

TOIMINNALLISEN TURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN
RELEASETINLAITTEEN KYTKENTÄMUUTOKSIEN IN-
TEGROINNISSA

Varkaus ja Kommilan liikennöintimuutos

Taavetti Asikainen

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2021

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Taavetti Asikainen	Vuosi	2021
Ohjaaja(t)	FM Ari Afflekt		
Toimeksiantaja	NRC Group Finland Oy		
Työn nimi	Toiminnallisen turvallisuuden varmistaminen releasetinlaitteen kytkentämuutoksien integroinnissa		
Sivu- ja liitesivumäärä	36 + 1		

Opinnäytetyössä aiheena oli liikennemuutoksiin liittyen toiminnallisen turvallisuuden testaaminen ja sen parantaminen sekä varmistaminen. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli NRC Group Finland Oy. Työprojektin päämääränä oli Varkauden liikennepaikan ja Kommilan ratapihan liikennöintimuutokset. Liikennöintimuutokset sisältävät turvalaitteiden päivityksiä sekä uusien lisäyksiä. Apuohjelmiston tarkoitus oli selkeyttää testausryhmän rooleja ja varmistaa jokaisen testausvaiheen toteutus selkeästi dokumentoituna vaatimuksien mukaisesti.

Opinnäytetyössä saatiin tuotettua testauspohja releasetinlaitteen testauksiin, jolla varmistettiin releasetinlaitteen käyttöönoton testausprosessi ja sen toteutuminen. Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä perehdytystä turvalaitteiden turvalliseen testaukseen ja selkeään dokumentointiin Varkaus- Kommila liikennöintimuutosprojektilla.

Testpad-apuohjelmistoa käytettiin tukena releasetinlaitekytkentämuutosprojektissa. Tuloksena saatiin selkeä ja käytännöllinen ohjelmisto releasetinlaitteen testauksiin. Ohjelmistoa voidaan hyödyntää tulevaisuuden rataprojekteissa, joissa testausprosessia halutaan parantaa. Apuohjelmiston hyviä puolia oli helppo käytettävyys ja selkeä pohja, lisäksi liikennöintimuutoksen testausvalmiusasteen pystyy helposti toteamaan.

Avainsanat

rautatie, turvalaite, käyttöönotto, dokumentointi, turvallisuus, FAT-testaus, SIT-testaus, SAT-testaus

Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Taavetti Asikainen	Year	2021
Supervisor	FM Ari Afflekt		
Commissioned by	NRC Group Finland Oy		
Subject of thesis	Ensuring Functional Safety of the Relay Set Device Connection Changes		
Number of pages	36 + 1		

The goal of the work project was to change the traffic of the Varkaus and Kommila traffic site. The main topic of the thesis was functional safety testing related to traffic changes and its improvement and assurance. Software improves clear integration of relay interlocking devices in this project, where safety enhancements are improved and tested.

The purpose of the project was to improve the testing and deployment of relay interlocking devices by ensuring that the implementation of each test phase is clearly documented. Subject of this thesis was to increase familiarity with the safe testing and documentation of safety devices and relay interlocking devices. Subscriber company and contractors are benefiting from the software. The contractor clearly sees the safety and commissioning level.

Testpad is a design tool that can be used to manage testing, for example. The result of this thesis was a clear and practical test library for relay set device testing. The software can be used in future track projects where the testing process is to be improved.

Key words railway, safety device, commissioning, documentation, safety, FAT testing, SIT testing, SAT testing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	SUOMEN RATAVERKKO	9
3	VARKAUS-KOMMILAN LIIKENNÖINTIMUUTOSPROJEKTI.....	11
3.1	Projektin vaiheet	11
3.2	Releasetinlaite Siemens Drs.....	13
4	SISÄLAITETYÖT	14
4.1	Perusreleet Suomen turvalaitetekniikassa	14
4.2	Kauko-ohjauksen uudistus.....	16
4.3	Maaliopastin valvonta	18
4.4	Järjestelmä Az S 350 U	18
4.5	Opastimien sivusuojat.....	19
4.6	Alivuokralaisten valvonta	19
4.7	Koskettimien kahdennukset.....	19
4.8	Virheellisen esiopastinkäsitteen estokytkentä.....	19
4.9	Opasteen kaksinapainen kytkentä	20
4.10	Raideapureleiden päästötarkistus	20
5	ULKOLAITETYÖT	21
5.1	Vaihteen yksittäislukitus (VLUK)	22
5.2	Ajonesto (REST).....	23
5.3	Vapaanaolo-valvonta	23
6	SAFETYCASE TURVALLISUUSPERUSTELUT	25
7	TURVALAITTEIDEN TESTAUSPROSESSI	27
7.1	Perussuunnittelu	28
7.2	Turvalaitevaatimukset.....	28
7.3	Suunnittelu ja rakentaminen	28
7.4	Tehdastestaus (FAT)	28
7.5	Systeemi-integroititestaus (SIT).....	29
8	KÄYTTÖÖNOTTOTESTAUS (SAT)	30
9	DOKUMENTOINTI OHJELMISTOLLA	31
9.1	Testpad-ohjelmisto	31

9.2	Testpad-ohjelmiston integrointi työmaalle.....	31
9.3	Testicase	32
9.4	Testpad-ohjelman käyttöohje.....	33
10	POHDINTA	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	37

ALKUSANAT

Suuret kiitokset opinnäytetyön mahdollisuudesta NRC Group Finland Oy:lle ja ohjaaja projektipäällikkö Niklas Pekkalalle ammattitaitoisesta opastuksesta. Kiitokset myös opinnäytetyön ohjaajalle Lehtori Ari Afflektille asiantuntevasta opastuksesta.

Lisäksi haluan kiittää kotiväen tukea opiskeluihin.

Oulu 13.12.2021

Taavetti Asikainen

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SIL	Safety integrity level, turvallisuuden eheystaso, jolla määritetään Standardien turvallisuustaso.
RATO	Liikenneviraston julkaisemat ratatekniset ohjeet
SIT	Turvalaitejärjestelmän testaukset (systeemi-integraatio)
Junakulku tie	Tarkoitetaan ehdoin varmistettua kulkutietä. (Ratatekniset ohjeet 2021, 6)
Liikenteenohjauskeskus	Keskuksesta annetaan junille junankulkuteitä ympäri vuorokauden ja tiedotetaan mahdollisista häiriöistä sekä onnettomuuksista.
Vaihde	Vaihde tarkoittaa raiteiden liityntä kohtaa, josta voidaan ohjata junia raiteelta toiselle. Vaihdealue rajoittuu etu- ja takajatkoksiin. (Ratatekniset ohjeet. 2021. 30)
Työpaja	On projektin toimijoiden yhteinen tilaisuus, jossa suunnitellaan ja päätetään yhdessä ajankohtaisia asioita.
Kauko-ohjaus	On laitteisto, jota voidaan ohjata toisella laitteella etäältä
Raideosuus	On yksi osuus raiteesta ja sen kokonaisuudesta, jonka valvonta suoritetaan raidevirtapiirillä tai akselinlaskijoilla. Raideosuudelle voi kuulua vaihde.
Turvalaitekoju	Rakennus, joka rakennetaan turvalaitteille radan varteen
TASE-projekti	Tampere-Seinäjoki rataosuuden turvalaitteiden uusimisprojekti
Liikennepaikka	On rajattu alue liikenteen ohjaukselle, tavara- tai henkilöliikenteelle. (Ratatekniset ohjeet. 2021. 11)
Ratapiha	Tarkoitetaan liikennepaikan laitureita, laitteita ja välittömässä läheisyydessä sijaitsevia rakennuksia. (Ratatekniset ohjeet. 2021. 23)

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään radan turvalaiteprojektiin, jossa parannetaan Varkaus-Kommila-rataosuuden liikennöinnin turvallisuutta ja sujuvuutta.

