

Juho Jussila

ATEX-valaisimen tyyppihyväksyntämittaukset

Atexor Oy

Opinnäytetyö

Syksy 2018

SeAMK Tekniikka

Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Juho Jussila

Työn nimi: ATEX-valaisimen tyyppihyväksyntämittaukset

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2018

Sivumäärä: 56

Atexor Oy valmistaa räjähdysvaarallisiin tiloihin käytettäväksi tarkoitettuja valaisimia. Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin yrityksen SLAM Star -syväsiteilijän valomoduulin ATEX-määräyksiin ja rakenteen tyyppihyväksyntämittauksiin.

Valomoduulin rakennetta kehitettiin niin, että sen valaminen helpottui. Tyyppitestimittausten avulla selvitettiin, muuttuuko valomoduulin lämpötilat oleellisesti ja kestääkö uusi valumassarakenne olosuhdekokeen. Työn ensisijaisena tavoitteena oli suorittaa standardien mukaiset tyyppihyväksyntämittaukset sertifikaattien päivitystä varten ja tutkia standardien määräysten yhteyttä tyyppitestimittausten kulkuun. Työssä perehdyttiin myös mittauksissa käytettyihin mittauslaitteisiin ja niiden toimintaan. Tyyppitestien tulosten avulla pyrittiin päivittämään laitteen sertifikaatit, joilla valomoduulin päivitetty versio saatiin tuotantoon.

Käyttölämpötilamittauksella selvitettiin laitteen suurin käyttölämpötila ottamatta huomioon sen vikatiloja. Maksimi pintalämpötilan mittauksella selvitettiin valomoduulin suurin lämpötila laitteelle epäsuotuisimmissa olosuhteissa ja laitteen lämpötilaluokka. Käyttölämpötilamittausten tulosten perusteella valomoduulille suoritettiin olosuhdekoe, jonka avulla selvitettiin uuden valumassarakenteen kesto erilaisissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Atexor Oy:lla tehtyjen tyyppitestien mittaustulokset ja olosuhdekokeessa olleet valomoduulit lähetettiin VTT:lle arvioitaviksi ja jatkotestattavaksi.

SLAM Star -syväsiteilijän valomoduulin rakenteen alumiiniprofiilin muutos ja valuaineen vaihto nopeuttavat ja helpottavat valomoduulien tuotantoa. Opinnäytetyön lopputuloksena päivitettiin SLAM Star -syväsiteilijän sertifikaatit ja valomoduulin uusi versio saatiin tuotantoon.

Avainsanat: valaisimet, standardit, tyyppihyväksyntä, lämpötila, räjähdysonnettomuudet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Juho Jussila

Title of thesis: Type approval test measurements for an ATEX-light

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2018

Number of pages: 56

Atexor Oy manufactures lighting fixtures for explosive hazardous areas. This thesis focused on the ATEX-regulations and the type approval tests concerning the further developed lighting module of the company's SLAM Star floodlight.

The objective was to further develop the structure of the light module so that it is easier to cast. Type approval measurements were made to test that the temperatures of the product would not change substantially and to see whether the new cast structure stands the endurance test. The primary object of this thesis was to carry out the standard type approval tests for the certification update and to examine the relationship between the standards related to the type test measurements. The thesis also focused more on measuring devices and how they work. The results of the type tests were used to update the certificates so that the production of the new version of the light module could be started.

A service temperature measurement was used to determine the highest service temperature, excluding malfunction situations. The test for determining the maximum surface temperature was performed to find out the maximum surface temperature under the most unfavorable conditions. At the same time, also the temperature class of the device was defined. The endurance test for the light module was run based on the results of the service temperature measurement to determine the durability of the new structure in various temperature and humidity conditions. The measurement results of the type tests made at Atexor Oy and the light modules used in the endurance test were sent to VTT for evaluation and further testing.

The improvements of the aluminium profile and the changing of the casting agent were found to accelerate and facilitate the production of the light modules. The research was considered successful because as the result of the updated certificates of the SLAM Star floodlight the production of the new version of the light module could be started.

Keywords: lamps, standards, approval, temperature, explosion accidents

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Yritysesittely.....	9
1.2 Työn tausta ja tutkimusongelma.....	9
1.3 Työn tavoitteet ja rajaus.....	12
2 ATEX-MÄÄRÄYKSET.....	13
2.1 Valaisimen määrittely.....	13
2.2 Sähkölaitteiden Ex-standardit.....	14
2.2.1 IEC 60079-0-standardi.....	16
2.2.1 IEC 60079-7-standardi.....	16
2.2.2 IEC 60079-18-standardi.....	17
2.2.3 IEC 60079-28-standardi.....	18
2.3 Ex-laitteen määrittely.....	19
2.3.1 Tilaluokitus.....	19
2.3.2 Laiteryhmä ja laiteluokitus.....	20
2.3.3 Lämpötilaluokitus ja lämpötila-alue.....	22
2.3.4 Räjähdyssuojaustaso.....	23
2.3.5 Laitteiden merkinnät.....	25
2.4 Esimerkki lopullisesta merkinnästä.....	25
3 TYYPPIHYVÄKSYNTÄMITTAUKSET.....	28
3.1 Prosessikuvaus.....	28
3.2 Rakenteen jatkokehitys.....	30
3.3 Mittauksissa käytetyt mittalaitteet.....	31
3.3.1 Pico TC-08 -termoparidataloggeri.....	32
3.3.2 K-tyyppin termoparianturi.....	33
3.3.3 Fluke Scopemeter 123 -oskilloskooppiyleismittari.....	34

3.3.4	Fluke Ti10 -lämpökamera	35
3.3.5	Espec PL-4KPH -sääkaappi.....	36
3.4	Lämpötilamittaukset ja niiden vaatimukset.....	37
3.4.1	Käyttölämpötilan mittaus	38
3.4.2	Maksimi pintalämpötilan mittaus	40
3.5	Olosuhdekoe	41
3.5.1	Terminen lämmönkestävyydesti	43
3.5.2	Terminen kylmänkestävyydesti	44
4	TULOKSET	46
4.1	Lämpötilamittaukset	46
4.2	Olosuhdekoe	49
4.3	Sertifikaattien päivitys	49
4.4	Valuprosessin aika ja hukka.....	50
5	YHTEENVETO.....	52
	LÄHTEET	54

