



Eero Jantunen

Varoituslaitosjärjestelmän testaus- ympäristön luonti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

14.2.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Eero Jantunen
Otsikko: Varoituslaitosjärjestelmän testausympäristön luonti
Sivumäärä: 29 sivua + 1 liitettä
Aika: 14.2.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Turvalaiteasiantuntija Heli Tuominen
Lehtori Timo Tuominen

Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää testausympäristön hyödyllisyys varoituslaitosprojekteissa, vertailla eri testausohjelmistoja ja luoda ohjeistus valitun testausohjelmiston testausympäristön luomisesta. Insinööriyössä kuvataan myös varoituslaitosjärjestelmiä yleisellä tasolla sekä niihin liittyviä turvallisuusstandardeja.

Työssä selvitettiin erityyppisten varoituslaitoksien ominaisuuksia, toimintoja ja tarkoituksia. Varoituslaitoksien toiminnalliseen turvallisuuteen liittyvät standardit ovat EN 50126:2017, EN 50128:2011, EN 50129:2018 ja EN 61508:2010 osat 0–6. Nämä standardit velvoittavat laitevalmistajia noudattamaan niissä kuvattuja vaatimuksia ja toimintatapoja. Turvalaiteprojekteissa Väylävirasto vaatii EN 50126:2017 -mukaista SIL-laskentaa turvatoiminnoille. Työssä selvitettiin, miten SIL-laskenta toteutetaan käytännön tasolla. Safety Case -standardi EN 50129:2018 vaatii projektilta Safety Case -dokumentaation luomista. Safety Case tulee arvioida riippumattoman arviointilaitoksen eli ISA:n toimesta.

Kahdeksi vertailtavaksi ohjelmistoksi valittiin TestPad ja TestRail. TestPad oli yrityksessä aikaisemmin tuttu, ja se oli ominaisuuksiltaan sekä hinnaltaan sopivampi NRC Group Finland Oy:n käyttötarkoituksiin, joten työssä valittiin ohjelmistoksi TestPad.

TestPad on erittäin käyttäjäystävällinen testausohjelmisto. TestPad on täysin pilvipalvelupohjainen eikä sitä pystytä käyttämään yrityksen omilla palvelimilla. Pilvipalvelun ansiosta TestPadia voi käyttää millä tahansa laitteella, jolla on yhteys internetiin. Insinööriyössä ohjeistetaan, kuinka TestPadiin luodaan testausympäristö ja testitapaukset, sekä kuinka ohjelmalla suoritetaan testaus.

Avainsanat: Testaus, testausympäristö, Testpad, tasoristeys, varoituslaitos, rautatie

Abstract

Author:	Eero Jantunen
Title:	Creating Testing Environment for Railroad Level Crossing systems
Number of Pages:	29 pages + 1 appendix
Date:	14 February 2022
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Electrical and Automation Engineering
Professional Major:	Automation Engineering
Supervisors:	Heli Tuominen, Safety Device Specialist Timo Tuominen, Senior Lecturer

The purpose of this thesis work was to study the usefulness of testing environments in railroad crossing safety device projects, to compare different testing environment software and to create a guide for creating a test environment for the selected software. This thesis work also studied railroad crossing safety systems on a general level and on the safety standards that relate to them.

The characteristics, functions, and purposes of different types of railroad crossing safety devices are explained in this thesis work. The standards that related to railroad crossing safety device projects are EN 50126:2017, EN 50128:2011, EN 50129:2018 ja EN 61508:2010 parts 0 to 6. Equipment manufacturers are obliged to follow and comply to the requirements and procedures described therein. In safety device projects, the Finnish Transport Infrastructure Agency requires SIL calculation in accordance with EN 50126:2017 for safety functions. In this thesis, how SIL calculations are implemented at a practical level are explained. The Safety Case standard EN 50129:2018 requires the creation of Safety Case documentation for the project. The safety case must be evaluated by an external assessment body, i.e. ISA.

TestPad and TestRail were selected as the two software to be compared. TestPad was previously familiar to the company and was more suitable in terms of features and price for the company's uses, so TestPad was chosen.

TestPad is a very user-friendly testing software. TestPad is completely cloud-based and cannot be hosted on the company's own servers. Thanks to the cloud service feature, TestPad can be used on any device connected to the Internet. This thesis instructs how to create a test environment and test cases in TestPad, and how to perform testing with the program.

Keywords: Testing, Testpad, level crossings, railway

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tasoristeyksien varoituslaitokset	2
2.1	Yleisesti	2
2.2	Perustila	2
2.3	Hälytysosuus	2
2.4	Hälytystila	3
2.5	Varoituslaitoksien tyypit	4
3	Turvallisuusstandardit	7
3.1	Standardien mukainen SIL-laskenta	9
3.2	Varoituslaitoksen vaatimusten määrittely	11
3.3	Varoituslaitoksen testaaminen	11
4	Testausohjelmistojen vertailu	12
4.1	TestPad	12
4.2	TestRail	13
5	Testausympäristön luonti TestPadiin	15
5.1	Projektikansion luominen	15
5.2	Testitapausten lisääminen testausympäristöön	16
6	TestPad testausympäristön käyttö testauksessa	19
7	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

Liitteet

Liite 1: Väyläviraston riskimatriisi

Lyhenteet

TRL:	Tasoristeyslaitos.
SIL:	Safety integrity level, turvallisuuden eheystaso.
SC:	Safety case, turvallisuusarviointi.
FTA:	Field tree analysis, vikapuuanalyysi.
CCF:	Common cause failure, yhteisvikaantuminen.
HAZOP:	Hazard and operability study, poikkeamatarkastelu.
PLC:	Programmable logic controller, ohjelmoitavalogiikka.
RATO:	Ratatekniset ohjeet.
ISA:	Independent safety assessment, riippumaton arviointilaitos.
THR:	Tolerable hazard rate, siedettävä vikaantumistaajuus.
TFFR:	Tolerable functional failure rate, siedettävä toiminnallisen vikaantumisen taajuus.
PFD:	Average Propability of failure on demand, vikaantumisen todennäköisyys vaadittaessa.
PFH:	Propablity of failure per hour, vikaantumisen todennäköisyys tuntia kohden.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa testausympäristöohjelmiston hyödyllisyys rautateiden turvalaiteprojekteissa ja luoda testausympäristö sopivaan ohjelmistoon. Alussa työssä keskitytään tasoristeyksien varoituslaitoksiin yleisellä tasolla ja käydään läpi niihin kohdistuvia turvallisuusstandardeja sekä menetelmiä SIL-turvallisuustason saavuttamiseksi. Työssä vertaillaan eri testausohjelmistoja ja valitaan tilaajalle sopivin kokonaisuus. Valittuun ohjelmistoon luodaan varoituslaitoksen testitapaukset. Lopuksi ohjeistetaan valitun testausympäristön käyttö sekä testitapauksien luominen.

Insinööritö on suoritettu NRC Group Finland Oy:n (myöhemmin NRC) tilauksen toimesta, mikä kohdistuu heidän PLC SAKE TRL -varoituslaitostuotteeseen. Työ ei kohdistu tiettyyn projektiin, vaan sitä tullaan käyttämään NRC:n Rautatiedivisioonan sähkörakentamisen suunnitteluyksikössä. NRC on rautatieinfraan keskittyvä yritys, joka syntyi Suomen valtion myydessä VR Track Oy vuonna 2019 Pohjoismaissa toimivalle NRC:lle. NRC:llä on myös toimintaa ratainfraan ulkopuolella mm. teiden telematiikan rakentamisessa ja huoltamisessa.

Rautatiemaailman toiminnallista turvallisuutta on Suomessa alettu tiukentamaan, joka on johtanut nouseviin vaatimuksiin testauksessa. Projektin ja tuotteen testitapauksilla tulee todentaa vaatimuksienmukaisuus projektissa. Väylävirasto vaatii varoituslaitosprojekteilta vähintään SIL 3 -turvallisuustasoa. Saa-dakseen SIL 3 -turvallisuustasosertifikaatin tuotteelleen laitetoimittajan täytyy todistaa prosessin SIL-standardien noudattaminen. Tuotteen laitteiden turvallisuustaso on todistettavissa testaamisella ja vikaantumistaajuusanalyysillä. Projekteissa tuotteelle tehdään myös FTA-, CCF- ja HAZOP-analyysyjä. Tuotteessa käytettävä logiikkaohjelma tulee todistaa SIL 3 -turvallisuustason mukaiseksi. Logiikkaohjelman turvallisuustaso voidaan todentaa luomalla testitapauksia simuloituun testiympäristöön ja todistamalla standardien esittämien tekniikoiden ja menetelmien käyttö ohjelmassa ja ohjelmoinnissa käytettävissä prosesseissa.

2 Tasoristeyksien varoituslaitokset

2.1 Yleisesti

Varoituslaitos tai puhekielellä tasoristeyslaitos on kokonaisuus, joka suojaa tasoristeyksessä rautatieliikenteen ja rautatien ylittävän liikenteen yhteen törmäykseltä. Varoituslaitos kokonaisuuteen kuuluu varoituslaitoksien logiikkatelineet, virransyöttö, raiteen vapaanaolon valvonta ja tasoristeyksien ulkolaitteet. Varoituslaitokset sijoitetaan tilaajan määrittelyn mukaan joko kojuun tai asennuskaappiin. Varoituslaitoksen logiikkateline ohjaa ja valvoo tasoristeyslaitoksen ulkolaitteita. Tasoristeyslaitoksen ulkolaitteet ovat eri laitostyypeistä riippuen; opastimet, puomit, varoituskellot ja raiteen vapaanaolon valvontajärjestelmä. Varoituslaitoksilla on kaksi eri tilaa; perustila ja hälytystila. (1.)