Lisäksi perehdytään yleisesti uuteen releasetinlaitteissa käytettävään turvallisuusperusteluihin sekä mukana tuleviin toiminta- ja turvallisuustestauksiin. Turvallisuusperustelut ovat saapuneet Suomen radan rakennustyömaille parantamaan turvallisuutta ja selkeyttämään toimintamallia. Varsinaisesti työssä syvennytään turvallisuusperusteluiden osa-alueisiin, eli vaatimusmäärittelyn suunnitteluun, testaukseen ja dokumentointiin. Toteutetaan turvallisuusmääräyksiensä testaukseen apuohjelmisto Testpad-sovellukseen, jonka käytön tarkoitus on parantaa dokumentointia perusteellisesti. Ohjelmistolla saadaan kattava näkymä projektiin eri vaiheista ja kokonaisuudesta.

Yritys NRC Group Finland Oy on Suomessa rauta- ja raitioteiden sekä ratojen kunnossapitoa harjoittava johtava konserni. Lisäksi NRC Group on raideinfran turvalaitejärjestelmien ja sähköverkkojen rakentaja. Myös rautatiemateriaalien toimitus kuuluu yrityksen toimenkuvaan. NRC Group toimii johtavana infra-alan toimijana Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa työllistäen noin 2000 henkilöä, joista Suomessa noin 1000 henkilöä. Liikevaihtoa yrityksellä vuonna 2017 oli noin 520 miljoonaa euroa. (NRC Group Finland Oy 2021b.)

Työskentelyn yksikössä rautatierakentamisen-divisioona, joka on rautatiejärjestelmien täyden palvelun toimija. Vankan rautatietekniikan lisäksi yksikön asiantuntemukset kattavat tie- ja sillanrakentamisen sekä telematiikkarakentamisen.

2 SUOMEN RATAVERKKO

Suomen rataverkon pituus oli vuoden 2018 lopussa 5926 km, jotka olivat liikennöityjä (kuva1). Sähköistettynä näistä raiteista oli 3330 km. Suomen rataverkon sähköradan jännite on 25kV ja taajuus 50hz. Yhdellä raiteella olevaa osuutta on 5234 km ja kaksi tai useammalla rinnakkaisella raiteella olevaa osuutta 692 km. Radan leveys on Suomen rataverkolla 1524 mm, joka poikkeaa muun Euroopan leveydestä. Radan suurin sallittu nopeus matkustajajunalla on 220 km/h ja tavarajunalla 120 km/h. Suurin sallittu akselipaino on 25tn/akseli, mutta yleisesti se on 22.5tn/akseli. (Väylävirasto 2018.)



Kuva 1. Suomen rataverkko (Traficom 2021.)

3 VARKAUS-KOMMILAN LIIKENNÖINTIMUUTOSPROJEKTI

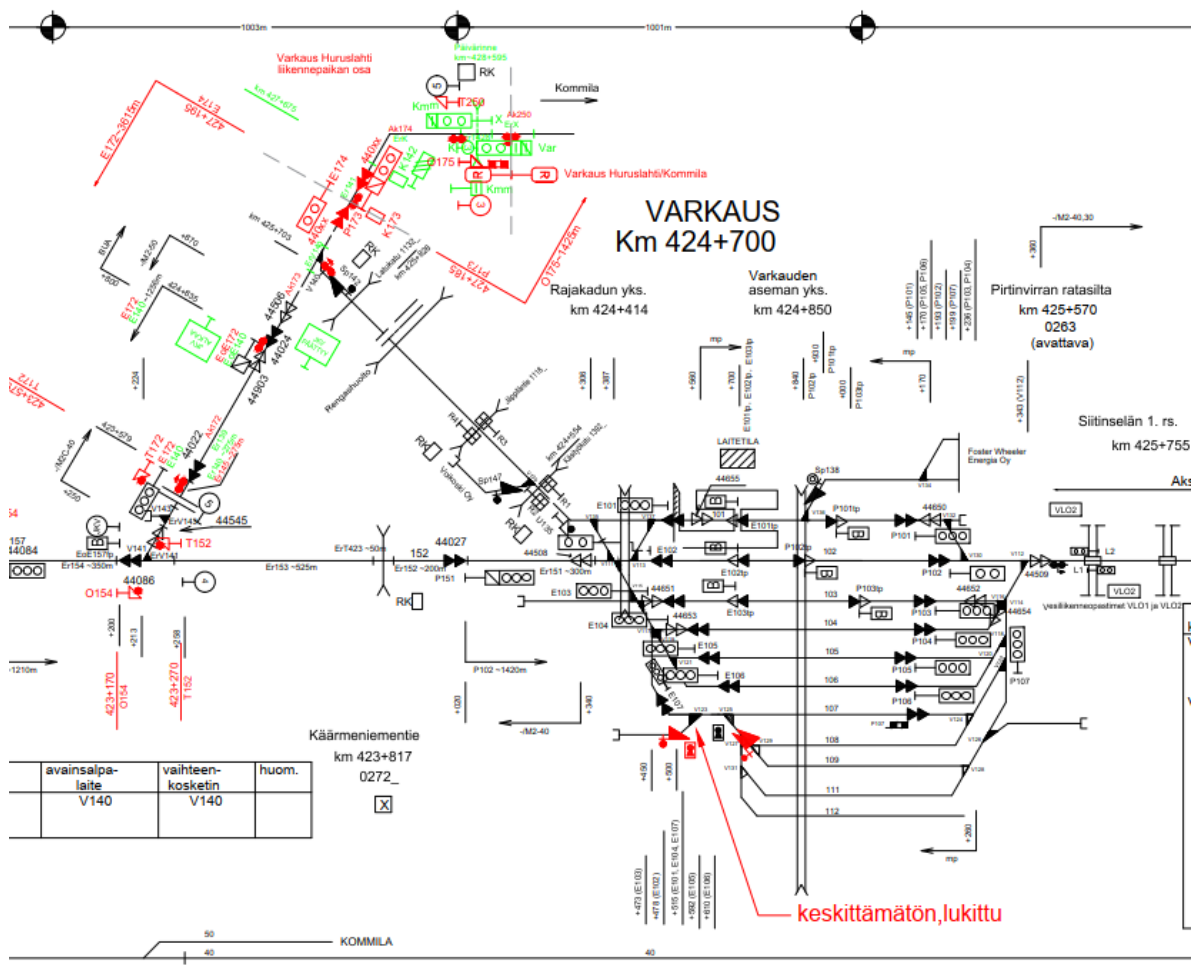
Varkauden liikennepaikalle ja vieressä sijaitsevan Kommilan ratapihalle toteutetaan turvalaitemuutoksia turvallisuuden parantamiseen sekä liikenteen sujuvoittamiseen. Liikennöintimuutosprojekti laitettiin alkuun liikenteenohjaajien pyynnöstä. Liikenteenohjaajat ohjaavat junaliikennettä ympäri vuorokauden, joten turvallisuuden parantamisen muutos ehdotus annettiin tärkeältä toimijalta. Liikennepaikalla ja ratapihalla haluttiin parantaa liikennöintiä, jota lähdettiin suunnittelemaan eri toimijoiden kanssa. Selvitystöiden yhteydessä selvisi, että Varkauden asetinlaitteen turvallisuuden taso on vanhentunut ja sitä täytyy nostaa nykyvaatimuksien tasolle. Projektissa turvallisuustason parannuksia tehdään releasetinlaitteelle kytkentämuutoksilla. Kytkenämuutoksia ovat maaliopastinvalvonta, opastimien sivusuojat, pääopastimen kanssa samassa mastossa olevan esiopastimen valvonta, koskettimien kahdennukset, nopean junan kytkentä, pääopastimien ajonsallivan opasteen kaksinapainen katkaisu sekä raideapureleiden päästötarkistus. Näiden lisäksi parannetaan turvallisuutta raideosuuksilla ja kahdella pääopastimella sekä viidellä raideopastimella, jotka asennetaan projektin aikana. Näiden lisäksi liikennöintimuutos projektissa tehdään turvallisuusparannuksia vaihteen yksittäislukitukseen (VLUK) ja ajonestoon (REST). (NRC Group Finland Oy 2021b, 2,3.)

