita, joten vuoroilla ei ollut näihin teemoihin liittyviä haasteita. Ohjaajat vastasivat myös näihin kysymyksiin yhdenmukaisesti, ja roolien välillä ei ole juurikaan eroja. Ajan jakamiseen liittyvien kysymysten vastauksissa on kuitenkin jonkin verran enemmän hajontaa ja myös eroja roolien välillä. Kolmannes alueohjaajista oli sitä mieltä, että tehtävä sekaantuivat paljon tai jossain määrin keskenään, kaksikolmasosa oli eri mieltä väitteen kanssa. Eniten hajontaa oli kuitenkin vuoropäälliköiden kohdalla. Puolet VP:eistä oli sitä mieltä, että heidän täytyi ainakin jossain määrin siirtyä jatkuvasti tehtävästä toiseen, kun taas kolmannes oli sitä mieltä, että tällaista tarvetta ei ollut. Kolmasosa VP:eistä oli myös sitä mieltä, että tehtävät sekaantuivat keskenään, tiimin yhteiset tehtävät haittasivat henkilökohtaisten tehtävien suorittamista ja henkilökohtaiset tehtävät haittasivat tiimin yhteisten tehtävien suorittamista.



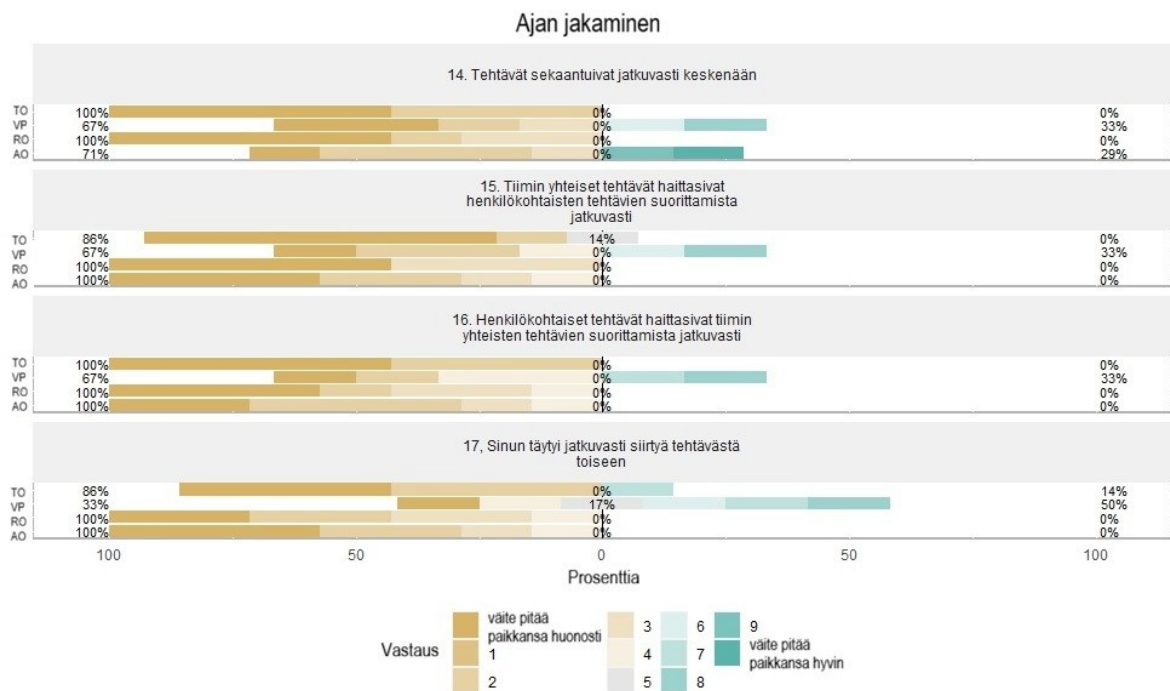
Kuva 33. *Kategoria: Koordinoituminen. Itseraportoitu tiimin kuorma operaattorirooleittain.*



Kuva 34. *Kategoria: Kommunikaatio. Itseraportoitu tiimin kuorma operaattorirooleittain.*



Kuva 35. *Kategoria: Johtajuus ja tuki. Itseraportoitu tiimin kuorma operaattorirooleittain.*

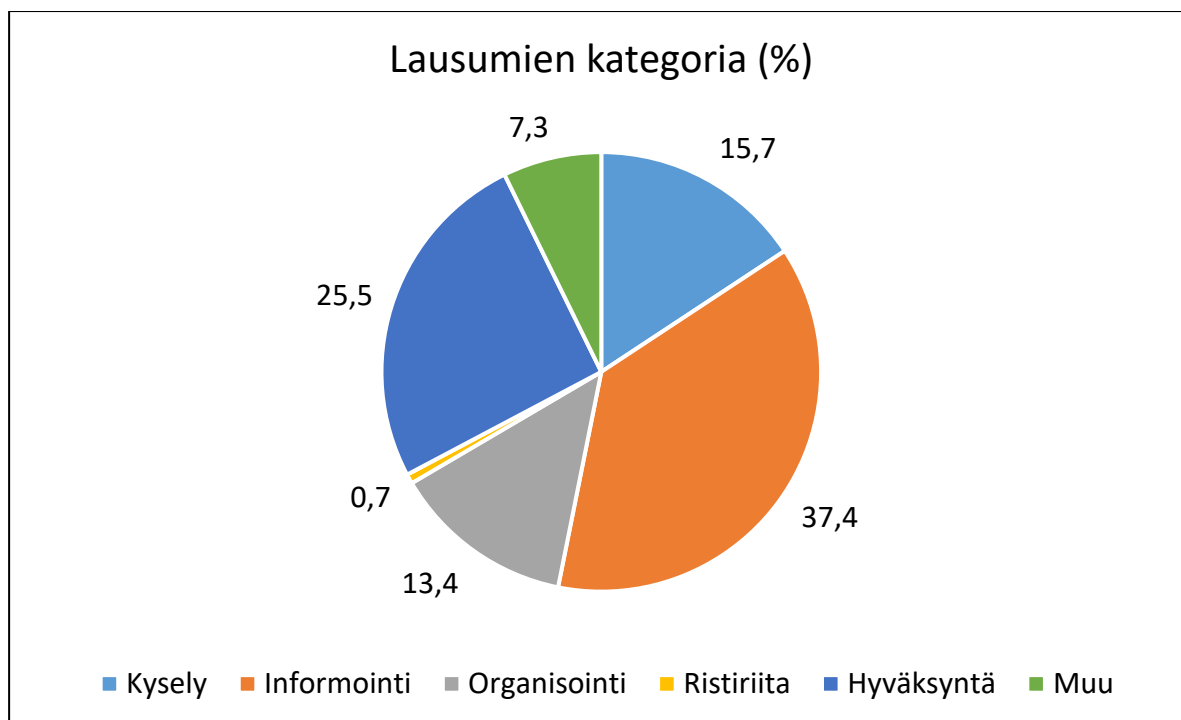


Kuva 36. *Kategoria: Ajan jakaminen. Itseraportoitu tiimin kuorma operaattorirooleittain.*

## 4.4 Kommunikaatio

Seuraavassa tarkastellaan kuhunkin kategoriaan kuuluvien puherepliikkien eli lausumien määrää operaattorirooleittain ja vuoroittain. Lisäksi tarkastellaan kunkin operaattoriroolin lausumien vastaanottajia, ts. sitä kenelle tietyn operaattoriroolin lausumat oli suunnattu simulaattorijon aikana.

Kuvassa 37 on esitetty eri kategorioihin luokiteltujen lausumien prosentuaalinen osuus kaikista lausumista ajon aikana. Kuten kuvasta näkyy suurin osa repliikeistä luokiteltiin kategorioihin Informointi (37,4 %) ja Hyväksyntä (25,5 %). Kyselyiksi luokiteltiin 15,7 % repliikeistä, ja 13,4 % kuuluu luokkaan Organisointi.

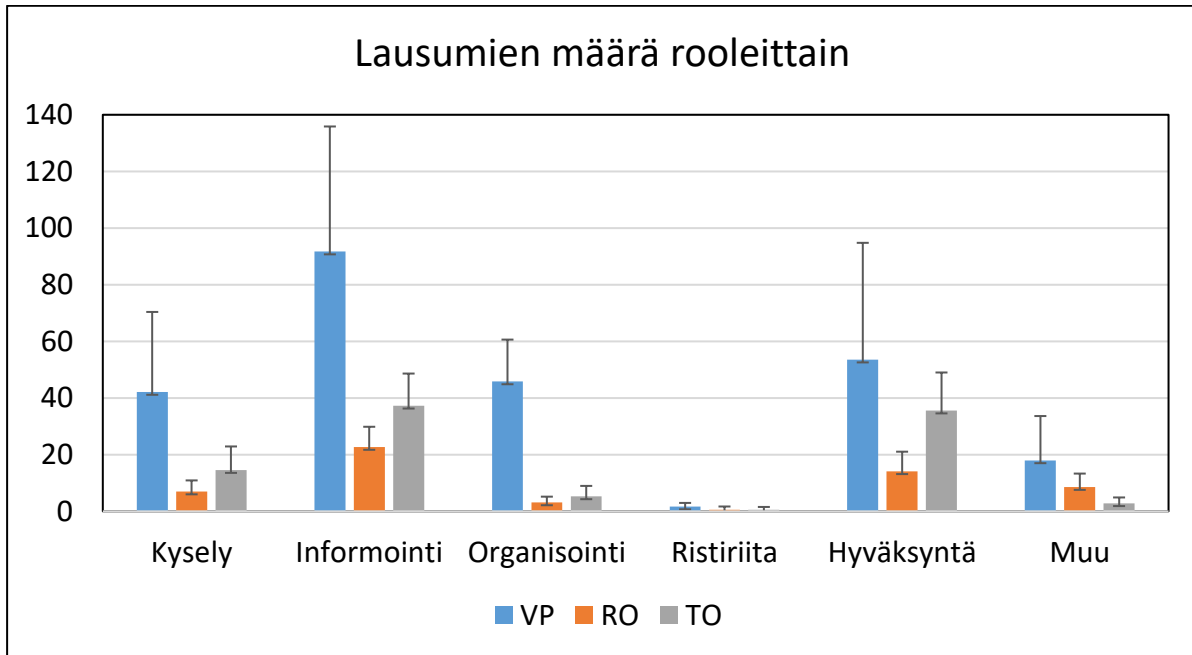


Kuva 37. Eri kategorioihin luokiteltujen lausumien prosentuaalinen osuus kaikista lausumista ajon aikana.

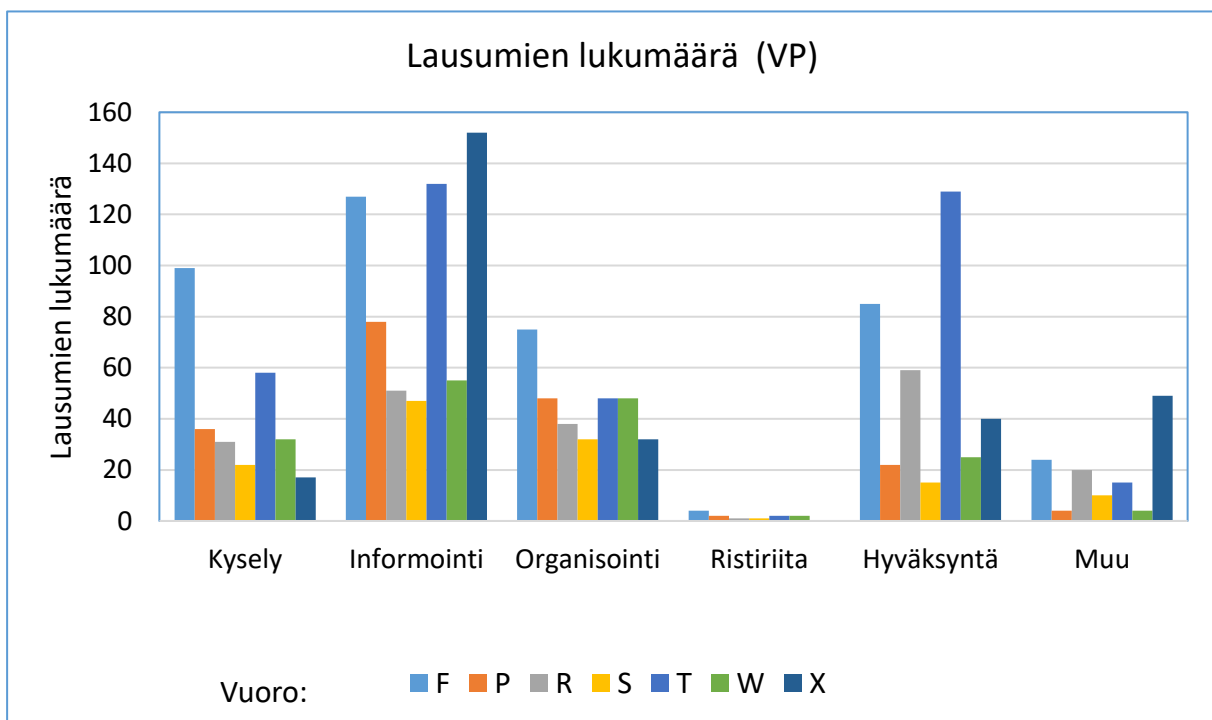
Eri kategorioihin kuuluvien lausumien määrä rooleittain on esitetty Kuvassa 38. Kaikissa kategorioissa (lukuun ottamatta Ristiriita-kategoriaa) vuoropäällikön repliikkejä on eniten. Kuvan mukaan reaktoriohjaajien ja turbiiniohjaajien lausumat kuuluivat suurimmaksi luokkiin Informointi- ja Hyväksyntä. Kuvan mukaan TO kommunikoi myös jonkin verran enemmän kuin RO.

Kuvissa 39 ja 40 on esitetty kuhunkin kategoriaan kuuluvien lausumien lukumäärä operaattorivuroittain. Kuvista on huomattava, että koska VP:n ja muiden roolien lausumien määrät eroavat varsin paljon toisistaan, kuvaajien mitta-asteikot eivät ole samat. Kuten kuvista näkyy, vuorojen välillä on varsin suuria eroja kommunikaation määrässä, ja erityisen suurta vaihtelu on vuoropäälliköiden kohdalla. VP:eiden repliikkien kokonaismäärä vaihteli välillä 127-414, ts. vuorossa jossa VP:n repliikkejä oli eniten, niiden määrä oli yli kolminkertainen verrattuna vuoroon, jossa niitä oli vähiten. Vuoroissa F, T ja X VP:eillä on ollut paljon Informointi-kategoriaan kuuluvia lausumia; Hyväksyntä-kategoriaan kuuluvia lausumia oli taas VP:eillä eniten vuoroissa F ja T.

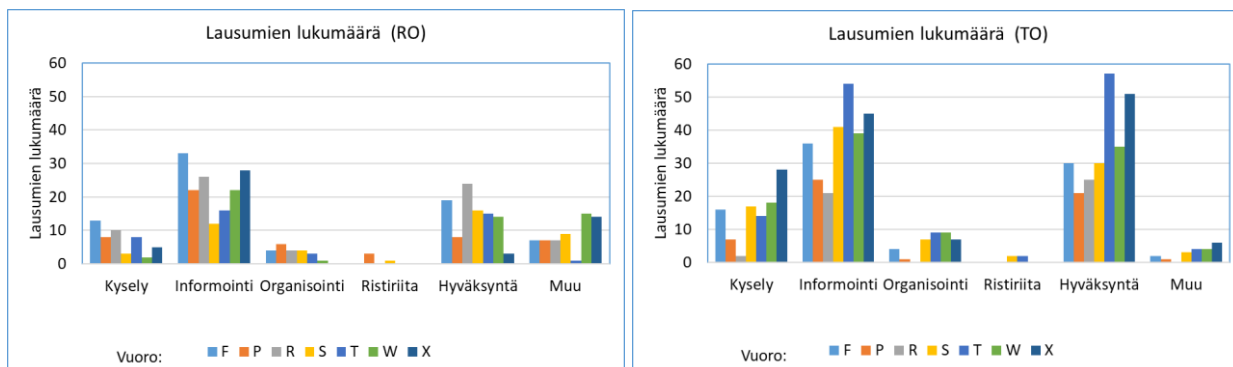
Kaksisuuntaisen varianssianalyysin mukaan roolin päävaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ( $F[2, 105] = 20,6, P < 0,01$ ), mutta vuoron ei ( $P > 0,1$ ). *Post hoc* -parivertailujen mukaan vuoropäälliköiden lausumien määrä on merkitsevästi suurempi kuin reaktoriohjaajien ja turbiiniohjaajien ( $p < 0,01$ ), mutta RO:n ja TO:n lausumien määrä ei eroa merkitsevästi toisistaan.



