



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jenni Keronen

RELION-TUOTANTOLINJAN KEHITYSMAHDOLLISUUDET

ABB Oy, Distribution Solutions

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jenni Keronen
Opinnäytetyön nimi	RELION-tuotantolinjan kehitysmahdollisuudet
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	35 + 1 liite
Ohjaaja	Timo Rinne

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuuksia kehittää Vaasan ABB:n Distribution Solutions-yksikön Relion-sarjan suoja-releiden tuotantolinjaa. Kehittämällä tuotantolinjan toimintaa on tarkoitus lyhentää tuotteiden läpimenoaikaa tuotannossa ja tehdä tuotantolinjan tehtävistä helpompia ja miellyttävämpiä tuotannon työntekijöille.

Opinnäytetyötä varten haastateltiin eri osa-alueiden asiantuntijoita Distribution Solutions-yksikössä. Haastatteluita tehtiin tuotannon työntekijöille, työnjohtajille, tuotantopäällikölle, testilaitetiimille ja NPI-tiimille. Haastattelujen sekä aiemmin tehtyjen tuotantolinjaan liittyvien tutkimusten perusteella tehtiin yhteenveto, mitä kehitystarpeita tuotantolinjaan liittyy ja millaisia resursseja kehitys käytännössä vaatii.

Lopputuloksena kehitysmahdollisuuksien joukosta valikoitui kolme kokonaisuutta, joiden avulla tuotantolinjan ergonomisuutta ja tehokkuutta saadaan parannettua. Tuotantolinjan kehittäminen tulevaisuudessa on helpompaa tässä työssä ehdotettujen muutosten jälkeen.

ABSTRACT

Author	Jenni Keronen
Title	Possibility to Develop the Relion Production Line
Year	2020
Language	Finnish
Pages	35 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Timo Rinne

The purpose of this thesis was to study the possibilities to develop the production line of 611, 615 and 620 type protection relays. The thesis was carried out for Distribution Solutions unit in ABB Oy. By developing the Relion production line, it is possible to shorten the lead time of the products and make the tasks easier and more comfortable for employees.

The thesis was started by interviewing multiple specialists working in different positions at the Distribution Solutions relay factory. Interviews were made with Relion product line supervisors, product manager and the employees working at the Relion product line, at the GMS team and at the NPI team. Based on the interviews the summary of the development demands was made.

Development ideas were searched to picture the advantages and disadvantages of each idea. Several challenges discovered concerning most of the development possibilities. As a result of this thesis, three different complexes were found which improve ergonomics, efficiency and formability of the Relion product line.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT LYHENTEET

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO	3
2	RELION-TUOTANTOLINJAN NYKYTILA	4
	2.1 Alkukokoonpano.....	6
	2.2 Loppukokoonpano (Main assembly).....	6
	2.3 Turvallisuustesti	7
	2.4 Lopputesti	9
	2.5 Uunitus	9
	2.6 Pakkaaminen.....	10
3	TUOTANTOLINJAN KEHITYSTARPEET	12
	3.1 Kokoonpano ja GMD	12
	3.2 Turvallisuustesti	16
	3.3 Lopputesti	18
	3.4 Uunitus	20
	3.5 Pakkaus.....	21
	3.6 Muut kehitysmahdollisuudet.....	23
4	KEHITYSMAHDOLLISUUKSIIN LIITTYVÄT HAASTEET	25
	4.1 Ohjattu assembly-vaihe ja GMD.....	25
	4.2 Virtaliittimen erillistestaus	27
	4.3 Muu HV-testin kehitys	29
	4.4 Test runin kehittäminen.....	30
	4.5 Final Solutions	31
5	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	35

LITTEET

KÄYTETYT LYHENTEET

ANSI	American National Standards Institute
BOM	Bill of Material, tuotteen “sisällysluettelo”
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä
GMD	Global Master Data- tietojärjestelmä
GMS	Global Manufacturing Support
HV	High Voltage eli korkeajännite
IEC	International Electrotechnical Commission
NPI	New Product Introduction
R&D	Research and Development, tuotekehitys
RoHS	EU-direktiivi liittyen haitallisten aineiden käyttöön elektroniikassa
SAP	Ohjelmistovalmistaja
UL tiyritys	Underwriters Laboratories, yhdysvaltalainen turvallisuussertifioin-

LIITELUETTELO

LIITE 1. Vain ABB:n käyttöön tuleva materiaali

1 JOHDANTO


ABB Oy on yksi Suomen suurimmista työnantajista teollisuuden alalla. Se työllistää maailmalla noin 110 000 henkilöä, joista noin 5 400 työskentelee Suomessa. ABB toimii Suomessa tällä hetkellä noin 20 paikkakunnalla, joista Haminassa, Helsingissä, Porvoossa ja Vaasassa sijaitsevat isot tehdaskeskittymät. /1/

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasassa sijaitsevalle Distribution Solutions-yksikölle, joka on aiemmin tunnettu muun muassa Medium Voltage Products-nimellä. Suomen ABB:n Distribution Solutions-yksikössä valmistetaan sähkönjakeluverkon suojarkeitä sekä automaatio-, ohjaus- ja valvontalaitteita, kuten ohjainkaappeja. Määrällisesti eniten yksikössä valmistetaan RE_615-sarjan suojarkeitä.

ABB:n suojarkeitien kokoonpano on tällä hetkellä pääosin mekaanista, vaikka valmistettavat määrät ovat suuria. Automatisoinnin ja muun kehitystyön avulla on mahdollista lyhentää tuotteiden läpimenoaikaa tuotannossa ja näin saada nostettua valmistettavien tuotteiden määrää linjalla. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuuksia kehittää Relion-tuotantolinjaa.

2 RELION-TUOTANTOLINJAN NYKYTILA

Relion-tuotantolinjalla valmistetaan Relion-tuoteperheen 615-, 611- ja 620-sarjan tuotteita. Relion-tuoteperheeseen (**Kuva 1.**) kuuluu laaja valikoima IEC- ja ANSI-standardeihin yhteensopivia tuotteita sähköverkon suojaukseen, mittauksiin, valvontaan ja hallintaan. Tuoteperheen myydyin sarja on 615, jota on valmistettu jo vuodesta 2007 lähtien. Relion-tuoteperhe julkistettiin vuonna 2009.



Application	Type	500	670	650	640	630	620	615	611
Feeder protection	REF				■	■	■	■	■
Bay control	REC		■	■				■	
Transformer protection	RET		■	■	■	■	■	■	
Line distance protection	REL		■	■	■				
Line differential protection	RED		■	■	■			■	
Motor protection	REM				■	■	■	■	■
Generator protection	REG		■	■	■	■		■	
Busbar protection	REB	■	■	■	■				■
Capacitor bank protection	REV				■			■	
Wide area protection	RES		■						
Breaker protection	REQ			■					
Voltage protection	REU							■	■
Current protection	REJ								
Load-shedding	PML					■			
Feeder automation	RER						■	■	

Kuva 1. Relion-tuoteperhe. /5/



Kuva 2. RE_615-tyypin suojarele REF615. /3/



Kuva 3. RE_620-tyypin suojarele REF620. /4/

Tässä luvussa kerrotaan 611-, 615- ja 620-tuotteiden (**Kuvat 2. ja 3.**) tuotantolinjan työvaiheista ja työskentelytavoista. Tuotantopisteiden ja testereiden määristä sekä työntekijöiden työtehtävistä on tarkempaa tietoa liitteessä 1.

2.1 Alkukokoonpano

RE_615-linjan alkukokoonpanossa LCD-näyttöön kiinnitetään pistoyksikön runko, piirikortteja, varoitustarroja, sekä muita, esimerkiksi maadoitukseen ja lukitukseen tarvittavia osia. Valmis tuote siirretään välivarastoon odottamaan kokoonpanon seuraavaa vaihetta.

Välivarastossa pidetään muutamaa erilaista, eniten kuluva variaatiota. Kaikissa 615- ja 611-tuotteissa on samanlainen runko, mutta näytön koko vaihtelee kahden vaihtoehdon välillä. 620-tyypin rele on isompi kuin 615- ja 611-tyypin releet, joten sillä on omat pistoyksikkökokonsa, alkukokoonpanossa käytettävät korttinsa sekä näyttönsä. Vain yhtä 620-alkukokoonpanovariaatiota pidetään välivarastossa. Välillä asiakkailta saadaan erikoistoiveita, jolloin releeseen voidaan tarvita esimerkiksi kiinankielinen näyttö. Tällaisia erikoistapauksia ei pidetä välivarastossa, vaan niitä tehdään ainoastaan kaupan vaatima määrä.

2.2 Loppukokoonpano (Main assembly)

Loppukokoonpanovaihe alkaa, kun tuotannon työntekijä valitsee SAP ERP-työjonosta kaupan tai sen position, jonka ottaa seuraavaksi työn alle. Tietokoneelta tulostuu kauppaan liittyvä keräilylista eli luettelo kaupalle tarvittavista materiaaleista ja niiden kappalemääristä sekä tuotetarrat, joissa on tieto esimerkiksi releen sarjanumerosta ja tuotekoodista.

Työntekijä kerää tuotantoalueen hyllyistä keräilylistan mukaiset materiaalit kerryllle ja vie sen työpisteelle. Lisäksi alkukokoonpanon välivarastosta haetaan

tarvittava määrä pistoyksiköitä, joissa on listan osoittama näyttötyyppi ja prosessori. Kun kaikki tarvittavat materiaalit on keräilty, alkaa varsinainen kokoonpano.