3.1 Projektin vaiheet

Projekti lähdettiin toteuttamaan, koska liikenteenohjaus haluaa parantaa rataosuuden käytettävyyttä ja turvallisuutta. Ensimmäinen vaihe on projektisuunnittelu ja suunnittelun perusteena käytetään tilaajan toimittamaa rakennettavuusselvitystä (kuva2.), joka pitää sisällään pohjan projektin turvalaitemuutoksille. Näin projektia lähdetään suunnittelemaan ja rajaamaan millaisen kokonaisuuden turvalaitemuutoksia todellisuudessa vaaditaan nykyisen turvallisuustason parantamiseen. Kun suunnitelmat ovat valmiina, siirrytään seuraavaan vaiheeseen eli hyväksymis- ja järjestelmätestauksiin, jotka sisältävät suunnitelmien tarkastelua ja todentamista. Näiden jälkeen toteutetaan järjestelmätestaus sekä integrointitestaus, jotka sisältävät vaatimuksien todentamista. Viimeinen vaihe v-mallissa on kelpoistaminen ja todentaminen. Kelpoistaminen eli validoinnilla varmistetaan,

että järjestelmän toteutetut ominaisuudet vastaavat odotuksia ja vaatimuksia. Todentamisella eli veridoinnilla varmistetaan muutoksien integrointi käytössä olevaan releasetinlaitejärjestelmään, niin toiminnallisten kuin teknisien vaatimuksien mukaisesti. (Väylävirasto 2020, 10,11.)

Opinnäytetyön päätavoitteena on toiminnallisen turvallisuuden testaamisen varmistaminen. Lisäksi dokumentoiminen, jossa tullaan apuna käyttämään Testpad-ohjelmistoa. Dokumentointi tehdään testaus- ja tarkastussuunnitelman sekä käyttöönoton yhteydessä. Tällä dokumentoinnilla saadaan projektille selkeä tieto, missä valmiusasteessa projekti on, mikä helpottaa kaikkien osapuolien toimintaa projektin aikana.



Kuva 2. Varkaus-Kommila rakennettavuusselvitys (NRC Group Oy 2021)

3.2 Releasetinlaite Siemens Drs

Siemens Drs releasetinlaitteita on hankittu Suomeen reletekniikan ollessa huipussaan 1960–1980 luvulla. Tämän jälkeen releasetinlaitteita on siirrelty ja paranneltu uusiin käyttökohteisiin Suomen rautatieverkoston tarpeiden mukaan. Viimeisin Siemens DrS releasetinlaitteen täydellinen uusi toimitus Suomeen tapahtui vuonna 1990 Laurilaan. (Sorsimo 2017, 21.)

Yleiset käyttökohteet Siemens DrS asetinlaitteille ovat pienet ja keskisuuret liikennepaikat, jotka toimivat kauko-ohjauksella. Suomessa oli vuonna 2017 käytössä 60 kpl Siemens DrS asetinlaitetta ja osa niistä on vuosien varrella saanut uuden sijoituskohteen toiselle liikennepaikalle. (Schulz ym. 2017, 58.)

Varkauden releasetinlaite DrS on rakennettu ja käyttöön otettu vuosina 1968–1969 ja laajennus asetinlaitteelle on toteutettu vuoden 1980 lopussa. Laajennuksessa lisättiin kulkutieopastinportaita, joilla parannettiin Kommilan ratapihan liikennöintiä. Releasetinlaite on uuden kytkentäperiaatteen tasoinen, eli ns. 2-portainen. (Väylävirasto 2021.)

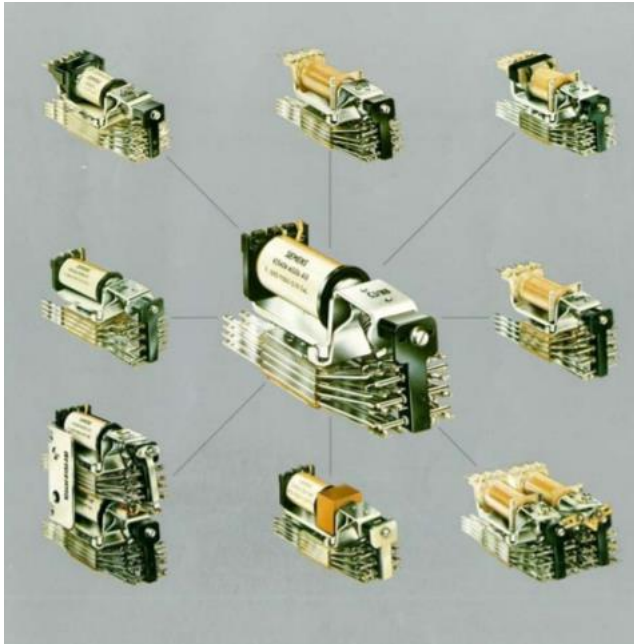
Turvalaitesovelluksissa reletekniikan etuja ovat helpohko toteutus, hyvä tehokkytkentä, sekä se, että sillä voidaan yhdistää loogiset toiminnot ja virtakytkentä samaan komponenttiin. Lisäksi releillä on hyvä ylijännitekestoisuus. (Liikennevirasto 2013.)

4 SISÄLAITETYÖT

Releasetinlaitemuutoksissa, eli sisälaitetöissä rakennetaan vanhan asetinlaitteen rinnalle päivityksiä, jotka parantavat käytettävyyttä ja turvallisuustasoa. Muutokset rakennetaan reletekniikkaa apuna käyttäen. Asetinlaitteeseen rakennetaan uusia johdotuksia, releitä, reletelineitä (Kuva 6.) ja uusitaan muita sähkökomponentteja. Toteutetuilla muutoksilla saadaan vanhasta releasetinlaitteesta huomattavat parannukset aikaan, jotka vaikuttavat jokaisen toimijan työskentelyyn. Käytettävyys paranee huomattavasti kaukovalvonnan lisäyksen myötä Varkaus-Kommila-välillä. Tässä jaksossa kerrotaan yleisesti sisälaitetöiden muutosprosessi ja asetinlaitemuutoksien peruseriaate.

4.1 Perusreleet Suomen turvalaitetekniikassa

Releen toiminta perustuu sähkömagneettiin, joka ohjaa mekaanista kytkintä. Toisin sanoen ohjausvirralla voidaan ohjata virtapiirejä. Turvalaitereleitä on käytetty Suomessa 1950-luvulta lähtien turvalaite- ja liikenteenohjauksessa. Yleisin Suomessa turvalaitetekniikassa käytetty reletyyppi on K50 (kuva3.), jonka valmistaja on Siemens. Lisäksi releestä on saatavilla lukuisia eri tukireleversioita. Käytössä on myös muiden valmistajien releitä, kuten sveitsiläisen valmistajan Ganz-releitä ja kanadalaisen bombardierin C- ja N tyyppin releitä. Perustoimintaperiaatteeltaan releet ovat hyvin samanlaisia. (Liikennevirasto 2013, 5,9.)



Kuva 3. K50 rele keskellä ja tukireleversiot sivuilla (Liikennevirasto 2013, 15.)