2.2 Perustila

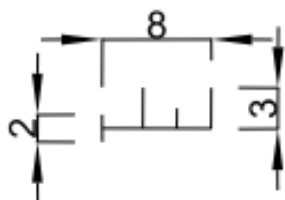
Perustilassa varoituslaitos ei saa hälyttää. Tämä tarkoittaa, että tieopastimien täytyy näyttää hitaasti vilkkuvaa valkoista valoa, puomit täytyy olla ohjattuna yläasentoon ja varoituskellot eivät saa soida. Varoituslaitos on perustilassa, kun tasoristeyksen vapaanaolon valvonnan hälytysosuuksilla ei ole junia tai ratakoineita. (2, s. 155.)

2.3 Hälytysosuus

Hälytysosuudet ovat tasoristeystä edeltävät rataosuudet. Hälytysosuudet alkavat yleisesti noin 500–1000 m päästä tasoristeyksestä ja jatkuvat tasoristeyksestä ohi vähintään 5 metriä. Tällä tavalla kahden vapaanaolon valvontajärjestelmän avulla kyetään luomaan kolmas osuus nimeltään tieosuus. Tieosuus on pituudeltaan vähintään 30 metriä ja enintään 60 metriä. Väyläviraston mukaan tieosuus ei kuitenkaan ole hälytysosuus. (2, s. 11, 170.)

Hälytysosuudet ovat nimeltään X ja Y ja tieosuus on T. Hälytysosuudet nimitään raiteen nousevien ratakilometrien mukaan. Kuva 1 Hälytysosuus alkaa -

merkki ratapiirustuksissa (2, liite 1/13) näyttää, miten hälytysosuudet piirretään ratakuviin. Alhaisempi ratakilometri osuus on X ja ylempi Y. Tieosuus on aktiivinen, kun juna tai ratakone on molemmilla hälytysosuuksilla samaan aikaan. (1.)



Kuva 1 Hälytysosuus alkaa -merkki ratapiirustuksissa (2, liite 1/13)

2.4 Hälytystila

Varoituslaitos asetetaan hälyttämään joko käyttämällä varoituslaitoksen testikyt-kintä tai junan saapuessa vapaanaolon valvonnan hälytysosuuksille. Hälytyksen alettua varoituslaitoksen täytyy odottaa tasoristeykselle määritetyn etusoittoajan ja varoajan verran ennen kuin laitos voi alkaa laskemaan puomeja. Etusoitto-aika määräytyy puomien välisen pituuden mukaan, mutta on vähintään 10 sekuntia. Jos puomien välisen matkan pituus on yli 10 metriä, tulee etusoitto-ajan lisätä yksi sekunti jokaista ylimääräistä metriä kohden. Hälytysosuudet tulee mitoittaa rataosuuden maksiminopeusrajoituksen mukaan. Juna ei saa saapua tasoristeykseen ennen kuin varoituslaitos on laskenut puomit eikä tasoristeyksessä ole tienkäyttäjiä. Hälytys loppuu junan poistuttua viimeiseltä hälytysosuudelta junan kulkusuunnan mukaisesti. (2, s. 155–157.)

Hälytyksen aikana varoituslaitoksen tulee näyttää nopeasti vilkkuvaa punaista valoa. Punainen tieopaste sammutetaan laitoksen palattua perustilaan tai kun puomit ovat noustessaan saavuttaneet yli 60° kulman. Hälytyksen alettua varoituslaitos ohjaa varoituskellot soimaan. Varoituskellot tulee sammua junan saavuttua tieosuudelle, jotta junan matkustajille tulisi mahdollisimman vähän häiriötä. (2, s. 156.)

2.5 Varoituslaitoksien tyypit

Varoituslaitoksia on monta eri tyyppiä. Väylävirasto on määritellyt ratateknisissä ohjeissaan eri varoituslaitostyypeiksi seuraavat:

- laituripolun varoituslaitos
- linjalaitos
- varoitusvalolaitos
- valo- ja äänivaroituslaitos
- puomilaitos. (2, s. 11.)

Laituripolun varoituslaitos on nimensä mukaan rautatieaseman laituripolkuja suojaava laitos. Laituripolut ovat rautatieasemalla sijaitsevia raiteiden ylittäviä kevyenliikenteen kulkuväyliä.

Laituripolun varoituslaitokset ovat valo- ja äänivaroituslaitoksia. Laituripolun varoituslaitokset on yleisesti yhdistetty rautatieasemaa ohjaavaan asetinlaitteeseen. Vapaanaolon valvonnan tilatiedot tuodaan asetinlaitteen kautta varoituslaitokselle. Laituripolun varoituslaitos ei saa näyttää mitään tieopastetta laitoksen ollessa perustilassa. Kuva 2 näyttää NRC:n vanhaa valo- ja äänivaroituslaitosta ja kuva 4 uudentyyppistä valo- ja äänivaroituslaitosta. (2, s. 155.)

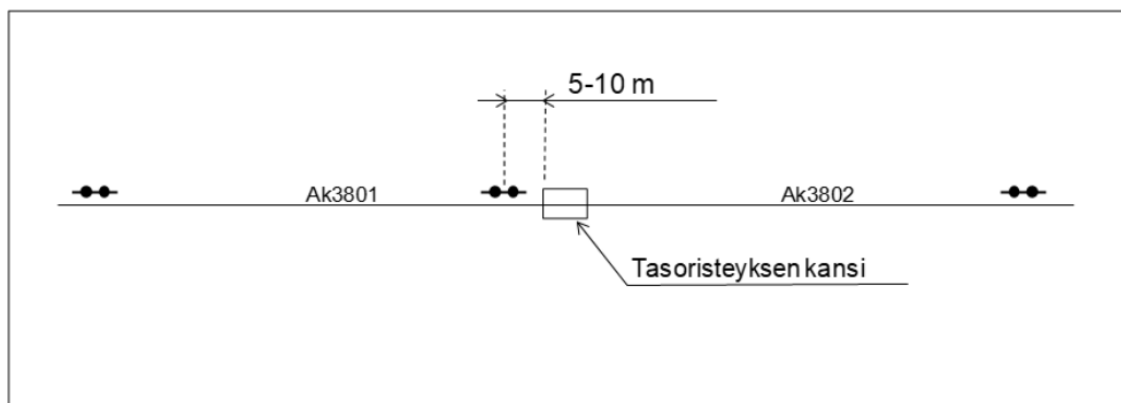


Kuva 2 Perinteinen valo- ja äänivaroituslaitos laituripolulla

Linjalaitos on Väyläviraston määritelmän mukaan varoituslaitos, jonka toimintaa ei voida ohjata asetinlaitteella. Tämä tarkoittaa, että linjalaitokset ovat täysin itsenäisiä ja riippumattomia asetinlaitteiden toiminnoista. Mikä tahansa varoituslaitos tyyppi voi olla linjalaitos. Linjalaitokset tarvitsevat itsenäisen raiteen vapaanaolon valvontajärjestelmät havaitakseen tasoristeystä lähestyviä liikkuvia kalustoja. (2, s. 13.)

Yleisimpiä vapaanaolon valvontajärjestelmiä ovat akselinlaskentajärjestelmät ja raidevirtapiirit. Suurin osa NRC:n varoituslaitoksista on linjalaitoksia. (1.)

Varoitusvalolaitokset suojaavat tasoristeystä pelkkien tieopastimien avulla. Tieopastimien määrä määräytyy rautatien ylittävien väylien määrästä. Autotielle ja kevyenliikenteenväylälle täytyy olla erilliset tieopastimet. Varoitusvalolaitokselle ei ole pakko määritellä erillistä tieosuutta. Kuvassa 3 havainnollistetaan, kuinka varoitusvalolaitoksen vapaanaolon valvonta voidaan toteuttaa ilman tieosuutta. Uudet varoitusvalolaitokset ovat hyvin harvinaisia, sillä pelkkä tieopastin ei yksinään kykene estämään tienkäyttäjän tahatonta pääsyä tasoristeysten raiteille. (2, s. 21, 172.)



Kuva 3 Varoitusvalolaitos, jolla ei ole tieosuutta (2, s.172, kuva 6.5:9.)

Valo- ja äänivaroituslaitokset sisältävät tieopastimien lisäksi myös varoituskellot. Valo- ja äänivaroituslaitokset ovat hyvä vaihtoehto tasoristeyksille, joissa ei esiinny vilkasta liikennettä. Valo- ja äänivaroituslaitokset varoittavat tasoristeyksen ylittäjä audiovisuaalisesti, jotta myös kuulo- tai näkörajoitteiset pystyvät havaitsemaan junan saapumisen tasoristeykseen. (1.)



Kuva 4 NRC:n uudentyyppinen valo- ja äänivaroituslaitos Luimalla

Puomilaitoksiin kuuluu tieopastimien ja varoituskellojen lisäksi nimensä mukaisesti puomeja ja puomiopastimia. (2, s. 155.)