Kuva 38. Eri kategorioihin kuuluvien lausumien määrä operaattorirooleittain.



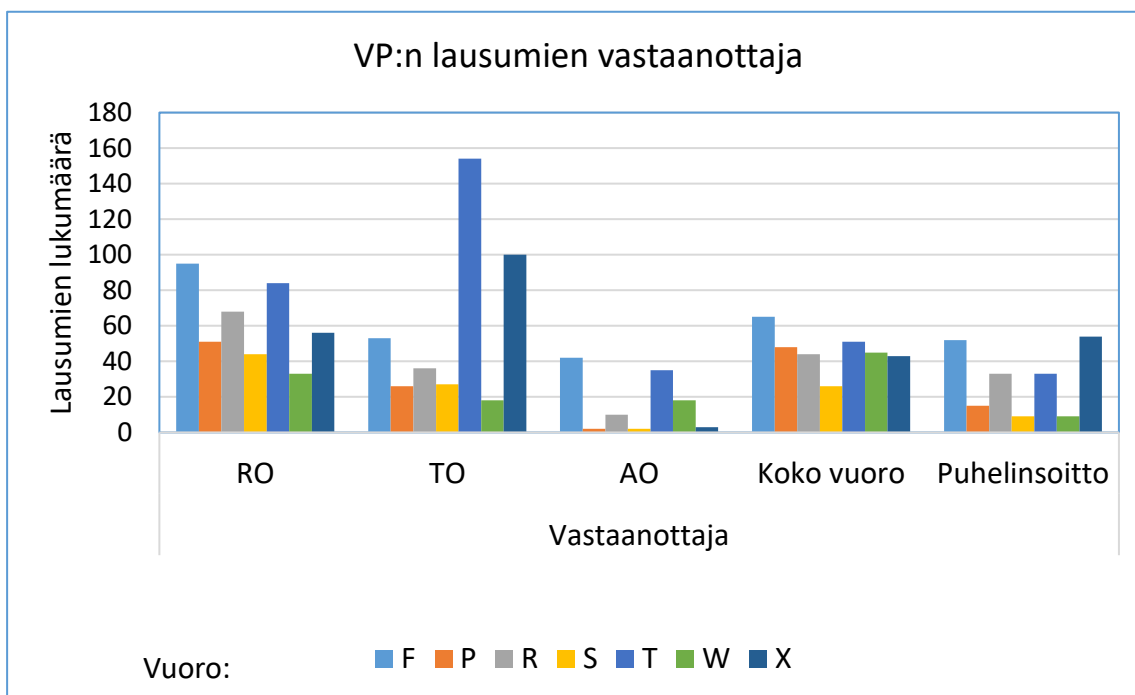
Kuva 39. Vuoropäällikön kuhunkin kategoriaan kuuluvien lausumien lukumäärä operaattorivuoroittain. Kuvassa operaattorivuorot on pseudonymisoitu.



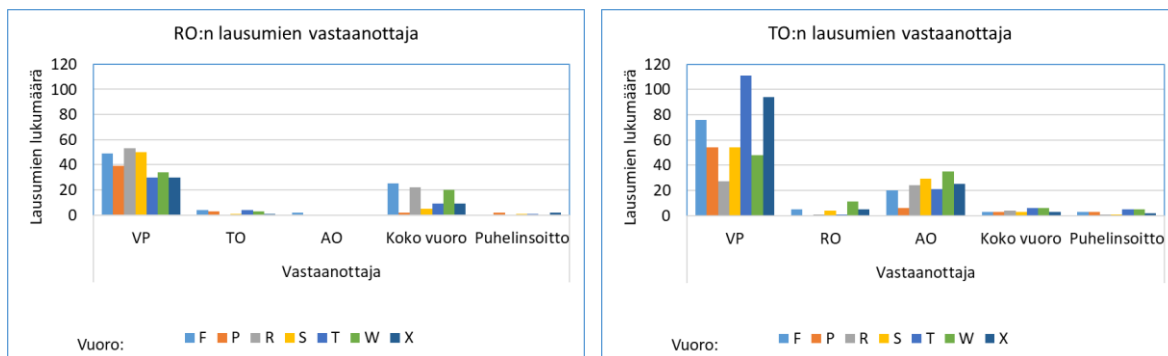
Kuva 40. Vasemmalla reaktoriohjaajan ja oikealla turbiiniohjaajan kuhunkin kategoriaan kuuluvien lausumien lukumäärä operaattorivuroittain. Kuvassa operaattorivurot on pseudonymisoitu.

Kuvan 41 mukaan vuoropäällikön repliikkien vastaanottaja on yleensä reaktoriohjaaja, turbiiniohjaaja tai koko vuoro; alueohjaajan kanssa VP kommunikoi huomattavasti vähemmän. Kuvan mukaan vuoroissa T ja X VP kommunikoi muita vuoroja selvästi enemmän TO:n kanssa. Puhelinsoittojen määrä vaihtelee myös varsin paljon VP:stä toiseen.

Kuvan 42 mukaan reaktoriohjaajien ja turbiiniohjaajien repliikkien vastaanottaja on useimmiten vuoropäällikkö, mutta TO kommunikoi kuvan mukaan myös varsin paljon alueohjaajan kanssa.



Kuva 41. Vuoropäällikön lausumien vastaanottajat operaattorivuroittain. Kuvassa operaattorivurot on pseudonymisoitu.



Kuva 42. Vasemmalla reaktoriohjaajan ja oikealla turbiiniohjaajan lausumien vastaanottajat operaattorivuoroittain. Kuvassa operaattorivuorot on pseudonymisoitu.

#### 4.4.1 Vuoron tilannekatsaukset

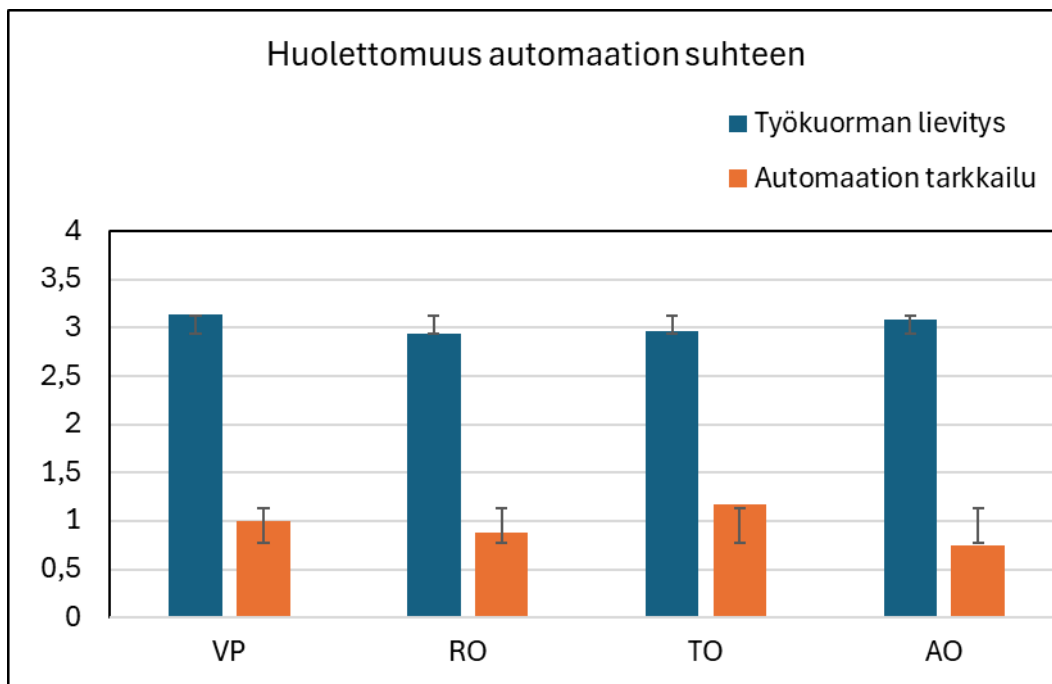
Neljä vuoroa seitsemästä järjesti aloituskokouksen ajon alussa. Aloituspalaverin lisäksi vuorot pitivät VP:n johdolla keskimäärin kolme tilannekatsausta ajon aikana. Yksi vuoro piti kaikkiaan kahdeksan tilannepäivitystä, ja kaksi vuoroista ei järjestänyt niitä lainkaan.

## 4.5 Asenteet automaatiota kohtaan

Kuvassa 43 on esitetty operaattorikohtaiset keskiarvot AICP-R-kyselyn kahden ulottuvuuden suhteen. Tulosten mukaan operaattorit ovat varsin taipuvaisia delegoimaan tehtävän automaatiolle työkuorman kasvaessa (engl. Alleviating workload). Toisaalta heidän mielestään on tärkeää seurata automaatiota tarkasti virheiden varalta sen ollessa käynnissä (engl. Monitoring). Kyselyvastaukset eivät välttämättä viittaa toimintaan tämän tutkimuksen simulaattoriajossa, vaan operaattoreiden yleistä taipumusta toimia automaation kanssa.

Arviot eri operaattoriroolien välillä eroavat vain vähän toisistaan. TO-roolissa vastausten hajonta oli hieman suurempaa kolmessa kysymyksessä: "Kun minulla on paljon tekemistä, on järkevää delegoida tehtävä automaatiolle", "Jos elämä olisi kiireistä, antaisin automaatiojärjestelmän hoitaa joitakin tehtäviä puolestani" ja "Vaikka minulla olisi paljon tekemistä, seuran todennäköisesti automaatiota tarkasti virheiden varalta". Hajonta oli myös suurempaa RO:n roolissa viimeksi mainitussa kysymyksessä.

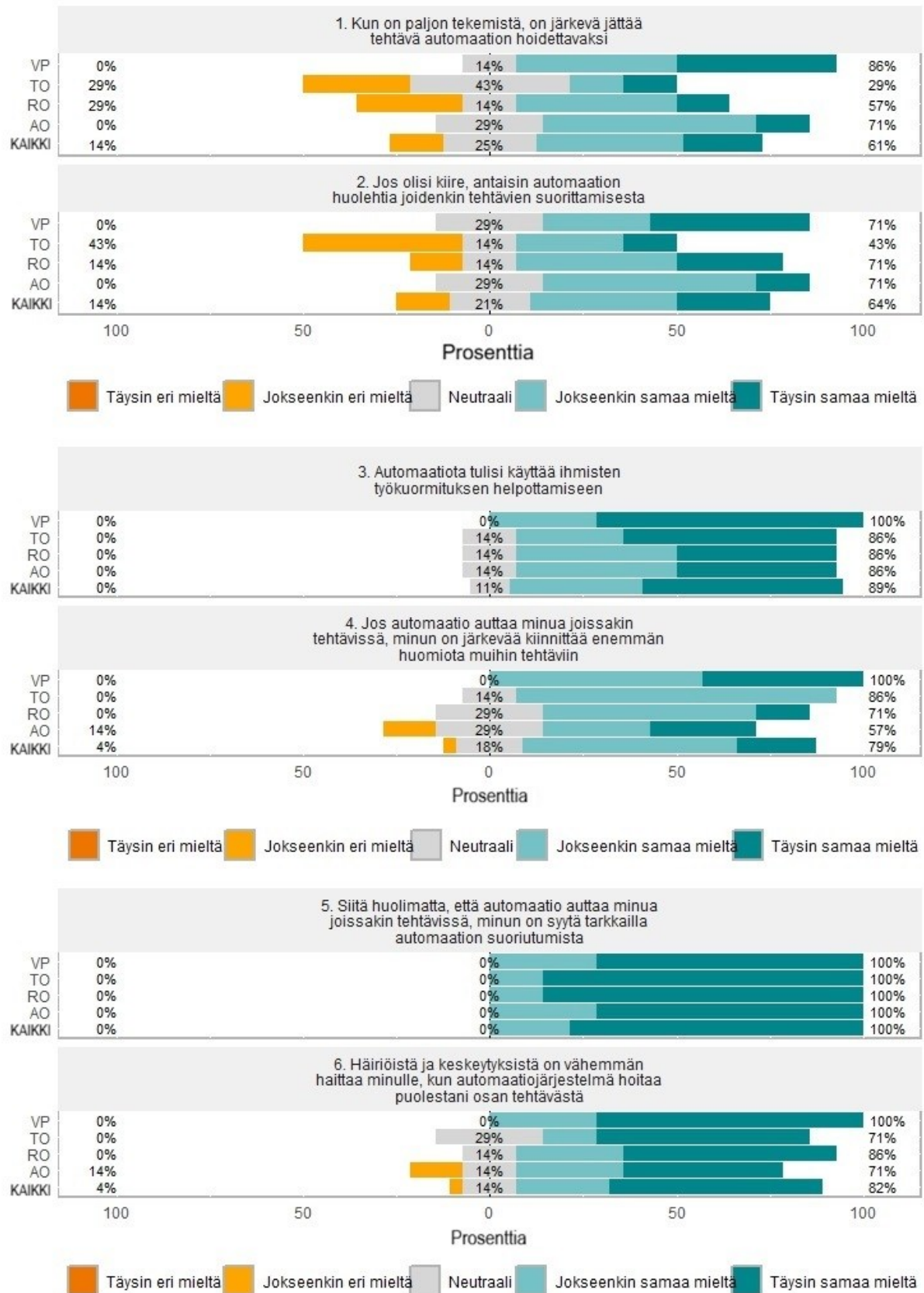
Vaikuttaa siltä, että kun tehtäväkuorma on suuri, jotkut RO:t ja TO:t kiinnittävät vähemmän huomiota automaatioon, mikä voi heikentää heidän kykyään huomata mahdollisia automaation vikatilanteita nopeasti. Osa TO:ista käyttää automaatiota myös työkuormansa helpottamiseen. Vaikuttaa siltä, että joissakin tilanteissa he ovat niin kiireisiä, että he katsovat järkeväksi delegoida osan tehtävistään automaatiolle.

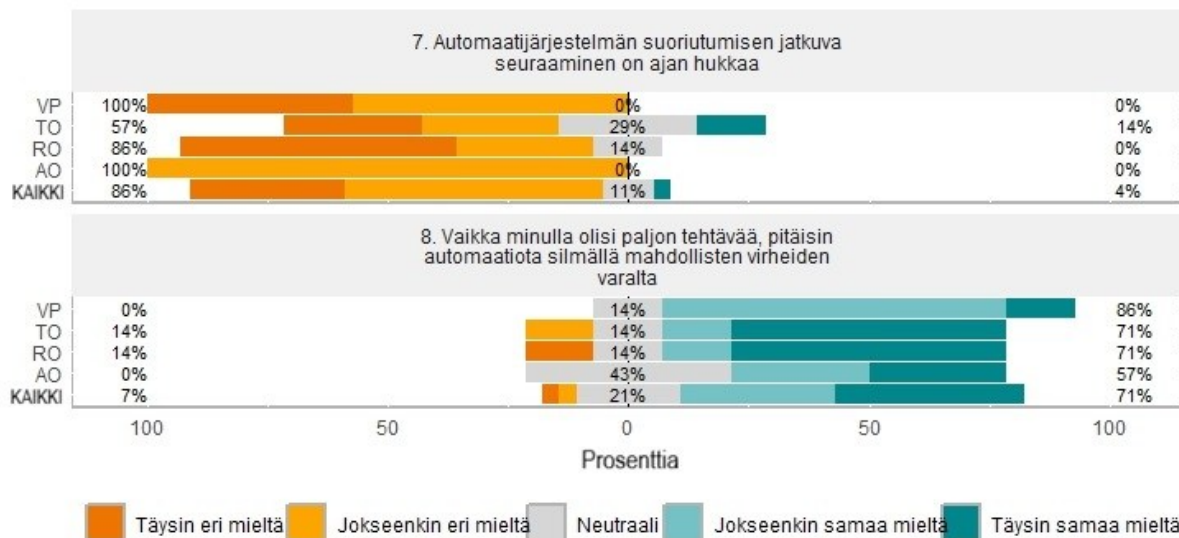


*Kuva 43. Taipumus tyytyväisyyteen ja huolettomuuteen suhteessa automaatioon vuoropääliköillä (VP), reaktoriohjaajilla (RO) ja turbiiniohjaajilla (TO). Vastausten keskiarvot kahden ulottuvuuden suhteen, työkuorman vähentäminen ja automaation seuranta. Ohuet viivat osoittavat vastausten keskihajonnan.*

Kuvan 44 mukaan roolien välillä on vain vähän eroja. Seuraavaksi tarkastelimme eri operaattoriroolien vastauksia kyselyn yksittäisiin kysymyksiin. Tulokset on esitetty alla olevassa Kuva 44. Ne tukevat edellä mainittuja havaintoja. Suurimpaan osaan väitteistä operaattorit vastasivat hyvin samalla tavalla, ja roolien väliset erot vastauksissa ovat pieniä. Muutamien väittämien vastauksissa hajontaa on kuitenkin enemmän. Osa reaktori- ja turbiiniohjaajista on kuvan perusteella sitä mieltä, että kuormittavissa tilanteissa on järkevää jättää osa tehtävistä automaation hoidettavaksi, kun taas osa on päinvastaista mieltä (kysymys 1). Samoin lähes puolet turbiiniohjaajista on sitä mieltä, että he antaisivat automaation huolehtia joistakin tehtävistä kiiretilanteissa, lähes puolet on päinvastaista mieltä (kysymys 2).