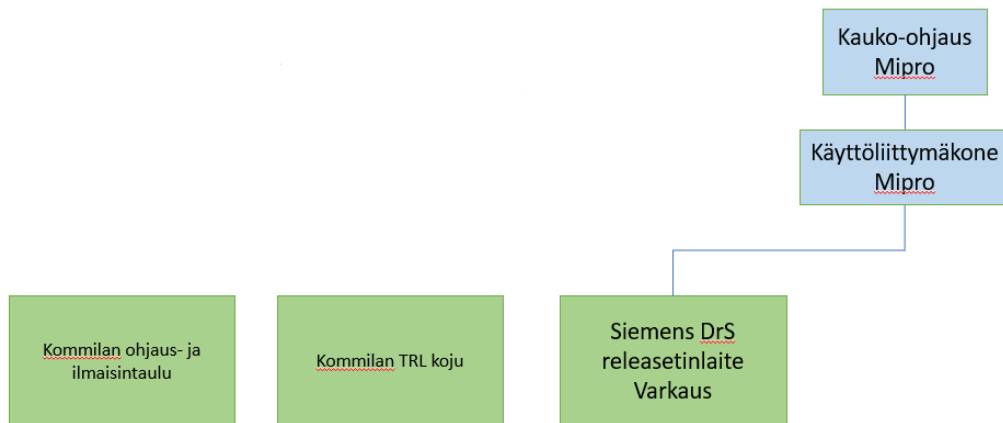
Varkauden releasetinlaitteelle DrS tehdään muutoksia lisäämällä kaksi uutta reletelinettä sekä lisäämällä aikaisempien reletelineiden vapaana oleviin tiloihin, myös uusia releitä ja turvalaitekomponentteja. Releasetinlaitteelle päivitetään Mi-pron kauko-ohjaus järjestelmä ja käyttöliittymäkone. Lisäksi asennetaan Siemensin akselinlaskenta- ja suojaistustietojenvälityslaitteisto mallia Siemens Az S 350 U. (NRC Group Finland Oy 2021b.)

Varkauden releasetinlaite on käytössä liikenteelle, joten sisälaitetöiden rakentaminen vaatii erikoisratkaisuja ja valmistelua kytkentöjen osalta. Toisin sanoen jokainen uusi releasetinlaitemuutos rakennetaan vanhan laitteiston rinnalle, niin valmiiksi kuin se on mahdollista. Tämän myötä laitteiston FAT ja SIT testaus suoritetaan mahdollisuuksien mukaan. Käytössä olevaan laitteistoon tehtävät testaukset ja tarkastukset on tehtävä liikennekatkossa, koska releasetinlaite on tarkastettava tilaajan käyttöönottotarkastajan toimesta, ennen liikenteelle luovuttamista.

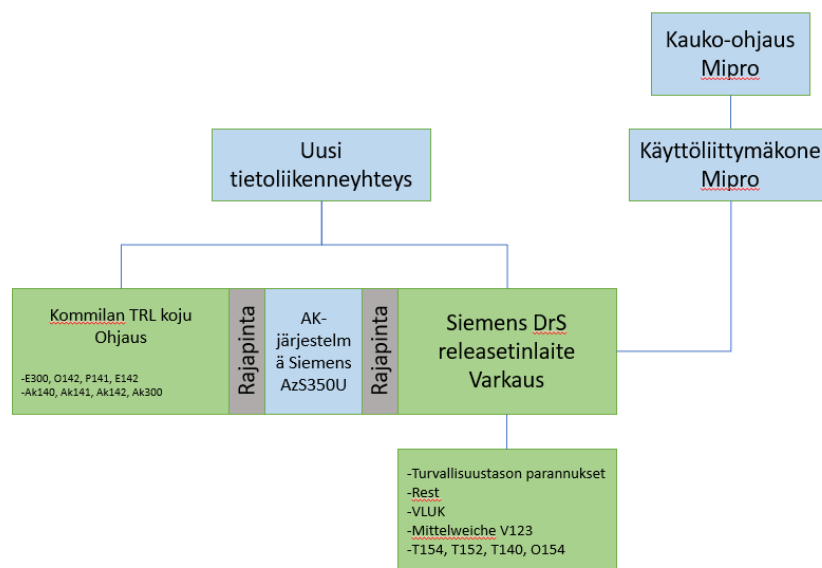
Kommilan tievaroitustietokoneen (Kuva 8.) poistuessa asennetaan sen turvalaitekojuna tilalle uusi liityntäkoju (Kuva 7). Uudella liityntäkojulla Kommilan ratapihan läheisyydessä toteutetaan liityntäkojuna kytkennät, sekä tietoliikenneyhteys Varkauden releasetinlaitteelle. Liityntäkoju muistuttaa ulkoisesti turvalaitekojua.

4.2 Kauko-ohjauksen uudistus

Varkauden Siemens DrS asetinlaitteella on Mipron kauko-ohjausjärjestelmä käytössä ja käyttöliittymäkone on myös Mipron. Toisin sanoen releasetinlaitos on kaukovalvonnassa ja sitä voidaan ohjata liikenteenohjauskeskuksesta. (Kuva 4.) Releasetinlaitemuutokset päivitetään kauko-ohjaukseen käyttöönnotossa. Uudistus toteutetaan liittämällä Kommilan ratapihan liityntäturvalaitekoju tietoliikenneyhteydellä Varkauden liikennepaikalle releasetinlaitteeseen. (Kuva 5.)



Kuva 4. Alkuperäinen ohjausjärjestelmä ennen uudistusta (NRC Group Finland Oy. 2021)



Kuva 5. Varkaus releasetinlaitteen ja Kommilan ratapihan uudistunut ohjausmalli sekä akselinlaskenta/suojaistus tietojenvälityslaitteisto (NRC Group Finland Oy 2021.)



Kuva 6. Varkauden releasetinlaitteelta käytössä olevia reletelineitä 3kpl



Kuva 7. Turvalaitekoju, kuva Oulun ratapihalta



Kuva 8. Tievaroituslaitos, kuva Hanko-Hyvinkää rataosuudelta (Liikennevirasto 2010, 1.)

4.3 Maaliopastin valvonta

Maaliopastimen valvonnalla valvotaan, ettei maaliopastin ole missään tilanteessa pimeänä. H/F releet lisätään asetinlaitteelle kulkutien ehtoihin. Tarkoituksena maaliopastimella on pimeän opastimen kanssa estää kulkutie, varsinkin jos opastin vaikea havaita. (Sorsimo. 2017, 60.)

4.4 Järjestelmä Az S 350 U

Siemensin järjestelmä Az S 350 U on yleisesti Siemensin DrS asetinlaitteella käytettävä asemavälisuojaustuksen akselinlaskenta sekä suojustustietojen välitykseen käytetty laitteisto. Simis-mikrotietokone on todettu luotettavaksi toimijaksi yhteistyöhön K50 releen kanssa, jokaisella RAMS osa-alueilla. Mikrotietokone käyttää 2v2 konfiguraatiota. Laitteisto antaa komentoja ja ilmaisuja releasetinlaitteille. (Sorsimo. 2021,145,146,147.)

Siemensin Az S 350 U asennetaan tässä projektissa Kommilan ratapihan uuteen liityntäturvavälitekojuun, joka rakennetaan Kommilan varoituslaitoksen purkamisen ja sen turvavälitekojuun tilalle. Itse mikrotietokoneella toteutetaan vapaana-oloväliteko ja tiedonvälitys Varkauden asetinlaitteen ja Kommilan turvavälitekojuun välillä. Laitteella saadaan raideosuuden vapaana-olo ja varattu-tiedot järjestelmään, jotta voidaan olla varmoja raiteen käytettävyydestä.