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. SLAM Star -syväsäteilijävalaisin.	10
Kuva 2. PicoLog TC-08 -termoparidataloggerit.	32
Kuva 3. K-tyypin termoparianturi.	33
Kuva 4. Fluke 123 Scopemeter -oskilloskooppiyleismittari.	34
Kuva 5. 0i-110s AC/DC-virtapihti oskilloskoopeille.	34
Kuva 6. Fluke Ti10 -lämpökamera.	35
Kuva 7. Valomoduulin kuumimman pisteen määrittäminen lämpökameralla.	39
Kuva 8. Valomoduulit sijoitettuna sääkaappiin.	42
Kuvio 1. Vanhan valomoduulin valuainehukka.	11
Kuvio 2. IEC-, EN- ja SFS-EN standardien välinen suhde.	15
Kuvio 3. Räjähdyssuojauksen merkintä.	25
Kuvio 4. SLAM Starin tyyppikilpi.	26
Kuvio 5. Prosessikaavio valomoduulin jatkokehitysprosessista.	29
Kuvio 6. SLAM Star -valomoduulin poikkileikkaus.	30
Kuvio 7. SLAM Star -valomoduulin räjäytyskuva.	31
Kuvio 8. Olosuhdekaapin toimintaperiaate.	37
Kuvio 9. Olosuhdekokeen ohjelman määrittely valomoduuleille ERC-100S- ohjelmistossa.	43
Kuvio 10. Valomoduulin suurimmat lämpenemät.	49

Kuvio 11. Päivitetty SLAM Starin tyyppikilpi.....	50
Taulukko 1. Vanhan valomoduulin valuainehukka.	11
Taulukko 2. Tilaluokituksen määräytyminen kaasuille.	20
Taulukko 3. Räjähdyssryhmät ja niissä sallitut laiteryhmät.	21
Taulukko 4. Tilaluokituksen mukainen laiteluokitus laiteryhmässä II.....	22
Taulukko 5. Tilaluokan mukaan vaadittu räjähdysuojaustaso kaasuille.	22
Taulukko 6. Maksimi pintalämpötilan luokitus laiteryhmän II sähkölaitteille.	23
Taulukko 7. Ympäristön lämpötila ja sen lisämerkintä.	23
Taulukko 8. Räjähdyssuojaustason tunnuksset.....	24
Taulukko 9. Termisen lämmönkestävyyden testiolosuhteiden määrittäminen.	44
Taulukko 10. Käyttölämpötilan mittaustulokset.	47
Taulukko 11. Maksimi pintalämpötilan mittaustulokset.	48
Taulukko 12. Valuprosessiin kulunut aika minuutteina.....	51

Käytetyt termit ja lyhenteet

ATEX	Atmosphères Explosibles, räjähdysvaarallinen tila.
EESF	Eurofins Expert Services Oy.
EN	Euroopan standardoimisjärjestö CEN:ssä vahvistettu standardin tunnus.
EPL	Equipment Protection Level, laitteelle ilmoitettu räjähdys-suojaustaso.
IEC	International Electrotechnical Commission.
IECEX	International Electrotechnical Commission Explosive.
IP-luokitus	Euroopassa käytettävä koteloluokitusjärjestelmä sähkölaitteiden pöly- ja kosteustiiviyden määrittämiseksi.
LED	Light-emitting diode, valoa säteilevä puolijohdekomponentti.
SFS	Suomessa vahvistettu standardin tunnus.
SLAM	Atexor Oy:n valaisintuoteperhe.
Standardi	Yleisesti hyväksytty käytäntö ja/tai toimintatapa, eli normi.
Termopari	Lämpötilamittauksissa käytettävä mittausanturi.
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.
Vakumointi	Ilman poistaminen valuaineesta alipaineen avulla.
Valomoduuli	SLAM Star syväsäteilijävalaisimen valaisinosa.
Valuaine	Aine, joka valetaan valomoduulin sisälle.
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

1 JOHDANTO

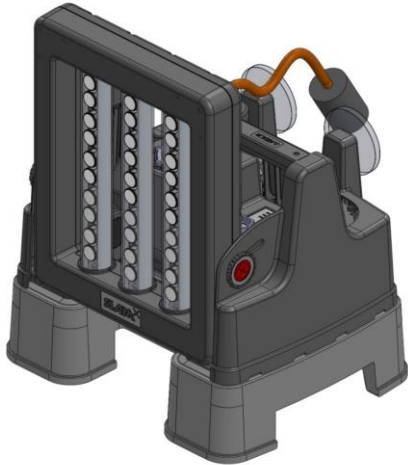
1.1 Yritysesittely

Atexor Oy valmistaa ja myy räjähdysvaarallisiin tiloihin käytettäväksi tarkoitettuja siirrettäviä valaisimia. Toiminta alkoi syksyllä 2013, jolloin Mica Elektro Oy ja Centaurea Oy yhdistyivät. Atexor Oy on osa suomalaista perheyrityskonserni Teknoweria. Ryhmään kuuluu myös Lahdessa sijaitseva ajoneuvo- ja turvavalaisimia valmistava Teknoware Oy sekä LED-näyttökokonaisuuksia huoltoasemille ja pysäköintiratkaisuja parkkihalleille valmistava FLS Finland Oy Raisiossa. (Kaski 2018.)

Tuotevalikoimaan kuuluvat ammattikäyttöön ja räjähdysvaarallisiin tiloihin käytettäväksi tarkoitettut siirrettävät, kiinteät sekä ladattavat käsivalaisimet. Tuotevalikoimaan kuuluvat myös valaisimien lisätarvikkeet, sekä valaistusjärjestelmissä käytettävät siirrettävät muuntajat ja jatkojohdot keloineen. Tuotteita käytetään erityisesti öljyteollisuudessa, julkisen liikenteen, kuten juna- ja lentoliikenteen, toiminnoissa, pelastustoimessa, maanpuolustuksessa ja puolijohdeteollisuudessa. (Atexor Oy, [Viitattu 6.8.2018].)