Lähes puolet turbiiniohjaajista on sitä mieltä, että ei ole tarpeen seurata automaation toimintaa ajon aikana, lähes puolet on taas päinvastaista mieltä (kysymys 9). Lisäksi liki kolmannes reaktoriohjaajista on sitä mieltä, että automaation jatkuvaan tarkkailuun käytetty aika on pois muista tärkeämmistä ja kiinnostavammista asioista, vähän yli puolet on päinvastaista mieltä (kysymys 10).





Kuva 44. Roolikohtaisten vastausten jakauma AICP-R-kyselyn kuhunkin väitteeseen. 'Täysin eri mieltä' ja 'Jokseenkin eri mieltä' -vastausten yhteenlaskettu prosenttiosuus on kuvaajan vasemmalla puolella; 'Jokseenkin samaa mieltä' ja 'Täysin samaa mieltä' -vastausten yhteenlaskettu prosenttiosuus on kuvaajan oikealla puolella. 'Neutraali'-vastausten prosenttiosuus on kuvaajan keskellä.

## 4.6 Haastattelutulokset

### 4.6.1 Prosessiseurantahaastattelu

Seuraavassa esitellään prosessiseurantahaastattelujen keskeiset tulokset. Tarkastelussa keskitytään simulaattoriajon vikatilanteiden havaitsemiseen ja käsittelyyn.

#### 4.6.1.1 Automaatiovikojen käsittely

Haastattelussa käsiteltiin ensin skenaarion alkuvaihetta, jossa automaatiojärjestelmä menettää osan toiminnoistaan. Simulaatio lähti liikkeelle pienistä RCSL-järjestelmän vioista ja Teleperm XS (TXS) -hälytyksistä. Osallistujat toteavat, että TXS-hälytykset ovat usein hankalia, koska niiden taustalla voi olla monenlaisia syitä. Jonkin ajan kuluttua tapahtui RCSL-järjestelmän osittainen menetys, minkä seurauksena muutamia prosessijärjestelmiä jouduttiin ottamaan käsisäädölle (mm. höyrystimen pinnansäätö) ja tiettyjen parametrien muutoksia oli seurattava säännöllisin välein.

RCSL-järjestelmän osittaisen menetyksen kaltaiset automaatiovikat koettiin yleisesti ottaen haastaviksi, koska niiden yhteydessä on vaikea tietää, mitä toimintoja on menetetty. Automaatiovikat aiheuttivat epävarmuutta ja vaativat prosessin parametrien muutosten jatkuvaa seuranta. Operaattorit joutuivat tukeutumaan automaatiokunnossapitoon. Kuten yksi VP totesi, ainoa keino päästä kiinni automaatiovian syyhyn on selvittää, minkä keskusyksikön (engl. Central Processing Unit, CPU) -kaappiin vika liittyy.

Hälytyskorttien ja ohjeiden tulkinta vaatii tarkkuutta automaation vikatilanteissa. Hälytyskortit saattavat olla ylimalkaisia eivätkä välttämättä kerro kaikkia mahdollisia vaikutuksia. Tämä voi johtaa siihen, että operaattori alkaa etsiä 'haamuja', ts. hän alkaa miettiä, mitä muita vaikutuksia vialla voisi olla, mitä ohjeet eivät kerro. RCSL:n osittaiseen menetykseen liittyvä hälytyskortti on operaattoreiden mielestä kuitenkin varsin hyvä, mutta jotkin siinä käytetyt ilmaukset ovat jossain määrin vaikeaselkoisia.

Automaatioviat aiheuttivat kuormitusta erityisesti ajon alussa, kun tuli useita hälytyksiä ja niitä piti tulkita nopeasti. Esimerkiksi reaktorioperaattoreiden mukaan kuormitus oli suurimmillaan silloin, kun piti lukea hälytyskorttia ja samalla seurata, ettei prosessissa tapahdu isoja muutoksia. Simulaattorilla operaattorit saavat vähemmän tukea ulkopuolisilta tahoilta kuin valvomossa, mikä lisää kuormitusta entisestään.

Yksi RO kommentoi ajoa seuraavasti: *"...automaatiovika on inhottava, kun pitää kaikkea katsoa; katsoin pääsäätimet, että toimii asiallisesti; ruiskutuslinjan manuaalille menoa en huomannut, kun ei ole selkeää ohjetta vaan pitää katsoa vähän kaikkea, niin se kuormittaa..."*

Toinen RO kommentoi tilannetta seuraavasti: *"...mulle jäi epävarmaksi, kun tein tulkinnan, että primariipiirin paineensäätö ei toiminut; siinä hetkessä se oli kohtuu helppo ratkaisu ottaa säädin manuaalille ja katsoa, ottaako se käskyjä vastaan, ja sitten huomattiin, että niin toivoton tilanne ei ollut ettei se ottaisi käskyjä; mutta jotain siellä on ja hälykortti antoi ymmärtää samaa..."*

Vaikka RCSL:n menetys on varsin kuormittava häiriö, sitä ei kuitenkaan koettu turvallisuusteknisesti kovin merkittävänä. Esimerkiksi yksi VP ei ottanut tässä vaiheessa yhteyttä päivystäjään, koska ei pitänyt RCSL:n menetystä kovin vakavana häiriönä.

#### 4.6.1.2 Tehonrajoitus järjestelmäsuojaan menetyksen estämiseksi

Hälytyskortin mukaan 15 min kuluessa pitää laskea tehoa ja ottaa yhteyttä Fingridiin järjestelmäsuojaan menetyksen estämiseksi. Useimmat vuorot keskeyttivät tehonlaskun hetkeksi automaatiovian takia, mutta jatkoivat sitä hetken päästä uudelleen. Useimpien mielestä ei ollut ongelmaa jatkaa sitä edelleen halutulle tehotasolle saakka – varsinkin koska automaatio-ongelmien lopputulosta ei voinut ennustaa, ja suurempi ongelma olisi ollut, jos valtakunnanverkko olisi ajettu alas samanaikaisesti. Kaksi vuoroa kuitenkin keskeytti tässä vaiheessa tehonlaskun kokonaan.

Yksi VP totesi: *"...aina kun jotain odottamatonta tapahtuu, on parasta odottaa ja katsoa minkälainen se on ja sitten vasta jatkaa..."*

#### 4.6.1.3 Syöttöveden menetys -häiriön käsittely

Syöttöveden menetys putkirikon seurauksena johti hätätilanneohjeiden käyttöön. Operaattorit korostivat, että reaktoripikasulku on ydinturvallisuusmielessä merkittävä tapahtuma, ja silloin keskitytään varmistamaan, että kaikki toimii suunnitellusti. Reaktorioperaattorin mukaan, kun tulee reaktoripikasulku, ensimmäinen asia on katsoa, onko reaktoripuolella ongelmia, ja painesäiliön pitää olla kohdillaan. Ko. tilanteessa täytyi malttaa odottaa – liian nopea päätös saattoi johtaa ei-optimaalisen ohjeen valintaan. Yksi VP totesi: *"...tein virheen, automaatio olisi ohjannut oikeaan ohjeeseen, jos olisin odottanut vähän pitempään..."*

Osa vuoroista pyysi käyttömiestä selvittämään, mikä mahtoi olla syöttöveden menetyksen syy, osalle vuoroista ei syy selvinnyt, mutta operaattoreiden mukaan vian syyn selvittäminen ei ole tässä vaiheessa tarpeellistakaan.

Muutama operaattori mainitsi, että heillä kävi tässä vaiheessa mielessä, voisiko syöttöveden menetys olla yhteydessä aiempiin automaatiovikoihin. He sulki kuitenkin tämän mahdollisuuden pois ja mm. totesivat, että automaatiovian mahdollisten vaikutusten selvittäminen on vakavamman häiriön sattuessa toissijainen asia.

#### 4.6.1.4 Siirtyminen prosessiautomaation käyttöliittymiltä turvallisuusautomaation käyttöliittymille

Prosessiautomaation käyttöliittymien menetys oli selkeä indikaatio siirtyä turvallisuusautomaation käyttöliittymien äärelle. Siirtyminen tapahtui vuoropäällikön ohjeen

mukaan. Turvallisuusautomaation käyttöliittymiä käytettäessä oli mahdollista seurata vain turvallisuudelle tärkeitä tietoja ja pyrkiä laitoksen stabilointiin. Kuten operaattorit totesivat: *"puolesta laitoksesta silmät ummistuu."* Toiminta muuttui suoraviivaisemmaksi, eikä hienosäätöjä enää tehty. Yhden RO:n mielestä turvallisuuskäyttöliittymältä löytyy ohjeen suorittamisen kannalta olennainen tieto, ja on toisaaltakin hyväkin, kun kaikki yksityiskohtainen tieto jää pois.

Turvallisuuskäyttöliittymän käyttö koettiin luontevaksi, mutta operaattoreilla oli jonkin verran vaikeuksia löytää kaikkia tarvittavia tietoja, koska ko. käyttöliittymää käytetään niin harvoin. Koska sähköiset ohjeet eivät olleet enää saatavilla, operaattorit käyttivät paperiohjeita.

#### 4.6.1.5 Ohjeiden käyttö ajon aikana

Ohjeiden avulla varmistetaan, että kaikki tarvittavat toimenpiteet häiriötilanteessa tulee tehdyksi. Ohjeita käytettiin sekä sähköisesti että paperisena. Paperiohjeisiin turvauduttiin erityisesti silloin, kun näyttötila loppui kesken. Paperiohjeet koettiin myös sähköisiä luotettavammiksi, koska sähköiset ohjeet eivät aina ole ajan tasalla.

Vuorojen ja operaattoreiden välillä oli jonkin verran eroja ohjeiden käytössä: osa operaattoreista käytti pääasiassa paperiohjeita, osa sähköisiä ohjeita.

#### 4.6.1.6 Ajon kuormittavuus

Haastateltavat kokivat, että harjoitus ei ollut erityisen kuormittava, ja pidempi ajon kesto ei aiheuttanut väsymystä. Kuormitus oli suurimmillaan automaatiiovikojen aikana.

Operaattoreiden mukaan monitehtävälanteet ja häiriöt lisäävät kuormitusta, erityisesti alkuvaiheessa, kun tulee paljon hälytyksiä ja niitä pitää tulkita nopeasti. Turbiiniohjaajalla kuormitus kasvoi automaatiiovian aikana, kun hänen piti säätää käsin höyrystimen pintaa. Kuormitusta lisäsi entisestään se, että osa turbiiniohjaajista otti hetkellisesti kaikki höyrystimet käsisäädölle.

Valvomossa kuormitusta lisää ulkoisten tahojen yhteydenotot ja hallinnollinen työ. Simulaattorilla ei ole ulkopuolisista aiheutunutta työkuormaa, mikä helpottaa tilannetta. Lisäksi valvomossa hälytyslistalla voi olla satoja hälytyksiä jo ennen häiriön alkua, ja häiriöön liittyviä hälytyksiä tulee jatkuvasti lisää.

Simulaattorissa tuki on vähäisempää kuin oikeassa elämässä, jossa päivystäjät ja jaospäälliköt tarjoavat aktiivista apua. Oikeassa valvomossa viestintä on vilkkaampaa, ja käyttömiehet toimivat vuoropäällikön silminä ja korvina laitoksella.

Yksi RO totesi: *"...tämähän on vain tietokonepeli, mitään katastrofia emme saa aikaiseksi mutta eläydymme skenaarioon niin paljon, että stressi nousee samalla lailla kuin nousisi oikeassakin elämässä..."*

Yksi TO tiivistä simulaattorin ja valvomon tilanteen eron hyvin: *"...todellisuus on todellisuutta ja simulaattori on simulaattori."*

#### 4.6.1.7 Erot vuorojen välillä

##### 4.6.1.7.1 Ohjeiden käyttö ja päätöksenteko

Kuten edellä on jo todettu, osa vuoroista luotti vahvasti paperiohjeisiin, pitäen niitä luotettavampina ja helpommin käytettävänä erityisesti silloin, kun sähköiset ohjeet eivät olleet ajan tasalla tai näyttötila loppui kesken. Toiset käyttivät enemmän sähköisiä ohjeita, koska heidän mukaansa niistä on helpompi seurata, miten ohjeen vaiheiden suoritus etenee.

Joissain vuoroissa tukeuduttiin välittömästi automaatiokunnossapitoon, kun taas toiset pyrkivät ensin selvittämään itse, mitkä ko. vian vaikutukset ovat. Joillakin vuoroilla oli taipumus käyttää syöttöveden menetys -tilanteessa ohjetta ennakoivasti. Niiden päätöksenteossa korostuikin maltin merkitys ko. tilanteessa enemmän kuin muilla vuoroilla.

#### 4.6.1.7.2 Kuormituksen hallinta ja tiimityö

Kuormittavimmat tilanteet liittyivät automaatiovikoihin ja monitehtävätilanteisiin, mutta yksilölliset erot olivat selviä: osa vuoroista koki tilanteet rutiininomaisina ja hallittavina, kun taas toisille ne aiheuttivat enemmän stressiä ja epävarmuutta. Joissain vuoroissa tiimityö ja toisten tukeminen korostuivat selvästi kuormituksen hallinnassa, kun taas toisissa vuoroissa korostui yksilöllinen vastuunotto.

Osa vuoroista koki simulaattoriharjoituksen vähemmän kuormittavana kuin valvomon tilanteet, erityisesti koska simulaattorissa ulkoiset yhteydenotot ja hallinnollinen työ puuttuivat. Toiset taas kokivat simulaattorinkin tilanteet aidosti stressaavina, joskin eri tavalla kuin valvomossa.

#### 4.6.2 Yksilöhaastattelujen päähavainnot

Seuraavassa on esitetty simulaattoriajopäivän lopuksi toteutettujen yksilöhaastattelujen päätulokset.

##### 4.6.2.1 Yleiskuvan muodostaminen

Operaattorit muodostavat yleiskuvan ajotilanteesta yhdistämällä useita tiedonlähteitä ja toimintatapoja. He seuraavat jatkuvasti valvomon näyttöjä, joista näkyvät laitoksen pääparametrit (esim. reaktorin teho, säätösauvojen asento, primääripiirin lämpötila ja paine, paineistimen pinta). Suurkuvanäytöt tarjoavat yhdellä silmäyksellä kokonaiskuvan sekä reaktori- että turbiinipuolen tilanteesta. Näytöiltä nähdään myös hälytyslistat ja komponenttien tila.

Trendejä tarkastellaan vuoron alussa, keskellä ja lopussa. Niistä nähdään, miten prosessiparametrit ovat kehittyneet ja onko jokin arvo poikkeamassa normaalista. Trendien seuraaminen auttaa havaitsemaan muutokset tehokkaasti ja ennakoimaan mahdollisia ongelmia.

Hälytykset ovat keskeinen osa tilannekuvan muodostamista. Hälytysnäytöltä nähdään nopeasti, jos jokin arvo ylittää raja-arvot tai jos jossakin järjestelmässä ilmenee vika. Hälytyskortit ja -listat ohjaavat operaattoria reagoimaan oikealla tavalla.