RE_615- ja RE_611-reletyyppien asennuskoteloissa on paikka kahdelle kortille ja yhdelle virtaliittimelle. Korttipaikkoihin ruuvataan kiinni keräilylistan kertomat kortit ja virtaliitin. Mikäli kortti- tai liitinpaikka jää tyhjäksi, ruuvataan sen päälle peitelevy. RE_620- reletyyppin kanssa toimitaan vastaavalla tavalla, mutta asennuskoteloiden on kahta eri tyyppiä, joista toisessa on yksi virtaliitinpaikka ja toisessa kaksi. Asennuskoteloihin liimataan lopuksi kaksi varoitustarraa, tuotetarra sekä korttien tunnistetarrat.

Pistoyksikköön alkukokoonpanossa yhdistettyyn näyttöön kiinnitetään tyyppi-merkki, joka kertoo releen tyyppin (esimerkiksi RET615 tai REM620). Lisäksi pistoyksikköön painetaan kiinni 615- ja 611-reletyypeissä 1-3 korttia ja 620-tyypissä 1-5 korttia. Kaikista korteista irrotetaan tunnistetarrat, jotka liimataan pistoyksikön kylkeen. Lisäksi pistoyksikköön liimataan RoHS-tarra, sekä useimmiten myös UL-tarra. Kun rele on koottu valmiiksi, ruuvataan siihen vielä kiinni testiliittimet, jotka vaaditaan tuotantolinjan seuraavassa vaiheessa, HV-testissä.

Lopuksi jokainen tunnistetarra ja releen sarjanumero luetaan QR-koodin lukijalla Test Executiven assembly-järjestelmään, mikä varmistaa, että kyseiseen releeseen on liitetty juuri oikeat kortit. Näin pystytään myös kohdentamaan korttien sarjanumerot releiden sarjanumeroihin, mikä helpottaa myöhemmin esimerkiksi vian selvitystä.

2.3 Turvallisuustesti

Kokoonpanon jälkeen rele asetetaan rullahihnalle, jota pitkin se kulkeutuu turvallisuustestiasemalle. Turvallisuustesti on HV- eli korkeajännitetesti, jossa varmistetaan releen turvallisuus käyttäjälle. Testissä varmistetaan jännitettä syöttämällä, ettei virtaa pääse kulkemaan testattavan laitteen sisällä siellä missä sen ei ole tarkoitus kulkea. HV-testi tehdään IEC-laitteille IEC60255-5 ja IEC60255-27 standardien mukaisesti, ja ANSI-laitteille SFS-EN ISO 9001 mukaisesti.

Korkeajännitetestissä testilaitteet ovat hyvin pitkälti automatisoituja. Kun rele asetetaan testilaitteen sisällä olevaan jigiin, luetaan releestä QR-koodi, jonka perusteella testilaite suorittaa automaattisesti kaikki kyseiselle reletyypille tarvittavat turvallisuustestit ja tallentaa tulokset järjestelmään sarjanumeroittain. /9/

Jos testiin menevässä releessä on virtaliitin, on ensin testattava pelkkä releen peltikotelo, johon liitin on kiinnitetty. Vasta tämän testauksen jälkeen kotelon sisään työnnetään pistoyksikkö ja rele testataan valmiina kokonaisuutena. Kuvassa 4 nähdään REF_615-typin suojareleen kotelo ja pistoyksikkö.

Testiaseman näytölle ilmestyy testin edetessä ohjeita, joiden mukaan työntekijä toimii. Laite esimerkiksi ohjeistaa, milloin kotelon sisään saa asettaa pistoyksikön ja tunnistaa mikäli alkuvaiheessa rele laitetaan testilaitteeseen kokonaisena. Jos rele on asetettu testiasemaan kokonaisena, vaikka siinä on virtaliitin, testiaseman näytölle ilmestyy ohje ottaa pistoyksikkö pois kotelon sisältä.



Kuva 4. REF_615-suojareleen kotelo ja pistoyksikkö.

Testilaitte näyttää turvallisuustestin loputtua tuloksen, joka on mittaustuloksien mukaisesti joko FAIL eli hylätty tai PASS eli hyväksytty. Mikäli lopputulos on hylätty, työntekijä tutkii testituloksista, mikä releen osa on ollut viallinen ja vie riippuen vian kohteesta releen korjattavaksi joko alku- tai pääkokoonpanoon, joissa viallinen osa vaihdetaan uuteen. Osan vaihdon jälkeen releelle pitää poikkeuksetta suorittaa uusi turvallisuustesti.

Korkeajännitetestausvaiheessa työntekijän tehtävänä on pääasiassa releen QR-koodin luku järjestelmään sekä releen siirto testilaitteeseen ja sieltä pois. Testin päätyttyä työntekijä ruuvaa testiliittimet irti releestä ja rele viedään seuraavalle työpisteelle.

2.4 Lopputesti

Lopputestissä eli funktionaalisessa testissä releisiin asennetaan käyttöjärjestelmä ja niille tehdään toiminnallisuustestejä, joiden määrä ja tyyppi vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi moottorinsuojarele REM615 vaatii erilaiset toiminnallisuustestit kuin differentiaalisuojarele RED615. Käyttötarkoituksen lisäksi releen tuotekoodi vaikuttaa testien sisältöön, sillä jokaisen releen sisältämän kortin pitää toimia halutulla tavalla ja tuotekoodi määrittää sen, mitä kortteja releen tulee sisältää.

Jos rele ei pääse läpi lopputestistä, työntekijä selvittää vikakuvausten perusteella mistä releen osasta vika johtuu ja tarvittaessa kokeilee käynnistää releen testilaitteen ulkopuolella erillisen virtalähteen avulla. Kun on selvitetty, mistä vika mahdollisesti johtuu, työntekijä vie releen vikatyypin mukaisesti alku- tai loppukokoonpanoon korjattavaksi. Tämän työntekijän vastuulle kuuluu myös releiden siirtäminen testiuuneihin lopputestin jälkeen.

2.5 Uunitus

Uunituksessa tehdään laitteille niin sanottu testiajo, jossa muun muassa palautetaan rele tehdasasetuksille, testataan sen toimivuutta huoneenlämpöä huomattavasti

korkeammassa lämpötilassa ja tarkistetaan releen yleinen kunto viimeisen kerran tuotannon aikana. Releiden pitää olla uunissa vähintään 12 tuntia, ja uusien variaatioiden jopa 24 tuntia. Kun rele on ollut uunissa tarvittavan ajan, sille suoritetaan lyhyt toiminnallisuustesti.

Kun rele on läpäissyt testin, siitä irrotetaan virtajohto. Tämän jälkeen näyttökaapelille tarkoitettuun aukkoon asetetaan kuminen pöllysuoja ja kaikkiin korttipaikkoihin, mitä releen takaosassa on näkyvillä, ruuvataan asiakasliittimet, joita on useita erilaisia lukuisien korttivariaatioitten ja standardien takia. Työntekijä kerää kauppa kerrallaan kärrylle releitä, joihin liittimet ja pöllysuoja on asennettu ja vie kärry kerrallaan releitä pakkaajalle.

2.6 Pakkaaminen

Pakkausvaihe alkaa, kun pakkauspaikalle on tuotu uunituspisteeltä kärry, jossa on valmiita releitä. Pakkaaja lukee pakattavista releistä järjestelmään QR-koodit, jonka jälkeen tietokone tulostaa sarjanumeron perusteella automaattisesti releiden mukaan kuuluvat laitetarrat sekä testiraportit, joista ilmenevät releelle tehty turvallisuus- ja toiminnallisuustestit sekä toiminnallisuustestien tekijä. Laitetarran asiakas saa halutessaan liimata kiinni laitteistoon, johon rele asennetaan.

Jokaisen releen mukaan kasataan tarvikepussi, jossa on suojakalvo, lukitusholkki, testiraportti sekä laitetarra. Pussit tulevat reletuotantoon puolivalmiina tavarantoinnitalta. Pusseissa on valmiina suojakalvo sekä lukitusholkki, joten pakkausvaiheessa pusseihin lisätään testiraportti sekä laitetarra. Lisäksi kaupan jokaisen position ensimmäisen releen pussiin lisätään asennusmanuaali.

Kun tarvikepussit on koottu jokaiselle releelle, työntekijä tarkistaa vielä silmäämällä, että jokaisessa releessä on kiinni oikeanlaiset asiakasliittimet ja että yhdessä kaupan releen tarvikepussissa on mukana asennusmanuaali. Tämän jälkeen releet ja niille kuuluvat pussit asetetaan yksi kerrallaan pakkausrobottiin vievälle alustalle. Tuotantolinjalla on pakkausrobotti, joka kokoaa pakkauslaatikon ja asettaa laatikkoon releen ja niin sanotut dampperit eli munakennopahvista tehtyt

muotit, jotka pitävät releen pakkauslaatikossa paikallaan. Lisäksi robotti teippaa laatikon kiinni ja kiinnittää pakkauslaatikkoon tulostimelta saamansa tarran, jossa lukee kaupan ja position tiedot ja releen sarjanumero. Kun pakkausrobotti on saanut releen pakattua valmiiksi, rele siirtyy rullahihnaa pitkin toiselle robotille, joka lajittelee releet kaupoittain tuotannon pakkausrobotin ja varsinaisen pakkaamon välillä sijaitsevan tornivaraston lavoilille.