Puomiopastimet vilkkuvat samaan tahtiin ja aikaan kuin punaiset tieopastimet. Puomien määrä tasoristeyksessä on hyvin paikkakohtaista. Projektin tilaaja määrittelee tarpeittensa mukaan puomien määrän, pituuden ja tyypin. Puomien tyypit voivat olla koko-, puoli- tai paripuomeja. Kokopuomit ylittävät tien molempien ajosuuntien kaistat. Puolipuomit taas ylittävät vain tasoristeykseen johtavan kaistan. Paripuomit ovat puolipuomeja, jotka on sijoitettu molempien ajosuuntien kaistoille erikseen. (1.)

Puomeja ohjataan puominkääntölaitteen avulla. Puominkääntölaitteesta löytyy seuraavat komponentit: moottori, magneettijarru, puomin rajakytkimet ja vastusjousi. Magneettijarru pitää puomin asennon lukittuna ylhäällä tai alhaalla. Puomien asentojen tilatiedot tunnistetaan rajakytkimillä, joiden tilat välitetään varoitustulaitoksen ohjaavaan yksikköön. Rajakytkimillä valvotaan puomin 0°, 60° ja 90° kulmia vaakasuoraan nähden. Vastusjousi rajoittaa puomin liikkumista vapaapudotus- ja vapaanousutilassa ja liikuttaa puomin noin 60° kulmaan. (1.)

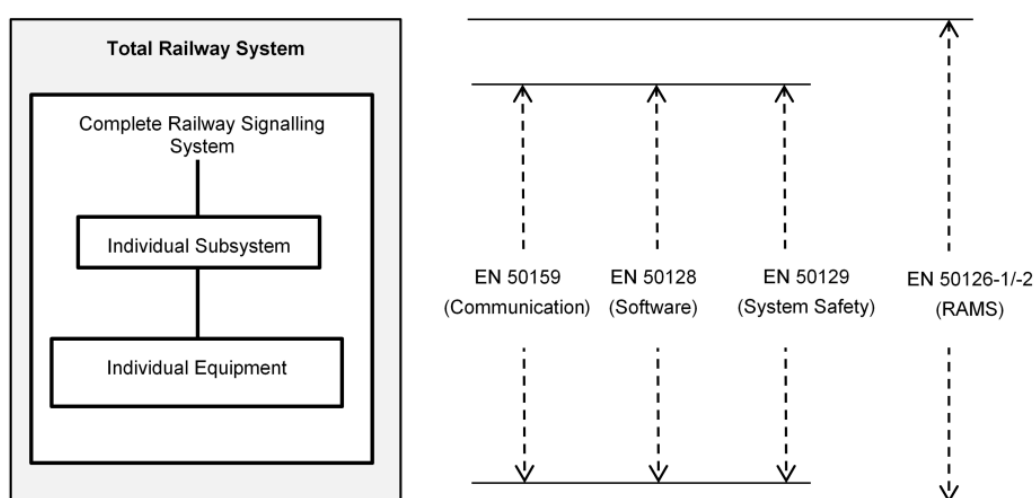
3 Turvallisuusstandardit

Väylävirasto vaatii varoitustaitosprojekteilta dokumenttien standardien IEC EN61508, SFS-EN 50126, SFS-EN 50128 ja SFS-EN 50129 mukaisuutta.

Standardi EN 50126 kertoo tuotteen asennuksesta ja integroinnista. Standardi määrittelee tuotteen kunnossapitosuunnittelua ja turvallisuuden ylläpitämistä RAMS-suunnitelmaan perustuen. Standardi kertoo, mitä RAMS-suunnitelman tulisi sisältää ja mitä ennaltaehkäiseviä toimintoja tuotteelle tulee suorittaa sen koko elinkaaren aikana. (3.)

Standardi EN 50128 käsittelee turvallisuuteen liittyvien ohjelmistojen turvallisuutta rautatiemaailmassa. Standardissa käsitellään tekniikoita ja menetelmiä ohjelmiston turvallisuuden takaamiseksi ja SIL-turvallisuuden eheystasojen saavuttamiseksi. (4.)

"Safety Case" -standardi EN 50129 käsittelee SC:een luotavaa dokumentaatiota ja SC:n elinkaarta. Safety Case on dokumenttikokonaisuus, jolla kyetään todentamaan projektin turvallisuus tilaajan vaatimuksia vasten sekä luomaan mahdollinen SIL-luokitus tuotteelle. Standardi kertoo projektin tai tuotteen Safety Case -elinkaaren vaiheiden vaatimat dokumentit ja menetit. Standardi vaatii tiettyjä menettelytapoja tietyn SIL-turvallisuuden eheystason vaatimuksien saavuttamiseksi. Safety Case täytyy hyväksyttää ISA:n tekemällä ulkoisella auditoinnilla. Standardissa myös kerrotaan Safety Case -elinkaaren vaiheiden verifiointi- ja validointimenettelytavat. (5.)



Kuva 5 CENELEC-standardien laajuus rautatiellä (5, s. 9, Figure 1.)

EN 61508 on niin sanottu "kattostandardi", joka kattaa monia rautateiden turvallisuuteen liittyviä käytäntöjä. EN 61508 on seitsemänosainen kokonaisuus. EN 61508-5 kattaa elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallisen turvallisuuden menettelytapoja. Standardissa käydään läpi eri tapoja määritellä turvajärjestelmien vikaantumisen taajuuksia.

Standardissa myös määritellään riskitaajuuksien lisäksi riskienhallinnan vakavuuksia ja vakavuusluokkia riskimatriisin avulla. Riskianalyyseistä havaituille riskeille tulee määritellä riskien todennäköisyys ja seuraukset. Riskienhallinnassa riskimatriisin avulla riskeille määritellään luokitus yhdestä neljään. Luokassa

neljä riski on hyväksyttävä, mutta sitä voidaan seurata. Luokassa kolme riski on siedettävä, mutta sitä täytyy seurata ja mahdollisesti lieventää jatkotoimenpiteillä. Luokassa kaksi riski on vältettävä. Riski on siedettävä vain jos riskin vähentäminen ei ole perusteltavaa kustannuksien kasvaessa liian suuriksi suhteessa riskin vähenemiseen. Luokassa yksi riskiä ei voida hyväksyä missään olosuhteissa. Standardi myös luokittelee SIL-luokitukset turvatoimintojen viikaantumistaajuuden perusteella. (6, s. 46–50.)

Väylävirasto on määritellyt vaaroille oman riskimatriisinsa, joka löytyy työn liitteenä 1. Riskimatriisi eroaa hieman EN 61508:n määrittelemästä riskimatriisista vaarojen luokituksissa. Väylävirasto määrittelee vaaroille riskimatriisin mukaisen toimenpideluokan, joka määräytyy vaaran tapahtuman todennäköisyydestä ja seurausten vakavuudesta. Vaarat tulee minimoida turvatoimintojen avulla merkityksettömiksi tai vähäisiksi.

3.1 Standardien mukainen SIL-laskenta

Varoituslaitoksen turvatoiminnoille suoritettiin standardin EN-61508-5 mukainen SIL-laskenta. Jokainen turvatoiminto jaotellaan kolmeen osaan: anturi-instrumenttiin, logiikkaan ja ohjattava instrumenttiin. Varoituslaitoksen hälytyksen perustoiminnot, joita pystytään valvomaan, luokiteltiin turvatoiminnoiksi. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että puomilaitoksessa puomien ja tieopastimien ohjaukset luokitellaan turvatoiminnoiksi.

Koska turvatoimintoja vaaditaan varoituslaitoksissa keskimääräisesti noin kymmenen kertaa tunnissa, luokitellaan turvatoiminnot korkean vaatimuksen tilaan. Jos turvatoimintoa vaadittaisiin vähemmän kuin kerran vuodessa, turvatoiminto luokiteltaisiin matalan vaatimuksen tilaan. (6, s. 24.)

Turvaparametrit

Kuorma pumpun lähdöt*

PFD_{AV} (varmennus testin mukaan = 20 vuotta) 1.1×10^{-4}

SILCL standardin EN 62061 mukaan

SIL 3

PFH_D standardin EN 62061 mukaan 1.5×10^{-9}

SIL standardin IEC/EN 61508 mukaan

SIL 3

MTTF_d standardin EN ISO 13849-1 mukaan

Korkea/1500 vuotta

PL standardin EN ISO 13849-1 mukaan

PL e

Kategoria standardin EN ISO 13849-1 mukaan

4

DC_{avg} standardin EN ISO 13849-1 mukaan

Korkea

CCF standardin EN ISO 13849-1 mukaan

Täyttää vaatimukset

Kuva 6 Esimerkki ABB Pluto -datalehdessä löytyvistä parametreistä (7, s. 34.)

Rataverkon hallitsija määrittelee jokaiselle havaitsemalleen vaaralle TFFR- tai THR-arvon. TFFR ja THR on suoraan verrattavissa turvatoimintojen PFD- ja PFH-arvojen kanssa. Taulukko 1 osoittaa TFFR-arvon ja SIL-luokan verrattavuuden. Rataverkon hallitsija siis määrittelee vaarojen hallitsemiseen tarvittavien turvatoimintojen SIL-luokitukset. (8.)

Taulukko 1 TFFR:n mukainen SIL-tilaus. (3, s. 41 taulukko 2.)