1.2 Työn tausta ja tutkimusongelma

Atexor Oy:lla on tuoteperhe nimeltään SLAM, joka käsittää siirrettävät valaistusratkaisut sekä niiden lisätarvikkeet, kuten muuntajat ja jatkojohdot (Atexor Oy, [Viitattu 6.8.2018]). Kuvassa 1 on esitetty SLAM Star, joka on yksi tämän tuoteperheen tuotteista. SLAM Star on iskunkestävä räjähdysluokiteltu muovirunkoinen siirrettävä syvästeilijävalaisin, jonka valaisinosa käsittää kolme vierekkäin olevaa LED-valomodulia. Tässä työssä perehdyttiin SLAM Star -valomodulin jatkokehityksen tyyppi- hyväksyntämittauksiin.



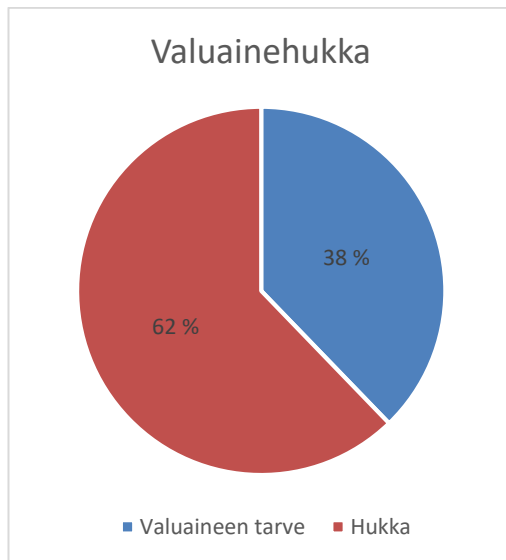
Kuva 1. SLAM Star -syvästeilijävalaisin.
(Atexor Oy, [Viitattu 6.8.2018].)

Tämä tutkimustyö sai alkunsa tuotannosta saatujen kehitysehdotusten perusteella. Valomoduulin tuotannossa ongelmana oli ilmakuplien syntyminen valumassaan valun aikana ja niiden jääminen rakenteeseen. Konster (2018) katsoi tämän johtuvan siitä, että valumassa eteni valun aikana epätasaisesti rakenteen sisällä johtuen liian ahtaaksi mitoitettuun alumiiniprofiiliin ja suojaputken välyksestä. Ilmakuplien syntyminen ja epätasaiseen virtaukseen yritettiin vaikuttaa tuotannossa muuttamalla valomoduulin valamisasentoa ja valuttamalla läpi valumassaa niin kauan, että ilmatas-kuista syntyvät ilmakuplat saatiin pois rakenteesta.

Läpivalutuksen takia valomoduuliin kului valuainetta ja tuotantoaika suunniteltua enemmän. Työtapojen muuttamisesta huolimatta rakenteeseen saattoi jäädä näkyviä ilmakuplia, jotka johtivat valomoduulin hylkäykseen. Noin 9 prosenttia valomoduuleista hylättiin näkyvien ilmakuplien takia (Perkiö 2018). Valuaineen kulutusta tutkittiin tuotannon valupäiväkirjan avulla. Taulukossa 1 on esitetty vanhan valomoduulin valuprosessin valuainekulutusta keskimääräisen tuotantoerän ollessa 48 valomoduulia. Tuotannon valuaineen käyttömäärästä voitiin päätellä, että vanhoihin valomoduuleihin kuluneen valuaineen hukka oli peräti 62 % (kuviot 1).

Taulukko 1. Vanhan valomoduulin valuainehukka.

Keskimääräinen tuotantoerä	48	kpl
Tarve/valomoduuli	170	g
Valuaineen tarve	8160	g
Kulutus/valomoduuli	450	g
Valuaineen kokonaiskulutus	21600	g
Hukka	13440	g



Kuvio 1. Vanhan valomoduulin valuainehukka.

Valomoduulin ensimmäinen versio sertifioitiin 29.02.2016 (VTT Expert Services Ltd, Sulonen, Koskela & Sirola 2016), jonka jälkeen sen rakenteeseen ei ollut tehty muutoksia. Valomoduulia varten kehitettiin vuonna 2017 uusi kapeampi alumiiniprofiili, mutta sitä ei oltu otettu käyttöön lämpötilamittausten puuttumisen takia. Uutta profiilia oli tilattu varastoon kymmenen kappaleen erä tyyppitestauksia varten. Uutta valumassaa käytettiin jo onnistuneesti toisen Atexor Oy:n vastaavanlaisen valaisintuotteen kanssa, joten se haluttiin myös käyttöön SLAM Star -valomoduulin kanssa, koska uuden valumassan asetus aika oli parempi kuin vanhalla valumassalla.

Alumiiniprofiilin, valumassan ja rakenteen muiden materiaalien muutoksien takia laitesertifikaatit jouduttiin päivittämään. Sertifikaattien päivitykseen vaadittiin Atexor Oy:lla tehtävät lämpötilamittaukset ja olosuhdekoe, joiden testiraportit ja -kappaleet lähetettiin VTT:lle arvioitaviksi ja jatkotestattavaksi. Tulosten hyväksymisen jälkeen

laitteen IECEx- ja tyyppisertifikaatit päivitetään ja uusi valomoduuli voidaan ottaa tuotantoon. Tyyppitestaukset ja sertifiointi vaaditaan standardissa:

Valmistajan tulee tehdä kaikki tarpeelliset arvioinnit ja testit varmistuakseen, että valmistetut sähkölaitteet ovat dokumentin mukaiset (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 28.1).

Valmistajan täytyy tai on täytynyt laatia sertifikaatti, jossa vakuutetaan, että laite täyttää tämän standardin, sen muiden soveltuvien osien sekä kohdassa 1 mainittujen muiden standardien vaatimukset. Sertifikaatti voi koskea Ex-laitetta tai Ex-komponenttia. (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 28.2.)