3 TUOTANTOLINJAN KEHITYSTARPEET

RE_615-, RE_611- ja RE_620-releitä valmistava Relion-tuotantolinja on Distribution Solutions-yksikön reletehtaan volyymilinja, jolla valmistetaan suurin osa tehtaan toimittamista releistä. Koska linjalla valmistettavien tuotteiden myydyt määrät vuosittain ovat hyvin suuria ja kysynnän voidaan olettaa jatkuvan vielä kymmeniä vuosia, on tuotantolinjan kehittäminen tärkeää. Tuotantolinjaa ja työtapoja kehittämällä on mahdollista lyhentää tuotteiden läpimenoaikaa tuotannossa, jolloin päivittäin voidaan valmistaa enemmän lopputuotteita. Lisäksi tuotannon työntekijöiden ergonomiaa ja työhyvinvointia on mahdollista parantaa tekemällä muutoksia tuotantolinjaan, esimerkiksi vähentämällä fyysisesti kuormittavia ja hyvin yksinkertaisia työntehtäviä.

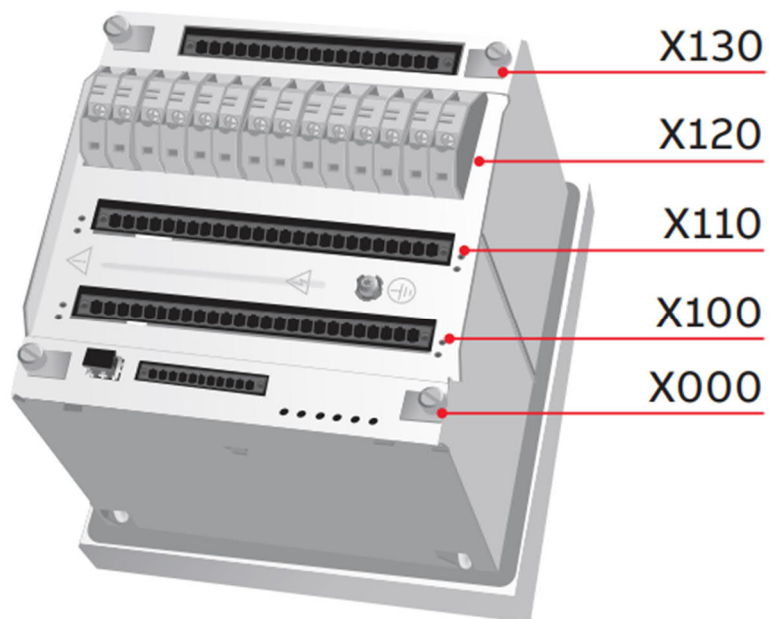
3.1 Kokoonpano ja GMD

615-tuotantolinjan alkupään automatisointia on käsitelty vuonna 2018 Tommi Latvalan opinnäytetyössä ”YuMi-sovellus teollisessa tuotannossa”. Työssä on suunniteltu toimiva, automatisoitu kokoonpanosolu tuotantoon, mutta kokoonpanosolu ei merkittävästi nopeuta releiden läpimenoa tuotannossa ja on hyötyyn nähden hyvin kallis investointi. Kokoonpanosolu on suunniteltu kiinnittämään relekoteloon virtaliitin sekä tarvittavat tarrat, ja tuotannon työntekijät kasaisivat releen muilta osin. Kokoonpanon automatisointi RE_615-tuotantolinjan tuotteiden osalta on vaativaa ja kallista, koska linjalla valmistettavat tuotteet on alun perin suunniteltu koottavaksi manuaalisesti. /2/

Kokoonpanon automatisointi ei ole kovin helposti toteutettavissa, mutta kokoonpanossa on paljon kehitettävissä olevia asioita liittyen pitkälti käytettyihin tieto- ja testijärjestelmiin. Tällä hetkellä loppukokoonpanossa on käytössä assembly-testijärjestelmänä Test Executive, johon luetaan releen kokoonpanon viimeisenä vaiheena kaikkien releeseen käytettyjen piirikorttien tunnistetarrat sekä releen oma tunnistekoodi. Assembly-testijärjestelmän tulisi kokoonpanon aikana ohjeistaa työntekijää niin, että riski virheisiin kokoonpanossa minimoituisi. 615- ja 611-

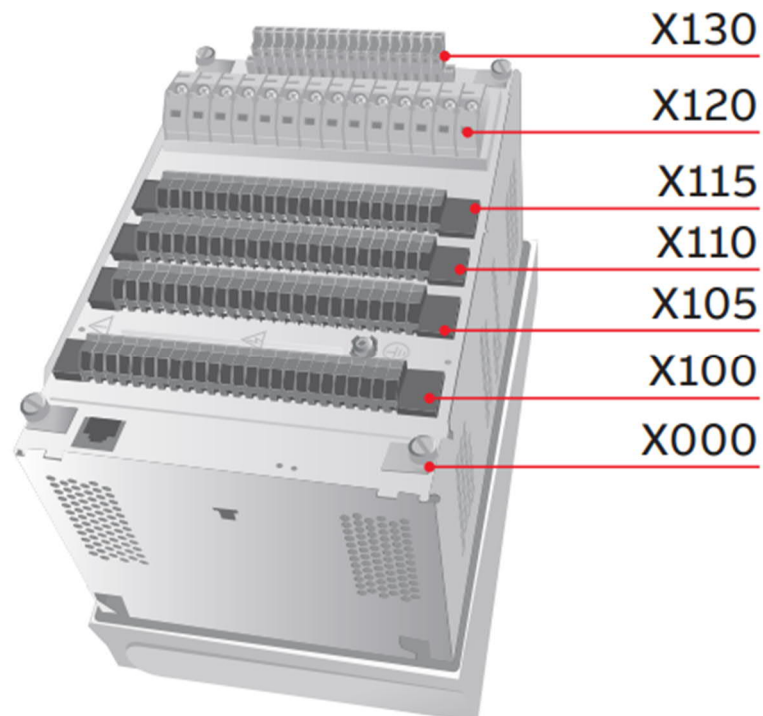
releitä koottaessa tästä ei aiheudu suurta ongelmaa, sillä järjestelmä vertaa keskenään releen tuotekoodia ja moduuleiden lajimerkkejä, eikä hyväksy releen BOMille kuulumattoman korttityypin koodia. 615- tai 611-typin releeseen ei myöskään ikinä kuulu montaa samanlaista korttia, joten riskiä laittaa kortti väärään paikkaan ei ole. Yksi ongelma tuotannossa on havaittu 615-sarjan kokoonpanoon liittyen, ja se liittyy tietyn COM-korttityypin jumpperin asetukseen. Joitakin COM-korttityyppejä käytettäessä, pitää tietyissä tapauksissa muuttaa kortissa olevan pienen jumpperin paikkaa manuaalisesti. Järjestelmä ohjeistaa työntekijää tarkistamaan jumpperin asennon, mutta ilmoitus tulee vasta luettaessa kortin tunnistetarra järjestelmään. Tässä vaiheessa kaikki kortit on yleensä jo ruuvattu kiinni releeseen, joten työntekijä joutuu tekemään ylimääräistä työtä irrottaessaan kortteja releestä päästäkseen taas käsiksi COM-kortin jumpperiin.

620-typin releiden kokoonpanossa ongelmaksi muodostuu se, että releeseen kuuluu usein monta keskenään samanlaista BIO-korttia. Tuotannon työntekijöitä on ohjeistettu asentamaan kortit releeseen tietyssä järjestyksessä, kiinnittämään tunnistetarrat releeseen samassa järjestyksessä, ja viimeiseksi vielä lukemaan tunnistetarrat järjestelmään samassa järjestyksessä. Tässä ohjeistuksessa taustalla on se, etteivät korttien sarjanumerot menisi keskenään sekaisin. Riski sarjanumeroiden sekoittumisesta on suuri, koska keskenään samanlaiset BIO-kortit asennetaan releessä vierekkäisiin korttipaikkoihin eli slotteihin ja niiden tunnistetarrat on mahdollista lukea keskenään ristiin. Tällöin testijärjestelmään jää jälki, että ensimmäisen kortin sarjanumero on slotissa X105 ja toisen kortin sarjanumero slotissa X110, vaikka kortit olisivatkin fyysisesti asennettuna päinvastaisille paikoille. Kuvissa 5 ja 6 on havainnollistettu korttipaikkojen sijainnit 611-, 615- ja 620-typin releissä.



Kuva 5.

RE_611 ja RE_615-releiden korttipaikat. /6/



Kuva 6. RE_620-releen korttipaikat. /7/

Koska turvallisuustestiasema ei tarkista korttien sarjanumeroita, ongelma johtaa pahimmillaan siihen, että yhden viallisen kortin sijasta romutetaan monta ehjää korttia, kunnes huomataan sarjanumeroiden olleen ristissä keskenään. HV-testissä ylärajaan feilanneita kortteja ei saa käyttää uudelleen, joten tuloksena voi olla hintava virhe.

Jotta tämä riski saataisiin poistettua, olisi hyvä, että järjestelmä velvoittaisi lukemaan sarjanumerot sitä mukaa kun kortteja kiinnitetään yksi kerrallaan releeseen. Mikäli 620-releiden kokoonpanossa tapahtuu virhe ja kaksi korttia asennetaan ristiin, jää rele feilaa aina lopputestin Relay Identification Data-testissä, joka selvittää mikä kortin sarjanumero releessä on missäkin slotissa ja vertaa tulosta siihen mikä sen pitäisi olla testidatan mukaan. Isoa virhettä ei siis tapahdu, jos ristiin asennetuista korteista molemmat läpäisevät HV-testin, koska silloin molemmat kortit voidaan käyttää normaalisti, kunhan niiden sijainti releen sisällä korjataan oikeaksi.