Kommunikaatio muiden operaattoreiden kanssa on erittäin tärkeää. Tiedonvaihto tapahtuu sekä vuorovaihdossa että vuoron aikana, erityisesti poikkeustilanteissa. Yhteinen keskustelu varmistaa, että kaikki ovat tietoisia meneillään olevista asioista ja mahdollisista muutoksista.

Kaiken kaikkiaan, operaattorit muodostavat yleiskuvan tilanteesta yhdistämällä valvomon näyttöjen, trendien, hälytysten, ohjeiden ja kollegoiden kanssa käydyn keskustelun tuottaman tiedon. Yleiskuvan muodostaminen on jatkuva, vuorovaikutteinen prosessi, jossa korostuvat sekä tekniset työkalut että ihmisten välinen tiedonvaihto. Rutiinit, trendien seuranta ja hälytysjärjestelmät tukevat tilannekuvan ylläpitoa, mutta lopullinen kokonaiskuva syntyy aina osittain yhteisen keskustelun pohjalta.

##### 4.6.2.2 Suurkuvanäytön merkitys yleiskuvan muodostamisessa

Suurkuvanäytöt ovat operaattoreiden mukaan erittäin keskeisiä työvälineitä yleiskuvan muodostamisessa. Niiden avulla saa yhdellä silmäyksellä laajan kokonaiskuvan laitoksen tilanteesta – sekä reaktori- että turbiinipuolen pääparametrit, hälytykset ja käynnissä olevat

järjestelmät näkyvät selkeästi. Tämä nopeuttaa tilannekuvan hahmottamista ja auttaa reagoimaan nopeasti mahdollisiin poikkeamiin.

Suurkuvanäytöillä näkyvä hälytyslista on tärkeä osa tilannekuvaa. Operaattorit korostavat, että suurkuvanäytöltä näkee nopeasti, jos jollain osa-alueella on hälytys tai poikkeama. Tämä on erityisen tärkeää kiireisissä tai poikkeuksellisissa tilanteissa, jolloin yksittäisten näyttöjen seuraaminen ei riitä – suurkuvanäyttö kokoaa olennaiset tiedot yhteen paikkaan.

Suurkuvanäytöt tukevat koko vuoron yhteistä tilannetietoisuutta. Koska kaikki näkevät samat pääparametrit ja hälytykset, varmistuu, että koko tiimi on ajan tasalla laitoksen tilasta. Tämä helpottaa myös vuorovaikutusta ja tiedonvaihtoa, kun kaikki voivat viitata samaan näkymään.

Normaalitilanteessa suurkuvanäytöt tarjoavat vakaan ja selkeän näkymän laitoksen tilaan. Poikkeustilanteissa niiden merkitys korostuu entisestään: kun hälytyksiä tulee paljon, suurkuvanäyttö auttaa priorisoimaan ja seuraamaan, missä tapahtuu ja mihin pitää reagoida. Operaattorit mainitsevat, että suurkuvanäytöltä näkee nopeasti esimerkiksi, mitkä pumput ovat päällä, miten venttiilit toimivat ja missä mahdolliset ongelmat sijaitsevat.

Suurkuvanäytöt ovat vakiintunut osa valvomotyötä, ja niiden sisältö pysyy yleensä samana, ellei ole erityistilannetta tai vuosihuoltoa. Osa operaattoreista toivoo parempaa erottelukykyä ja mahdollisuutta jakaa näyttö useampaan osaan, jotta vielä enemmän tietoa olisi kerralla nähtävissä.

Suurkuvanäytöllä on tyypillisesti kolme pääosaa: 1) reaktoripuolen yleiskuva (vasen näyttö), 2) turbiinipuolen yleiskuva (keskimmäinen näyttö) ja 3) hälytyslista (oikea näyttö), johon kerääntyvät kaikki laitoksen hälytykset. Näytöt ovat yleensä samat kaikilla vuoroilla ja pysyvät vakiona, ellei ole erityistilannetta, kuten vuosihuoltoa tai poikkeustilannetta, jolloin näkymiä voidaan vaihtaa.

Reaktoripuolen näkymässä ovat ainakin: 1) reaktorin pääparametrit: teho, säätösauvojen asennot, primääripiirin lämpötila ja paine, paineistimen pinta, 2) KPA-järjestelmän tiedot (veden kierrätys ja inventaario), 3) jäähdytysjärjestelmien tila, 4) SLN-osajärjestelmien poiskytkennät, ja 5) aksiaalinen tehojakauma (engl. axial offset). Turbiinipuolen näkymässä ovat ainakin: 1) turbiinin pääparametrit: höyryvirtaus, venttiilien asennot, turbiinin kierrokset, generaattoriteho, 2) syöttövesipumppujen ja lauhdepumppujen tila, 3) syöttövesitankin pinta ja lauhduttimen pinta, 4) höyrystimien pinnat ja paineet sekä 5) vaihtoehtoiset höyryn lämpönielut. Hälytyslistassa ovat kaikki laitoksen hälytykset, sekä ohjaajan omat että muiden ohjaajien hälytykset.

Poikkeustilanteissa tai erityistoimenpiteissä suurkuvanäytölle voidaan vaihtaa muita näkymiä, esimerkiksi tietyn järjestelmän tarkempi kuva, jos jokin osa-alue vaatii erityistä seurantaa.

#### 4.6.2.3 Valvomon tuki yhteisen tilannekuvan luomisessa

Operaattoreiden vastauksissa korostuu, että valvomo käyttöliittymineen tukee yhteisen tilannekuvan muodostamista monella tavalla. Suurkuvanäytöillä kaikki näkevät samat pääparametrit ja hälytykset, mikä mahdollistaa koko tiimin ajantasaisen tiedon laitoksen tilasta. Kuten edellä on todettu, suurkuvanäytöt ovat erityisen tärkeitä, koska niistä näkee yhdellä silmäyksellä koko laitoksen tilanteen ja muidenkin ohjaajien hälytykset. Hälytykset ja hälytyskortit ovat keskeinen osa tilannekuvan muodostamista. Ne tuovat nopeasti esiin poikkeamat ja ohjaavat operaattoreita reagoimaan oikein. Trendien ja pääparametrien seuraaminen auttaa havaitsemaan muutokset ja poikkeamat tehokkaasti. Näitä tarkastellaan säännöllisesti vuoron aikana. Sähköisistä ohjeista näkee muiden etenemisen ja tehdyt merkinnät, mikä tukee tiedon jakamista ja vähentää virheiden mahdollisuutta.

Teknisten työkalujen lisäksi operaattorit korostavat, että yhteinen tilannekuva ei synny pelkästään näyttöjen ja hälytysten avulla, vaan vaatii aktiivista keskustelua ja tiedonvaihtoa.

Suurin osa vastaajista kokee, että valvomo ja sen näyttöpohjaiset järjestelmät tukevat yhteisen tilannekuvan muodostamista hyvin. Kaikki oleellinen tieto on helposti saatavilla, ja koko tiimi voi seurata tilannetta ja reagoida nopeasti poikkeamiin. Haasteita voi syntyä, jos tapahtuu paljon samanaikaisesti, tai vuoropäällikkö on kiireinen. Tällöin tiedonkulku voi hetkellisesti heikentyä, ja muiden ohjaajien on otettava vastuuta tilanteen johtamisesta.

#### 4.6.2.4 Kommunikoinnin merkitys

Kuten on jo edellä todettu, operaattorit korostavat, että kommunikointi kollegoiden kanssa on keskeistä yhteisen tilannekuvan ja turvallisen toiminnan varmistamisessa. Pelkkä näyttöjen seuraaminen ei riitä – tiedon jakaminen, keskustelu ja vuorovaikutus täydentävät teknistä tietoa ja auttavat varmistamaan, että kaikki ovat tietoisia meneillään olevista asioista ja mahdollisista muutoksista.

Vuoronvaihdon yhteydessä kollegoilta saatu selvitys laitoksen tilasta on tärkein tietolähde tilannekuvan muodostamisessa. Selvityksessä käydään läpi laitoksen yleinen tilanne, tehotasot ja mahdolliset ongelmat. Tämä mahdollistaa sen, että kaikki oleellinen tieto välittyy, ja uusi vuoro voi luottaa tiedon siirtymiseen.

Kommunikaatio on jatkuvaa vuoron aikana, erityisesti poikkeama- ja häiriötilanteissa. Jokainen kertoo omalta pulpetiltaan näkemyksensä tilanteesta, mikä auttaa muodostamaan yhteisen ymmärryksen ja tukee nopeaa reagointia.

Vaikka valvomon näytöt, trendit ja hälytykset ovat tärkeitä, kommunikointi kollegoiden kanssa auttaa ymmärtämään, miksi jokin asia tapahtuu ja miten siihen tulisi reagoida. Esimerkiksi, kun joku aloittaa tehonlaskun, siitä ilmoitetaan muille, jolloin kaikki tietävät, että siihen liittyvät muutokset ovat odotettavissa.

Kommunikointi mahdollistaa sen, että kaikki eivät joudu seuraamaan kaikkea itse, vaan tieto jaetaan tehokkaasti. Tämä vähentää virheiden mahdollisuutta ja helpottaa työnjakoa. Keskustelut ja yhteenvetotilaisuudet varmistavat, että kaikki tietävät, mitä on tehty ja mitä tullaan tekemään. Tämä tukee yhteisen ymmärryksen muodostumista ja varmistaa, että kaikki ovat samalla kartalla.

Kommunikaation merkitys korostuu erityisesti silloin, kun tapahtuu paljon samanaikaisesti tai kun vuoropäällikkö on kiireinen tai poissa. Tällöin muiden ohjaajien on otettava vastuuta tilanteen johtamisesta ja kommunikoinnista, jotta yhteinen tilannekuva säilyy. Hyvä kommunikointi auttaa reagoimaan nopeasti poikkeamiin ja varmistaa, että kaikki ovat tietoisia toistensa toimista. Tämä on erityisen tärkeää turvallisuuden kannalta. Operaattorit mainitsevat, että on tärkeää uskaltaa tuoda esiin eriäviä näkemyksiä ja haastaa toisten ajatuksia, jotta mahdolliset virheet havaitaan ajoissa.

Kommunikointi tukee yhteistyötä ja oppimista. Kommunikaatio ei ole vain tiedon vastaanottamista, vaan myös ohjeiden ja havaintojen jakamista muille. Käyttömiehet ja kenttähenkilöstö ovat tärkeä osa tiedonvaihtoa, ja heidän havaintonsa täydentävät valvomon tilannekuvaa. Yhteistyö ja tiedon jakaminen tukevat oppimista ja varmistavat, että kaikki osaavat reagoida oikein erilaisiin tilanteisiin.

Kaiken kaikkiaan vaikka digitaalinen valvomo mahdollistaa tehokkaan tiedonvälityksen, se ei poista keskustelun ja vuorovaikutuksen tarvetta. Yhteinen tilannekuva syntyy sekä teknisten välineiden että aktiivisen vuorovaikutuksen kautta.

#### 4.6.2.5 Ohjeiden käyttö

Operaattorit suhtautuvat pääosin myönteisesti siihen, että ohjeet ovat sekä sähköisessä että paperisessa muodossa. Molemmille muodoille nähdään selkeä tarve ja niiden rinnakkaiskäyttö koetaan hyödylliseksi.

Paperiohjeista on helppo hahmottaa laajoja kokonaisuuksia ja selata useita sivuja rinnakkain. Tämä on erityisen hyödyllistä silloin, kun pitää nopeasti tarkistaa laajempia prosessikokonaisuuksia, kuten hälytyskortin kaikki pintarajat tai useita rinnakkaisia ohjeita. Paperiversiosta on helpompi selata koko ohje läpi ja tarkistaa, mitä seuraavaksi tapahtuu, mikä auttaa varautumaan tilanteisiin ja kertomaan ennakoivasti asioista vuoropäällikölle. Paperiohjeisiin voi tehdä omia muistiinpanoja ja merkintöjä, mikä on hyödyllistä erityisesti pitkissä toimenpiteissä, vuosihuolloissa ja tilanteissa, joissa halutaan dokumentoida havaintoja tai poikkeamia. Merkintöjen tekeminen tukee muistia ja auttaa seuraamaan edistymistä. Paperiohjeet eivät vie näyttötilaa ja niitä voi käyttää helposti kentällä tai rinnakkain muiden ohjeiden kanssa. Tämä on erityisen tärkeää silloin, kun valvomossa on rajallinen määrä näyttöjä tai kun ohjeita tarvitaan useita yhtä aikaa auki. Paperiohjeet ovat välttämättömiä, jos sähköinen järjestelmä ei ole käytettävissä tai ohjeiden päivitys on kesken. Paperiversiot ovat aina helposti saatavilla ja niiden avulla voidaan varmistaa, että kaikki tarvittavat vaiheet tulee käytyä läpi myös poikkeustilanteissa. Aiemmin kaikki määräaikauskokeet ja NTM:t (engl. Nuclear Testing Manual) piti allekirjoittaa paperilla, ja tulokset palautettiin tarkistettavaksi. Tämä teki paperiohjeista välttämättömiä tietyissä prosesseissa. Moni on tottunut käyttämään paperiohjeita, ja niiden käyttö on osa arjen rutiinia valvomossa.

Sähköisillä ohjeilla on myös omat hyvät puolensa operaattoreiden näkökulmasta. Sähköiset ohjeet löytyvät nopeasti ja niissä voi linkkien avulla siirtyä suoraan tarvittavaan näyttöön tai ohjeen osaan ilman manuaalista selaamista. Kuten edellä on jo mainittu, sähköistä ohjetta käytettäessä kaikkien eteneminen ja tehdyt merkinnät näkyvät reaaliaikaisesti koko tiimille, mikä tukee yhteistä tilannekuvaa ja helpottaa yhteistyötä. Esimerkiksi hyväksynyt ja eteneminen voidaan merkitä näkyvästi sähköiseen ohjeeseen, jolloin kaikki pysyvät ajan tasalla siitä, missä vaiheessa kukin on menossa.

Sähköiset ohjeet ovat erityisen käteviä harjoituksissa ja tilanteissa, joissa ohjeita tarvitaan nopeasti. Simulaattorilla sähköiset ohjeet on helppo pitää auki, ja niistä voi nopeasti etsiä tarvittavaa tietoa, kun tilanteet vaihtuvat ja ohjeita tarvitaan usein. Sähköisessä ohjeessa on usein hakutoiminto ja selkeä rakenne, mikä helpottaa oikean tiedon löytämistä nopeasti. Ohjeiden hierarkia ja listaus tekevät ohjeiden selaamisesta ja oikean kohdan löytämisestä vaivatonta. Sähköinen ohje vähentää inhimillisen virheen mahdollisuutta, koska järjestelmä varmistaa, että käyttäjä siirtyy oikeaan kohtaan ohjeessa. Lisäksi sähköisessä muodossa jää kuittauksia ja historiatietoa siitä, mitä on tehty ja milloin.

#### 4.6.2.6 Sähköisten ja paperisten ohjeiden rinnakkaiskäyttö

Sähköisessä ohjeessa eteneminen ja tehdyt merkinnät näkyvät reaaliaikaisesti kaikille, mutta paperiohjeeseen siirryttäessä tämä yhteinen näkyvyys heikkenee. Käyttäjän täytyy itse muistaa tai merkitä, mihin asti ohjeessa on edetty, jotta mitään vaihetta ei jää väliin.

Jos osa tiimistä käyttää sähköisiä ja osa paperisia ohjeita, voi syntyä epäselvyyksiä siitä, missä vaiheessa kukin on. Tämä voi hidastaa toimintaa ja vaatia enemmän koordinaatiota.

Sähköisessä ohjeessa voi hypätä suoraan oikeaan kohtaan, kun taas paperiohjeessa voi vahingossa mennä väärään paikkaan. Tämä lisää inhimillisen virheen mahdollisuutta ja vaatii käyttäjältä tarkempaa huomiota.

Paperiohjeiden käyttö voi hidastaa työnkulkua, jos ohjeita pitää etsiä fyysisistä kansioista tai tehdä käsin merkintöjä ja kuittauksia. Jos ohjeita tarvitaan nopeasti ja usein, paperiohjeen etsiminen voi olla hitaampaa ja vähemmän joustavaa kuin sähköisen ohjeen selaaminen.

Jos sähköinen ohje ei ole ajan tasalla (esim. siihen tulee ilmoitus, että kyseessä ei ole viimeisin versio), käyttäjän täytyy hakea paperiversio, mikä voi aiheuttaa ylimääräistä vaivaa ja keskeyttää työnkulun. Paperiohjeet ovat yleensä ajan tasalla, koska käytön tuki tuo uudet versiot suoraan riippukansioon.