1.3 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää valomoduulista sellainen, että sen valaminen helpottuu ja tuotanto tehostuu. Opinnäytetyön teoriaosuudessa tutkitaan tuotetta käsitteleviä Ex-standardeja ja tavoitteena on hyödyntää niitä tuotteen jatkokehityksessä ja tyyppitestimittauksissa. Opinnäytetyön käytännön osuudessa suoritetaan sertifiointiin liittyvät lämpötilamittaukset ja olosuhdekoe, joiden tulosten hyväksymisen ja sertifikaattien päivityksen jälkeen valomoduulin uusi versio voidaan ottaa tuotantoon.

Työ rajattiin käsittämään valomoduulin jatkokehitykseen liittyvät Atexor Oy:lla suoritettavat tyyppihyväksyntämittaukset ja mittauslaitteet. Työ painottuu SLAM Star-syväsiteilijän Ex-standardien ja merkintöjen tutkimiseen sekä niiden hyödyntämiseen tyyppihyväksyntämittauksissa. Työn loppuosassa käsitellään lämpötilamittausten ja olosuhdekokeen tulokset ja uuden valomoduulin vaikutukset valuprosessiin. Osien suunnittelua, valmistusta, kustannuksia ja Atexor Oy:n ulkopuolella suoritettavia tyyppihyväksyntämittauksia ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

2 ATEX-MÄÄRÄYKSET

Räjähdysvaaralliset tilat ovat vaativia työskentely-ympäristöjä. Sähkölaitteesta tai sen käsittelystä johtuvat kipinät tai ylikuumentuminen voivat aiheuttaa laitetta ympäröivän kaasua tai pölyä sisältävän ilmaseoksen räjähdysmäisen syttymisen. Romanissa Havukka-ahon ajattelija kirjan itseoppinut filosofi Konsta Pylkkänen kuvailee räjähdysturvallisen valaisimen tärkeyttä:

Jos minä olisin saanut tuliketun ammuttua, niin tottapa minä olisin miljoonaa tai triljoonaa rikkaampi. Tuliketun nahkaa käytetään tynamenttitehtaissa lamppuna. Siksi ne tykkisihteerit ja tynamenttikonsulentit antaa kevyesti heinähäkillisen rahoja, sillä jos tynamenttikeittiö posahtaisi öljylampun kipinästä ilmaan, niin pommisepälle tulisi kiusallinen työseisäus. (Huovinen 1962, 18.)

Räjähdysvaarallisten tilojen käyttöä ja laitteiden valintaa on säännelty ATEX-direktiiveillä. Direktiivien vaatimukset toteutetaan käytännössä standardien määrittämiä soveltamalla. (SESKO ry 2014.)

2.1 Valaisimen määrittely

Standardi SFS-EN 60598-1 määrittelee yleiset määräykset ja vaatimukset valaisimien luokittelusta, merkinnöistä ja testauksesta. Se sisältää kaikki sähköiseen, termiseen ja mekaaniseen turvallisuuteen liittyvät valaisimien vaatimukset. (SFS-EN 60598-1 + A11 2009, 7.) Standardin ensimmäinen luku esittää yleiset valaisimiin sovellettavat määritelmät. Valaisimeksi määritellään rakenne, jonka osana on yksi tai useampi lamppu.

Valaisimen on oltava siten suunniteltu ja rakennettu, että se toimii normaalissa käytössä turvallisesti eikä aiheuta vaaraa ihmisille tai ympäristölle (SFS-EN 60598-1 + A11 2009, 10).

Laite, joka jakaa, suodattaa tai muuntaa yhdestä tai useammasta lampusta lähtevän valon ja joka sisältää kaikki lamppujen kannattamiseen, kiinnittämiseen ja suojaamiseen tarvittavat osat, mutta ei itse lamppuja, sekä tarvittaessa virtapiirissä olevat apulaitteet ja niiden verkkoon liittämiseen käytettävät laitteet (SFS-EN 60598-1 + A11 2009, 14).

Standardissa käsitellään valaisimien luokittelua. Valaisimen suojausluokat kertovat, miten ne on suojattu sähköiskua vastaan. Kotelointiluokat kertovat, miten valaisimet on suojattu pölyn, kiinteiden esineiden ja kosteuden sisään tunkeutumiselta. Käyttöolosuhteiden luokittelulla määritellään, soveltuuko valaisin normaaliin vai rajuun käyttöön. Standardi määrittelee myös kiinnitysluokat, joiden avulla määritellään, millaiselle alustalle valaisin voidaan asentaa. (SFS-EN 60598-1 + A11 2009, 27.) Standardissa määritellään kiinteä ja siirrettävä valaisin seuraavasti:

Kiinteä valaisin on valaisin, jota ei voi helposti siirtää paikasta toiseen joko siksi, että kiinnitys on sellainen, että valaisin voidaan siirtää vain työkaluja käyttämällä tai siksi, että valaisin on tarkoitettu käytettäväksi paikassa, johon on vaikea ulottua (SFS-EN 60598-1 + A11 2009, 15).

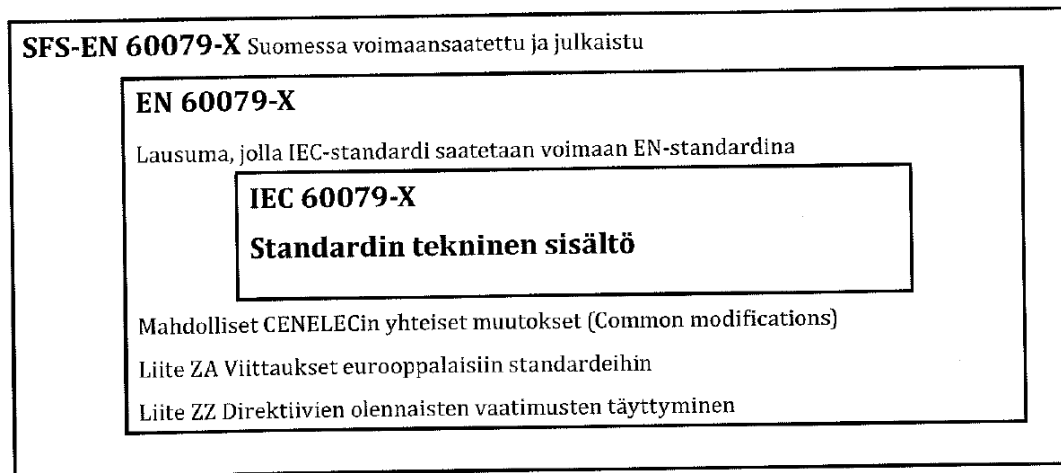
Siirrettävä valaisin on valaisin, joka voidaan normaalissa käytössä siirtää paikasta toiseen valaisimen ollessa sähköverkkoon kytkettynä (SFS-EN 60598-1 + A11 2009, 15).