Jos riskistä kuitenkin halutaan täysin eroon, olisi kokoonpano hyvä toteuttaa samaan tapaan kuin Distribution Solutions-tehtaan REX640-tuontantolinjalla, jossa korteissa on vain yksi tyyppitarra, joka on kiinni itse kortissa eli korttien tyyppitarroja ei liimata enää relekoteloon. Kokoonpanovaiheessa järjestelmä näyttää yksitellen mihin slottiin mikäkin kortti kiinnitetään, ja edellyttää tunnistetarran lukemisen heti kiinnityksen yhteydessä. Tässä tavassa on suureksi eduksi se, ettei työntekijöiden tarvitsisi enää liimata moduulitarroja releeseen yhtenä työvaiheena. Moduulitarrojen liimaaminen releen kylkeen vie usein paljon aikaa johtuen siitä, että tarrat ovat pieniä ja niitä on monta. Tarrat pitää liimata tarkasti pistoyksikön reunan suuntaisesti tasaisin välein, jotta pistoyksikön ulkonäkö pysyy siistinä.

Jos kokoonpano saataisiin toteutettua 640-linjan tyyliä niin, että heti ensimmäisen kortin kiinnittämisestä lähtien järjestelmään luettaisiin osia, saataisiin myös kelloitettu tarkasti tuotteiden valmistusaika. Nyt kaikilla Relion-linjan tuotteilla ensimmäinen aikaleima järjestelmään jää vasta loppukokoonpanon viimeisessä

vaiheessa. Tällä hetkellä pistoyksikköjen välivarastossa olevista tuotteista ei ole mitään jälkeä järjestelmässä, minkä vuoksi pistoyksikköihin käytettyjä kortteja ei voida paikantaa muuten kuin käymällä yksitellen läpi kaikki välivarastossa odottavat pistoyksiköt ja lukemalla moduulitarrat pistoyksiköistä. Tämä on ongelma silloin, jos esimerkiksi selviää, että tietty korttierä on viallinen ja erään kuuluvat kortit halutaan viedä pois tuotannosta. Sillä välillä, kun moduuli on otettu ulos pakkauslaatikostaan, mutta ei ole vielä mennyt loppukokoonpanon ohi, sitä ei voida yhdistää mihinkään tiettyyn hyllypaikkaan tai releen sarjanumeroon.

Keino, jolla 620-sarjan kokoonpanosta saataisiin muokattua ohjattu assembly-testi, on ottaa käyttöön GMD eli Global Master Data-tietojärjestelmä näiden tuotteiden osalta. GMD on käytössä jo uusilla reletyypeillä, ja sillä on käytännössä saatu korvattua moduulien irrotettavat, QR-koodilliset tyyppitarrat ja lisättyä entistä enemmän dataa yhteen paikkaan. Relion-linjan tuotteiden ja niihin käytettävien moduulien QR-koodeihin mahtuu rajoitetusti dataa johtuen kaksiulotteisesta koodista. Releen oman tuotekoodin takana on vain tiedot käyttöjärjestelmän versiosta ja releeseen kuuluvien korttien revisiosta sekä slotista kun taas GMD:n tietokantaan saa tallennettua dataa paljon enemmän, jolloin saadaan sinne myös esimerkiksi kaikkien korttien sarjanumerot ja testidata.

Koska GMD:hen saa kootusti nähtäville releiden koko sisällön sarjanumeroineen, ei GMD:ssä olevien tuotteiden osalta ole tarpeellista jättää moduulitarroja näkyville tuotteen kylkeen. Tämän tietojärjestelmän avulla olisi Relion-linjalla mahdollista kokoonpanovirheiden riskejen minimoimisen lisäksi myös luopua moduulitarrojen kiinnityksestä.

3.2 Turvallisuustesti

Vähiten pidetty työvaihe tuotannon työntekijöiltä kysyttäessä on kokoonpanon jälkeinen HV-testi eli turvallisuustesti, koska se sisältää erittäin paljon releiden nostamista paikasta toiseen, mutta ei lainkaan niin sanottua tuottavaa työtä.

Koska työpisteellä ei tapahdu muuta kuin releiden nostelua testilaitteeseen ja sieltä pois sekä testiliittimien ruuvausta irti releestä, tämä työvaihe olisi hyvä saada automatisoitua niin että työntekijä voisi siirtyä joko kokoonpanoon tai auttamaan lopputestiasemalle.

Testattavista suojareleistä valtaosa sisältää virtaliittimen, jossa on kiinni oikosulkupaloja. Tällaiset virtaliittimelliset releet pitää testata kahdessa osassa, ensin pelkkä kotelo virtaliittimineen ja sitten koko suojarele kokonaisena. 620-tyypin suojareleistä osassa on kaksi AIM-korttia ja näin ollen myös kaksi virtaliitintä, jolloin ensin testataan kotelo ja sen ensimmäinen liitin, sitten toinen liitin ja vasta tämän jälkeen kokonainen laite. Mikäli saataisiin mahdollistettua koko releen testaaminen yhdellä kertaa, säästyisi noin 1/5 turvallisuustestin ajasta per laite, tuotannon työntekijällä vähenisi tehdyt releiden nostelut, ja testiä voisi mahdollisesti jopa automatisoida tämän muutoksen jälkeen. Releen pistoyksikön ja kotelon yhdistäminen on hyvin hankala toteuttaa koneellisesti johtuen siitä, että pistoyksikkö pitää releen kahvaa käyttäen asetella kotelon sisälle.

Virtaliittimiä on tuotannossa useita eri malleja, joiden ero on oikosulkupalojen määrässä. Virtaliittimet ovat keskenään samankokoisia, eivätkä ulkoisesti eroa muuten kuin oikosulkupalojen osalta, jotka ovat nähtävissä vain katsottaessa liitintä yhdestä suunnasta. Koska virtaliittimiä ei ole sarjanumeroitu, niitä ei lueta järjestelmään lainkaan, jolloin assembly-järjestelmä ei osaa ilmoittaa, jos releeseen asennetaan virtaliitin väärällä oikosulkupalojen määrällä. Vääränlaiset virtaliittimet jäävät poikkeuksetta heti kiinni seuraavassa työvaiheessa, turvallisuustestissä, mutta olisi hyvä, jos väärää virtaliitintä ei olisi lainkaan mahdollista kiinnittää koteloon tai ainakaan lukea assembly-järjestelmään. Näin poistuisi riski siitä, että rele menee turvallisuustestiin vääränlaisella virtaliittimellä, feilaa väärän oikosulkupalamäärän vuoksi ja palautuu takaisin kokoonpanopisteelle liittimen vaihtoon ja tämän jälkeen uudelleen testiin. Virtaliittimet ovat yli 90 % valmistettavista Relion-releistä neljän oikosulkupalan versioita, joten työntekijä voi rutinoituessaan vahingossa käyttää

kyseistä liittintyyppiä, vaikka todellisuudessa releeseen kuuluisikin esimerkiksi 7 oikosulkupalan versio.

Turvallisuustestissä ja lopputestissä käytetään lähes täysin saman näköisiä mustia testiliittimiä. Testiliittimien pitää olla ruuvattuna kiinni releeseen HV-testin ajan, jonka jälkeen ne ruuvataan irti. Kun rele seuraavaksi menee lopputestiin, siellä siihen kiinnitetään jälleen saman näköiset testiliittimet. Tuotannon työntekijöitä on ohjeistettu niin, ettei samoja liittimiä saa käyttää molemmissa testeissä. Ohje pohjautuu siihen, että vaikkakin liittimet näyttävät täysin samoilta, on turvallisuustestissä käytettävien testiliittimien ruuvit hiottu hieman lyhemmiksi niin ettei testissä synny läpilyöntiä. Periaatteessa HV-testin testiliittimiä voitaisiin käyttää lopputestissä mutta lopputestin liittimiä ei HV-testissä korkean läpilyöntiriskin vuoksi.

Tuotannon kannalta helpointa olisi luopua testiliittimistä kokonaan, jolloin niitä ei tarvitsisi ruuvata kiinni ja irti joka releen kohdalla. Käytännössä tämä vaatisi muutoksen jokaiseen testiadapteriin niin, että testilaitte ottaisi kontaktin releeseen eri suunnasta kuin nykyisillä laitteilla. Jos testiliittimiä ei käytettäisi lainkaan, pitäisi testilaitteen kontaktipiikkien tulla kohtisuoraan releen moduulikontakteihin eli korttien liitinpaikkoihin. Näin saataisiin testilaitteelle parempi liityntä kuin testiliittimen kanssa, mutta testiadapterit pitäisi uusia täysin sillä kohtisuoraan releeseen liittyminen vie enemmän tilaa kuin nykyinen tapa. Paremmasta liitynnästä voisi olla hyötyä lopputestissä tarkempien testitulosten muodossa, mutta turvallisuustestissä ei tällä hetkellä ole juuri tarvetta parantaa liityntää sillä testit saadaan hyvällä läpäisyprosentilla tehtyä nykyisessäkin tilanteessa ilman kontaktiongelmia.

3.3 Lopputesti

Varsinainen pullonkaula tuotantolinjalla on lopputesti, jossa on työntekijöiden valvottavana useita testiasemia. Kun jokin releistä ei mene lopputestistä läpi, työntekijän tulee selvittää syy siihen, jolloin hän ei ehdi tarkkailla muita asemia tai vaihtaa niihin uusia releitä. Tuotannossa työskentelevien henkilöiden mukaan nykyinen lopputestialueen työntekijämäärä riittää huolehtimaan kaikista testilaitteista, mikäli

testit menevät pääosin ongelmitta läpi eikä testattavana ole 620-sarjan releitä, joille on varattu kolme lopputestiasemaa. RE_620-sarjassa on niin monta erilaista varianttia, että testilaitteisiin pitää manuaalisesti vaihtaa testiliittimiä, jotka kiinnitetään käsin releeseen. Tästä syystä 615-tyyppin releiden testaaminen vie vähemmän aikaa kuin isompien 620-tyyppin releiden, joissa on enemmän korttipaikkoja ja tästä syystä myös enemmän variantteja liittimille. Jos lopputestiin saataisiin tuotannosta vapautettua lisää työntekijöitä ilman, että mikään muu työvaihe hidastuu, saataisiin releitä läpi lopputestistä huomattavasti suurempi määrä ja lopputestissä työskentelevän henkilöstön työkuorma pienenesi paljon.