TFFR [h ⁻¹]	SIL attribution
$10^{-9} \leq \text{TFFR} < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq \text{TFFR} < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq \text{TFFR} < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq \text{TFFR} < 10^{-5}$	1

Turvatoiminnon keskimääräisen vikaantumisen taajuuden laskemiseksi täytyy jokaiselle turvatoiminnon komponentille selvittää oma vikaantumistaajuus. Korkean vaatimuksen tilassa turvatoiminnon keskimääräisten vikaantumistaajuuden laskemiseksi käytetään komponenttivalmistajan antamia PFH-arvoja. Arkkitehtuuriltaan 1oo1-turvatoiminnolle voidaan koko turvatoiminnon vikataajuus laskea laskemalla yksittäisten komponenttien PFH-arvot yhteen. (8.)

Kuva 6 esimerkissä turvatoiminnon logiikan PFH arvo olisi 1.5×10^{-9} . Turvatoiminnon PFH-arvo laskettaisiin esimerkiksi seuraavalla tavalla:

$$1,5 \times 10^{-9} + 2,5 \times 10^{-8} + 2,0 \times 10^{-9} = 2,85 \times 10^{-8}$$

Verraten esimerkin PFH-arvoa taulukkoon Taulukko 1 voitaisiin esimerkin komponenteilla toteuttaa korkeintaan SIL 3 -turvallisuukselle vaativan vaaran estäminen.

3.2 Varoituslaitoksen vaatimusten määrittely

Varoituslaitoksien vaatimukset tulevat projektin tilaajalta. Yleisesti tämä tarkoittaa, että varoituslaitos projekteissa täytyy noudattaa seuraavissa ohjeissa annettuja vaatimuksia: Väyläviraston tekniset ohjeet RATO 6, Suomen asetinlaitevaatimukset 2010 ja Varoituslaitosten tekniset toimitusehdot 2012. Väylävirasto määrittelee näissä dokumenteissa erityyppisten varoituslaitoksien tekniset ominaisuudet, sietokyvyt, toiminnot hälytyksessä ja perustilassa, laitoksen vikatilat sekä ulkolaitteiden tekniset ominaisuudet.

Myös tilaajan tekemät perussuunnitelmat vaikuttavat varoituslaitoksien toimintaan ja ominaisuuksiin. Perussuunnitelmat tulevat olla tehtynä ennen varoituslaitos projektin aloittamista. Näistä dokumenteista selviää varoituslaitoksen etu-osoittoaika, onko laitos linjalaitos vai asetinlaiteliitännäinen, puomien ja opastimien määrän sekä laitoksen sijoitus kojuun tai asennuskaappiin.

Projekteilla ISA on vaatinut vaatimusten todennusta joko testauksen avulla tai teoreettisesti. Tilaajan vaatimukset tulee yhdistää testitapauksiin. (1.)

3.3 Varoituslaitoksen testaaminen

Tasoristeyksien varoituslaitokset tulee testata hyvin laajasti ja tarkasti, sillä viallinen laitos saattaa aiheuttaa vakavia henkilövahinkoja. Varoituslaitoksen logiikkatelineen valmistuttua suoritetaan sille yrityksen sisäinen testaus. Testauksessa tarkistetaan telineen kytkennät, komponentit sekä toiminnot. Varoituslaitoksesta täytyy löytyä vaatimusmäärittelystä vaaditut komponentit ja toiminnot. Toimintoja testataan joko simuloimalla ulkolaitteet kytkimien ja merkkivalojen

avulla tai käyttämällä oikeita ulkolaitteita. Varoituslaitokselle tulee tehdä testaus-suunnitelma, jossa kuvataan, miten jokainen testitapaus suoritetaan ja mitkä ovat testitapauksien oletetut tulokset. Testauksien toteutukseen tarvitaan testausympäristö, johon testitapauksien tulokset kirjataan. NRC:llä on aikaisemmin ollut käytössä Excel-taulukko testitapauksille, joka täytettiin tietokoneella tai käsin. Testauksien toistettavuuden ja jäljitettävyyden parantamiseksi on havaittu, että testausympäristöä tulee kehittää. (1.)

4 Testausohjelmistojen vertailu

Erilaisia testausohjelmistoja on saatavilla useita. Tässä työssä keskitytään kahteen tiettyyn testausohjelmiston vertailuun: TestPadiin ja TestRailiin. Muita vaihtoehtoja olisi muun muassa Kualitee ja TestLink.

4.1 TestPad

TestPad on Ontestpad-nimisen yrityksen kehittämä manuaalinen testausympäristö. NRC:llä on aikaisempaa kokemusta TestPad-ohjelman käytöstä, joten työn ohjaaja ehdotti kyseistä ohjelmaa yhdeksi vertailun kohteeksi. Testpadissa voidaan luoda taulukkotyyllisiä testitapauksia. Ohjelmassa luodaan testikokonaisuus, johon pystytään syöttämään testin testitapaukset. Testitapauksia on helppo luoda, sillä ohjelmaan pystytään syöttämään jo valmiiksi olemassa olevia testitapauksia mistä tahansa tekstitiedostosta tai Excel-taulukosta. Testpadin tulokset voidaan viedä suoraan muihin ulkoisiin testiympäristöihin kuten Jiraan tai Pivotaliin. TestPad-ohjelma on selainpohjainen, joten sitä voidaan käyttää millä tahansa laitteella, jolla on pääsy internetselaimeen. Yksi Testpadin ominaisuuksista on kyky kutsua vierastestaaajia sähköpostin välityksellä. Vieraskykenee suorittamaan testin, vaikka ei kuuluisi testausorganisaatioon TestPadissa. (9.)

Testitapaukset suoritetaan manuaalisesti testaajan toimesta. Testitapaukset ovat selkolukuisia yhden lauseen ohjeita testin suorittamiseen. Yksittäisiin testitapauksiin voidaan liittää lisää tietoa tai kuvia, jotka testaaja pystyy näkemään

testauksen aikana. Testattaessa tuotetta testitapauksille asetetaan tilaksi joko hyväksytty, hylätty, estetty, tiedustelu tai torjuttu. Testin aikana suoritettuun testitapaukseen testaaja voi kommentoida testauksessa löydettyjä havaintoja tai syitä, miksi testi epäonnistui. Suoritetusta testistä syntyy visuaalinen raportti, josta testaaja ja tarkastaja pystyy nopeasti toteamaan testauksen tuloksen. Testistä syntyy myös CSV-tiedosto, joka voidaan syöttää muihin analysointityökaluihin. (9.)

TestPad maksaa halvimmillaan 49 euroa kuukaudessa yhden vuoden sopimuksella. Kuukausittainen laskuttaminen maksaa 59 euroa kuukaudessa. Tähän kuuluu vain kolme käyttäjää. Suuremmilla paketeilla TestPad maksaa 10 euroa per käyttäjä ja näihin paketteihin kuuluu lisäominaisuuksia, kuten kuvien liittäminen testitapauksiin ja vierastestaajat. Kaikkiin paketteihin kuuluu 30 päivän ilmainen kokeilu. (10.)

4.2 TestRail

TestRail on Gurock Softwaren kehittämä pilvipalvelupohjainen testitapauksien hallintaohjelmisto. Gurock Software perustettiin vuonna 2004 ja heillä on toimistoja ympäri maailmaa. Gurock Software on Idera, Inc. yrityksen omistuksessa. TestRailia käyttää yli 100 000 kehittäjää todentaakseen testaustaan ja laadunhallintaa. TestRailia käyttää muun muassa Apple, Microsoft, NASA, Intel ja Amazon. (11.)

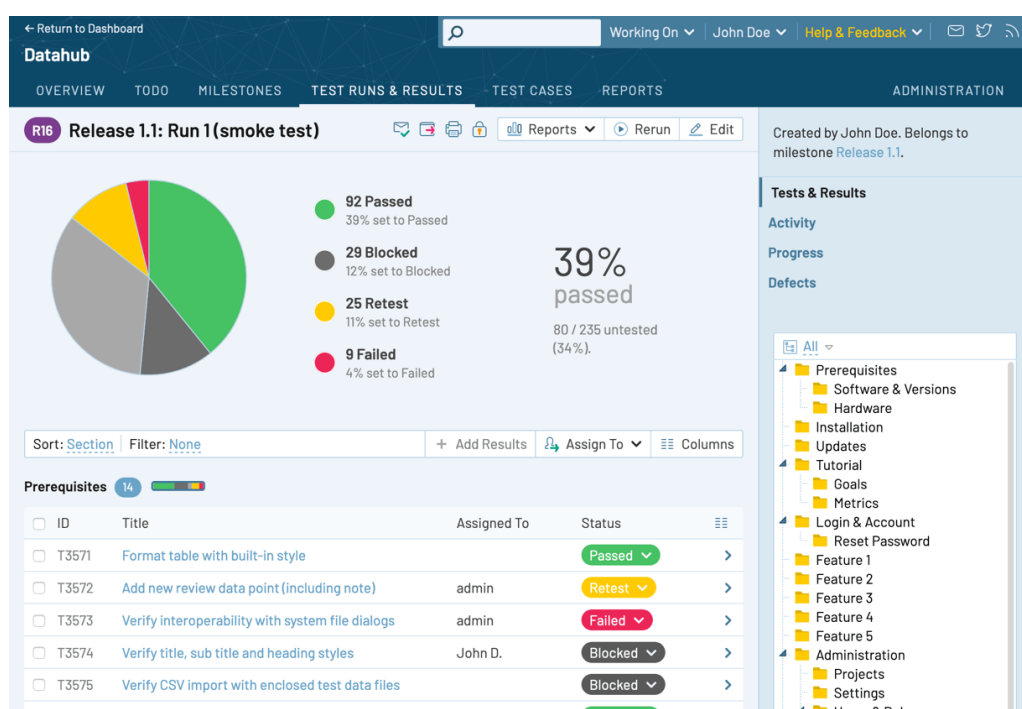
TestRail on selainpohjainen ohjelmisto, jota voidaan ylläpitää omilla palvelimillaan tai TestRailin pilvipalveluilla. TestRailia voidaan käyttää millä tahansa laitteella, jossa on internetselain, mutta TestRail on suunnattu enemmän pöytäkooneelle. (12.)