Standardissa esitetään, kuinka valaisimen tiedot on merkittävä. Merkinnät on oltava valaisimessa pysyvästi selvästi näkyvällä paikalla tai irrotettavan kannen takana ennen laitteen asennusta ja myös valaisimen asennuksen jälkeen. Laitemerkinnöistä kerrotaan tarkemmin tutkimustyön Ex-laitteen määrittelyssä.

Merkinnän on oltava nähtävissä valaisimen ulkopinnalla (ei kuitenkaan asennusalustan puolelta) tai kannen takana, joka on avattava lampun tai muun vaihdettavissa olevan komponentin vaihdon yhteydessä (SFS-EN 60598-1 + A11 2009, 28).

2.2 Sähkölaitteiden Ex-standardit

Räjähdysvaarallisten tilojen sähkölaitteiden IEC 60079-sarjan standardeista suurin osa on IEC TC 31-komitean valmistelemia. IEC-60079-sarja vahvistetaan pienin lisäyksin EN-60079-sarjaksi ja EN-standardit vahvistetaan SFS-EN-standardeiksi. (Nurmi, [Viitattu 23.8.2018].) Standardien välinen suhde selviää kuvioista 2.



Kuvio 2. IEC-, EN- ja SFS-EN standardien välinen suhde.
(SESKO ry 2018, 12.)

SLAM Star -syvästeilijän tyyppisertifikaatti VTT 15 ATEX 077 määrittelee laitetta koskevat standardit. Standardit ovat tällä hetkellä saatavissa vain englanninkielisinä, paitsi IEC 60079-0, josta on vahvistettu suomenkielinen versio SFS-EN 60079-0. Standardeja on joiltakin osin päivitetty ja tarkennettu edellisen sertifiointin jälkeen.

Seuraavaksi käsitellään SLAM Star -syvästeilijää koskevat tyyppisertifikaatissa VTT 15 ATEX 077 luetellut standardit:

- IEC 60079-0, Explosive atmospheres - Part 0: Equipment – General requirements (2012)
- IEC 60079-7, Explosive atmospheres - Part 7: Equipment protection by increased safety "e" (2015)
- IEC 60079-18, Explosive atmospheres - Part 18: Equipment protection by encapsulation "m" (2015)
- IEC 60079-28, Explosive atmospheres - Part 28: Protection of equipment and transmission systems using optical radiation (2007) (VTT Expert Services Ltd, Sulonen, Koskela & Sirola 2016.)

2.2.1 IEC 60079-0-standardi

IEC 60079-0 on yleisvaatimusstandardi, joka määrittelee räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävien sähkölaitteiden ja komponenttien yleiset rakenne-, testaus- ja merkintävaatimukset.

This part of IEC 60079 specifies the general requirements of construction, testing and marking of electrical equipment and Ex components intended for use in explosive atmospheres (IEC 60079-0 2011, kohta 1).

Standardia täydennetään ja muutetaan 16 eri räjähdysuojusrakenteita koskevalla standardien laajennusosalla. Standardissa viitataan myös 65 muuhun standardiin. Ex-sähkölaitteiden ja Ex-komponenttien on täytettävä yhden tai useamman standardin kohdassa 1 mainitun erityisstandardin vaatimukset (IEC 60079-0 2011, kohta 1). Standardi määrittelee, että laitteen koekappale tulee testata tämän sekä muiden erityisstandardien edellyttämien tyyppitestausta koskevien vaatimusten mukaisesti. Kaikki tehdyt testit on dokumentoitava. Tarpeettomiksi katsotut tyyppitestit voidaan jättää suorittamatta ja ne tulee perustella dokumentissa. (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.1.) Sähkölaitteelle tehtävissä testeissä on käytettävä laitteen vikaantumisherkkyden kannalta epäedullisimpana pidettyä kokoonpanoa (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.2.)

2.2.1 IEC 60079-7-standardi

Standardi IEC 60079-7 määrittelee varmennetun rakenteen, jota merkitään symbolilla "e". Tämän standardin täyttämässä laitteessa on pyritty saavuttamaan rakenteellisin keinoin suurempi turvallisuus verrattuna normaalirakenteisiin sähkölaitteisiin. Rakenne sopii laitteille, joissa ei normaalikäytössä esiinny kuumia pintoja, kipinöintiä tai valokaaria. (Nurmi, [Viitattu 23.8.2018].) Standardi määrittellään seuraavasti:

This part of IEC 60079 specifies the requirements for the design, construction, testing and marking of electrical equipment and Ex Components with type of protection increased safety "e" intended for use in explosive gas atmospheres (IEC 60079-72 2015, kohta 1).

2.2.2 IEC 60079-18-standardi

Standardi IEC 60079-18 määrittelee laitteen suojauksen massavalurakenteella. Tämän standardin täyttävä laite merkitään symbolilla "m". Massavalulla toteutetussa rakenteessa laitteen rakenne tai sen osa valetaan massaan siten, että ulkopuolinen räjähdyskelpoinen seos, kuten kaasu tai pöly, ei pääse kosketuksiin vaaraa aiheuttavien osien kanssa. Standardissa kerrotaan, mitä ominaisuuksia massan tulee täyttää ja kuinka paksusti massaa on oltava. (Nurmi, [Viitattu 23.8.2018].) Standardi määritellään seuraavasti:

This part of IEC 60079 gives specific requirements for the construction, testing and marking of electrical equipment, parts of electrical equipment and Ex components with the type of protection encapsulation "m" intended for use in explosive gas atmospheres or explosive dust atmospheres (IEC 60079-18 2014, kohta 1).