Lopputestivaiheeseen liittyen on aikaisemmin vuonna 2020 tehty päättötyö, jossa on tutkittu mahdollisuutta testata 615-sarjan suojareleitä samoilla testilaitteilla, joita käytetään 620-sarjan suojareleiden lopputestaukseen. Tähän liittyen projekti on vielä käynnissä. Mikäli projekti saadaan vietyä onnistuneesti loppuun, saadaan 620-releiden testaamiseen käytettävät lopputestilaitteet hyödynnettyä myös 615-sarjan testaukseen, jolloin saadaan enemmän testauskapasiteettia käyttöön silloin kun testattavana on paljon 615-tyyppin releitä, mutta vähän 620-tyyppin releitä. Tämä lisäisi tuotantotehokkuutta huomattavasti varsinkin Distribution Solutions-yksikön Intian ja Kiinan tehtailla, joissa valmistetaan huomattavan paljon pienemmässä määrin 620-sarjan tuotteita kuin Vaasan tehtaalla. /8/

Ohjelmiston lataus releeseen vie merkittävän osan lopputestiin kuluvasta ajasta. Se olisi periaatteessa mahdollista suorittaa erillisellä työpisteellä, jotta ei turhaan käytettäisi testilaittekapasiteettia. Toisaalta, koska lopputestissä olevilla työntekijöillä on tällä hetkellä vaikeuksia ehtiä hoitaa kaikkia testilaitteita samanaikaisesti, ei nykyisellä lopputestialueen työntekijämäärällä olisi mahdollista pitää huolta kaikista testilaitteista testiajan lyhentyessä huomattavasti. Jos tuotantoon saataisiin lisää henkilöstöä, olisi mahdollista lisätä päivittäin valmistuvien tuotteiden määrää niin, että yksi henkilö lataisi ohjelmistoja releisiin ja samalla auttaisi lopputestissä. Ylimääräisiä työvaiheita pitäisi toisaalta pyrkiä välttämään, joten tämä ei ehkä ole kuitenkaan järkevää ainakaan nykyisellä tilauskannalla.

3.4 Uunitus

Uunituksessa on teknisesti ottaen kaksi vaihetta, INIT-vaihe heti sen jälkeen, kun rele kiinnitetään testiuuniin, ja ending-vaihe silloin kun rele ajetaan uunista pois. On tiedostettu, että osa vioista, joita releessä voi uunituksen aikana ilmetä, voisi olla huomattavissa jo INIT-vaiheessa. INIT- ja ending-vaiheista kerrotaan tarkemmin liitteessä 1. Ihanteellista olisi, jos nämä kaksi vaihetta saataisiin tulevaisuudessa yhdistettyä niin, että esimerkiksi CPU-viat voitaisiin havaita jo heti INIT-vaiheessa eikä vasta releen oltua uunissa vähintään 12 tuntia. Näin saataisiin ehkäistyä kauppohen myöhästymistä, sillä kauppaa varten valmistettu viallinen rele voitaisiin heti ottaa tutkittavaksi ja korjattavaksi ja näin säästettäisiin kokonaan ylimääräiseen uunitukseen kuluva aika, mikä pahimmillaan siirtää koko kaupan lähtöä asiakkaalle vuorokaudella eteenpäin.

Tällä hetkellä testiuuneissa tai releissä itsessään ei ole minkäänlaista indikaatiota, mikä näyttäisi suoraan työntekijälle releen olevan valmis otettavaksi pois uunista. Uunissa olevassa releessä näkyy näytöllä pienellä fontilla kellonaika, jolloin rele on kiinnitetty testiuuniin. Tällä hetkellä työntekijän pitää käydä katsomassa rele kerrallaan, milloin uunitus on aloitettu ja laskea onko tarvittava aika, 12 tai 24 tuntia, tullut täyteen. Työntekijän kannalta olisi kätevämpää, jos olisi nähtävillä esimerkiksi väri-indikoinnilla muutaman metrin päästä mitkä kaikki releet ovat olleet uunissa tarvittavan ajan. Testijärjestelmä ei anna ajaa relettä ulos uunista ennen kuin rele on ollut siellä ennalta määritetyn ajan, joten laatuun tällaisella lisäindikaatiolla ei olisi merkitystä. Tämä lisäisi kuitenkin työmykävyyttä tuotannolle.

REX640-tuotantolinjalla test run on toteutettu niin, että yhdeltä näytöltä hallinnoidaan kokonaista uunillista releitä. Testijärjestelmässä on visuaalinen mallinnus uunista, jossa näkyy jokaisen yksittäisen releen paikka ja sen status sekä lämpötila. Relepaikkaa klikkaamalla pääsee näkemään testituloksia. Tämän kaltaisesta järjestelmästä olisi hyötyä myös Relion-linjalla, jotta uunitus helpottuisi työntekijöiden näkökulmasta. Näin ei tarvittaisi montaa eri väristä piuhaa ja eri tietokonetta testin ending-vaiheessa, kun uunissa oleville releille ajetaan viimeinen testi.

3.5 Pakkaus

Viime vuosina pakkaamista on työvaiheena automatisoitu ja kehitetty erittäin paljon. Tuotantoon tuli ensin pakkausrobotti vuonna 2014 ja pari vuotta myöhemmin myös järjestelijärobotti yhdistettynä tornivarastoon. Tuotannon työntekijöitä ja työnjohtoa haastatellessa selvisi kuitenkin monta asiaa, jotka pakkausalueella vaativat kehitystä vielä tälläkin hetkellä.

Työntekijän, joka releitä pakkaa, on tehtävä aina silmämääräinen tarkistus releille ennen niiden luovuttamista pakkausrobotille. Varsinkin releisiin kiinnitettyjen asiakasliittimien suhteen pitää olla todella tarkka, sillä monesti ANSI-standardin releet vaativat erilaiset asiakasliittimet kuin IEC-releet. Lisäksi suojareleisiin kuuluu useimmiten monia erilaisia liittimiä, joista on mahdollista uunituksen jälkeen jäädä jokin kiinnittämättä inhimillisen virheen seuraamuksena. Liittimet olisi hyvä tarkistaa automaation avulla, jotta inhimillisen virheen mahdollisuus poistuisi niin, että asiakasliittimet olisivat aina poikkeuksetta halutunlaiset ja niitä olisi aina releessä kiinni tarvittava määrä.

Mahdollista voisi olla sisällyttää nykyisen pakkausrobotin toimintaan yksi uusi vaihe niin että robottiin lisättäisiin yksi kamera, joka tarkistaisi liittimien oikeellisuuden releen kulkiessa rullahihnalla kohti pakkauspistettä, verraten liittimien ulkonäköä releen tuotekoodin mukaisien liittimien ulkonäköön. Tällaiseen muutokseen vaadittaisiin mahdollisesti noin metri lisää rullahihnaa, uusi kamera ja softapäivitys pakkausrobotille. Kuvankäsittely on työlästä, joten työaikaa muutoksen aikaansaamiseen pitäisi varata runsaasti, jotta robotti oppisi tunnistamaan 100 % varmuudella kaikki asiakasliittimet.

Pakkausrobotin toimintaan kuuluu osana tulostin, jolle robotti antaa tiedon releen sarjanumerosta ja kauppatiedoista. Tulostin printtaa pakettitarran releen tiedoilla ja liimaa sen kiinni pakkauslaatikkoon. Aiemmin tulostin on sijainnut fyysisesti pakkausrobotin häkin ulkopuolella, mutta lähiaikoina se on siirretty häkin sisäpuolelle niin että pakettitarra saadaan liimattua pakkauslaatikkoon releen paketoimisen

yhteydessä, kun aiemmin pakkaustarra on kiinnitetty vasta pakkauslaatikon kiinni teippaamisen jälkeen viimeisenä työvaiheena ennen releen siirtymistä järjestelijä-robotille. Tulostimen nykyisen sijainnin takia koko pakkausrobotin toiminta taukoaa, kun tulostimen kanssa tulee ongelmaa koska robotin ympärille rakennetun turvahäkin oven pitää olla lukittuna, jotta robotti pysyy käynnissä. Jos tulostin si-
jaitsisi häkin ulkopuolella, robotti voisi jatkaa seuraavan pakkauslaatikon kokoa-
mista ja releen pakkaamista samalla kun työntekijä vaihtaa tulostimeen mustenau-
haa tai tarrarullaa, tai muuten korjaa sen toimintaa.