4.5 Opastimien sivusuojat

Junakulkutiellä on nyky määräyksien mukaisesti oltava sivusuoja, jolla suojataan kulkutien varmistuminen. Ensisijainen suojaus toteutetaan poispäin johtavien lukittujen vaihteiden, pää- tai raideopastin valvotulla seis- opasteella tai lukittu raiteensulkukiskoon. Ensisijaisena sivusuojana käytetään vaihdetta, raiteensulkua tai pysäytyslaitetta. Toissijaisena vaihtoehtona on pää- tai raideopastin. (Liikennevirasto 2014a, 71.)

4.6 Alivuokralaisten valvonta

Pääopastimen kanssa samassa mastossa oleva esiopastin eli alivuokralaisten valvonta Toisin sanoen voidaan ohjata samasta opastinmastosta olevasta esiopastimesta liikennettä. Kun esiopastin sijoitetaan pääopastimen mastoon, ei esiopastimella anneta silloin opastetta, jos samassa mastossa oleva pääopastin näyttää Seis-opastetta tai pääopastimen on pimeänä. (Väylävirasto. 2010, 23.)

4.7 Koskettimien kahdennukset

Turvallisuutta parannetaan releiden kahdentamisella. Eli koskettimeen tuodaan lisäsuojaus kaksikanavaisuuden ansiosta. Tätä koskettimien kahdennusta käytetään yleisesti kriittisten koskettimien kohdalla. (Liikennevirasto 2013,18.)

4.8 Virheellisen esiopastinkäsitteen estokytkenä

Virheellisen esiopastinkäsitteen estokytkenä eli nopean junan kytkennällä estetään hetkellinen junakulkutie, sen ajaksi, kunnes opastinhidastus toimii. Tämä tapahtuu nopealla ja lyhyellä junalla.

Nopean junan kytkennällä, jossa ensin ensimmäisen portaan rele valitsee maaliopastimen. Tämän jälkeen maaliopastimen seuraavista kahdesta raideosuudesta on varattuna ja maaliopastin ei ole vielä SEIS-asennossa eli punaisella. Tämän myötä lukitusehdot eivät pääse täyttymään. Kulkutien asettuminen voidaan sallia vasta kun Halt-rele on vetäneenä. (Sorsimo. 2017. 59,60.)

4.9 Opasteen kaksinapainen kytkentä

Opastimen kaksinapainen katkaisu toteutetaan kriittisille opastimille, joiden miinus puoleen virtapiiristä lisätään tukirele, joka kytkee tai katkaisee virtapiirin. Näin saadaan turvallisuustasoa nostettua.

4.10 Raideapureleiden päästötarkistus

Raideapureleiden päästötarkistuksessa käytetään ab-releitä, jotka valvovat raideosuuksien varauksia kulkutiellä. Valvonta tapahtuu silloin, kun juna käyttää kulkutietä. Valvonnan tyyli vaihtelee ajanjakson mukaan, eli jossain valvotaan ensimmäinen ja viimeinen raideosuus. Kehittyneimmässä valvontamallissa on jokainen raideosuus valvottuna. Lisäksi näissä valvotaan myös jokaisen apureleen päästö ainakin toiselle liikennesuunnalle. (Sorsimo. 2017, 71.)

5 ULKOLAITETYÖT

Ulkolaitetöiden rakentaminen voidaan toteuttaa käytössä olevan laitteiston rinnalle kokonaisuudessaan valmiiksi. Ulkolaitteiden johdotukset tuodaan releasetinlaitteelle ja turvalaittekojulle valmiiksi. Johdot valmistellaan niin pitkälle kuin mahdollista, eli ne kuoritaan valmiiksi. KytKentä suoritetaan käyttöönoton yhteydessä eli SAT-testauksessa Pääopastimia(Kuva 9) asennetaan 2kpl alivuokra-laisten kanssa ja raideopastimia (Kuva 10) 5kpl. Vaihteiden muutoksia tehdään VLUK:in ja REST: in osalta.



Kuva 9. Pääopastin, jolla ohjataan junaliikennettä. Tämä opastintyyppi nostetaan käyttöönottovaiheessa pystyyn. Kuvattu TASE-projektilla kesällä 2021.

Raideopastimet ovat pieniä opastimia, jotka antavat liikkuvalle yksikölle seis, aja varovasti ja ei opasteita käskyjä. Lisäksi saadaan suuremmilla ratapihoilla lisäturvallisuutta, kun on lähtöopastimien lisäksi raideopastin. Raideopastin antaa paikallisluvista ja vaihtokulkuteistä riippuvaisia opasteita ratapihoilla.



Kuva 10. Raideopastin Oulun ratapihalla, jossa punainen SEIS-opaste. Raideopastimella ohjataan junia liikennepaikoilla ja ratapihoilla.

5.1 Vaihteen yksittäislukitus (VLUK)

Vaihteen yksittäislukituksella (VLUK) voidaan lukita keskitetty vaihde liikenteenohjaajan toimesta hänen haluamaansa asentoon. Yleisimmät syyt, kun näin toimitaan, on ratatyön suojaus tai kulkutien turvaaminen vian takia. (Sorsimo 2017, 118,119.)

5.2 Ajonesto (REST)

Ajonesto toiminnolla estetään kulkuteiden varmistaminen tietyille rataosuudelle ja junaraiteelle, eli mistään suunnasta ei ole mahdollisuutta päästä ajonesto (REST) alueelle. Ajonesto REST toimintoa käytetään yleisesti ratatöiden suojaamiseksi. (Sorsimo. 2017, 114.)

5.3 Vapaanaolo-valvonta

Raideosuuksista jokainen valvotaan akselinlaskenta-anturilla tai raidevirtapiirillä. Releasetinlaitteen järjestelmän tärkeimpiä tehtäviä on saada tieto, mitkä raiteet ovat varattuina ja vapaina. Asetinlaite yhdessä toimiessaan akselinlaskijoiden ja raidevirtapiirin kanssa toteutuu vapaana-olon valvonta. (Härkönen ym. 2014, 95.)

Akselinlaskenta-anturilla(Kuva 11.) valvotaan raideosuutta ja sen vapaana-olo valvontaa. Eli valvontajärjestelmällä voidaan varmistaa raideosuuden tila, onko osuudella raidekalustoa. Akselinlaskijoilla toteutetaan valvonta asentamalla jokaiselle akselinlaskenta osuudelta pois johtaville raiteille akselinlaskijan, vaikka kyseessä ei ole kulkutieraide. (Liikennevirasto 2014a, 18,19,22,48.)

Raidevirtapiiri on järjestelmä, jolla valvotaan vapaana-oloa raideosuuksilla. Se koostuu perus- tai eristysjatkoksissa rajattuihin raideosuuksiin. Kiskoilla kulkeva yksikkö varaa akselin kautta muodostaman virtapiirin, joten raideosuus on varattuna. (Ratatekniset ohjeet 2021, 21.)



Kuva 11. Akselinlaskijan anturi kiinnitettynä ratakiskoon (Siemens) kuvattu TASE-projektilla kesällä 2021

6 SAFETYCASE TURVALLISUUSPERUSTELUT

Suomen turvallisuusperustelujen vaatimukset ovat tulleet EU-asetuksista ja standardeista. Tällä kokonaisuudella kerätään yhteen tarvittava määrittelyaineisto, laadunhallinta, tekniset turvallisuusratkaisut sekä turvallisuuden hallinnan aineistot. Lisäksi sisältävät käytettyjen komponenttien turvallisuusperustelut. (Väylävirasto 2020, 13.)

Jokaisessa kokonaisprojektissa on turvallisuusarviointi, joka on riippumaton muuten kokonaisuuteen. Tämä arviointiryhmä seuraa riskienhallintaprosessin tuloksia ja turvalaitejärjestelmän turvallisuusmenettelyjä. Lisäksi teknistä turvallisuutta ja toteutusprosessiin liittyviä tuloksia. (Väylävirasto 2020, 13.)