Kotelointiluokitus m on ylläpidettävä standardin IEC 60079-0 mukaisesti epäsuotuisammassa sähkökuormassa. Suojaustasolla ma kotelointiluokitus on ylläpidettävä yhden tai kahden rakenteen sisäisen vian ilmetessä. Suojaustasossa mb sallitaan vain yksi sisäinen laitevika. Vikatiloja ei huomioida suojaustasossa mc. Vikatiloiksi luokitellaan oikosulku missä tahansa rakenteen komponentissa tai vika piirilevyn kytkentäkuviossa. (IEC 60079-18 2014, kohta 7.2.)

Massavalun seoksen käyttölämpötila ei saa ylittää aineen jatkuvaa käyttölämpötilarvoa. Seoksen maksimi pintalämpötila määritellään standardin IEC 60079-0 mukaisesti normaalissa käyttölämpötilassa ja laitteen vikalämpötilassa. Laite tulee suojata niin, ettei se vaikuta m-luokituksen määrittelyyn. Laitteen kuumin osa tulee määrittellä lämpötilamittauksilla sen normaalille käyttölämpötilalle. Mahdollinen laitteen vikatilasta johtuva ylikuumeneminen on otettava huomioon lämpötilojen rajaamisessa. Lämpötilan nousemista rajoittava sähköinen komponentti tai erillinen lämpölaite on oltava erillinen rakenne tai kiinni laitteen rakenteessa. (IEC 60079-18 2014, kohta 6.2.)

2.2.3 IEC 60079-28-standardi

Standardi IEC 60079-28-standardi määrittelee optista säteilyä käyttävien laitteiden ja siirtojärjestelmien suojauksen. Standardi määrittelee varotoimet, vaatimukset ja testimenetelmät räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäville laitteille, joista vapautuu optista säteilyä. Standardi määrittelee testitavan, jolla voidaan määrittellä optisen säteilyn kyky aiheuttaa syttymisvaara tietyissä olosuhteissa. (IEC 60079-28 2015, kohta 1.) Tämän standardin täyttävä laite merkitään symbolilla "op is", "op pr" tai "op sh" (IEC 60079-28 2015, kohta 3.8.)

This part of IEC 60079 specifies the requirements, testing and marking of equipment emitting optical radiation intended for use in explosive atmospheres. It also covers equipment located outside the explosive atmosphere or protected by a Type of Protection listed in IEC 60079-0, but which generated optical radiation that is intended to enter an explosive atmosphere. (IEC 60079-28 2015, kohta 1.)

Standardin täyttävän laitteen tyyppi määräytyy laitteen suojaustyyppin mukaan. Suojaustyyppit voidaan luokitella kolmeen eri suojaustyyppiin, joita merkitään kirjainsymboleilla. Symboli "op is" tarkoittaa luonnostaan turvallisen optisen säteilyn rakennetta, jossa näkyvä optinen säteily tai infrapunasäteily eivät voi energiallaan aiheuttaa syttymisvaaraa räjähdysvaarallisessa ympäristössä normaalitilanteessa tai epäsuotuisessa ympäristössä (IEC 60079-28 2015, kohta 5.2.) Lyhenne op is tulee sanoista optically ja inherently safe. Tällaisessa tuotteessa valon säteily ei voi aiheuttaa syttymislähdettä. (Rintala 2018.) Optinen säteily ei itsessään aiheuta vaaraa puhtaalla valaisinpinnalla. Optisen säteilyn aiheuttama syttymisvaara johtuu valaisimen pinnalle valonlähteen lähelle kertyvästä liasta, johon optinen säteily keskittyy:

In a nutshell, the main risk from optical radiation is this: when a high-powered LED luminaire gets dirty, the dirt absorbs optical radiation energy, causing temperatures to rise and potentially creating an ignition source which may cause an explosion (Rintala 2018).

Symboli "op pr" tarkoittaa rakennetta, jossa säteily on rajattu optisen kuidun tai muun siirtotavan avulla sillä oletuksella, ettei säteily pääse karkaamaan rakenteesta. Suojaustyyppin tapauksessa säteilyn rajauksen suorituskyky määrittelee laitteen suojaustason (IEC 60079-28, 2015, kohta 5.3.) Symboli "op sh" tarkoittaa optista järjestelmää optisen kuidun murtumisen lukituksella. Suojaustyyppiä voidaan

soveltaa tilanteessa, jossa optisen säteilyn rajaaminen pettää ja syttymisvaaran aiheuttava säteily vapautuu ennen syttymisviivettä. (IEC 60079-28 2015, kohta 5.4.)

2.3 Ex-laitteen määrittely

Sähkölaitteiden räjähdysuojauksen periaatteena on, että laitteen rakenteessa ei synny vaarallista lämpötilaa tai kipinöitä. Laitteen rakenne myös eristetään siten, että sen sisäpuolella tapahtuva räjähdys ei sytytä ulkopuolista räjähtävää seosta. (Nurmi, [Viitattu 23.8.2018].)

Ympäristön räjähdysvaaran tason arviointi kuuluu työnantajalle, jonka tehtävä on täyttää räjähdysuojausasiakirja havaintojen perusteella. Räjähdysuojausasiakirjassa arvioidaan ympäristön räjähdysvaara, tilaluokitus ja käytettävien laitteiden asianmukaisuus, luokiteltujen tilojen asianmukainen merkitseminen, työvälineiden käytön valvonta ja asianmukaisten suojaustoimenpiteiden toteuttaminen. (Tukes 2017, 4.) Käyttöympäristön räjähdysvaarallisten kaasujen, pölyjen esiintyvyyden ja pitoisuuksien avulla selvitetään tilaluokitus ja ympäröivän ilmaseoksen räjähdys- ja syttymisryhmät (Tukes 2017, 18-19).

Sähkölaitteiden valinta tehdään standardin SFS EN 60079-14 mukaan, joka koskee sähköasennuksia. Räjähdysvaaralliseen tilaan valittavassa sähkölaitteessa tulee ottaa huomioon käyttöympäristön tilaluokka, ympäristössä esiintyvien ilmaseosten räjähdysryhmät ja niiden syttymislämpötilat sekä myös ympäristön olosuhteet ja lämpötila. (Nurmi, [Viitattu 23.8.2018].) Tutkimustyössä keskitytään kaasuräjähdysvaarallisten tilojen laitteisiin, koska SLAM Star-syvässäteilijää ei ole luokiteltu pölyräjähdysvaarallisiin tiloihin (VTT Expert Services Ltd, Sulonen, Koskela & Sirola 2016).