Kaikkein parhain vaihtoehto olisi, jos nykyinen musteruiskutulostin korvattaisiin lasertulostimella, joka tulostaisi tiedot suoraan pakkauslaatikkoon. Näin poistuisi virheen mahdollisuus pakettitarrojen sekoittumiseen liittyen. Tuotannossa on vä-
lillä ilmennyt ongelma tulostimen kanssa, kun kaksi pakettitarraa on kiinnittynyt
vahingossa toisiinsa ja pakkauslaatikkoon on mennyt päällekkäin kaksi tarraa. Täl-
löin yhden releen pakkauslaatikosta jää täysin puuttumaan pakettitarra ja useaan
seuraavaan laatikkoon tulee pakettitarra väärillä tiedoilla, kun paketin sisällä ole-
vassa releessä on eri sarjanumero ja mahdollisesti myös eri kaupan tiedot kuin pa-
kettitarrassa. Tällainen ongelma huomataan aina siinä vaiheessa, kun releet siirtyvät
järjestelijärobotille, koska se ei huoli laatikoita ilman pakettitarraa mutta vie paljon
aikaa purkaa kaikki tarvittavat releet pois pakkauslaatikoista ja pakata ne uudelleen.
Lasertulostin on kalliimpi ratkaisu kuin nykyinen tulostin, mutta se ehkäisisi tämän
tyyppisten virheiden tapahtumista, kun laserilla tulostettaisiin paketin tiedot suo-
raan pakkauslaatikkoon ja näin pakettitarrat jäisivät pois käytöstä.

Samaa pakkausrobotia on mahdollista käyttää jatkossa myös muille tuotteille tar-
peen niin vaatiessa. Tuotannon työntekijät ovat ilmaisseet huolensa, että nykyinen
tulostin ja sen sijainti tulee hankaloittamaan uusien tuotteiden lisäämistä robotilla
pakattavien joukkoon sillä tulostimen toiminta hidastaa pakkaamista.

Järjestelijärobotin ja sen yhteydessä olevan tornivaraston toiminnasta löytyy myös
epäkohtia. Robotti asettelee releet kaupoittain ja positioittain tornivaraston lavoille.
Lavoilla on joka rivillä paikka kolmelle releelle, joten esimerkiksi kolmen releen

positio mahtuu yhdelle riville ja viidentoista releen positio viidelle riville. Ongelmaksi on muodostunut se, että järjestelijärobotti jättää tyhjiä paikkoja riveille, jos positio ei ole kolmella jaollinen. Esimerkiksi yksittäiselle releelle järjestelijärobotti saattaa varata kolme paikkaa. Silloin kun tilauskannassa on paljon pientä kauppaa tai kolmella jaottomia määriä releitä kauppojen positioilla, tornivarasto on jatkuvasti lähes täynnä johtuen lukuisista tyhjäksi varatuista paikoista lavoilla. Tämän ongelman pitäisi olla korjattavissa pelkällä ohjelmoinnilla, joten kustannuksia tämän vaiheen muokkaamisesta ei suurta määrää pääse kertymään.

3.6 Muut kehitysmahdollisuudet

Relion-linjan yhteyteen on harkittu Final Solutions-nimistä työpistettä, jolla voisi selvittää linjalla valmistettujen releiden testituloksia, mahdollisia vikoja ja niiden syitä. Työpiste toimisi ikään kuin paperittomana vikalokina, josta olisi nähtävissä tuotteen testihistoria ja jonne saisi esimerkiksi kirjata kommentteja lopputestissä tai uunituksen testiajossa feilanneeseen tuotteeseen liittyen. Tästä olisi apua muun muassa tuotannon vuoronvaihdossa, kun lopputestin työntekijä koittaa selvittää missä feilanneen suojareleen vika on, ja seuraavan työntekijän pitää jatkaa selvitystä. Final Solutions-työpisteellä voisi mahdollisesti nähdä assembly-tyylisestä tietokannasta sekä lopputuotteen että yksittäisten moduulien historian testituloksineen niin, että voitaisiin nähdä muun muassa kuka releen on testannut, milloin ja millä testiadapterilla.

Lisäksi tällä työpisteellä voisi korvata nykyisen moduulien blocked stockiin siirtotavan, eli vaiheen, jossa viallinen moduuli kirjataan SAPIin vikaantuneeksi ja tulostetaan testiraportti sekä tarra viallisen moduulin mukaan ennen sen siirtoa laatu tiimille. Mikäli tuotannossa olisi käytössä tällainen erityisesti vianpaikannukseen ja testihistorian selvitykseen tarkoitettu työpiste, voitaisiin sillä hoitaa vikatietojen kirjaaminen niin, ettei erillistä testiraporttia enää tarvitsisi tulostaa vikaantuneitten moduulien mukaan.

Sama tietokanta olisi hyvä olla käytettävissä ainakin tuotannolla, laatutiimillä ja testilaitetiimillä. Tällä hetkellä vikaantuneiden moduuleiden käsittelyyn käytetään useaa eri järjestelmää. Kun tuotannossa lähdetään selvittämään vikaa, on käytössä ensin Test Executive-ohjelma, josta tulostetaan vikaraportti. Heti tämän jälkeen tuotanto tulostaa SAPin kautta tarran moduulin ja vikaraportin mukaan. Kun vikaantunut moduuli saapuu laatutiimille, he selvittävät testituloksia Cognoksesta ja siirtävät tuotteen vapaalta saldolta blocked stockiin SAPin kautta. Jos tuotantoon saataisiin erillinen piste tälle toiminnalle, voitaisiin nämä kolme järjestelmää koittaa yhdistää yhteen ja samaan paikkaan.

Mahdollisuuksia hyödyntää Final Solutions-pistettä on paljon, sillä sitä voitaisiin mahdollisesti käyttää esimerkiksi koostamaan tietoa, kuinka paljon viallisia kortteja on tullut missäkin tuloerässä ja näyttämään missä vaiheessa tuotantoa mikäkin yksittäinen moduuli on menossa. Näin saataisiin linkitettyä yksittäiset moduulit releiden sarjanumeroihin. Tällä hetkellä nähdään kyllä, mitkä moduulien sarjanumerot liittyvät mihinkin releen sarjanumeroon, mutta tämän kaltainen haku on mahdollista tehdä vain releen sarjanumeron avulla, ei käänteisesti moduulin sarjanumeron avulla. Final Solutions-pisteen luominen vaatisi paljon järjestelmäkehitystä, mutta tällaisesta kehityksestä olisi suuri hyöty.

4 KEHITYSMAHDOLLISUUKSIIN LIITTYVÄT HAASTEET

4.1 Ohjattu assembly-vaihe ja GMD

620-tyyppin releille ohjattu assembly-vaihe olisi hyödyllinen, jotta piirikortit tulisi asennettua 100 % varmuudella oikeille paikoilleen oikeassa järjestyksessä. Ohjattulla assembly-vaiheella saataisiin minimoitua riski inhimillisiin virheisiin kokoonpanovaiheessa. 615- ja 611-tyyppin releille hyöty ei olisi yhtä iso johtuen siitä, että riskiä piirikorttien asentamisesta ristiin ei näissä malleissa ole. Ohjatun assembly-vaiheen hyödyt 615- ja 611-tyyppin releille rajoittuisivat siihen, ettei moduulitarroja tarvitsisi enää liimata releiden kylkiin, ja tämäkin hyöty pohjautuu enemmän GMD:n käyttöönottoon kuin ohjattuun assembly-vaiheeseen itsessään. Tämän tyyppinen muutos 620-releiden kokoonpanovaiheeseen on iso investointi, eikä sisällä ainoastaan hyviä puolia.

Tällä hetkellä 620-tyyppin releitä kokoonpantaessa työntekijöillä on omia tapojaan tehdä kokoonpano niin, että he saavat kiinnitettyä kortit ja moduulitarrat oikeisiin paikkoihin releessä. Kuitenkaan kukaan ei hoida kokoonpanoa yksi kortti ja tarra kerrallaan, vaan useimmiten esimerkiksi kortteja asennettaessa oikeille paikoilleen, moduulitarrat kerätään työpöydälle tiettyyn järjestykseen, josta ne lopuksi liimataan relekoteloon samassa järjestyksessä. Näin virheiden mahdollisuus on olemassa, mutta toisaalta ajankäyttö on tehokasta, kun kaikki moduulitarrat voidaan lukea kerralla Test Executiveen, eikä se näin vie kovin paljon aikaa. Virheet myös selviävät aina viimeistään lopputestin aikana, joten toisaalta laatuun liittyvää ongelmaa ei kokoonpanovirheestä pääse syntymään.

Mikäli käyttöön otettaisiin nykyisen REX640-linjan tyyppinen ohjattu assembly-vaihe, se edellyttäisi kokoonpanon suorittamista alusta alkaen yksi moduuli kerrallaan, jolloin toiminta hidastuisi merkittävästi, kun jokainen moduuli pitäisi lukea kameralle yksitellen asennuksen yhteydessä. Lisäksi ongelmaksi muodostuisi pistoyksiköiden välivarastointi. Tällä hetkellä tuotannossa välivarastoidaan kaikkien Relion-linjan releiden yleisimpiä pistoyksikkötyyppejä, jotta saadaan turvattua

tuotannon jatkuvuus ja varmistettua että lopputestiin saadaan tarvittaessa releitä lyhyessä ajassa. Ohjattuun assembly-vaiheeseen yhdistettäisiin sekä alku- että loppukokoonpano, joten välivarastointi ei tässä tapauksessa enää olisi järkevästi toteutettavissa. Mikäli välivarastointia ei enää tehtäisi 620-tuotteille, rele täytyisi koota kerralla alusta loppuun asti, eikä hiljaisina aikoina tuotannossa voisi tehdä enää releitä puolivalmiiksi. Näin tuotannon jatkuvuus kärsisi, kun töiden määrä muuttuisi täysin verrannolliseksi tilauskantaan. Tällä hetkellä pistoyksiköitä voidaan tehdä välivarastoon aina kun siihen on aikaa, ja näin töitä riittää tuotannon henkilöstölle myös silloin, kun tilauskanta on lyhyt. Kaikkein kiireisimpinä aikoina saatetaan vastavasti kasata lähes koko tuotantohenkilöstön voimin releitä valmiiksi ja testata niitä ilman, että pistoyksiköitä tarvitsee tehdä lainkaan.