Osa henkilöstöstä on tottunut käyttämään paperiohjeita, ja siirtyminen sähköisistä paperisiin voi tuntua luontevalta, mutta toisille se voi olla epäkäytännöllistä, etenkin jos ohjeet ovat laajoja tai monimutkaisia. Käytännöt eivät ole yhtenäisiä, mikä voi aiheuttaa epäselvyyksiä ja haasteita tiedonkulussa.

#### 4.6.2.7 Automaation rooli

Kaikkien operaattoriroolien vastauksissa korostuu, että automaatio on välttämätön osa laitoksen käyttöä ja mahdollistaa prosessin hallinnan nykyisellä henkilöstömäärällä. Automaatio ei kuitenkaan ole täysin itsenäinen toimija, vaan se vaatii jatkuvaa valvontaa, seuranta ja ajoittaista ohjausta. Operaattorit eivät voi luottaa automaatioon sokeasti, vaan heidän on ymmärrettävä sen toimintalogiikkaa ja oltava valmiita puuttumaan tilanteisiin, joissa automaatio ei toimi odotetusti.

Vuoropäälliköt korostavat, että automaatio hoitaa suuren osan prosessin säätämisestä, mutta vaatii jatkuvaa tarkkailua ja valvontaa. Heidän tehtävänä on varmistaa, että automaatio toimii odotetusti ja puuttua tilanteisiin, joissa automaatio ei kykene pitämään prosessia halutussa tilassa. Automaatioon luotetaan, mutta siihen ei voi nojata sataprosenttisesti. Esimerkiksi häiriötilanteissa tai kun automaatio reagoi liian hitaasti, on siirryttävä manuaaliseen ohjaukseen. Vuoropäälliköt kokevat, että heidän tulee ymmärtää automaation toimintalogiikkaa ja arkkitehtuuria riittävästi, jotta osaavat arvioida, miten vikatilanteet vaikuttavat prosessiin ja mitä toimenpiteitä tarvitaan.

Reaktoriohjaajat näkevät automaation tärkeänä "työkaverina", joka hoitaa suurimman osan säätötoiminnoista. Heidän tehtävänä on kuitenkin jatkuvasti seurata prosessiparametreja ja puuttua tilanteisiin, joissa automaatio ei toimi oikein. Reaktoriohjaajat korostavat, että heidän tulee ymmärtää automaation toimintalogiikkaa, redundansseja ja järjestelmien välisiä riippuvuuksia, jotta he osaavat reagoida oikein vikatilanteissa.

Turbiiniohjaajat kokevat, että automaatio hoitaa suurimman osan säätötoiminnoista, mutta heidän on seurattava jatkuvasti prosessiparametreja ja puututtava tilanteisiin, joissa automaatio ei toimi odotetusti. Jos automaatio ei kykene säätämään esimerkiksi höyrytimen pintoja oikein, turbiiniohjaaja ottaa ohjauksen manuaalisesti. Tämä lisää työkuormaa ja vaatii tarkkaa seuranta. Turbiiniohjaajat luottavat automaatioon, mutta tiedostavat, että vikatilanteita voi tulla ja silloin on osattava toimia nopeasti.

Alueohjaajat korostavat, että automaatio hoitaa monia apujärjestelmien toimintoja itsenäisesti, mutta heidän on seurattava järjestelmien toimintaa ja puututtava tarvittaessa. Useimmiten automaatio toimii odotetusti, mutta vikatilanteissa alueohjaajan on oltava valmis ottamaan ohjaus manuaalisesti. Alueohjaajat kokevat, että automaatiojärjestelmä on monimutkainen ja kaikkien sen toimintojen ymmärtäminen ei ole mahdollista. Heidän tehtävänä on kuitenkin tunnistaa, milloin automaatio ei toimi ja osata hakea apua automaatiokunnossapidolta.

##### 4.6.2.7.1 Yhteiset havainnot ja korostukset

Kaikki roolit korostavat, että automaatio mahdollistaa laitoksen käytön nykyisellä henkilöstömäärällä, mutta vaatii jatkuvaa valvontaa ja ajoittaista ohjausta.

Operaattorit luottavat automaatioon, mutta eivät sokeasti. Heidän on oltava valmiita puuttumaan tilanteisiin, joissa automaatio ei toimi odotetusti.

Operaattorit kokevat, että heidän tulee ymmärtää automaation toimintalogiikkaa ja järjestelmien välisiä riippuvuuksia, jotta osaavat reagoida oikein vikatilanteissa. Vikatilanteissa automaatio voi aiheuttaa epävarmuutta ja lisätä operaattoreiden työkuormaa, erityisesti jos automaatiokunnossapidon tuki ei ole heti saatavilla.

#### 4.6.2.8 Luottamus automaatioon

Kaikki operaattoriroolit pitävät automaatiota välttämättömänä ja arjen työskentelyä helpottavana, mutta luottamus ei ole ehdotonta. Automaatiota pidetään "hyvänä renkinä, mutta huonona isäntänä": siihen luotetaan niin kauan kuin se toimii odotetusti, mutta sokeaa luottamusta ei ole. Operaattorit korostavat, että automaatiota täytyy jatkuvasti valvoa ja olla valmis puuttumaan tilanteisiin, joissa automaatio ei toimi oikein.

Vuoropäälliköt luottavat automaatioon pääosin, mutta korostavat, että automaatio vaatii jatkuvaa tarkkailua ja ymmärrystä sen toimintalogiikasta. Heidän tehtävänä on varmistaa, että automaatio toimii odotetusti ja puuttua tilanteisiin, joissa automaatio ei kykene pitämään prosessia halutussa tilassa. Reaktorihjaajien luottamus automaatioon on korkea, mutta varauksellinen – automaatio ei ole virheetön, ja vikatilanteissa tukeudutaan automaatiokunnossapitoon. Myös turbiinihjaajat kokevat automaation luotettavaksi, mutta tiedostavat, että vikatilanteita voi tulla ja silloin on osattava toimia nopeasti.

#### 4.6.2.9 Automaation kompleksisuus

Kaikki operaattoriroolit kokevat OL3:n automaatiojärjestelmän erittäin monimutkaiseksi. Järjestelmässä on paljon päällekkäisiä ja toisiinsa vaikuttavia osia, ja kokonaisuuden hallinta vaatii laajaa ymmärrystä sekä prosessista että automaation toimintalogiikasta.

Operaattorit korostavat, ettei kukaan yksittäinen henkilö tunne koko automaatiojärjestelmää läpikotaisin. Myös automaatiokunnossapidon asiantuntijoilla on omat erityisalueensa, ja kokonaisuuden hallinta on haastavaa kaikille.

Riittävä toimintakyky edellyttää käytännön ymmärrystä siitä, miten automaatio toimii, mitkä ovat sen pääperiaatteet, redundanssit ja miten eri järjestelmät vaikuttavat toisiinsa. Syvälinen logiikan ja arkkitehtuurin ymmärrys on kuitenkin harvinaista ja vaatisi lähes toisen ammatin.

Peruskoulutus antaa riittävät valmiudet automaation käytön ymmärtämiseen, mutta syvälinen osaaminen kuuluu automaatioryhmälle. Operaattorit kokevatkin, että heidän ei tarvitse eivätkä he voikaan hallita kaikkia automaation yksityiskohtia.

#### 4.6.2.10 Automaatitietoisuus

Kaikki operaattoriroolit (vuoropäällikkö, reaktorihjaaja, turbiinihjaaja, alueohjaaja) korostavat, että automaatitietoisuus on keskeinen osa turvallista ja tehokasta laitoksen käyttöä. Automaatitietoisuus tarkoittaa ymmärrystä siitä, mitä automaatio tekee, miksi se tekee niin, ja miten sen toiminta vaikuttaa prosessiin. Operaattorit seuraavat jatkuvasti automaation toimintaa, mutta painottavat, että täydellistä ymmärrystä koko järjestelmästä ei kukaan voi olla – järjestelmä on liian laaja ja monimutkainen.

Hälytyskortit kertovat, mikä on vialla, mitä siitä seuraa ja mitä toimenpiteitä operaattorin tulee tehdä. Kuitenkin automaatiota koskevat hälytyskortit voivat olla ympäröiväisiä ja vaatia tulkintaa. Function Block Diagram (FBD) -kaavioiden avulla operaattorit voivat selvittää, miksi jokin laite ei toimi, mikä signaali estää toiminnon tai mikä käynnistää tietyn komponentin. Ko. kaaviot tukevat automaatitietoisuuden ylläpitoa ja auttavat ennakoimaan automaation seuraavia askelia.

Operaattorit seuraavat trendejä ja pääparametreja, joiden avulla havaitaan, toimiiko automaatio odotetusti. Jos automaatio ei pidä arvoja halutulla alueella, operaattori puuttuu tilanteeseen manuaalisesti.

#### 4.6.2.11 Automaation aiheuttama stressi ja kuormittuneisuus

Kaikkien operaattoriroolien vastauksissa korostuu, että stressi ja kuormittuneisuus liittyvät erityisesti automaatiiovikoihin, samanaikaisiin tehtäviin, tehonsäätöihin sekä tilanteisiin, joissa tukijärjestelmän (automaatiokunnossapito) apu ei ole heti saatavilla. Stressiä lisäävät myös epävarmuus automaation toiminnasta, yllättävät muutokset ja kiireelliset tilanteet.

Kun automaatio ei toimi, joudutaan siirtymään manuaaliseen ohjaukseen, mikä lisää työkuormaa ja vaatii jatkuvaa tarkkaavaisuutta. Esimerkiksi höyrystimen pinnan säätö käsin on työlästä, jos sitä joutuu tekemään pitkään.

OL3:lla tehonsäätö on arkipäivää, mikä eroaa vanhemmista laitoksista. Tehonsäätötilanteet lisäävät työmäärää ja vaativat paljon valmistelua sekä jatkuvaa seuranta. Yllättävät muutokset, esimerkiksi sähkömarkkinoiden vuoksi, voivat tulla nopealla aikataululla, usein yöllä, mikä kuormittaa erityisesti vuoropäällikköä. Tehonsäätöön liittyvät automaation haasteet ja transientit (esim. xenon-myrkky, sydämen tilan muutokset) vaativat erityistä tarkkaavaisuutta ja voivat aiheuttaa stressiä.

Kun valvomossa tapahtuu paljon samanaikaisesti, yhteisen tilannekuvan ylläpito vaikeutuu. Multitasking ja priorisointi ovat haastavia: *"Jos alueohjaajalla, reaktoriohjaajalla ja itsellä on paljon töitä, tilannekuvan saaminen voi olla tosi vaikeaa, koska et ehdi keskittyä kaikkeen."*

#### 4.6.2.12 Tiedot/osaaminen automaation toiminnan ymmärtämiseksi

Suurin osa operaattoreista kokee, että heillä on riittävästi tietoa ja osaamista automaation toiminnan ymmärtämiseksi omassa työssään. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että he pystyvät seuraamaan prosessia, reagoimaan automaation tuottamiin hälytyksiin ja käyttämään tarvittavia työkaluja, kuten hälytyskortteja ja logiikkakaavioita, ongelmatilanteiden selvittämisessä.

Automaatio-osaamisessa voidaan haastattelujen mukaan erottaa kolme eri tasoa:

- 1) Perustaso: Riittää, että operaattori tietää, mitä automaatio tekee tietyssä tilanteessa ja miten siihen tulee reagoida. Hälytyskortit ja ohjeet tukevat tätä tasoa.
- 2) Logiikan ymmärrys: On hyödyllistä ymmärtää automaation toimintalogiikkaa, kuten redundansseja, signaaliketjuja ja suojausperiaatteita. Tämä auttaa vikatilanteiden selvittämisessä ja oikeiden toimenpiteiden valinnassa.
- 3) Arkkitehtuurin tuntemus: Syvällisempi ymmärrys automaatiojärjestelmän arkkitehtuurista ja riippuvuuksista on harvinaista ja kuuluu pääosin automaatiokunnossapidon asiantuntijoille.

Peruskoulutus ja käytännön kokemus antavat riittävät valmiudet automaation käytön ymmärtämiseen. Operaattorit kokevat, että koulutuksessa käydään läpi automaation perusteet ja työssä opitaan lisää. Osa mainitsee, että automaatiotaustasta (esim. insinöörinkoulutus) on selkeää hyötyä, mutta myös ilman sitä pärjää, kunhan ymmärtää prosessin toimintaa ja osaa käyttää tukityökaluja.

Vuoropäälliköt, joilla on automaatiotaustaa, kokevat osaamisensa riittäväksi, mutta korostavat tukijärjestelmän merkitystä ja tiedostavat, että kaikkien riippuvuuksien ja logiikan hallinta on mahdotonta. Reaktoriohjaajat kokevat osaamisen riittävän, mutta syvällinen vianmääritys jää automaatiokunnossapidon vastuulle. Turbiiniohjaajilla on käytännönläheinen suhtautuminen:

useimmat kokee osaamisen riittävän omalla vastualueellaan, mutta syvällisempi automaatio-osaaminen ei ole välttämätöntä. Alueohjaajat kokevat automaatiojärjestelmän monimutkaiseksi, mutta perustaso riittää useimmissa tilanteissa.

#### 4.6.2.13 Minkälaisia ongelmia on automaation kanssa ollut?

Yleisimpiä automaation ongelmia ovat olleet automaatiokorttien vikaantumiset sekä yksittäisten komponenttien, kuten mittalaitteiden, antureiden tai venttiilien viat. Korttiviivat voivat aiheuttaa hälytyksiä, estää laitteiden käynnistymisen tai johtaa siihen, että osa automaatiosta ei toimi odotetusti. Korttien ikääntyminen ja niiden suuri määrä lisäävät riskiä vikaantumisille tulevaisuudessa.

On esiintynyt mittausten menetyksiä, virheellisiä signaaleja ja signaalipiikkejä, jotka voivat aiheuttaa esimerkiksi osittaisia pikasulkuja tai muita automaattisia suojaustoimenpiteitä. Mittauspiikit ja epätasaiset mittaukset ovat johtaneet tarpeeseen pitää suurempia turvamarginaaleja, mikä voi rajoittaa laitoksen tehoa.

Säätimet eivät aina toimi odotetusti – joskus ne ovat hitaita reagoimaan muutoksiin, joskus taas ohjausaskel on liian suuri, mikä tekee venttiilien tai muiden laitteiden hallinnasta haastavaa. Säätöparametrien virheellinen asetus tai logiikan virheet ovat aiheuttaneet tilanteita, joissa automaatio ei säädi prosessia oikein.

Ohjelmistopäivitysten yhteydessä on joskus ilmennyt, että järjestelmä ei toimi normaalisti, mikä voi johtua päivitysvirheistä tai inhimillisistä näppäilyvirheistä.

##### 4.6.2.13.1 Ongelmatilanteiden vaikutukset ja hallinta

Kun automaatio ei toimi, joudutaan siirtymään manuaaliseen ohjaukseen. Tämä lisää operaattoreiden työkuormaa ja vaatii jatkuvaa tarkkaavaisuutta, erityisesti jos useita parametreja täytyy säätää käsin pitkän aikaa.

Joskus automaatio antaa hälytyksiä ilman, että mitään konkreettista vikaa löytyy. Tämä voi johtua esimerkiksi kunnossapidon tekemistä testeistä tai ohjelmistopäivityksistä, mutta joskus syy jää epäselväksi ja vaatii selvitystyötä.

Automaatiiovian vaikutukset voivat olla laajoja ja vaikeasti hahmotettavia, koska yksi vika voi vaikuttaa useisiin järjestelmiin. Tämä lisää epävarmuutta ja vaatii usein automaatiokunnossapidon apua.

#### 4.6.2.14 Toiminta automaation vikatilanteissa

Kun automaatio-ongelma ilmenee, operaattorit tarkistavat ensin hälytyskortin ja hälytyskoodin, joka kertoo, mistä ongelmasta on kyse ja mitä toimenpiteitä suositellaan. Hälytyskortti toimii ensisijaisena ohjeena ja siitä katsotaan, mitä pitää tehdä ja mihin ongelma mahdollisesti vaikuttaa. Usein hälytyskortti ohjaa suoraan ottamaan yhteyttä automaatiokunnossapitoon.