Yleisesti jokaisessa hankkeessa täytyy hankkia EN-ISA palvelut sekä huolehtia turvallisuusperusteluista. Perustelut laaditaan standardin EN 50129 määräyksien mukaisesti. EN-ISA valvoo rakentamisen aikana turvallisuusperusteluiden täyttymistä EN 50129 standardin mukaisesti. Lisäksi EN-ISA ottaa kantaa, voiko kyseinen projekti edetä käyttöönottovaiheeseen. (Väylävirasto 2020, 17.)

Käyttöönottoon siirtyessä on varmistettava, että hyväksyntäprosessi on edennyt määräyksien mukaisesti, jotta voidaan edetä seuraavaan vaiheeseen. Näiden jälkeen tilaaja sekä rakennuttaja valvovat hyväksyntäprosessin etenemistä. (Väylävirasto 2020, 19.)

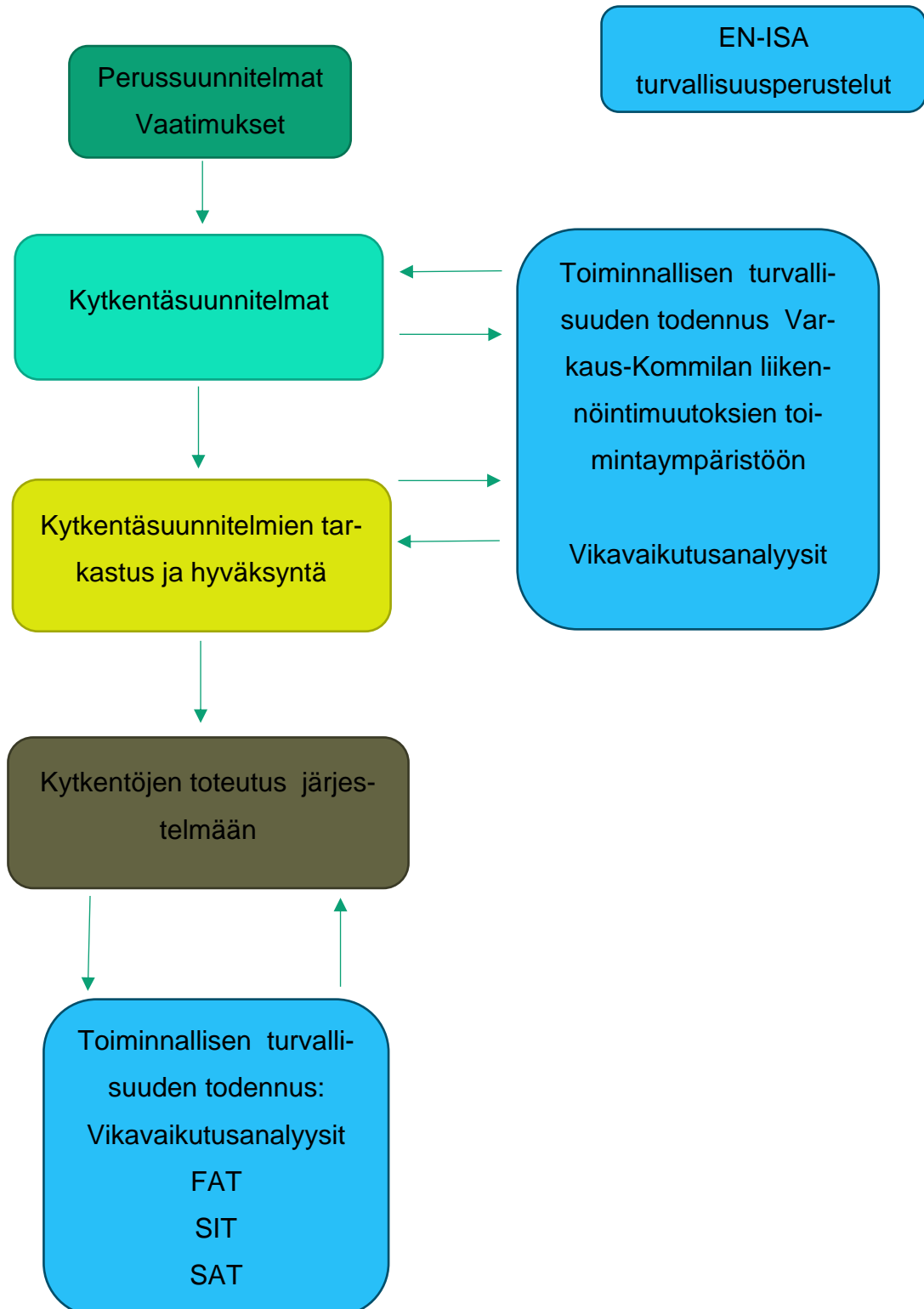
Käytössä olevien turvalaitteiden ja uudistuksien sekä lisäyksien ansiosta joudutaan tarkastelemaan laajasti standardeja. Standardien täyttäminen nykyvaatimusten mukaiseksi tuottaa oman haasteensa, kun parannetaan vanhaa järjestelmää, jonka aikaisemmat vaatimukset ovat sen aikakauden standardin mukaiset. Urakoitsija järjestää työpajoja vaatimusmukaisuuden tarkasteluun, jossa käydään suunnittelijoiden, valvojien sekä tilaajan edustajan kanssa läpi vaatimuksen määrittelyjä eli Suomen asetinlaitevaatimukset. (Liikennevirasto 2014b) (Kuva 12.)

FIR-FR401-Com	5.3.2 Opastimen asettaminen näyttämään Seis-opastetta	
FIR-FR402-Com	Opastin on asetettava näyttämään Seis-opastetta kappaleiden 5.3.3 ja 5.3.4 mukaisesti.	
FIR-FR403-Com	5.3.3 Opastimen asettaminen näyttämään Seis-opastetta junakulkuteillä	
FIR-FR404-Req	Junakulkutien aloittava opastin on asetettava näyttämään Seis-opastetta yksikön jälkeen, jos 2-3 s aikaviive on kulunut loppuun kulkutien aloittavan opastimen takana olevan raideosuuden varautumisen jälkeen.	Pakollinen
FIR-FR405-Req	Junakulkutiehen kuuluva muu opastin, joka voi näyttää Seis-opastetta, on asetettava näyttämään Seis-opastetta yksikön jälkeen, jos opastimen takana oleva raideosuus varautuu.	Pakollinen
FIR-FR406-Req	Junakulkutien aloittavan opastimen yhteydessä oleva raideopastin on asetettava näyttämään Seis-opastetta, jos samassa kohdassa oleva pääopastin asetetaan näyttämään Seis-opastetta.	Pakollinen
FIR-FR407-Req	Varmistetun varatun raiteen junakulkutien aloittava opastin on asetettava näyttämään Seis-opasteeksi yksikön jälkeen, kuten junakulkutien aloittavan opastimen.	Pakollinen
FIR-FR408-Com	5.3.4 Opasteen asettaminen näyttämään Seis-opastetta vaihtokulkutiellä	
FIR-FR409-Req	Vaihtokulkutien aloittava opastin on asetettava välittömästi näyttämään Seis-opastetta, jos:	Pakollinen
FIR-FR410-Req	• yksikin kulkutiehen kuuluva raideosuus varautuu	Pakollinen
FIR-FR411-Req	• yksikin kulkutiehen kuuluva raideosuus vapautuu	Pakollinen
FIR-FR412-Req	Kulkutien aloittavan opastimen takana olevan raideosuuden ollessa varattuna kulkutietä varmistettaessa on kulkutien aloittavan opastimen asetettava välittömästi näyttämään Seis-opastetta, jos raideosuus vapautuu.	Pakollinen

Kuva 12. Suomen asetinlaitevaatimukset taulukossa (Liikennevirasto 2014b, 27.)