TestRailiin syötetään TestPadin tavoin yksittäisiä testitapauksia, jotka käydään läpi manuaalisesti yksi kerrallaan. Testitapauksien tulokset voivat olla hyväksytty, uudelleen testattava, hylätty ja estetty. TestRail kykenee luomaan erilaisia

visuaalisia diagrammeja näyttääkseen testitapauksien tilan projektissa. TestRailissa samat testitapaukset voidaan käydä läpi eri ohjelmistokonfiguraatioilla. Testauksessa testitapauksiin voidaan kommentoida, mitä testissä on tapahtunut ja kenellä testaajalle testi on kohdistettu. (13.)

TestRaililla on hyvät integrointimahdollisuudet muihin testaus- ja analysointityökaluihin. TestRailista testitulokset voidaan viedä suoraan Jira-järjestelmään ja heidän testiensä REST API voidaan integroida muihin työkaluihin, kuten Seleniumiin. (14.)

TestRail maksaa 36 dollaria käyttäjältä pilvipalveluratkaisulla. Jos TestRailia halutaan ylläpitää omilla palvelimilla, täytyy TestRailista maksaa vuosittain 370 dollaria käyttäjältä. (15.)



Kuva 7 Esimerkki TestRailin käyttöympäristöstä (13.)

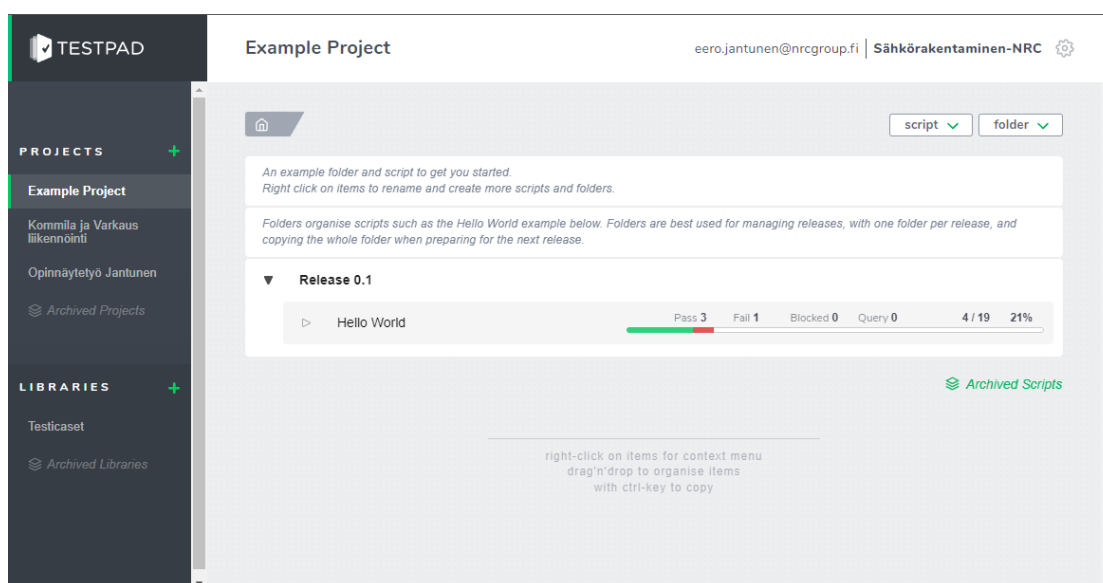
5 Testausympäristön luonti TestPadiin

Projektissa päädyttiin lopulta TestPad-ohjelmistoon NRC:n entisen tuntemuksen ja hinnan perusteella. Yrityksessä on aikaisemmin käytetty TestPad-ohjelmaa toisessa yksikössä, joten TestPad on jo joillekin yrityksen työntekijöille tuttu. Myös testitulosten helppo jäljitettävyyys ja yhdistäminen vaatimuksiin tekivät TestPadistä hyvän valinnan.

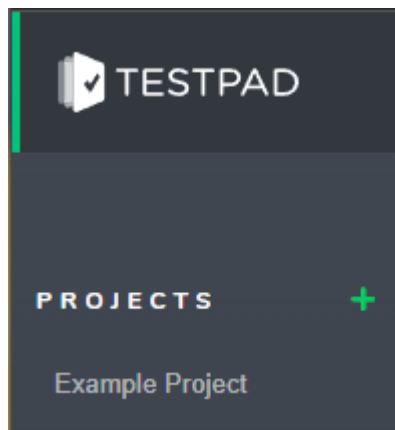
TestPadissä luodaan ensin projektikansio. Projektikansio voidaan nimetä esimerkiksi tietyn tuotteen tai projektin mukaan. Projektikansioon voidaan luoda alakansioita. Alakansioihin luodaan uusi testausympäristö ”Script”, johon testitapaukset luodaan. Esimerkiksi varoitustulosprojekteissa luotiin projektin nimen mukainen projektikansio, johon luotiin eri testikohteiden alakansiot. Yhtenä alakansiona toimi ”Taulukot”, johon luotiin testitapaukset EN 50128 E-taulukot ja EN 50129 A-taulukot.

5.1 Projektikansion luominen

Uusi projekti luodaan painamalla ohjelmassa kuvan 9 +-painiketta. Projektikansiolle annetaan projektiin sopiva nimi.



Kuva 8 Esimerkki TestPad ohjelman käyttöliittymästä



Kuva 9 Uuden projektin luominen



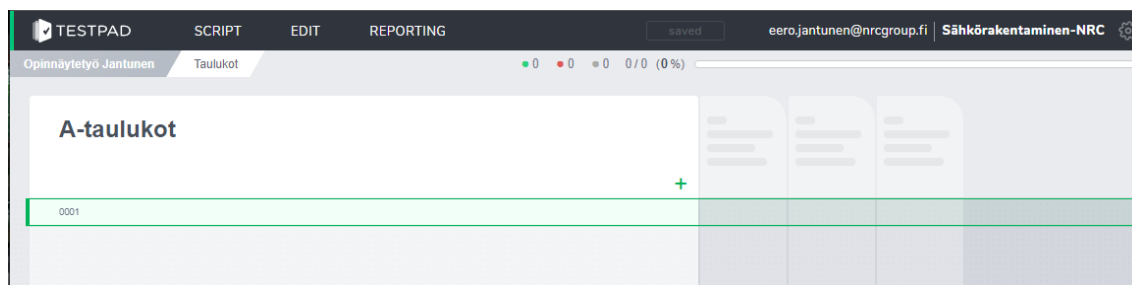
Kuva 10 Esimerkki TestPad-projektikansista

Kun projektikansio on luotu siihen, voidaan luoda alakansiota, joko käyttämällä "Kuva 10" oikeassa yläkulmassa olevaa "folder" valikkoa tai painamalla projektikansion sisällä oikealla hiirinäppäimellä ja painamalla "new folder". Uuden yläkansion voi luoda painamalla "new enclosing folder". Uuden testausympäristön luomiseksi painetaan "Kuva 10" oikeassa yläkulmassa sijaitsevaa "script"-valikkoa. "Script"-valikosta valitaan "new script". Tämä luo projektikansioon uuden testausympäristön.

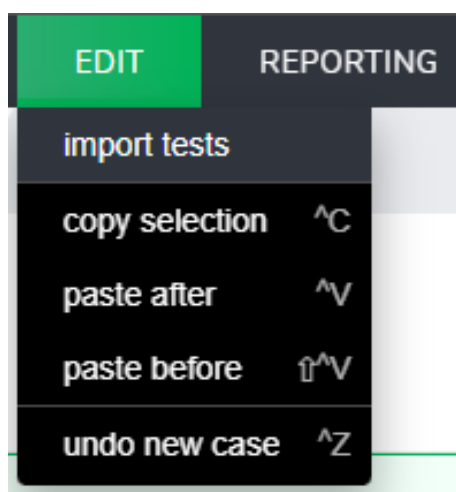
5.2 Testitapausten lisääminen testausympäristöön

Kun uusi testausympäristö on luotu, voidaan testausympäristöön luoda testitapauksia. Testitapauksia voidaan kirjoittaa joko suoraan ympäristöön tai tuoda jo

olemassa olevia testitapauksia Excelistä, CSV-tiedostosta tai mistä tahansa muusta tekstitiedostosta. Rivejä voidaan kirjoittaa testiympäristöön painamalla Enter-näppäintä ja kirjoittamalla otsikko tai testitapaus. Otsikoita ja testitapauksia erotellaan sisentämällä testitapauksia painamalla sarkainnäppäintä. Jos rivi halutaan tuoda takaisin otsikoksi, painetaan vaihtonäppäintä ja sarkainta samanaikaisesti.