2.3.1 Tilaluokitus

Räjähdysvaarallisille tiloille on tehtävä tilaluokitus, joka on räjähdyskelpoisia ilma-seoksia sisältävän ympäristön luokittelumenetelmä. Räjähdysvaarallisia tiloja ovat

sellaiset vyöhykkeet, joissa räjähdyskelpoista ilmaseosta voi esiintyä. Tilaluokituksen perusteella määräytyy tiloissa olevien laitteiden turvallisuusvaatimukset. (Tukes 2017, 15). Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu kuuluu työnantajalle (Nurmi, [Viitattu 23.8.2018]). Tilaluokitus perustuu tehtyihin laskelmiin ja ympäristön kaasujen pitoisuusmittauksiin. Tilaluokitus esitetään taso- ja leikkauspiirustuksina, joista käy ilmi eri tilaluokat ja niiden laajuudet. Tilaluokituksen toteutustapa, tulokset ja perusteet tulee esittää myös sanallisesti. (Tukes 2017, 15-16.) Tilat, joissa esiintyy räjähdysvaarallisia ilmaseoksia, luokitellaan kolmeen eri tilaluokkaan riskitason perusteella taulukossa 2. Kaasua sisältävät ympäristöt luokitellaan tilaluokkiin 0-2.

Taulukko 2. Tilaluokituksen määräytyminen kaasuille.
(Tukes 2017, 16.)

Tilaluokka 0	Tila, jossa ilman tai kaasun muodostama räjähdyskelpoinen seos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Tilaluokka 1	Tila, jossa ilman tai kaasun muodostama räjähdyskelpoinen seos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
Tilaluokka 2	Tila, jossa ilman tai kaasun muodostuminen normaaleissa olosuhteissa on epätodennäköistä ja se kestää vain lyhyen ajan.

2.3.2 Laiteryhmä ja laiteluokitus

Räjähdysvaarallisten ympäristöjen sähkölaitteet ryhmitellään kolmeen laiteryhmään tilaluokituksen mukaan. Ryhmä I on kaivoskaasuille altistuville sähkölaitteille. Sähkölaitteet, jotka kuuluvat ryhmään II, on tarkoitettu kaasuräjähdysvaarallisiin tiloihin, lukuun ottamatta kaivoskaasun altistamia tiloja. Ryhmän II laitteet luokitellaan räjähdysryhmiin IIA, IIB ja IIC (taulukko 3). Jos sähkölaite altistuu käytössä vain tietylle kaasulle, kaasun kemiallinen kaava tai kaasun nimi merkitään sulkeisiin laiteryhmän tunnuksen perään. (IEC 60079-0 2011, kohta 29.4). Ryhmän III laitteet soveltuvat paikkoihin, joissa esiintyy räjähdysvaarallista pölyä (IEC 60079-0 2011, kohta 4.3). Koska SLAM Star -syväsäteilijä luokitellaan ryhmän II laitteisiin, tutkimustyössä keskitytään laiteryhmän II määrityksiin.

Taulukko 3. Räjähdyssryhmät ja niissä sallitut laiteryhmät.
(SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 4.2.)

Käyttöympäristön kaasun tai höyryn räjähdysryhmä	Tyypillinen räjähtävä kaasu	Sallittu laiteryhmä
IIA	Propaani	II, IIA, IIB tai IIC
IIB	Eteeni	II, IIB tai IIC
IIC	Vety	II tai IIC

Tilaluokka asettaa vaatimukset räjähdysvaarallisessa ympäristössä käytettävälle laitteelle (Tukes 2017, 18). Laiteluokat on lueteltu taulukossa 4. Laiteluokassa 1 laitteessa on kaksi toisistaan riippumatonta suojauskeinoa, ja laitteen turvallisuus säilyy kahden vian esiintyessä yhtä aikaa. Laiteluokassa 2 laitteen turvallisuustaso säilyy toistuvasti esiintyvissä häiriöissä tai normaaleissa laitevioissa. Laitteessa esiintyvä yksi vika ei aiheuta vaaraa. (Tukes 2017, 21.)

Taulukko 4. Tilaluokituksen mukainen laiteluokitus laiteryhmässä II.
(Tukes 2017, 21.)

Laiteluokitus	Määritelmä	Tilaluokka
Laiteluokka 1	Erittäin korkea turvallisuustaso	0
Laiteluokka 2	Korkea turvallisuustaso	1
Laiteluokka 3	Normaali turvallisuustaso, turvallisuustaso säilyy normaalitoiminnassa	2

Räjähdyssuojaustason vaatimukset suositellaan merkittäväksi tilaluokituspiirustuksiin (IEC 60079-14 2013, kohta 5.1). Tilaluokitusdokumenteissa kerrotaan usein vain tilaluokat, jolloin räjähdysuojaustaso määräytyy taulukon 5 mukaan. G tarkoittaa kaasutiloja (Gases) ja D tarkoittaa pölytiloja (Dusts). (Nurmi, [Viitattu 23.8.2018].)

Taulukko 5. Tilaluokan mukaan vaadittu räjähdysuojaustaso kaasuille.
(IEC 60079-14 2013, kohta 5.3.)

Tilaluokka	Räjähdyssuojaustaso EPL	Laiteluokka
0	"Ga"	1G
1	"Ga" tai "Gb"	2G, 1G
2	"Ga", "Gb tai "Gc"	3G, 2G, 1G

2.3.3 Lämpötilaluokitus ja lämpötila-alue

Laiteryhmän II sähkölaitteiden maksimi pintalämpötila ei saa ylittää lämpötilaluokalle ilmoitettua raja-arvoa, pintalämpötilan maksimiarvoa tai käyttöympäristön kaasun syttymislämpötilaa (IEC 60079-0 2011, kohta 5.3.2.2.) Lämpötilaluokka määritellään laitteen maksimi käyttölämpötilan mukaan taulukossa 6. Maksimi käyttölämpötila määritellään standardin IEC 60079-0 kohdan 26.5.1.3 Maximum surface temperature avulla.