Tuotannon työntekijät ovat toivoneet, että Relion-linjalla olisi mahdollista koota joka kokoonpanopisteellä sekä 611-, 615 että 620-tyypin releitä. Mikäli ohjattu assembly-vaihe otettaisiin käyttöön vain 620-tyypin releillä, ei olisi järkevää koota kaikkia kolmea reletyyppiä samalla työpisteellä, vaan 620-releiden kokoonpano eroaisi vielä nykyistäkin enemmän muiden linjalla valmistettavien releiden kokoonpanosta. Tällöin 620-releiden tuotanto olisi järkevämpää erottaa omaksi linjakseen, joka taas vie tuotantohallista huomattavasti enemmän tilaa kuin nykyinen yhdistelmälinja kaikille kolmelle reletyypille.

GMD-tietojärjestelmän käyttöönottoon liittyy haasteita vanhojen tuotteiden osalta. Uusille tuotteille GMD on helppo ottaa käyttöön, mutta vanhoilla tuotteilla design on suunniteltu SAP:n pohjalta, joten muutoksia tarvittaisiin paitsi järjestelmätasolla, niin myös fyysisesti. Moduulien tuplatarrat ovat tällä hetkellä käytössä vain tuotannon takia, kun tuote kasataan ensin ja tarrat luetaan vasta jälkikäteen järjestelmään. Käytännön syitä pitää moduuleissa kiinni olevien tunnistetarrojen lisäksi ylimääräiset tarrat releiden kyljissä ei tuotannon kannalta olisi, jos tarvittava data olisi löydettävissä GMD:n kautta. Tämän kaltaiseen visuaaliseen muutokseen tarvitaan lupa tuotejohdolta. Periaatteessa tämän kaltainen muutos voisi onnistua jonkun toisen ison tuotteistusprojektin yhteydessä, mutta on iso operaatio tehtäväksi

sellaisenaan vanhalle tuotteelle. Lähtökohtaisesti kaikki uudet konfiguroitavat tuotteet lisätään GMD:hen, mutta vanhoilla tuotteilla siirtoprosessi vaatii suuria muutoksia.

Ohjatun assembly-vaiheen ja GMD:n toteuttamisprosessi vaatisi suurta työpanosta ainakin SAP-, R&D-, NPI-, ja testilaitetiimeiltä sekä hankinnalta ja korttitoimittajilta johtuen tarvittavista järjestelmämuutoksista ja releiden sekä piirikorttien tarrojen fyysisestä muutoksesta.

4.2 Virtaliittimen erillistestaus

Tällä hetkellä haasteellisinta turvallisuustestin kehitystä ja automatisointia ajatellen on, että ensimmäisenä täytyy testata releen kotelo ja siinä kiinni oleva virtaliitin oikosulkupaloiineen. Vasta kun nämä on testattu, voidaan testi suorittaa kokonaisuudelle suojareleelle. Virtaliitin täytyy testata normaalitilassa ennen kuin rele on kasattu kokonaiseksi, koska liittimessä olevat oikosulkupalat painuvat sisään päin, kun pistoyksikkö asetetaan kehikkoon.

Paras ratkaisukeino olisi, että virtaliittimen toiminta testattaisiin ennen varsinaista HV-testiä. Muutos vaatii kuitenkin paljon resursseja, jotta erillinen testi saataisiin toteutettua. Jokaisen testattavan osan pitää olla identifioitavissa siten, että on mahdollista todentaa, mihin laitteen sarjanumeroon mikäkin osa kuuluu. Pelkkä erillistestaus ilman liittimen identifiointia ei ole järkevää, koska riippumatta siitä tehtäisiinkö testi alihankkijalla vai ABB:n omassa tuotannossa, pitää pystyä jälkikäteen todentamaan mitkä kaikki liittimet ovat tehdyn testin läpäisseet, jotta tuotannosta ei voi päästä läpi testaamatonta tai testin läpäisemätöntä virtaliitintä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokaisella virtaliittimellä täytyy olla oma sarjanumero, mikä edellyttää muutoksia liittimien valmistusprosessiin toimittajalla sekä ABB:n SAP-järjestelmään, tarroihin ja testisertifikaatteihin kaikilla tehtailla, jossa kyseisen virtaliittimen sisältäviä Relion-sarjan releitä valmistetaan. Tämän lisäksi tarvittaisiin myös uusia testilaitteita, joilla virtaliittimille suoritettaisiin

toiminnallisuustesti. Koska 615-sarjan Relion-releitä valmistetaan Vaasan tehtaan lisäksi myös Vadodaran ja Nanjingin tehtaissa, pitäisi virtaliittimen identifiointiin liittyvä muutos viedä läpi jokaisella samaa relemallia valmistavalla tehtaalla, jotta prosessi säilyy samana ja tuotteet ja niille tehdyt testit ovat täysin vastaavanlaisia riippumatta valmistuspaikasta.

Virtaliittimen testaus annettaisiin mieluummin tehtäväksi liittimiä valmistavalle alihankkijalle, jotta releitä valmistavalle tuotantolinjalle ei tarvitsisi tuoda uutta työvaihetta. Erillistestauksen tekeminen liittimille tulisi ABB:lle kalliiksi, sillä alihankkijan tiloihin vaadittaisiin uudet HIPOT-testerit. Virtaliittimen ostohinta todennäköisesti myös moninkertaistuisi, kun valmistuskuluihin lisättäisiin myös testaukseen ja identifiointiin kuluva aika ja tarvikkeet. Käytännössä kustannukset liittyvät testiliittimien identifiointiin, sillä pelkkä testaaminen ABB:n tai toimittajan tiloissa onnistuu testiadapterit hankkimalla, mutta liittimien sarjanumerointi vaatii paljon työtä niin järjestelmissä kuin liittimien fyysisen designin päivityksessä sarjanumerotarroineen.

Kuten ohjatun assembly-vaiheen ja GMD:n toteuttaminen, myös virtaliittimien erillistestauksen ja identifiointin toteuttaminen vaatii työpanosta monelta eri taholta. Jotta liittimen designiin saadaan lisättyä sarjanumerotarra, vaaditaan työtä R&D-tiimissä ja tavarantoimittajalla. Liittimen tiedot pitäisi myös lisätä releen tuotekooditarran QR-koodin taakse, joka tapahtuisi NPI-tiimin toimesta. Testisysteemin järjestäminen alihankkijalle työllistäisi ABB:llä testilaitetiimiä ja uuden sarjanumeroavaruuden luominen SAP-tiimiä.



Kuva 7. Musta testiliitin ja valkoinen virtaliitin.

4.3 Muu HV-testin kehitys

Kuvassa 7 näkyvän testiliittimen vaihto HV- ja lopputestin välillä vaikuttaa ylimääräiseltä työltä, koska liittimet ovat keskenään niin samanlaisia. Eri liittimien käyttö eri testeissä on kuitenkin perusteltua johtuen suurista kustannuksista, joita syntyy, kun testiliittimiä muokataan HV-testin tarpeita varten. HV-testissä käytettävien testiliittimien jokainen ruuvi käsitellään yksitellen hioen juuri oikea millimäärä pois

ruuvien pituudesta. Liittimiä on tuotannossa käytössä suuria määriä, joten aiemmin ei kustannusten vuoksi ole edes harkittu voitaisiinko koko linjalla ottaa käyttöön liittimet hiotuilla ruuveilla. Toinen vaihtoehto testiliittimille olisi käyttää nykyään uunituksen jälkeen releeseen kiinnitettäviä asiakasliittimiä, jotka kiinnitettäisiin releeseen HV-testiä ennen, jolloin ne saisivat jäädä releeseen kiinni koko tuotantoketjun ajaksi. Tässä ongelmaksi muodostuu se, että jos liittimet kiristetään momenttiin reletuotannossa, ei asiakas saa niitä välttämättä enää auki.

Jos testiliittimistä luovuttaisiin täysin, työntekijöiden ei enää tarvitsisi kiinnitellä ja irrotella testiliittimiä tuotannossa, ja testilaitteiden saama kontakti kortteihin parani. Testiliittimistä luopuminen kuitenkin edellyttäisi uusia testilaitteita molemmille testialueille testilaitteen kokoon ja liityntäosaan vaadittavan muutoksen vuoksi. Tästä aiheutuisi erittäin huomattavat kustannukset, jotka eivät ole järkeviä suhteessa saavutettavaan hyötyyn.

4.4 Test runin kehittäminen

REX640-tyylinen uunitus toisi mukavuutta työntekijöille, kun uunituksen tilaa voisi valvoa yhdeltä näytöltä. Ongelmana on, että 640-linjalla käytetyt testiuunit ovat huomattavasti kalliimpia kuin käytössä olevat uunit Relion-linjalla. Lisäksi valmistetut relemäärät ovat moninkertaiset Relion-linjalla verrattuna REX640-linjaan, joten uuneja tarvittaisiin moninkertainen määrä ja järjestelmään pitäisi tehdä pieniä muutoksia, jotta yhden uunin sijasta voitaisiin järjestelmällä hallinnoida useampaa uunia tai vaihtoehtoisesti käyttää useampaa eri tietokonetta nykyiseen tapaan.

Relion-linjalla testiuunit ovat tällä hetkellä melko yksinkertaisia, eikä releitä yhdistä uuniin muu kuin virtapiuha. Ending-vaiheessa testi releille suoritetaan erillisen tietokoneen avulla datakaapelin kautta. Jos uunitukseen liittyen päätettäisiin haluta 640-linjan tyyppinen visuaalinen mallinnus uuneista ja releiden tilasta niiden sisällä, pitäisi muutoksia tehdä suoraan releiden käyttöjärjestelmään.