Operaattorit pyrkivät muodostamaan mahdollisimman tarkan kuvan ongelman laajuudesta: mitä hälytyksiä on tullut, mihin järjestelmiin ne vaikuttavat ja onko kyseessä yksittäinen komponentti vai laajempi vika. Jos mahdollista, operaattorit voivat kokeilla yksinkertaisia toimenpiteitä, kuten automaatiokaapin resetointia, mutta yleensä heidän keinosensa ovat rajalliset. Kuten todettu, jos automaatio-ongelma estää jonkin toiminnon, operaattorit voivat siirtyä manuaaliohjaukseen, mikä lisää työkuormaa ja vaatii jatkuvaa tarkkaavaisuutta.

Jos ongelma ei ratkea omilla toimenpiteillä tai hälytyskortin ohjeilla, otetaan yhteys automaatiokunnossapitoon. Operaattorit kuvaavat ongelman mahdollisimman tarkasti, yleensä hälytyskortin ja omien havaintojen perusteella.

Kaikista automaatiovioista tehdään vikailmoitus, joka on sekä juridinen että käytännön vaatimus ydinvoimalaitoksessa. Vikailmoitus mahdollistaa vian jäljitettävyyden ja varmistaa, että kaikki tarvittavat toimenpiteet dokumentoidaan asianmukaisesti.

Operaattorit pyrkivät aina varmistamaan, että laitos pysyy turvallisessa tilassa automaatio-ongelman aikana. Jos automaatio-ongelma vaikuttaa prosessin säätöihin, siirrytään tarvittaessa manuaaliohjaukseen ja minimoidaan vaikutukset. Jos ongelma on laajempi, voidaan joutua ajamaan laitos alas hallitusti. Päätökset tehdään yhteistyössä vuoropäällikön ja tarvittaessa linjaorganisaation kanssa.

Kun automaatiovika on korjattu, operaattorit varmistavat, että kaikki järjestelmät toimivat normaalisti ja päivittävät tarvittavat tiedot järjestelmiin. Oppimisen ja jatkuvan parantamisen näkökulmasta käydään usein läpi, mitä tapahtui ja miten vastaavat tilanteet voidaan jatkossa hoitaa vielä paremmin.

#### 4.6.2.15 Työskentely automaatiokunnossapidon kanssa

Kaikkien operaattoriroolien vastauksissa korostuu, että yhteistyö automaation kunnossapidon kanssa on arkipäiväistä, sujuvaa ja välttämätöntä. Automaatio-ongelmien ilmetessä yhteydenotto kunnossapitoon tapahtuu matalalla kynnyksellä, ja yhteistyötä kuvataan pääosin hyväksi ja toimivaksi. Kunnossapidon henkilöstö tunnetaan valvomossa, ja heidän kanssaan ollaan säännöllisesti tekemisissä.

##### 4.6.2.15.1 Ongelman kuvaaminen ja kommunikointi

Operaattorit kokevat, että automaatio-ongelmien kuvaaminen kunnossapidolle on yleensä helppoa. Yleensä ongelma kuvataan hälytyskortin ja omien havaintojen perusteella. Jos kuvaus jää epätarkaksi, kunnossapidon henkilöstö osaa esittää tarkentavia kysymyksiä ja hakea tarvittavat lisätiedot. Kunnossapidon ammattilaiset ymmärtävät yleensä hyvin operaattoreiden kuvailemat ongelmat ja osaavat tulkita hälytyslokeja ja trendejä.

Toiseen suuntaan kunnossapidon antamat selitykset ja ohjeet ovat pääosin ymmärrettäviä. Jos jokin asia jää epäselväksi, operaattorit pyytävät lisäselvitystä, ja kunnossapidon henkilöstö osaa selittää asiat tarvittaessa yksinkertaisesti ja selkokielellä. Ammattitermien käyttö voi joskus aiheuttaa haasteita, mutta pääosin yhteinen kieli löytyy ja asiat selviävät.

Yhteistyö perustuu selkeään työnjakoon: operaattorit kuvaavat ongelman, kunnossapito selvittää ja korjaa. Usein kunnossapidon henkilöstö tulee valvomoon paikan päälle, jolloin tilanne käydään yhdessä läpi. Päiväsaikaan tämä on sujuvaa, mutta yöaikaan voi esiintyä viiveitä. Kunnossapidon henkilöstö osaa yleensä myös selittää, miten vika vaikuttaa laitoksen toimintaan ja mitä toimenpiteitä tarvitaan.

##### 4.6.2.15.2 Oppiminen ja tiedonvaihto

Kunnossapidon selitykset ja toimenpiteet ovat tärkeitä myös operaattoreiden oman oppimisen kannalta. Kun vika ja sen syy selviävät, operaattorit oppivat tunnistamaan vastaavia tilanteita jatkossa ja osaavat reagoida niihin paremmin. Lisäksi vuoropäällikkö vastaa siitä, että kaikki vikatilanteet ja toimenpiteet kirjataan asianmukaisesti, mikä tukee jäljitettävyyttä ja viranomaisvaatimusten täyttämistä.

##### 4.6.2.16 Suurimmat haasteet

Automaatiovikat ovat haastavimpia tilanteita kaikille ohjaajille. Automaatiota on paljon, ja vikatilanteissa vuoropäällikön ja ohjaajien osaaminen ei aina riitä – tarvitaan automaatiokunnossapidon tukea. Yöllä tai viikonloppuna avun saaminen voi olla hidasta, mikä lisää painetta ja kuormitusta. Automaation logiikan ja arkkitehtuurin ymmärtäminen on vaikeaa: *"En tiedä riittävästi enkä tule koskaan tietämään."* Osaaminen vaihtelee, ja syvälinen

ymmärrys vaatisi lähes toisen ammatin. Automaatioviat voivat aiheuttaa epävarmuutta ja lisätä operaattorin stressiä: *"Suurin ongelma on se, että et tiedä koskaan täysin laajuutta, kuinka se mihinkin vaikuttaa."*

#### 4.6.2.17 Erot operaattoriroolien välillä

##### 4.6.2.17.1 Yleiskuvan muodostaminen

Kaikki roolit muodostavat yleiskuvan tilanteesta yhdistämällä näyttöjen, trendien, hälytysten ja kollegoiden kanssa käydyn keskustelun tuottaman tiedon. Erot näkyvät siinä, mihin parametreihin ja järjestelmiin kukin rooli keskittyy, sekä siinä, kuinka laajasti kokonaisuutta tarkastellaan (esim. vuoropäällikkö vs. yksittäinen ohjaaja). VP korostaa kokonaisuuden hallintaa ja tiedon jakamista kaikille. Vastauksissa painottuu vuoronvaihdon selvitys, jossa käydään läpi kaikkien alueiden tilanne. Vuoropäällikkö varmistaa, että kaikki ovat samalla kartalla ja koordinoi tiedonvaihtoa. Yleiskuvan muodostaminen on vuorovaikutteista ja keskustelevaa, ja vuoropäällikön rooli korostuu erityisesti kiire- ja poikkeustilanteissa. RO keskittyy erityisesti reaktorin pääparametreihin, trendeihin ja hälytyksiin. Vastauksissa korostuu trendien seuraaminen (esim. paineistimen pinnat, paineet, ACT-arvot) ja niiden avulla poikkeamien havaitseminen. Reaktoriohjaaja käyttää paljon omia näyttöjä ja trendejä, mutta myös suurkuvanäyttöjä ja keskustelua muiden kanssa. TO seuraa turbiinipuolen pääparametreja (höyrystimien pinnat, paineet, syöttövesitankin pinta, lauhduttimen pinta). AO vastaa apujärjestelmistä (esim. sähköt, ilmastoinnit) ja tukee muita ohjaajia erityisesti poikkeustilanteissa. Vastauksissa korostuu yhteistyö ja tiedonvaihto muiden kanssa.

##### 4.6.2.17.2 Automaatioon liittyvät kysymykset

VP korostaa automaation kokonaisvaltaista roolia ja sen valvontaa. Vuoropäällikön tehtävänä on varmistaa, että automaatio toimii odotetusti ja että mahdollisiin vikoihin reagoidaan nopeasti. Automaatio-osaaminen vaihtelee, ja vuoropäällikön tausta vaikuttaa siihen, kuinka syvällisesti automaatiota ymmärretään. RO seuraa automaation toimintaa erityisesti reaktorin säätöjen ja suojausten osalta. Hälytyskortit ja logiikkakaaviot ovat tärkeitä työkaluja automaatiovikojen selvittämisessä. RO kokee, että automaation logiikan ymmärtäminen on hyödyllistä, mutta syvälinen osaaminen ei ole välttämätöntä. TO seuraa automaation toimintaa turbiinipuolen säätimiin ja venttileihin liittyen. Automaatio koetaan pääosin luotettavaksi, mutta manuaalinen säätö on tarpeen, jos automaatio ei toimi odotetusti. AO seuraa automaation toimintaa omilla vastuualueillaan ja tukee muita ohjaajia automaatiovikojen selvittämisessä. AO:n osaaminen automaatiosta vaihtelee, ja yhteistyö automaatiokunnossapidon kanssa on tärkeää.

##### 4.6.2.17.3 Ohjeiden käyttö (sähköinen vs. paperinen)

Kaikissa rooleissa korostetaan, että sekä sähköisille että paperisille ohjeille on paikkansa. Paperiohjeet ovat hyödyllisiä erityisesti laajoissa ja monivaiheisissa toimenpiteissä sekä silloin, kun sähköinen järjestelmä ei ole käytettävissä. Sähköiset ohjeet ovat nopeita ja helppoja käyttää, ja niistä näkee muiden etenemisen reaaliaikaisesti. Käyttötavat vaihtelevat henkilökohtaisen mieltymyksen ja tilanteen mukaan.

#### 4.6.2.18 Erot vuorojen välillä

Eniten eroavuuksia vuorojen välillä löytyy automaatioon, ohjeiden käyttöön sekä kommunikaatioon ja yhteistyöhön liittyvissä kysymyksissä.

Automaatioon liittyvissä kysymyksissä eroja on siinä, kuinka syvällisesti automaation logiikkaa ymmärretään, miten automaatiovikoihin reagoidaan ja kuinka paljon tukea tarvitaan automaatiokunnossapidolta. Osa kokee osaamisensa riittäväksi, osa taas kaipaa lisää

koulutusta tai tukea. Myös suhtautuminen automaation luotettavuuteen ja manuaalisen ohjauksen tarpeeseen vaihtelee.

Ohjeiden käyttötavat ja mieltymykset vaihtelevat sekä roolien että vuorojen välillä. Osa suosii sähköisiä ohjeita, osa paperisia, ja osa käyttää molempia rinnakkain. Siirtyminen sähköisestä paperiseen (tai päinvastoin) aiheuttaa erilaisia haasteita eri vuoroissa ja rooleissa.

Vaikka kaikki vuorot korostavat kommunikaation merkitystä, käytännön toteutus ja painotukset vaihtelevat. Joissain vuoroissa kommunikaatio on hyvin aktiivista ja avointa, toisissa taas enemmän rutiininomaista. Myös vuoropäällikön rooli tiedon jakajana ja koordinoijana korostuu eri tavoin eri vuoroissa.

## 5. Tulosten tarkastelu

---

Tavoitteenamme on ollut selvittää operaattorien stressin ja työkuorman, viestinnän, yhteistyön ja tiimityöskentelyn sekä ohjeiden käytön yhteyttä operaattoriryhmien suoriutumiseen simuloituissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Tämä luku tiivistää ja kokoaa yhteen keskeiset havainnot sekä johtaa niistä joitakin käytännön suosituksia ohjeistuksen, operaattorikoulutuksen ja valvomokäyttöliittymien kehittämiseksi.

### 5.1 Operaattoreiden suoriutuminen

#### 5.1.1 Suoriutuminen prosessinhallintatehtävistä

Kaikki vuorot suoriutuivat onnistuneesti kaikista simulaattoriajon vikatilanteista. Vuorojen välillä oli kuitenkin jonkin verran eroja erityisesti automaatiovikojen käsittelyssä. Tehonrajoitus toteutettiin pääosin ohjeiden mukaan, mutta kaksi vuoroista keskeytti sen automaatiopian vuoksi. Useimpien mielestä tehonlaskun jatkaminen ei ollut ongelma, mutta varovaisuus korostui odottamattomassa tilanteessa. Syöttöveden menetyksen yhteydessä käytettiin hätätilanneohjeita, ja päätöksenteossa korostui maltin merkitys. Vian syyn selvittäminen ei ollut ko. tilanteessa välttämätöntä, vaan tärkeämpää oli varmistaa ydinturvallisuus. Siirtyminen prosessiautomaation käyttöliittymistä turvallisuusautomaation käyttöliittymiin tapahtui ripeästi ilman ongelmia, ja turvallisuuskäyttöliittymältä löytyi kaikki olennainen tieto, vaikka harvoin käytetty käyttöliittymä aiheutti jonkin verran tiedonhakuja.

Kahden simulaattorikouluttajan arvioiden mukaan kaikkien vuorojen suoriutuminen teknisen suoriutumisen kuuden ulottuvuuden (ts. *hälytysten käsittely, prosessiymmärrys, prosessivasteen monitorointi, vikojen syiden löytäminen, seurantatoimenpiteet häiriön jälkeen ja osaaminen*) suhteen oli sangen hyvällä tasolla. Sen sijaan inhimillisen suorituskyvyn alakategorioiden *viestintä, tilannetietoisuus* ja *vaihtoehtojen tulkintojen teko* arvioissa oli jonkin verran eroja vuorojen välillä, ja osa arvioista jäi keskitason alapuolelle.

Silmämääräisesti tarkasteltuna, operaattoreiden oman suoriutumisen arvioiden mukaan reaktoriohjaajat arvioivat oman suoriutumisensa paremmaksi kuin muissa operaattorirooleissa toimineet. Tämä tulos on osittain ymmärrettävä, sillä RO:lla oli keskeinen rooli ainoastaan automaatiovikojen käsittelyssä – ajon myöhemmässä vaiheessa hän pääsi muita ohjaajia jonkin verran helpommalla. Ilmeisesti RO:t kokivat onnistuneensa RCSL:n osittaisen menetyksen vaikutusten tunnistamisessa.

Vuoropäälliköiden arvioiden hajonta oli taas suurempi kuin muilla rooleilla. Vuoropäälliköt vuoron johtajina ovat vastuussa vuoron kokonaissuorituksesta. Tulosten mukaan heillä oli varsin vaihtelevia näkemyksiä siitä, miten he olivat onnistuneet tässä roolissaan. Tämä on osittain ristiriidassa sen kanssa, että kaikki vuorot onnistuivat selvittämään ajon vikatilanteet

onnistuneesti. Prosessiseurantahaastattelun muutamat kommentit kertovat siitä, että VP:itä saattoivat jäädä harmittamaan jotkin yksittäiset oman suoriutumisen puutteet, jotka eivät kuitenkaan vaikuttaneet vuoron kokonaissuoritukseen.

## 5.2 Tilannetietoisuus

Operaattorit muodostavat yleiskuvan tilanteesta yhdistämällä valvomon näyttöjen, trendien, hälytysten, ohjeiden ja kollegoiden kanssa käydyn keskustelun tiedot. Suurkuvanäytöt ovat keskeisiä työvälineitä, jotka kokoavat olennaiset tiedot yhteen ja tukevat koko tiimin tilannetietoisuutta.

Endsleyn (1995) mallin mukaan tilannetietoisuudessa voidaan tunnistaa neljä vaihetta: havaitseminen, havaintojen tulkinta, ennakointi ja toiminta. Prosessikäyttöliittymien kautta ohjaajien oli mahdollista saada kaikki häiriöiden havaitsemisen kannalta olennainen tieto. Vuoron siirtyessä jatkamaan ohjeen suorittamista turvallisuuskäyttöliittymän äärelle heillä oli käytössä vähemmän tietoa prosessin tilasta, mutta se ei merkittävästi vaikeuttanut tilanteen käsittelyä.

Normaalitilanteessa operaattorit ylläpitävät tietoisuutta automaation tilasta seuraamalla automaation säätämiä keskeisiä prosessiparametreja, seuraamalla näyttöjä, jotka tarjoavat tietoa automaatiojärjestelmien tilasta ja "lukemalla" toimintolohkokaavioita järjestelmän suorittamien toimintojen seuraamiseksi.