7 TURVALAITTEIDEN TESTAUSPROSESSI

Turvalaitteiden testausprosessissa tarkastellaan projektin etenemistä määräyksien mukaisesti, joka todennetaan suunnittelulla, turvallisuusperusteluilla ja muilla määräyksillä. (Kuva 13.)



Kuva13. Hallinnan kaavio

7.1 Perussuunnittelu

Perussuunnittelua aloitetaan toteuttamaan kokemuksen ja aikaisempien vastaavien turvalaitteiden käyttöönotosta. Lisäksi hyödynnetään yleisiä turvalaitesuunnitelmia. Tässä kohdassa käyttöönottoprosessia kuvaillaan käyttöönotettava kohde ja laaditaan luonnos käyttöönototarkastus suunnitelmasta. Lisää on suoritettu, saadaan vahvistettua käyttöönototarkastussuunnitelma ja perussuunnittelu saadaan toteutettua. (Liikennevirasto 2012,10.)

7.2 Turvalaitevaatimukset

Turvalaitevaatimukset aloitetaan tekemällä tehtävälista analysointivaiheeseen. Sen jälkeen toteutetaan rakentamisen vaaditut suunnitelmat ja kuvat. Jotta turvalaitevaatimukset saadaan toteutettua, on todennettava standardit ja yleiset vaatimukset. Lopuksi toteutetaan tekniset- ja hankintaan liittyvät asiakirjat sekä analysointivaiheen tarkastusraportti. Näin saadaan turvalaitevaatimukset täyttymään. (Liikennevirasto 2012,10).

7.3 Suunnittelu ja rakentaminen

Turvalaitejärjestelmän suunnittelu ja rakentamisvaihe koostuu analysointivaiheen tarkastusraportista, lisäksi tehtävälistan määrittelyvaiheesta sekä käyttöönototarkastus suunnitelmasta. Suunnittelua voidaan tehdä, vaikka järjestelmätoimittaja on vielä valitsematta. (Liikennevirasto 2012,11.)

7.4 Tehdastestaus (FAT)

Tehdastestauksella eli FAT-testauksella on tarkoitus todentaa, että laitteet ja ohjelmistot täyttävät niille asetetut vaatimukset ja määräykset. FAT-testauksella todennetaan laitteiden tehdasvaatimuksien mukainen toiminta. Testaus voidaan aloittaa, kun järjestelmä on valmis rakentamisen osalta.

Testauksen suorittaa laitetoimittaja tai käyttöönottotarkastaja. Testaus suoritetaan aiemmin laadittujen suunnitelmien mukaisesti, luovaan testaukseen sekä liikennetilanteiden simuloinneilla. Laitetoimittaja tai käyttöönottaja täyttää testauksista määräyksien mukaiset tarkastuspöytäkirjat. Jos syntyy poikkeamia aiemmin laatimista kuvista, täytyy ne ilmoittaa Liikennevirastolle. (Liikennevirasto 2012,14.)

7.5 Systeemi-integroititestausta (SIT)

Systeemi-integrointivaihe eli SIT-vaiheeseen siirtymiseen vaatii tehdastestauksen mahdollistamisen ja todentumisen. Tarkoitus on yhteistoimintatestauksessa todentaa eri toimijoiden rajapintojen yhteistoiminta. Toisin sanoen toimijoiden laitteet toimivat saumattomasti järjestelmässä.

Järjestelmätoimittajat suorittavat yleensä SIT-testauksen, jota tarkastelee ja josta raportoi käyttöönottotarkastaja. Lisäksi käyttöönottotarkastaja voi suorittaa pistotarkastuksia, jolla todetaan kattava järjestelmän testaus. (Liikennevirasto 2012,15.)

8 KÄYTTÖÖNOTTOTESTAUS (SAT)

Käyttöönottotestauksella eli SAT-testauksella varmistetaan turvalaitevaatimusten lopullinen soveltuminen toimintaympäristössä sekä varmistetaan asennusympäristön vaatimusten täytyminen. Mikäli on mahdollista, pyritään testaukset tekemään FAT ja SIT testauksien yhteydessä. Jotta SAT testauksissa voidaan syventyä käyttöönottoon ja järjestelmän luovutukseen.

Junaliikenteen häiriöiden minimoimisen myötä testaukset kuitenkin monesti jäävät SAT testauksen yhteyteen, kun käytössä olevaan laitteistoon lisätään uudistuksia. Näin ollen ennakkosuunnittelulla on tärkeä rooli SAT- testauksella. Turvallisuuden takaaminen huomioitava käyttöönottosuunnittelussa.

Viestintä on tärkeässä roolissa käyttöönottotestauksissa, se on huomioitava ja varmistettava ennen käyttöönottotestauksia.

Käyttöönottotarkastaja suorittaa SAT-testauksen ja auttamassa ovat urakoitsija ja järjestelmätoimittaja. (Liikennevirasto 2012,19.)

Lopuksi suoritetaan raportointi, jotka toimitetaan tilaajan edustajalle. Väylävirasto on tilaajaorganisaatio, joka vastaa Suomen tie- rata- ja vesiväylien kunnossapidosta ja rakentamisesta.

9 DOKUMENTOINTI OHJELMISTOLLA

9.1 Testpad-ohjelmisto

Testpad-ohjelmisto on suunnittelutyökalu, jota voidaan käyttää suunnittelussa, hallinnollisessa tarkistelussa ja testauksessa. Sovelluksessa on yksinkertainen lähestymistapa, joka antaa hallintasovelluksesta kaiken tarvittavan. Testpad-ohjelmistolle on useita vaihtoehtoja, joissa sitä voidaan käyttää. Verkkosivustojen lisäksi on myös sovelluksia useille alustoille esimerkiksi, Saas, Windows, Mac ja Linux. Testpad-ohjelmistoon on helppo kopioida materiaalit ohjelmistoista kuten Word, Excel, joka helpottaa testidokumentin luomista testpad -ohjelmistoon. (Alternativeto. 2021.)

Ohjelmaksi valittiin Testpad, koska se on kokonaisuudessaan hyvä yrityksen tarpeeseen ja arvostelujen mukaan ei ollut epäselvää toimivuudesta. Lisäksi ilmainen kokeiluversio ja sen myötä tutustuminen Testpad-ohjelmistoon antoi viimeisen hyväksynnän ohjelmiston käyttöönottoon tässä projektissa.

9.2 Testpad-ohjelmiston integrointi työmaalle

Aikaisemmin olemme käyttäneet dokumentoinnin testausprosessissa ja integroinnissa tietokonetta ja Excel taulukoita, jotka ovat kankeita versioita työmaalla, jos ei Excel ohjelmistosta aikaisempaa kokemusta ole kertynyt ja joudutaan liikkumaan paljon työmaalla. Oman haasteensa tuo pitkät käyttöönotot ja väsymys, joka vaikuttaa toimintakykyyn jokaisella. Toisin sanoen tarve saada selkeä, eri laitteissa toimintavarma ja käytettävyydeltään monipuolinen ohjelmisto testausprosessiin.

Ohjelmiston integroiminen työmaalle tullaan toteuttamaan Ipad tabletilla, joka on käsitietokone. Ohjelmiston käyttäminen laitteella on vaivatonta ja selkeää ja se helpottaa käyttöönotossa ja testausprosessissa paljon. Myös laitteen kuljettaminen työmaalla on vaivatonta, verrattuna esimerkiksi tietokoneeseen. Ohjelmiston toimintavarmuus testpad ohjelmistossa eri laitekannoilla saumatonta ja yhteistyö varmaa. (Kuva 14)

Ohjelmistosta on rakennettu ohjeet jokaiselle käyttäjälle, jotta opettelu saadaan vaivattomaksi. Lisäksi ohjelmistoon saadaan ennakkoluulottomampi asenne, kun on selkeät ohjeet.