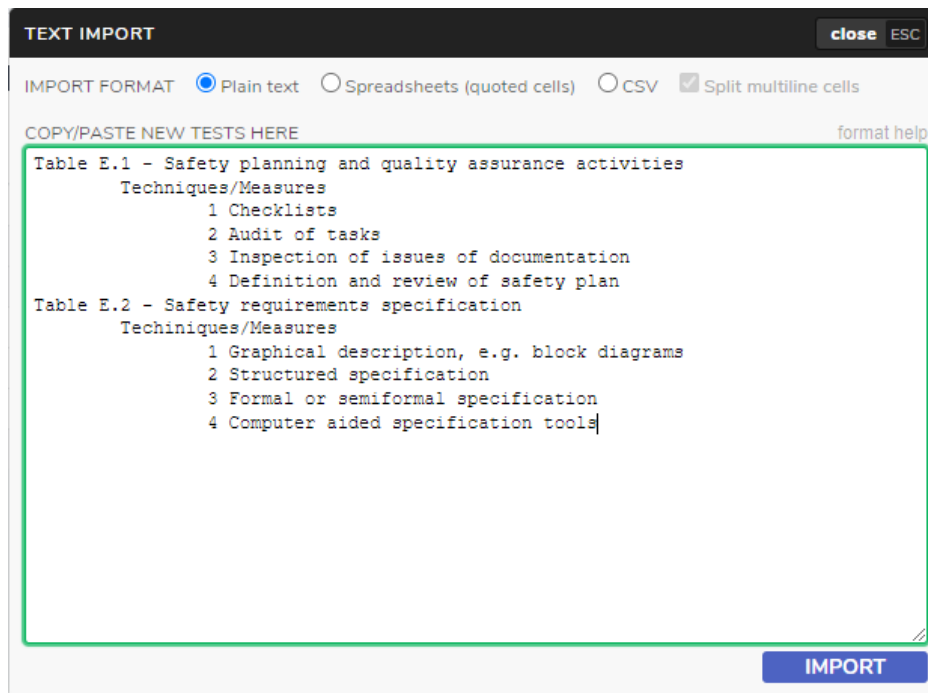


Kuva 11 Tyhjä testausympäristö



Kuva 12 Olemassa olevien testien lisäys

Halutessasi tuoda jo olemassa olevia testitapauksia, siirrytään kuvan 11 ylä-laidassa sijaitsevaan Edit-kohtaan. Edit-kohdassa kuva 12 painetaan "import tests" -kohtaa.



Kuva 13 Olemassa olevien testien lisäysesimerkki

Tekstitiedostosta tuodaan helposti testitapauksia kopio- ja liitä-komennoilla. Asetetaan "Import format"- "plain text" -kohtaan painamalla tekstin vieressä sijaitsevaa painiketta. Jos teksti ei ole jo valmiiksi sisennetty otsikoiksi ja testeiksi, voidaan rivejä sisentää sarkainnäppäimellä.

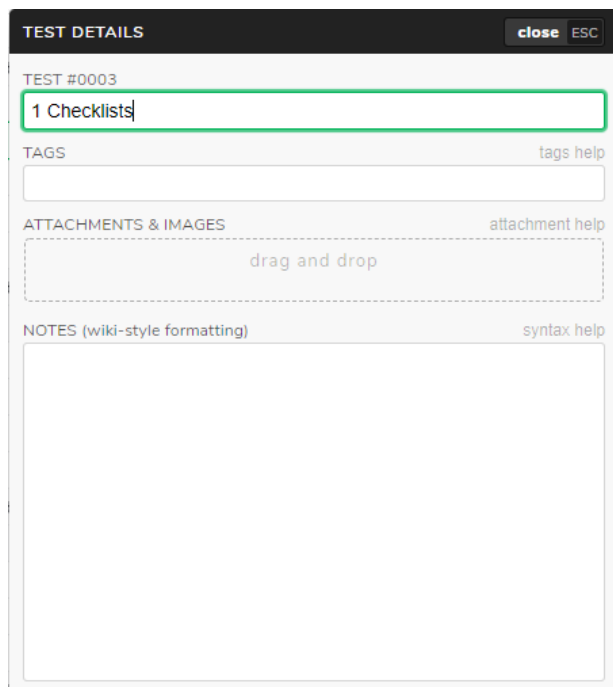
Taulukosta tuodessa testitapauksia solut sisennetään samalla tavalla kuin pelkällä tekstillä, mutta testitapauksen otsikko ja testit asetetaan lainausmerkkien sisään.

Testitapauksia tuodessa lisäformointiapua saa painamalla kuvan 13 oikeassa yläkulmassa sijaitsevaa "format help" -näppäintä.



Kuva 14 Testitapauksen lisätietojen painike

Haluttaessa voidaan testitapaukselle lisätä lisätietoa, tagin tai kuvan. Tietoa lisätään viemällä hiiri testin riville ja painamalla testinumeron viereen ilmestyvää painiketta ”Kuva 14”.



Kuva 15 Testitapauksen lisätietovalikko

Lisätietopainiketta painettaessa, kuvan 15 mukainen ikkuna aukeaa. Ikkunassa testitapauksen nimeä voidaan muuttaa, lisätä testitapaukselle tagi, kuva tai jokin muu liite sekä lisätä muistiinpanoja testaajalle. Lisätiedot tulevat näkyviin testin aikana. Kun haluttu määrä testejä ja lisätietoja on lisätty testitapaukseen, testausympäristö on valmis.

6 TestPad testausympäristön käyttö testauksessa

Testin aloittamiseksi testausympäristössä painetaan testirivien oikeassa yläkulmassa sijaitsevaa +-painiketta ”Kuva 16”. Sijoitetaan hiiri painikkeen päälle, jolloin ohjelmassa esiintyy teksti ”new test run”. Uuden testin aloitusikkunan avaamiseksi painetaan ”new test run” -painiketta kuvassa 15.

number

tester

date

build

new test run +

Kuva 16 Uuden testin aloituspainike

TEST RUN DETAILS

save ESC

help

IN PROGRESS

COMPLETED

test can be run by

anyone

mobile access

send yourself an email

scan a 2D barcode

number

3

tester alias

anyone

date

25 Jan 2022

time

21:53:17

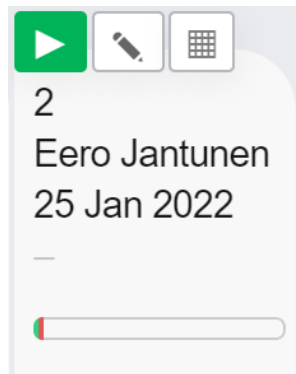
tag filter

ALL

build

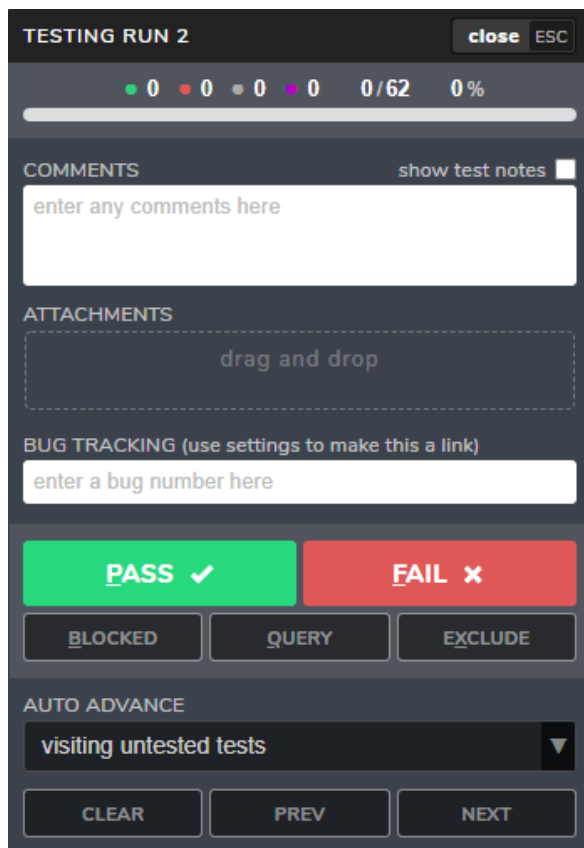
Kuva 17 Uuden testin lisätietoikkuna

Aloitusikkunassa voidaan muokata testin tietoja. Ikkunassa voidaan valita, kuka saa suorittaa testin, missä vaiheessa testi on, testaajan nimen sekä testissä ohitettavat tagit. Aloitusikkunassa voidaan luoda skannattava QR-koodi. QR-koodin avulla testaaja voi suorittaa testin puhelimella tai tabletilla. Ikkunasta kyetään lähettämään testin url-osoitteen sähköpostiosoitteeseen. Kun muokataan haluttuja testin tietoja, painetaan oikeassa yläkulmassa sijaitsevaa "save"-tallennuspainiketta.



Kuva 18 Testin suorittamispainike

Testin suorittamiseksi siirretään hiiri testin sarakkeen päälle. Testin yläosaan ilmestyy kolme painiketta (kuva 18). Vihreästä painikkeesta voidaan aloittaa testi, kynästä voidaan avata testin lisätietokkuna ja ruudukosta saadaan esiin testin QR-koodi. Testin aloituspainiketta painattaessa (kuva 19) testauskäyttöliittymä aukeaa tietokone selaimella ja Kuva 20 20) älypuhelimien selaimella.