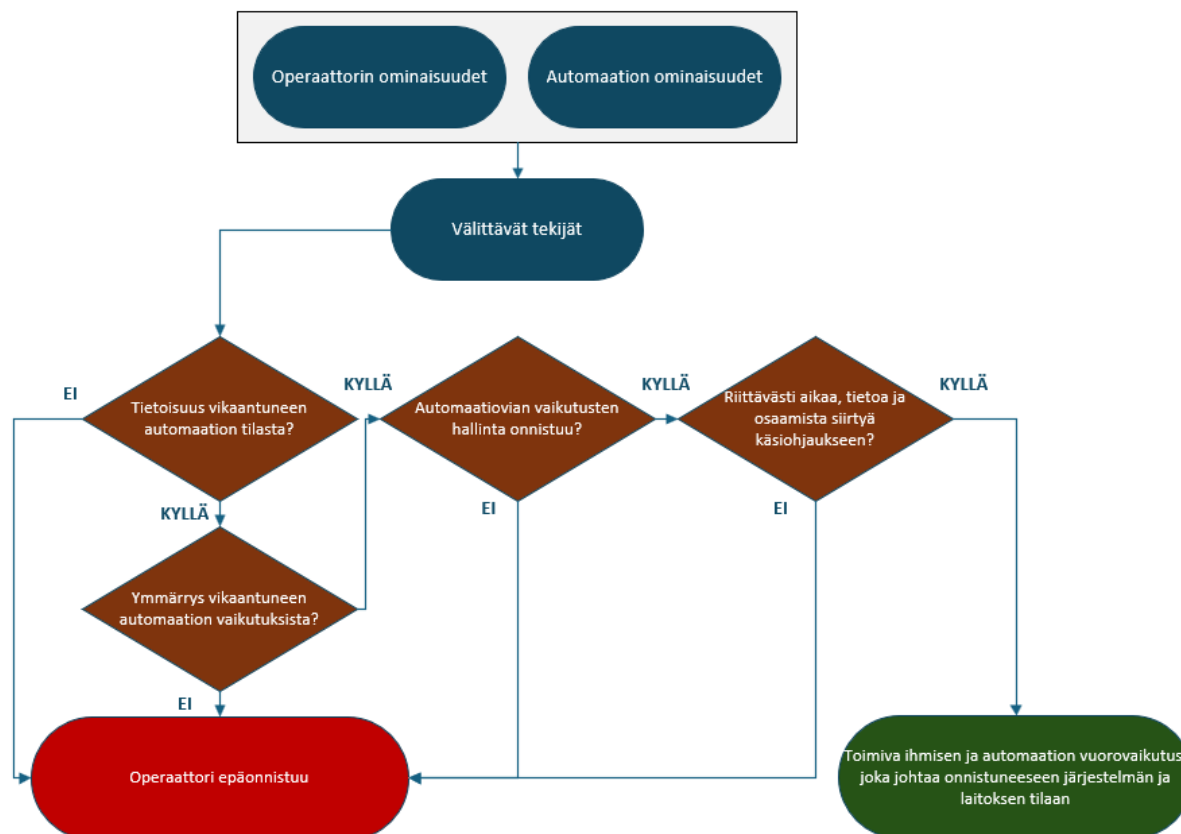
Automaation vikatilanteissa ohjaajat hankkivat tietoa automaation tilasta ja vian vaikutuksista seuraavista lähteistä:

- Havaitsemalla ja tulkitsemalla hälytyksiä;
- Seuraamalla näyttöjä, jotka tarjoavat tietoa automaatiojärjestelmien tilasta;
- Lukemalla ja tulkitsemalla asiaankuuluvan hälytyskortin tiedot;
- Konsultoimalla muita operaattoreita, joilla voi olla enemmän koulutusta ja kokemusta automaatiosta;
- Ottamalla yhteyttä automaatiokunnossapitoon ja konsultoimalla kunnossapitohenkilöstöä;
- Ottamalla yhteyttä laitoksen turvallisuusyksikön henkilöihin.

RCSL:n osittaisen menetyksen osalta havaintojen tulkinnessa ja vian vaikutusten ennakkoinnissa oli jonkin verran haasteita. Joillakin turbiiniohjaajilla oli jonkin verran vaikeuksia höyrystimien pinnansäädön toteutuksessa ko. vikatilanteessa. He ottivat esimerkiksi tarpeettoman pitkäksi ajaksi kaikki höyrystimet käsisäädölle, mikä lisäsi operaattorin kuormittuneisuutta.

Kaiken kaikkiaan osa vuoroista oli varsinkin alkuvaiheessa epätietoisia automaatiiovian vaikutuksista, ja ohjaajat epäilivät, että he eivät ehkä olleet tunnistaneet kaikkia vian vaikutuksia. Koska automaatiokunnossapito ei milloinkaan saapunut paikalle, ohjaajat eivät koskaan saaneet selville automaatiiovian varsinaista syytä eikä vikaa myöskään korjattu. Ohjaajat jäivät siis epätietoisiksi vikatilanteen kaikista yksityiskohdista.

Kuvan 45 kyllä/ei-vuokaavio kuvaa automaatiiovian päätösprosessia Endsleyn mallin mukaisesti. Ajon automaatiiovikatilanteessa kaikki vuorot selvittivät onnistuneesti päätösprosessin kaikki vaiheet, vaikkakin päätös- ja toimintavaiheessa ilmeni jonkin verran epäröintiä ja haparointia joidenkin vuorojen kohdalla.



Kuva 45. Automaatiovian hallintaa koskeva kyllä/ei-vuokaavio. Vuorovaikutus, joka johtaa onnistuneeseen järjestelmän tai laitoksen tilaan, edellyttää 'kyllä'-vastausta jokaisessa valintakohdassa.

### 5.3 Kommunikaatio ja yhteistoiminta

Hyvä kommunikointi mahdollistaa tehokkaan työnjaon ja virheiden ehkäisyn. Viestintä kollegoiden kanssa on keskeistä yhteisen tilannekuvan ja turvallisen toiminnan varmistamisessa. Vuoronvaihdossa ja poikkeustilanteissa tiedonvaihto on erityisen tärkeää.

Vuoron itseraportoitu kommunikaatio ja yhteistyö olivat korkealla tasolla TWAS-kyselyn mukaan, mutta kuten edellä on todettu simulaattorikouluttajien mielestä joidenkin vuorojen sisäisessä viestinnässä sekä viestinnässä vaivomon ulkopuolelle oli parannettavaa.

Vuorojen välillä oli myös varsin paljon eroja kommunikoinnin määrässä: esimerkiksi vuoropäälliköiden suurimman ja pienimmän repliikkimäärän välinen ero oli yli kolminkertainen. Muiden operaattoriroolien kohdalla erot vuorojen välillä olivat pienempiä. Tilannepäivityskokousten määrä vaihteli myös paljon vuorojen välillä (0-8).

Kommunikoinnin ja tilannepäivitysten määrä ei näytä olevan yhteydessä simulaattorikouluttajien vuoron viestintää koskeviin arvioihin: osa vuoroista, joissa ohjaajat keskustelivat varsin paljon ja pitivät useampia tilannepäivityksiä ajon aikana, saivat sängen alhaiset viestinnän pisteet kouluttajilta.

Suurin osa kommunikoinnista on vuoron muiden jäsenten informointia, ja ilmoituksia siitä, että viesti on vastaanotettu. Vuoropäälliköt myös kyselivät muilta ohjaajilta asioita ja organisoivat sanallisesti vuoron toimintaa. Vuoropäälliköt keskustelivat lähinnä reaktori- ja turbiiniohjaajien kanssa. Mielenkiintoista on, että he keskustelivat huomattavasti vähemmän alueohjaajien kanssa, joiden kanssa taas turbiiniohjaajat viestivät enemmän. Tämä on ymmärrettävää,

koska alueohjaajat toimivat turbiiniohjaajien tukena useimmissa vuoroissa. Parissa vuorossa VP keskusteli keskimääräistä enemmän TO:n kanssa. Mahdollisesti näissä vuoroissa TO haki vuoropäälliköltä tukea ajon vaativimpien vaiheiden aikana.

Vuoden 2026 aikana on tarkoitus analysoida kommunikaatiodataa tarkemmin ja mm. selvittää, vaihteliko lausumien määrä ajon eri vaiheiden aikana. Tarkoitus on myös tarkastella lausumien sisältöä ja rakennetta.

## 5.4 Monen asian suorittaminen rinnakkain

Tiimin tilannekohtaisen työkuorman arviointi -kyselyn mukaan muutamilla vuoropäälliköillä ja alueohjaajilla oli jonkin verran ajankäytön hallintaan liittyviä ongelmia. Monen tehtävän suorittamista rinnakkain vaadittiin erityisesti ajon alkuvaiheessa, kun vuoron piti rajoittaa tehoa ja samanaikaisesti pyrkiä selvittämään RCSL:n osittaisen menetyksen prosessivaikutuksia.

## 5.5 Kuormittuneisuus ja stressi

Harjoitus ei ollut erityisen kuormittava, mutta automaatioviat ja monitehtävätilanteet lisäsivät kuormitusta. Simulaattorissa kuormitusta vähensi ulkoisten yhteydenottojen puuttuminen. Kuormituksen hallinnassa tiimityö ja toisten tukeminen olivat tärkeitä, mutta yksilölliset erot olivat selviä: osa koki tilanteet rutiininomaisina, osa stressaavina.

Tarkasteltaessa yleisesti simulaattoriajon aikana rekisteröityjä psykofysiologisia signaaleja voidaan todeta, että valvomovuoron stressi-/kuormittuneisuustaso toisaalta nousi vaiheittain simuloidun tilanteen edistyessä ja vuoron reagoidessa hälytyssignaaleihin ja toisaalta laski reaktiivisesti, kun operaattorit tekivät onnistuneita päätöksiä, saivat tilanteen hallintaan ja muodostettua oikean diagnoosin.

Fysiologisten muuttujien perus- ja vertailutasona käytettiin simulaation jälkeistä "helpottunutta ja tyytyväistä" tilaa, jolloin varsinainen simulaattoriajo oli jo päättynyt. Tähän päädyttiin, koska skenaarion alkutilanteen signaaleissa oli havaittavassa selkeä odotusefekti sykkeen kohotessa, kun operaattorit odottivat suorituksen alkamista.

Syketaso oli koko skenaarion ajan tilastollisesti merkitsevästi koholla verrattuna perustasoon, kuvaten autonomisen hermoston virittyneisyyttä ja yleisen vireystason kasvua. Skenaarion aikana operaattorit työskentelivät melko rauhallisesti ja kontrolloidusti, eikä tuloksissa näy fyysisestä aktiivisuudesta johtuvia piikkejä. Sykkeen ja liikedatan välisen suhteen analysointi osoitti, että sykedatan muutoksia selitti liikkumista enemmän osallistujien henkinen virittyneisyys ja reagointi skenaarion aikana vaihtuviin tilanteisiin.

Sykevälivaihtelu kuvaa sydämen lyöntitiheyden "ohjausta" ja kiristyy henkisen tai fysiologisen kuormituksen kasvaessa fysiologisen järjestelmän rekrytoidessa lisää resursseja tarkkaavuutta ja vireyttä vaativissa tilanteissa. Sykevälivaihtelu oli skenaarion aikana merkitsevästi alentunut automaatiiovikojen aikana, tilanteessa, jossa menetettiin PICS-järjestelmä sekä laitoksen alasajon aikana, kuvaten hyvin operaattoreiden virittyneisyyttä näissä tilanteissa. Vastaavasti onnistuneen diagnoosin saavuttaminen näkyi siinä, että sykevälivaihtelu kohosi positiiviseksi vertailutasoon verrattuna - ainoan kerran koko skenaarion aikana tilanteen vaatimusten helpottaessa.

Tutkimuksessa käytetty Baevskyn stressi-indeksi kuvaa sympaattisen ja parasympaattisen hermoston välistä tasapainoa. Stressin tai fyysisen/psykkisen kuormituksen vaikutuksesta parasympaattisen (lepo ja palautuminen) hermoston aktiivisuus vähenee ja sympaattisen (taistele tai pakene) hermoston aktiivisuus lisääntyy, mikä näkyy indeksin kohonneena arvona. Stressi-indeksi saa tyypillisesti arvoja 7 ja 12 välillä, korkeamman arvon merkitessä korkeampaa stressitilaa. Simuloidun skenaarion aikainen stressi-indeksin vaihtelu osoittaa,

että operaattorien virittyneisyys kohosi kohtuullisesti. Stressi-indeksin tilastollisesti merkitsevät alenemiset tapahtuivat "GEOS esillä" ja "diagnoosi saavutettu" -vaiheiden aikana, mikä kertoo huojentumisesta, kun operaattorit huomaavat onnistuneensa vikatilanteen diagnosoinnissa.

Osallistujien itseraportoitu stressi oli melko hyvin linjassa fysiologisten muuttujien indikoimien stressitasojen kanssa. Itseraportoitu data kerättiin vasta skenaarion päätyttyä ja on mahdollista, että operaattorit takautuvasti sovittavat omaa kokemustaan kokonaiskuvaan skenaarion kulusta. Esimerkiksi skenaarion alun odotusjännitys näkyy fysiologisessa datassa, vaikka operaattorien omien kokemusten mukaan he eivät olleet alussa lainkaan stressaantuneita.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös, oliko kuormittuneisuudessa eroja operaattoriroolien välillä. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei kuitenkaan nähty itse raportoidussa kuormittuneisuudessa (NASA-TLX, ja itse raportoitu kuormitus ajon eri vaiheissa), eikä myöskään sykeaineistosta lasketuissa kuormitusindikaattoreissa. On kuitenkin huomattavaa, että kunkin roolin edustajia oli kutakin vain 7 tutkimushenkilöä mikä huomattavasti vähentää tilastollista voimaa, kun huomioitavana on myös lukuisa määrä ajon aikaisia tapahtumia. Tilastollisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että ajon aikaiset tapahtumat selittivät eniten valvomo-ohjaajien kuormittuneisuutta kuvaavia muutoksia, eivätkä nämä muutokset eronneet ainakaan suuresti eri roolissa toimivien valvomo-ohjaajien välillä.

Silmämääräisesti tarkastellen nähdään myös, että vaihtelu roolin sisällä on paikoin melko suurta. Samassa roolissa toimineiden kokemus kuormituksesta on voinut erota paljonkin. Ja toisaalta useat eri rooleissa toimineet ovat antaneet samanlaisia arvioita ajon kuormittavuudesta. Esimerkiksi reaktoriohjaajien arviot ajon henkisestä kuormittavuudesta vaihtelivat 0,5 ja 6,5 välillä, mediaanin ollessa 4, kun taas alueohjaajien arviot vaihtelivat välillä 1 ja 6, mediaanin ollessa 4,5 (Kuva 14). Alueohjaajalla oli kuitenkin vähäisempi määrä suoritettavia tehtäviä ajon aikana. Onkin mahdollista, että toisaalta operaattorin oma osaaminen ja kokeneisuus, ja toisaalta vuoron kompetenssi sekä suoriutuminen ovat vaikuttaneet koettuun kuormittumiseen enemmän kuin se missä roolissa tämä toimi.

### 5.5.1 Automaatiovikojen käsittely ja kuormittuneisuus

Automaatioviat koettiin haastaviksi, koska niiden syyt ja vaikutukset eivät aina ole selviä. Hälytyskorttien tulkinta vaatii tarkkuutta, ja ohjeet voivat olla puutteellisia, mikä lisää epävarmuutta ja kuormittuneisuutta. Automaatioviat aiheuttavat erityisesti alkuvaiheessa suurta kuormittuneisuutta, kun hälytyksiä tulee paljon ja ne pitää tulkita nopeasti. Automaatiovian yhteydessä operaattorit turvautuvat usein automaatiokunnossapitoon, mutta vian laajuuden ja vaikutusten arviointi jää silti epävarmaksi. Simulaattorissa ulkopuolinen tuki on vähäisempää kuin valvomossa, mikä lisää stressiä ja työkuormaa.

## 5.6 Tulosten tulkintaa

### 5.6.1 Operaattoritoiminta ajoissa

#### 5.6.1.1 Yhteistyö automaation kanssa

Automaatioon liittyvä tietoisuus perustuu pitkälti epäsuoraan tietoon, ei suoraan havainnointiin, ts. operaattorit näkevät ikään kuin automaation 'läpi' prosessin tilan, mutta eivät suoraan prosessiautomaation tilaa. Operaattorit tosin sanoen seuraavat automaatiota ensisijaisesti tarkkailemalla sen vaikutuksia prosessiparametreihin ja käyttävät hälytyskortteja vikojen diagnosointiin. Operaattorien mukaan he eivät myöskään näe turvallisuusautomaation toimintaa ja vaikutuksia käyttöliittymistään, mikä tarkoittaa, että heidän ymmärryksensä sen tilasta on väistämättä puutteellinen.