Kuva 14. Ipad käsitietokone sovelluksen käyttöön (Apple 2021.)

9.3 Testicase

Testidokumentin alettiin toteuttamaan, vanhaa Excel versiota apuna käyttäen ja se haluttiin päivittää selkeämmäksi ja nykyaikaisemmaksi käyttöönoton ja dokumentoinnin parantamiseen projekteillemme. (Liite 1.)

Uuden testidokumentin rakennus uuteen ohjelmistoon sujui vaivattomasti. Ainoastaan Suomen asetinlaitevaatimuksien lisäys ohjelmaan oli työlästä ja aikaa vievää, koska niitä vaatimuksia on runsaasti. (Liite 2.)

9.4 Testpad-ohjelman käyttöohje

Ohjelmistoon lisätään testauksia toteuttaville henkilöille käyttöoikeudet, joilla he pääsevät kirjautumaan sisään Testpad- ohjelmaan. Näin saadaan kontrolloitua, ketkä ovat ohjelmistossa käyttäjinä ja mitä he ovat testauksista suorittaneet.

Testpad-ohjelmistoon on rakennettu valmiit pohjat, joita projektin johto hallinnoi. Projektilla ja testauksien edetessä käyttöönottaja täyttävät tarkastuspohjaa. Jokainen testauspohjaa täyttävä henkilö näkee selkeän kokonaiskuvan testauksien etenemisestä. Jokainen testauspöytäkirja saadaan helposti tallennettua eri järjestelmiin.

10 POHDINTA

Opinnäytetyössä haasteena oli uuden sähkölaitteiston opettelu ja työympäristö, joka vaati oman aikansa asioiden ymmärtämiseksi. Lisäksi kiireinen aikataulu valmistumisajankohdalle asetti lisähaastetta. Pelkällä omakohtaisella kokemuksella ei olisi yksinään selvinnyt, mutta onneksi sain tarvittavan tuen NRC Group Oy:n ammattitaitoiselta ja kannustavalta henkilöstöltä. Oma osaaminen rajoittuu kyseisen projektin osalta ulkolaitetöiden aikaisempaan rakentamiseen.

Opinnäytetyössä suurimmaksi työksi nousi turvalaiteprojektin vaatimustenmäärittelyn hoitaminen ja todentaminen kiitettävästi projektin alkumetreiltä asti, joka varmistetaan suunnittelun sekä työpajojen järjestämisellä projektin alusta lähtien. Lisäksi haastavaa oli Suomen asetinlaitevaatimukset kokoaminen Testpad-ohjelmistoon, koska vaatimuksia on runsaasti eri turvalaitteille. Mutta kerran kuin rakentaa ohjelmiston pohjan valmiiksi ja lisää kaikki vaatimukset, on ohjelmisto käytettävissä seuraavilla projekteilla vaivattomasti.

Henkilökohtaisesti olen tyytyväinen opinnäytetyöhön, vaikka aikataulu oli tiukka projektin osalta. Opin paljon kokonaisvaltaisesti raitinfran turvalaitteista, turvallisuusperusteluiden testausprosessista ja Testpad-ohjelmistosta. Mielenkiinnolla lähdän kehittämään tulevaisuuteen selkeämpää ja turvallisempaa rautateiden testausprosessia.

Yrityksen hyödyt ohjelmistosta ovat testausprosessiin integroitu testiohjelma, jota tullaan käyttämään tulevissa projekteissa. Lisäksi ohjelmaa muokataan ja parannetaan jatkuvasti meidän projektejamme selkeyttämään.

Tulevaisuudessa ohjelmistoa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi valmiusaste taulukoissa isoimmilla turvalaiteprojekteilla, joka selkeyttää mitä työmaalla on rakennettu valmiiksi, ja mitkä ovat vielä keskeneräisiä tai kokonaan aloittamatta.

LÄHTEET

Apple 2021. iPad. Viitattu 2.12.2021 <https://www.apple.com/fi/ipad-10.2/>

Alternativeto 2021. Testpad Alternatives
Viitattu 2.11.2021 <https://alternativeto.net/software/testpad/>

Härkönen, A. Järvinen, L. Katajala, M. Koro, M. Lehikoinen, H. Matikainen, L. Sorsimo, T. Tuomi, J & Viitanen, J. 2014. Rautatieturvallisuustekniikat. Helsinki: Liikennevirasto

Liikennevirasto 2010. Koulu- ja linja-autokuljetusten tasoristeysturvallisuus Hanko–Hyvinkää-radalla. Liikennevirasto. Helsinki. Viitattu 2.12.2021. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2010-49_koulu_ja_linja-autokuljetusten_web.pdf

Liikennevirasto 2012. Turvalaitejärjestelmien käyttöönottotarkastusohje. Liikennevirasto 7-2012. Helsinki. Viitattu 3.11.2021. https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2012-07_turvalaitejarjestelmien_kayttoonottotarkastusohje_web.pdf

Liikennevirasto 2013. Releiden käyttö rautatieturvallisuustekniikassa Helsinki. Viitattu 12.11.2021. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lop_2013-05_releiden_kaytto_web.pdf

Liikennevirasto 2014a. Ratatekniset ohjeet, osa 6 Turvalaitteet. Liikennevirasto. Helsinki. Viitattu 15.11.2021. https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-07_rato6_web.pdf

Liikennevirasto 2014b. Toiminnalliset vaatimukset. Helsinki. Viitattu 3.12.2021. https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/fir_2010_toiminnalliset_vaatimukset_v1.4_web.pdf

NRC Group Oy Finland 2021a. NRC Group Finland Oy:n www-sivut. Viitattu 25.10.2021. <https://www.nrcgroup.fi//>

NRC Group Finland Oy 2021b. Varkaus-Kommila liikennöintimuutokset. Sisäinen projektimateriaali

Pekkala, N. 2021. NRC Group Finland Oy. Projektipäällikön haastattelu 04.11.2021.

Ratatekniset ohjeet 2021. Termit ja määritelmät. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/rato1_maaritelmat_web.pdf

Schulz, J., Kantamaa, V-M., Matikainen, L. & Sorsimo, T., 2017. Turvalaitereleiden käyttö asetinlaitteissa. Helsinki: Liikennevirasto

Sorsimo, T. 2017. Releasetinlaite Siemens DrS. Liikennevirasto. Helsinki: Liikennevirasto

Sorsimo, T. 2021. Suojastus. Väylävirasto. Helsinki: Liikennevirasto

Traficom 2021. 25 t akselipainojen osuus pääväyläverkosta ja TEN-T-ydinverkosta. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/25-t-akselipainojen-osuus-paavaylaverkosta-ja-ten-t-ydinverkosta>

Väylävirasto 2010. Ulkolaitevaatimukset Väylävirasto. Helsinki. Viitattu 22.11.2021 https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/fir_2010_ulkolaitevaatimukset_v1.4_muutokset_web.pdf

Väylävirasto 2018. Rataverkko. Väylävirasto. Helsinki. Viitattu 3.12.2021. <https://vayla.fi/vaylista/rataverkko>

Väylävirasto 2020. Turvalaitejärjestelmien hyväksyntäprosessi. Väylävirasto. Helsinki. Viitattu 10.11.2021. https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-47_turvalaitejarjestelmien_hyvaksyntaprosessit_web.pdf

Väylävirasto 2021. Rakennettavuusselvitys Varkaus-Kommila.

LIITTEET

- Liite 1. Vanha testicase, joka toteutettu Excel ohjelmalla. (luottamuksellinen)
- Liite 2. Uusi testicase, joka toteutettu Testpad-ohjelmalla (luottamuksellinen)