Kuva 19 Tietokoneselaimen testauskäyttöliittymä

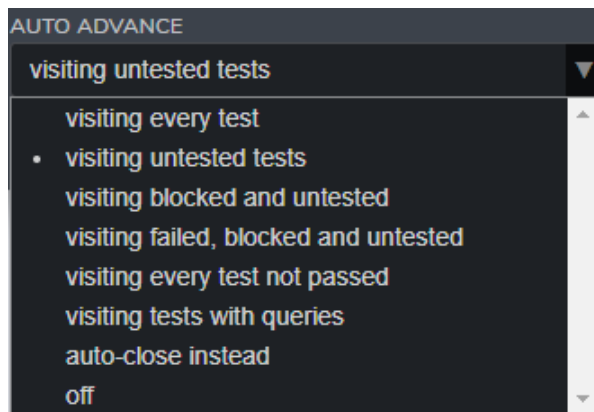
Testaus alkaa ensimmäisestä testitapauksesta. Testitapaukselle voidaan asettaa tiloiksi hyväksytty, epäonnistunut, estetty, kysely tai estetty. Testitapaukseen voidaan kirjoittaa kommentteja ”Comments”-kohtaan. Testitapauksen muistiinpanot ja liitteet saadaan esille painamalla ”show test notes” -painiketta. Testitapaukseen voidaan liittää testitapaukseen liittyvä kuva mobiilissa ”+IMAGE”-painikkeesta ja tietokoneella raahaamalla kuvatiedosto ”attachments”-kohtaan.

Kun testitapaukselle asetetaan tulos, siirtyy käyttöliittymä automaattisesti seuraavaan testitapaukseen. Automaattisen siirtymisen ehdot voidaan määritellä koskemaan vain tiettyyn tilaan asetettuja testitapauksia kuvassa 21. Esimerkiksi automaattinen siirtyminen voidaan asettaa siirtymään pelkästään epäonnistuneisiin testitapauksiin.

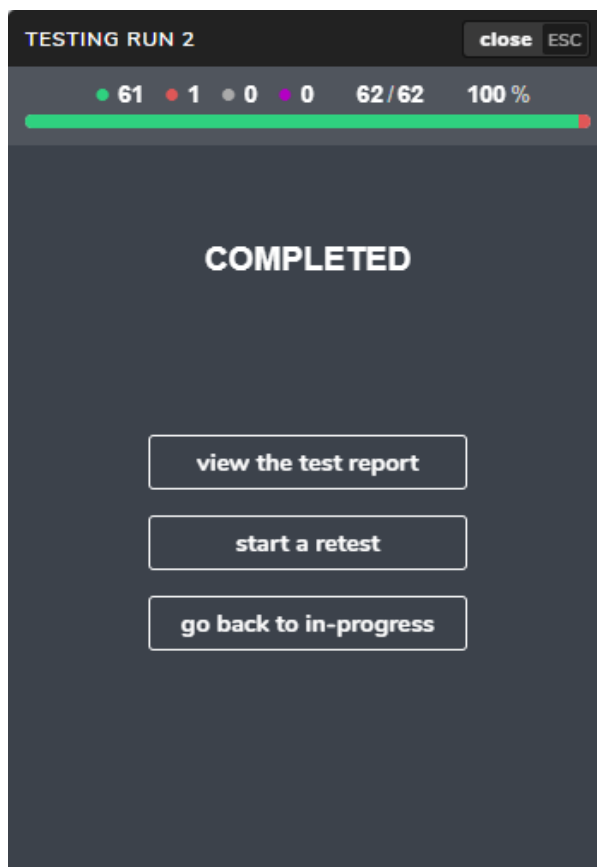
Opinnäytetyö Jantunen - Taulukot/ EN 50128 E-taulukot - 3		done
Table E.1 – Safety planning and quality assurance activities		
Techniques/Measures		
1 Checklists		
2 Audit of tasks		
3 Inspection of issues of documentation		
4 Definition and review of safety plan		
Table E.2 – Safety requirements specification		
Techniques/Measures		
1 Graphical description, e.g. block diagrams		
2 Structured specification		
3 Formal or semiformal specification		
4 Computer aided specification tools		
Table E.3 – Safety Organization		
Techniques/Measures		
1 Training of staff in safety organization		
2 Independence of roles		
3 Qualification of staff in safety organization		
Table E.4 – Architecture of system, subsystem or equipment		
Test notes:		

0004	notes	+	IMAGE	IN PROGRESS
Issue				
comment				
PASS		FAIL		
blocked	query	skip		
clear	visiting every test			

Kuva 20 Testpadin mobiilitestauskäyttöliittymä



Kuva 21 Testauksen automaattinen siirtyminen



Kuva 22 Testin lopetusikkuna

Kun kaikki testitapaukset on suoritettu, testin lopetusikkuna aukeaa. Ikkunassa voidaan avata testin raportti, aloittaa uudestaan testauksen tai palata kesken-

eräisiin testitapauksiin. Lopetusikkunan yläosassa testin suoriutuminen näytetään visuaalisesti ja prosentuaalisesti. Testi voidaan myös suorittaa uudestaan painamalla kuvan 23 vihreää painiketta.



Kuva 23 Uudestaan testauspainike

TESTPAD				eero.jantunen@nrcgroup.fi Sähkörakentaminen-NRC	
SCRIPT		EDIT		REPORTING	
Opinneytety Jantunen		Taulukot		111 8 3 123 / 123 (100 %)	
EN 50128 E-taulukot		number tester date build	1.1 anyone 10 Jan 2022 -	2 Eero Jantunen 21 Jan 2022 -	
		+	COMPLETE	COMPLETE	
▼ 0001	Table E.1 — Safety planning and quality assurance activities				
▼ 0002	Techniques/Measures				
0003	1 Checklists		✓	✓	
0004	2 Audit of tasks		✓	✓	
0005	3 Inspection of issues of documentation		✓	✓	
0006	4 Definition and review of safety plan		✓	✓	
▼ 0007	Table E.2 — Safety requirements specification				
▼ 0008	Techniques/Measures				
0009	1 Graphical description, e.g. block diagrams		✓	✗	
0010	2 Structured specification		✓	✓	
0011	3 Formal or semiformal specification		✓ Oddid	✓	
0012	4 Computer aided specification tools		✓	✗	

Kuva 24 Esimerkki testiympäristöstä suoritettun testin jälkeen

Testin raportti voidaan jakaa yrityksen ulkopuolisten tahojen kanssa painamalla raportin oikeassa yläkulmassa sijaitsevaa asetukset painiketta kuvassa 25. Seuraavaksi raportin asetuksissa painetaan "Enable Quest Access". Tämä luo url-osoitteen, joka voidaan jakaa vieraalle. Vieras ei pysty muokkaamaan raportin asetuksia, eikä pääse käsiksi yrityksen muihin projekteihin.

Raportin alaosassa näkyy testitapauksien aiheuttamat kommentit ja liitetyt kuvat.

TESTPAD TEST REPORT

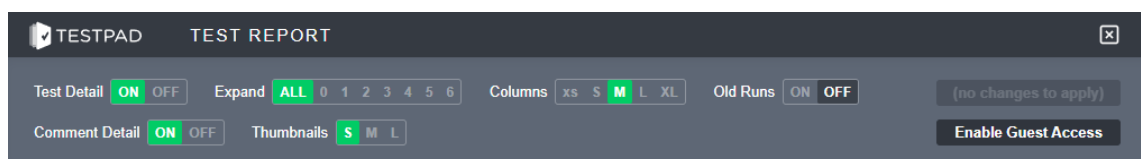
Opinnäytetyö Jantunen
Taulukot

Pass 123 Fail 36 Blocked 10 Query 3 172 / 172 100%

EN 50128 E-taulukot

		number tester date build	1.1 anyone 10 Jan 2022	2 Eero Jantunen 21 Jan 2022	3 anyone 25 Jan 2022
0001	Table E.1 — Safety planning and quality assurance activities				
0002	Techniques/Measures				
0003	1 Checklists		✓	✓	⊗
0004	2 Audit of tasks		✓	✓	⊗
0005	3 Inspection of issues of documentation		✓	✓	⊗
0006	4 Definition and review of safety plan		✓	✓	⊗
0007	Table E.2 — Safety requirements specification				
0008	Techniques/Measures				
0009	1 Graphical description, e.g. block diagrams		✓	✗	✓
0010	2 Structured specification		✓	✓	✗
0011	3 Formal or semiformal specification		✓ Oddid	✓	✗
0012	4 Computer aided specification tools		✓	✗	✗
0013	Table E.3 — Safety Organization				
0014	Techniques/Measures				
0015	1 Training of staff in safety organization		✓	✓	✗
0016	2 Independence of roles		✓	✓	✗
0017	3 Qualification of staff in safety organization		✓	✓	✗
0018	Table E.4 — Architecture of system, subsystem or equipment				
0019	Techniques/Measures				
0020	1 Separation of safety-related functions from non-safety-related functions to prevent unintended influences		✓	✓	✗
0021	2 single electronic structure with self-tests and supervision		✓	✗	✗
0022	3 single electronic structure based on inherent fail-safety		✓	✓	✗
0023	4 single electronic structure based on reactive fail-safety		✓	✓	✗
0024	5 Dual electronic structure		✓†	✓	✗
0025	6 Dual electronic structure based on composite fail-safety with fail-safe comparison		✓	✓	✗
0026	7 Diverse electronic structure with fail-safe comparison		✓	✓	✗
0027	Table E.5 — Design features				
0028	Techniques/Measures				
0029	1 Protection against operating / maintenance errors		✓	✓	✗
0030	2 Operator / maintainer friendliness to reduce the probability of human errors		✓†	?	✗

Kuva 25 Esimerkki testin raportista



Kuva 26 Raportin asetukset

Testitapauksien ja raporttien CSV-tiedostot pystytään lataamaan menemällä projektin asetuksiin ja painamalla "DOWNLOAD project" -painiketta "project ex-

port” -kohdassa. Projekti latautuu ZIP-tiedostona ja sisältää projektin kaikki kansiot sekä CSV-tiedostot. CSV-tiedosto voidaan syöttää mihin tahansa muuhun analysointi- tai testaustyökaluun.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää testausohjelmiston hyödyllisyys varoituslaitosprojekteissa, vertailla eri testausohjelmistoja ja lopulta luoda ohjeistus valitun testausohjelmiston käytöstä. Tämän lisäksi työssä oli tarkoitus syventyä varoituslaitoksiin teoreettisesti ja ymmärtää, miksi varoituslaitoksille tulee tehdä tarkka ja kattava testaus.