Kaiken kaikkiaan automaatiojärjestelmä on kuin lankakerä, jossa on monta lankaa. Automaation järjestelmät ovat siis monimutkaisia, niissä on päällekkäisiä alajärjestelmiä ja riippuvuuksia, joita on vaikea täysin ymmärtää tai valvoa.

Kuten Bainbridge (1983) on todennut, automaation ironia on se, että se vähentää työkuormaa normaalitilanteissa, mutta viat tai häiriöt lisäävät stressiä ja työmäärää merkittävästi. Yhteistyö automaatiokunnossapidon kanssa on avainasemassa, erityisesti nopean ratkaisun saavuttamiseksi vikatilanteissa. Yhteistyö kunnossapidon kanssa on arkipäiväistä ja sujuvaa, mutta resurssien rajallisuus (erityisesti öisin ja viikonloppuisin) voi hidastaa vian selvittämistä. Ongelman kuvaaminen kunnossapidolle on yleensä helppoa hälytyskorttien ja havaintojen avulla, mutta syvällinen tekninen terminologia voi olla haastavaa.

#### 5.6.1.2 Haasteet ja erot rooleissa/vuoroissa

Suurimmat haasteet liittyvät automaatiovikoihin, järjestelmän monimutkaisuuteen, kuormituksen hallintaan ja tiedonkulkuun kiiretilanteissa. Erot vuorojen ja roolien välillä näkyvät automaation ymmärryksessä, ohjeiden käytössä sekä kommunikaation ja yhteistyön painotuksissa.

#### 5.6.1.3 Automaatiovikojen käsittely

Tämän tutkimuksen automaatiotilat edustanevat diagnostisesti epätyypillisiä tilanteita, jotka validointitulosten perusteella ovat haastavia, koska ohjeet eivät tarjoa niihin sellaisenaan ratkaisua. Osa vuoroista koki simulaattoriauton automaation vikatilanteet varsin haastavina, vaikka kaikki vuorot selviytyivätkin ko. tilanteista hyvin.

Hälytyskorttien luettavuus voisi olla parempi, vaikka RCSL:n osittaiseen menetykseen liittyvä hälytyskortti olikin varsin kattava ja selkeä. Paperi- ja sähköisten ohjeiden yhteiskäyttö oli varsin sujuvaa.

Peruskoulutus ja käytännön kokemus antavat riittävät valmiudet automaation käytön ymmärtämiseen. Hälytyskortit ja logiikkakaaviot ovat keskeisiä apuvälineitä. Syvällisempi vianmääritys ja automaation logiikan selvittäminen kuuluvat automaatiokunnossapidolle.

#### 5.6.2 Ohjekehitys

Ohjeita käytettiin sekä sähköisesti että paperisena. Paperiohjeita pidettiin luotettavina ja erityisen hyödyllisinä, kun näyttötila oli rajallinen tai sähköiset ohjeet eivät olleet ajan tasalla. Käyttötavat vaihtelivat vuorojen ja henkilöiden välillä.

TVO:n ohjeistus on, että operaattoreilla on vapaus valita kumpaa ohjeformaattia käyttävät, sillä TVO:lla tiedostetaan molempien ohjeversioiden hyödyt ja heikkoudet sekä henkilökohtaiset preferenssit ja erilaiset käyttötilanteet. Paperiohjeen käyttöä operaattorit perustelivat mm. sillä, että se on aina viimeisin versio. On tärkeää, että paperi- ja sähköinen ohje olisivat identtiset, mutta näin ei ole aina ollut. Samassa vuorossa saattaa olla eroja operaattoreiden välillä tässä suhteessa. Operaattori voi käyttää myös eri versioita (ts. paperi vs. sähköinen ohje) samasta ohjeesta eri laitostilanteissa tai eri ympäristössä (ts. valvomo vs. simulaattori). Ulkopuolisen silmin ohjeiden käyttö on osittain villi länsi, mutta nykytilanteessa ei operaattoreiden kannalta ole mitään ongelmaa. Myöskään sillä ei ole operaattoreiden mielestä merkitystä, että kaikki ohjeet ovat englanninkielisiä.

#### 5.6.3 Käyttöliittymä- ja valvomosuunnittelu

Nykyinen näyttöjen määrä vaikuttaa riittävältä, mutta näkyvillä pidettävien käyttöliittymänäyttöjen valinta on harkittava huolellisesti, jotta operaattoreiden tiedontarpeet

tulevat tyydytetyiksi. Operaattorit käyttivät aktiivisesti suurkuvanäyttöjä ylläpitääkseen tilannetietoisuutta laitoksen eri käyttötilanteissa.

#### 5.6.4 Tutkimuksen arviointia

Tutkimuksen vahvuuksia olivat, että kaikki OL3:n operaattorivuorot osallistuivat simulaattoriajoihin. Ajojen skenaario oli huolella laadittu: ajo oli varsin pitkä, ja se sisälsi erityyppisiä vikoja ja haasteita. Operaattorien suoriutumista, kuormitusta ja käyttöliittymiä tarkasteltiin useasta eri näkökulmasta, tarjoten monipuolisen kuvan valvomo-ohjaajien ja valvomoratkaisujen yhteistoiminnasta.

Tutkijoiden puutteellisen prosessiymmärryksen takia, jokaisen vuoron ajosuorituksesta olisi ollut syytä keskustella simulaattorikouluttajien kanssa erikseen. Kouluttajat osallistuivat prosessiseurantahaastatteluun, mutta siinä yhteydessä heidän arvioitaan ei järjestelmällisesti kysytty.

Osa tutkimuksen tuloksista on vielä analysoimatta, joten lisäanalyysit antanevat vastauksia joihinkin avoimeksi jääneisiin kysymyksiin.

## 6. Johtopäätökset

---

Kaiken kaikkiaan tutkimuksen tulokset osoittavat, että OL3:n valvomo käyttöliittymineen tukee varsin hyvin turvallista ja tehokasta operaattoritoimintaa.

Automaatiovikojen käsittelyssä, ohjeiden käytössä ja viestinnässä on kehittämistarpeita. Erityisesti automaatiovikojen vaikutusten arviointi ja vikojen korjaaminen voi olla haastavaa varsinkin monitehtävätilanteissa. Seuraavassa muutamia kehitysehdotuksia automaatiovikojen käsittelyn kehittämiseksi:

- Jokaisessa työvuorossa olisi hyvä olla automaatioalan koulutuksen saanut operaattori, joka asiantuntemuksellaan voisi parantaa vuoron tilannetietoisuutta, vähentää epävarmuutta ja kuormittuneisuutta sekä sitä kautta tehostaa hankalien automaatiovikojen käsittelyä.
- Koska hälytyskortit ovat keskeinen väline automaatiovikojen vaikutusten ymmärtämisessä, niiden tulisi olla mahdollisimman selkeitä ja helppolukuisia sekä antaa mahdollisimman kattavasti tietoa automaatiiovian vaikutuksista ja seurauksista.
- Haastattelujen perusteella vaikutti siltä, että avun saaminen automaation vikatilanteissa virka-ajan ulkopuolella saattaa olla haastavaa. Automaatiokunnossapidon saavutettavuutta tulisikin parantaa, erityisesti virka-ajan ulkopuolella. Tarvitaan toimiva varahenkilöjärjestelmä sekä selkeä toimintamalli ja -ohjeet automaatiokunnossapidon hälyttämiseen iltaisin, viikonloppuisin ja lomakausina.
- Peruskoulutukseen tulisi sisällyttää monen tyyppisten automaatiovikojen vaikutusten tunnistaminen ja käsittely. Simulaattorikoulutuksessa tulisi ajaa harvinaisempia automaation vikatilanteita, monivikatilanteita, jotka edellyttävät useamman tehtävän suorittamista rinnakkain sekä ns. systeemisiä automaation vikatilanteita, jotka eivät johdu yksittäisen komponentin toimintahäiriöstä, vaan monimutkaisista vuorovaikutuksista useiden järjestelmän osien välillä.

Muita kehitysehdotuksia:

- Useat operaattorit käyttävät vuorotellen paperi- ja sähköisiä ohjeita joustavasti ja usein varsin luovalla tavalla. Olisi hyvä kerätä enemmän kokemuksia näistä erilaisista tavoista ja niiden pohjalta kehittää toimintamalli paperi- ja sähköisten ohjeiden yhteiskäytön tueksi.
- Koska vuorojen välillä oli varsin paljon eroja viestinnän määrässä ja laadussa sisäistä, vuoron sisäistä kommunikointia tulisi yhtenäistää ja tiivistää ja esim. edellyttää säännöllisiä tilannekatsauksia häiriötilanteissa ja niitä harjoiteltaessa.
- Osa tutkimuksen kyselymittareista (esim. itsearvioitu stressi ajon eri vaiheissa ja itsearvioitu suoriutuminen) voisi antaa simulaattorikouluttajien käyttöön. Uusia mittareita tulisi kehittää esim. yksilökohtaisen tilannetietoisuuden ja automaattitietoisuuden sekä tiimin tilannetietoisuuden arviointiin ja niitä tulisi testata simulaattorikoulutuksen yhteydessä.

## Lähteet

---

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation, *Automatica* 19, 6, 775-779.
- Baevsky, R. M., & Chernikova, A. G. (2017). Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods. *Cardiometry*, (10).
- Cowley, B., Filetti, M., Lukander, K., Tornainen, J., Henelius, A., Ahonen, L., ... & Jacucci, G. (2016). The psychophysiology primer: a guide to methods and a broad review with a focus on human-computer interaction. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 9(3-4), 151-308.
- Desaulniers, D.R. (1997). Stress in the control room: effects and solutions.
- Diamond, D.M., Campbell, A.M., Park, C.R., Halonen, J., & Zoladz, P.R. (2007). The temporal dynamics model of emotional memory processing: a synthesis on the neurobiological basis of stress-induced amnesia, flashback and traumatic memories, and the Yerkes-Dodson law. *Neural plasticity*, 2007.
- Driskell, J.E., Salas, E., & Johnston, J. (1999). Does stress lead to a loss of team perspective? *Group dynamics: Theory, research, and practice*, 3(4), 291.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- Fletcher, J.D. (2004). *Cognitive Readiness: Preparing for the Unexpected*. Alexandria: Institute for Defense Analyses.
- Flin, R., O'Connor, P., & Crichton, M. (2008). *Safety at the Sharp End. A Guide to Non-Technical Skills*. Farnham, UK: Ashgate.
- Fredrikson, M., & Matthews, K. A. (1990). Cardiovascular responses to behavioral stress and hypertension: A meta-analytic review. *Annals of Behavioral Medicine* 12(1), 30-39.
- Gladstein, D.L., & Reilly, N.P. (1985). Group decision making under threat: The tycoon game. *Academy of Management Journal* 28(3), 613-627.
- Gordan, R., Gwathmey, J.K., & Xie, L.-H. (2015). Autonomic and endocrine control of cardiovascular function. *World Journal of Cardiology* 7(4), 204.
- Koskinen, H., Laarni, J., Salo, L., Savioja, P. (2016). Developing a Human Factors Engineering process for control room upgrades. In proceedings of: *Applied Human Factors and Ergonomics 2016, Advances in Human Factors in Energy: Oil, Gas, Nuclear and Electric Power Industries*, vol. 495 of the series *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp 57-68, July 15, 2016.
- Koskinen, H., Laarni, J., Norros, L., Liinasuo, M., & Savioja, P. (2021). Systems usability case in stepwise control room validation. *Safety Science* 134, February 2021, 105030.
- Koskinen, H., Laarni, J., Liinasuo, M., & Salo, L. (2022). Application of Systems Usability Case in an Integrated System Validation of Control Room. *Nuclear Technology*.
- Kowalski-Trakofler, K.M., & Vaught, C. (2003). *Judgment and Decision Making Under Stress: An Overview for Emergency Managers*.
- Kowler, E. (2011). Eye movements: The past 25 years. *Vision Research* 51(13), 1457-1483.

- Lin, C.J.; Hsieh, T.-L., Tsai, P.-J., Yang, C.-W., & Yenn, T.-C., (2011). Development of a team workload assessment technique for the main control room of advanced nuclear power plants. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 21 (4) 397–411.
- Matthews, M. D., & Beal, S. A. (2002). *Assessing Situation Awareness in Field Training Exercises*. U.S. Military Academy, West Point, New York.
- Merritt, S. M., Ako-Brew, A., Bryant, W.J., Staley, A., McKenna. M., Leone, A. & Shirase, L. (2019). Automation-Induced Complacency Potential: Development and Validation of a New Scale. *Frontiers in Psychology* 10, 225. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00225
- Nonose, K., Kanno, T., & Furuta, K. (2010). An evaluation method of team situation awareness based on mutual belief. *Cognition, Technology & Work* 12(1), 31–40. doi:10.1007/s10111-008-0127-y
- O'Hara, J.M., Higgins, J.C., Fleger, S.A., & Pieringer, P.A. (2012) *Human Factors Engineering Program Review Model*, NUREG-0711. Washington, D.C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- Pakarinen, S., Korpela, J., Torniainen, J., Laarni, J., & Karvonen, H. (2018). Cardiac measures of nuclear power plant operator stress during simulated incident and accident scenarios. *Psychophysiology* 55. Online.
- Ursin, H., & Eriksen, H. (2004). The cognitive activation theory of stress. *Psychoneuroendocrinology* 29, 567–592.
- Wang, D., Gao, Q., Tan, H., Liu, Z., Zhou, L., Jia, L., & Li, Z. (2020). Coordination breakdowns in nuclear power plant control rooms: cause identification and behaviour-sequence analysis. *Ergonomics* 63, 660 – 681.
- Wang, D., Gao, Q., Li, Z., Song, F., & Ma, L. (2017). Developing a taxonomy of coordination behaviours in nuclear power plant control rooms during emergencies. *Ergonomics* 60, 1634 – 1652.
- Zaccaro, S.J., Weis, E.J., Chen, T.R., Matthews, M.D. (2014). Situational Load and Personal Attributes: Implications for Cognitive Readiness, Adaptive Readiness, and Training. In: H. F. O'Neil et al. (eds.), *Teaching and Measuring Cognitive Readiness*. New York: Springer.

## Lyhenneluettelo

---

<b>AICP-R</b>	Automation Induced Complacency Potential
<b>AO</b>	Alueohjaaja
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>DNBR</b>	Departure from Nucleate Boiling Ratio
<b>FBD</b>	Function Block Diagram
<b>HED</b>	Human Engineering Discrepancy
<b>HFE</b>	Human Factors Engineering
<b>HPM</b>	Human Performance Monitoring
<b>HR</b>	Heart Rate
<b>HRA</b>	Human Reliability Analysis
<b>ICC</b>	Intraclass Correlation Coefficient
<b>IQR</b>	Inter Quartile Range
<b>ISV</b>	Integrated Systems Validation
<b>LCO</b>	Limiting Conditions of Operation
<b>NASA-TLX</b>	NASA Task Load Index
<b>NTM</b>	Nuclear Testing Manual
<b>OER</b>	Operating Experience Review
<b>OM</b>	Operating Manual
<b>PICS</b>	Process Information and Control System
<b>OSC</b>	Offsite Support Center
<b>QDS</b>	Qualified Display System
<b>PWR</b>	Pressurized Water Reactor
<b>RCSL</b>	Reactor Control, Surveillance, and Limitation System
<b>RO</b>	Reaktorihjaaja
<b>RMSSD</b>	Root Mean Square of Successive Differences
<b>RSS</b>	Remote Shutdown Station
<b>SAGAT</b>	Situational Awareness Global Assessment Technique
<b>SFC</b>	Strategy Flow Chart

<b>SFDP</b>	Safety Function Determination
<b>SICS</b>	Safety Information and Control System
<b>SMI</b>	SensoMotoric Instruments
<b>SUC</b>	Systems Usability Case
<b>TO</b>	Turbiiniohjaaja
<b>TTKE</b>	Turvallisuustekniset käyttöehdot
<b>TWAS</b>	Team Workload Assessment Scale
<b>VIF</b>	Variance Inflation Factor
<b>VP</b>	Vuoropäällikkö
<b>V&amp;V</b>	Verifiointi & validointi