Test run ei ole standardien määrittelemä toimenpide, vaan yksikkömme oma tapa laadunvarmistukselle. Test runin kehittämiseen ei kannata vanhojen tuotteiden osalta panostaa liikaa sillä kannattavampaa on käyttää resursseja pakollisiin työvaiheisiin, jotka ovat kriittisiä myös tulevaisuudessa valmistettavilla uusilla tuotteilla. 640-linjalla uunitukseen on panostettu enemmän, koska sen test run-vaihe sisältää huomattavasti enemmän testejä kuin Relion-linjan vastaava työvaihe.

4.5 Final Solutions

Final Solutions-työpiste toimisi tuotannossa paperittomana vikalokina ja helpottaisi näin testeissä ilmenevien vikojen selvittelyä tuotannossa. Pääosin vikojen jäljitys ja korjaus kuuluu kuitenkin tehtaan laatutiimille tuotannon sijasta, vaikka tuotannossa täytyykin vikoja selvittää testialueilla. Prosessin kannalta on mutkallista tuoda tuotantoon uusi vikojen kirjaamiseen ja jäljitykseen tarkoitettu asema, koska työvaihe kuuluu enemmän laatutiimin kuin tuotannon vastuualueelle, ja tästä syystä Final Solutions-työpistettä tuskin tullaan toteuttamaan ainakaan Relion-linjan tuotantoalueelle.

5 YHTEENVETO

Vertailtaessa eri kehitysmahdollisuuksien haasteita ja niiden tuomia etuja, erottuu kehitysmahdollisuuksien joukosta kolme kokonaisuutta, jotka kehittäisivät tuotantolinjan ergonomisuutta ja tuotantotehokkuutta huomattavasti. Nämä kolme kokonaisuutta ovat GMD:n käyttöönotto, turvallisuustestissä käytettävien virtaliittimien identifiointi ja erillistestaus sekä pakkausalueen kehittäminen.

GMD:n käyttöönotto Relion-linjalla on vaativaa johtuen siitä, että linjan tuotteet on alun perin tuotteistettu ilman kyseistä tietojärjestelmää. GMD:n avulla saataisiin kuitenkin tuotua monia hyötyjä tuotteisiin ja tuotantolinjaan. Tällä hetkellä joidenkin piirikorttien funktionaalisen testin sisältö riippuu releen tilauskoodista, ja sama korttityyppi voi vaatia erilaisen funktionaalisen testin riippuen releen muusta sisällöstä ja käyttötarkoituksesta. Koska tällä hetkellä Relion-releille ei ole käytössä tietojärjestelmää, jossa olisi paljon älyä, on jokaisella kortilla vain yksi vakiotesti ja niin sanottuja vaihtoehtoisia testejä tarvittaessa joudutaan niille luomaan järjestelmään useita eri testipohjia. GMD osaisi kommunikoida testiohjelmalle suoraan millaisen testin piirikortit vaativat tilauskoodin perusteella. GMD mahdollistaa suuren informaatiomäärän keräämisen yhdelle alustalle, jolle saisi koottua tuotekoodien, sarjanumerodatan, revisiotietojen ja moduulien paikkatietojen lisäksi myös esimerkiksi testidatan. Nykyään testijärjestelmään luetaan informaatio releen ja releeseen kiinnitettävien moduulien QR-koodeista, joissa datan määrä on hyvin rajallinen koodin kaksiulotteisuuden vuoksi.

GMD:n käyttöönotto mahdollistaisi kokoonpanovaiheen muuttamisen REX640-linjan ohjatun assembly-vaiheen tyyliseksi, jolloin tuotteiden valmistusaika saataisiin kelloitettu tarkasti alusta loppuun, korttien sarjanumerot olisi yhdistetty järjestelmässä releiden sarjanumeroihin alkukokoonpanosta lähtien ja ylimääräisten moduulitarrojen liimaaminen releiden kylkeen saataisiin lopetettua. Tuotannossa on kritisoitu jo vuosia sitä, kuinka paljon tarroja releisiin joudutaan kiinnittämään ja GMD:n avulla tilanteeseen olisi mahdollista saada muutos. 620-releiden kokoonpanossa riski sarjanumeroiden kirjautumisesta väärälle korttipaikalle poistuisi, ja

lisäksi GMD:stä olisi hyötyä moduulitesteihin liittyen. Ohjatun assembly-vaiheen ongelmana on välivarastoinnin vaikeutuminen. Jos halutaan saavuttaa hyöty tarra määrän vähentämisestä ja valmistusajan tarkemmasta seurannasta, täytyy luopua nykyisestä tavasta tehdä pistoyksiköitä välivarastoon, jolloin tuotannon jatkuvuus kärsii, eikä tuotteita saada kokoonpantua yhtä tehokkaalla aikataululla kuin tällä hetkellä.

Virtaliittimien erillistestaus ja identifointi toisi Relion-linjalle paljon hyötyä. Virtaliittimien identifointi mahdollistaisi turvallisuustestin muuttamisen yksivaiheiseksi, jolloin työntekijöillä vähenisi huomattavasti releiden ja testilaitteiden kansien nostelu testialueella. Sekä tuotannon työntekijöiden että työnjohtajien toiveissa on saada automatisoitua HV-testiä ja virtaliittimien erillistestaus tuo mahdollisuuden kehittää työvaihetta eteenpäin, kun ylimääräinen työntekijöiden tekemä nostotyö olisi mahdollista jättää pois releen kotelon ja pistoyksikön testien välistä. Lisäksi virtaliittimet identifioimalla niihin lisättäisiin samalla sarjanumerolliset tunnisteet, jotka lukemalla järjestelmään kokoonpanovaiheessa saataisiin varmistettua virtaliittimen mallin oikeellisuus jo loppukokoonpanovaiheessa. Tällä hetkellä virtaliittimen mallin oikeellisuus varmistuu vasta turvallisuustestin mittaustuloksista. Virtaliittimien identifointi ja niiden erillistestaus nostaa varmasti virtaliittimen ostohintaa, mutta lyhentää vastaavasti turvallisuustestiin kuluvaan aikaan noin viidenneksellä, parantaa työntekijöiden ergonomiaa turvallisuustestialueella ja mahdollistaa turvallisuustestin automatisoinnin jatkossa.

Pakkausalueella on paljon kehitettävää, ja niistä ehdottomasti on toteutettava ainakin järjestelijärobotin uudelleenohjelmointi. Robotin tekemät turhat tilavaraukset vievät tilaa tornivarastosta aina kun kaupan positiolla on jokin muu kuin kolmella jaollinen määrä releitä. Ohjelmoimalla järjestelijärobotti uudelleen, saadaan tornivarastoon lisää tilaa ilman lisäkustannuksia. Tulostimen siirto turvahäkin ulkopuolelle on helposti toteutettavissa ja mustesuihkutulostimen korvaaminen lasertulostimella on kohtuullisen halpa investointi. Näillä muutoksilla päästäisiin eroon turhasta pakkaustarroista eikä tulostimen toiminta vaikuttaisi robotin toimintaan.

samassa mittakaavassa kuin tällä hetkellä. Asiakasliitinten koneellinen tarkistus vaatii kohtuullisen paljon resursseja, koska sekä pakkauslinjaan että pakkausrobotin toimintaan pitää tehdä muutoksia ainakin uuden kameran ja koodauksen osalta. Asiakasliitinten tarkistus on kuitenkin todella tärkeä toimenpide, ja tekoäly on paljon parempi tarkastaja kuin ihminen, sillä ihminen tekee helposti inhimillisiä virheitä tämän tyyppisissä tehtävissä. Pakkausrobottia voidaan jatkossa mahdollisesti käyttää myös uusille reletyypeille, joten pakkausalueen kehittämiseen kannattaa panostaa.

Nämä kolme kokonaisuutta kehittäisivät linjan toimintaa, ja parantaisivat ergonomiaa ja tuotantotehokkuutta. Esimerkiksi virtaliittimen identifiointi ja erillistestaus parantaa sekä tuotannon ergonomiaa että mahdollistaa turvallisuustestin kehitystä jatkossa, kun rele voitaisiin testata yhtenä kappaleena. Osaa näistä kehitysmahdollisuuksista on hankalaa ottaa käyttöön nykyiselle tuotantolinjalle, mutta mikäli nykyisistä tuotteista on tulevaisuudessa tulossa uusia versioita, tulee nämä mahdollisuudet ottaa tuotantolinjan suunnittelussa huomioon.

LÄHTEET

1. ABB Suomessa. Viitattu 14.8.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>.
2. Latvala, T. Yumi-sovellus teollisessa tuotannossa. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018060412374>.
3. REF 615 IEC. Viitattu 2.8.2020. <https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref615-iec>.
4. REF 620 IEC. Viitattu 2.8.2020. <https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref620-iec>.
5. RELION Product family. Viitattu 14.3.2020. <https://new.abb.com/substation-automation/products/protection-control/relion-product-family>.
6. Relion® 611/615 series card exchange instructions. https://library.e.abb.com/public/6d2af26f1f454d4f9996d9863a3b29ad/RE_611_615_cei_756896_LRENd_17062019.pdf.
7. Relion® 620 series card exchange instructions. https://library.e.abb.com/public/134e2eabb2b44c65973831f289e1e358/RE_620_cei_757827_LREnc_17062019.pdf.
8. Tikkanen, J. 615-loppukoestuksen päivitys RELION-alustalle. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020052915362>.
9. What is HIPOT Testing? Viitattu 25.8.2020. <https://electrical-engineering-portal.com/what-is-hipot-testing-dielectric-strength-test>.