Insinööriyön tavoitteet saavutettiin ja NRC Group Finland Oy:n varoituslaitosprojekteissa tullaan jatkossa käyttämään TestPad-testausohjelmistoa. Testausohjelmisto on käyttäjäystävällisempi ja jäljitettävämpi kuin perinteiset Excel-taulukot.

Uusi testausympäristö helpottaa tulevien projektien vaatimustenmukaisuuden verifiointia ja validointia. Testausympäristöä voidaan käyttää myös muissa turvalaiteprojekteissa. Ohjeen avulla kyetään luomaan testitapauksia mihin tahansa projektiin.

Haasteita työhön toi testausohjelmistojen suuntaus ohjelmistomaailmaan. Työssä olisi ollut hyvä vertailla monipuolisimmin eri testausohjelmistoja, mutta käyttötarkoitukseen sovellettavia ohjelmistoja oli hyvin vaikea löytää ja niiden määrä oli suppea.

Työtä ei tehty erillisesti mihinkään tiettyyn projektiin, vaan sitä tullaan soveltamaan NRC Group Finland Oy:n Rautatiedivisioonan sähkörakentamisen suunnitteluyksikössä yleisellä tasolla. Jäljitettävien testitapauksien yhdistäminen vaatimuksiin helpottaa myös Safety Case ISA -tarkastajien työtä.

Työ valmistui ennalta sovitun aikataulun mukaan ja työn teossa ei ilmennyt suurempia vaikeuksia tai ongelmia.

Lähteet

- 1 Halme, Harri. 2021. Turvalaitesuunnittelija. NRC Group Finland Oy. Haastattelu: 17.12.2021.
- 2 Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6 Turvalaitteet. 2014. PDF-tiedosto. Väylävirasto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-07_rato6_web.pdf>. Luettu 25.12.2021.
- 3 SFS-EN 50126-2:2017, Railway Applications. The specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Part 1: Systems Approach to Safety. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Luettu 10.1.2022.
- 4 EN 50128:2011, Railway Applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Luettu 12.1.2022.
- 5 SFS-EN 50129:2018, Railway Applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Luettu 11.1.2022.
- 6 SFS-EN61508-5:2010, SÄHKÖISTEN/ELEKTRONISTEN/OHJELMOITAVIEN ELEKTRONISTEN TURVALLISUUTEEN LIITTYVIEN JÄRJESTELMIEN TOIMINNALLINEN TURVALLISUUS. OSA 5: ESIMERKKEJÄ MENETELMISTÄ TURVALLISUUDEN EHEYDEN TASOJEN MÄÄRITTÄMISEKSI. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Luettu 10.1.2022.
- 7 PLUTO Turvalogiikka Käyttöohjeet Tekniset tiedot Finnish v7A. PDF-tiedosto. ABB. <https://library.e.abb.com/public/be9c0290753d950ec12577fc00544d63/2TLC172001M1807_A.pdf>. Luettu 3.2.2022.
- 8 Lankinen, Tomi. 2022. FSM- functional safety management kurssi. Proxion Oy.
- 9 Features. Verkkoaineisto. TestPad. <<https://ontestpad.com/features>>. Luettu 25.1.2022.
- 10 Plans. Verkkoaineisto. TestPad. <<https://ontestpad.com/plans>>. Luettu 25.1.2022.
- 11 Our Story. Verkkoaineisto. TestRail. <<https://www.gurock.com/testrail/about/>>. Luettu 26.1.2022.

- 12 Comprehensive Test Case Management for Your Team. Verkkoaineisto. TestRail. <<https://www.gurock.com/testrail/tour/modern-test-management/>>. Luettu 26.1.2022.
- 13 Test Run Execution and Real-Time Results Tracking. Verkkoaineisto. TestRail. <<https://www.gurock.com/testrail/tour/test-runs-results/>>. Luettu 26.1.2022.
- 14 Seamless Integration with Jira and Dozens of Other Tools. Verkkoaineisto. TestRail. <<https://www.gurock.com/testrail/tour/testing-integration/>>. Luettu 26.1.2022.
- 15 TestRail Pricing. Verkkoaineisto. TestRail. <<https://www.gurock.com/testrail/pricing/>>. Luettu 26.1.2022.

Väyläviraston riskimatriisi

Väyläviraston riskimatriisin avulla havaituille vaaroille asetetaan toimenpideluokat. Toimenpideluokat määrittelevät jatkotoimenpiteiden suuruuden.

RISIKMATRIISI / RISKIN MERKITTÄVYYDEN ARVIOINTI

	TAPAHTUMAN SEURAUSTEN VAKAVUUS				
	1 Erittäin lieviä / vähäisiä	2 Lieviä / vähäisiä	3 Vakavia / kohtalaisia	4 Suuria	5 Erittäin suuria
Vahinkolaji					
Henkilövahinko	Erittäin lieviä loukkaantumisia, sairausloma alle 1 vrk	Lieviä loukkaantumisia, sairausloma alle 14 vrk	Vakavia loukkaantumisia, sairausloma yli 14 vrk	Kuolemantapauksia	Useita kuolemantapauksia
Omaisusvahinko	Erittäin vähäisiä omaisuus- tai liiketoimintavahinkoja	Vähäisiä omaisuus- tai liiketoimintavahinkoja	Kohtalaisia omaisuus- tai liiketoimintavahinkoja	Suuria omaisuus- tai liiketoimintavahinkoja	Erittäin suuria omaisuus- tai liiketoimintavahinkoja
Toiminnallinen haitta	Haittaa suunnittelun/urakoiden toteutusta Erittäin lieviä vaateita	Haittaa suunnittelun/urakoiden toteutusta Lievä vaateita	Haittaa suunnittelun/urakoiden toteutusta Kohtalaisia vaateita	Hanke viivästyy kuukauden Suuria vaateita	Hanke viivästyy useita kuukausia Erittäin suuria vaateita
Liikennevahinko	Ei liikennevahinkoa, vain liikennehaittaa	Vähäisiä liikennevahinkoja	Kohtalaisia liikennevahinkoja	Suuria liikennevahinkoja	Erittäin suuria liikennevahinkoja
Ympäristövahinko	Erittäin vähäisiä ympäristövahinkoja tai haittaa, erittäin helposti korjattavissa	Vähäisiä ympäristövahinkoja, lievää haittaa, helposti korjattavissa	Kohtalaisia ympäristövahinkoja/ haittaa, korjattavissa	Suuria ympäristövahinkoja, huomattavaa ja laajaa haittaa, korjattavissa	Erittäin suuria ympäristövahinkoja, vakavaa pitkävaikutteista haittaa, vaikeasti korjattavissa

TAPAHTUMAN TODENNÄKÖISYYS	
5 Erittäin yleinen	Esiintyy ainakin 10 kertaa vuodessa
4 Yleinen	Esiintyy ainakin kerran vuodessa
3 Satunnainen	Esiintyy ainakin kerran 10 vuodessa tai esiintyy ainakin kerran hankkeen toteutusaikana
2 Harvinainen	Esiintyy ainakin kerran 100 vuodessa tai esiintyy ainakin kerran hankkeen käytön aikana
1 Erittäin harvinainen	Esiintyy harvemmin kuin kerran 100 vuodessa Teoreettinen, ei tiedetä tapahtuneen rakentamisen tai käytön aikana

	1 Erittäin lieviä / vähäisiä	2 Lieviä / vähäisiä	3 Kohtalaisia	4 Suuria	5 Erittäin suuria
5 Erittäin yleinen	Vähäinen	Kohtalainen	Merkittävä	Sietämätön	Sietämätön
4 Yleinen	Merkityksetön	Vähäinen	Kohtalainen	Merkittävä	Sietämätön
3 Satunnainen	Merkityksetön	Vähäinen	Kohtalainen	Kohtalainen	Merkittävä
2 Harvinainen	Merkityksetön	Merkityksetön	Vähäinen	Kohtalainen	Merkittävä
1 Erittäin harvinainen	Merkityksetön	Merkityksetön	Merkityksetön	Vähäinen	Kohtalainen

TOIMENPIDELUOKAT	
Sietämätön	Välittömät toimenpiteet
Merkittävä	Toimenpiteet menellään olevassa suunnitteluvaiheessa
Kohtalainen	Toimenpiteet suunniteltava
Vähäinen	Seurataan
Merkityksetön	Ei tarvita toimenpiteitä