Taulukko 6. Maksimi pintalämpötilan luokitus laiteryhmän II sähkölaitteille. (IEC 60079-0 2011, kohta 5.3.2.2.)

Lämpötilaluokka	Maksimi käyttölämpötila °C	Sallitut lämpötilaluokat
T1	450	T1-T6
T2	300	T2-T6
T3	200	T3-T6
T4	135	T4-T6
T5	100	T5-T6
T6	85	T6

Taulukossa 7 on kerrottu sähkölaitteen lämpötila-alueen merkinnästä. Sähkölaitte, jonka käyttölämpötila on merkitty käytettäväksi lämpötila-alueella $-20\text{ °C} \dots +40\text{ °C}$, lämpötila-alueita ei tarvitse erikseen merkitä. Sähkölaitte, jonka käyttölämpötila on tämän normaalin lämpötila-alueen ulkopuolella, pidetään erikoislaitteena. Merkin­nän tulee tällöin sisältää symbolin T_a tai T_{amb} yhdessä ympäristön lämpötilan ylä- ja alarajan kanssa. Ympäristön lämpötila-alue voi olla myös kaventunut, jota voidaan merkitä esimerkiksi $-5\text{ °C} \leq T_{amb} \leq 15\text{ °C}$. (IEC 60079-0 2011, kohta 5.1.1.)

Taulukko 7. Ympäristön lämpötila ja sen lisämerkintä. (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 5.1.1.)

Sähkölaitte	Ympäristön lämpötila	Lisämerkintä
Normaali laite	Maksimi: $+40\text{ °C}$ Minimi: -20 °C	Ei tarvita
Erikoislaitte	Valmistajan määrittämät rajat	T_a tai T_{amb} ja erikoisalue­ tiedot esim. $-30\text{ °C} \leq T_a \leq +40\text{ °C}$ tai symboli "X"

2.3.4 Räjähdyssuojaustaso

Kaasuräjähdyssvaarallisissa tiloissa sähkölaitteen merkintään tulee sisältyä tunnus Ex, joka ilmaisee sähkölaitteen olevan yhden tai useamman erityisstandardin mää-

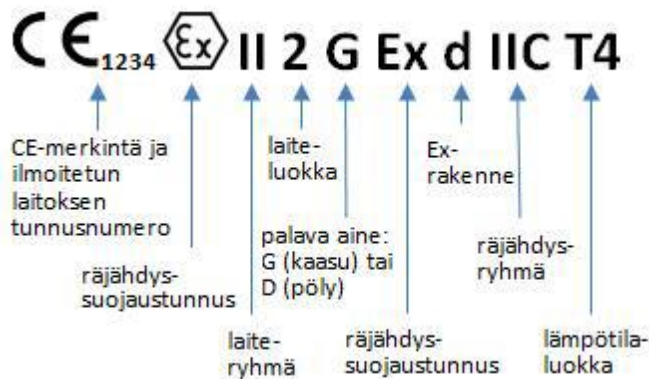
rittämän räjähdys suojausrakenteen mukainen. Rakennetta merkitään asianomaisen räjähdys suojausrakenteen tunnuksella. Räjähdys suojaustaso perustuu laitteen todennäköisyyteen muodostua syttymislähteeksi. Se käsittelee erikseen räjähdyskelpoiset kaasuil maseokset, pölyil maseokset ja kaivoskaasuseokset. (IEC 60079-0 2011 kohta 29.) Taulukossa 8 on lueteltu räjähdys suojaustason tunnukset ja niiden selitteet.

Taulukko 8. Räjähdys suojaustason tunnukset.
(IEC 60079-0 2011, kohta 29.4.)

Tunnus	Selite	Räjähdys suojaustaso EPL
d	räjähdys paineen kestävä kotelointi	Gb tai Mb
e	varmennettu rakenne	Gb tai Mb
ia	luonnostaan vaaraton	Ga tai Ma
ib	luonnostaan vaaraton	Gb tai Mb
ic	luonnostaan vaaraton	Gc
ma	massaan valettu	Ga tai Ma
mb	massaan valettu	Gb tai Mb
mc	massaan valettu	Gc
nA	kipinöimätön laite	Gc
nC	kipinöivä laite	Gc
nR	rajoitetusti hengittävä	Gc
o	öljytäytteinen	Gb
pv	paineistettu kotelointi	Gb tai Gc
px	paineistettu kotelointi	Gb tai Mb
py	paineistettu kotelointi	Gb
pz	paineistettu kotelointi	Gc
q	hiekkatäytteinen	Gb tai Mb

2.3.5 Laitteiden merkinnät

Kaikkiin räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviin laitteisiin on kiinnitettävä räjähdys-suojausmerkintä. Merkintä tulee sisältää CE-merkinnän ja Ex-räjähdys-suojauksen lisäksi laitteen ryhmän, laiteluokan ja käyttöympäristön merkinnät. (Tukes 2017, 19.)



Kuvio 3. Räjähdys-suojauksen merkintä. (Tukes 2017.)

Kuviossa 3 esitetään esimerkki räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävän sähkölaitteen merkinnät ja merkintöjen selitykset. Merkintä tulee sijoittaa laitteen ulkopuolelle niin, että se näkyy ennen ja jälkeen asennuksen. Edellä mainittujen merkintöjen lisäksi merkinnän tulee sisältää valmistajan tiedot, rekisteröity tavaramerkki, laitteen tyyppimerkintä, sarjanumero ja eränumero. (IEC 60079-0 2011, kohta 29.3.)

2.4 Esimerkki lopullisesta merkinnästä

SLAM Star on kaasuräjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettu laite ja se on merkitty standardin mukaisesti näkyvälle paikalle sen tyyppikilpeen (kuvio 4.) Tyyppikilpeen on merkitty eri standardin 60079-0 laajennusosien määrittelemät tyyppimerkinnät, tilaluokitukset, laiteluokat, lämpötilaluokat ja sähkölaitteen merkinnät.

The Ex marking shall include the following:

the symbol Ex, which indicated that the electrical equipment corresponds to one or more of the types of protection which are the subject of the specific standards listed in Clause 1;

the symbol for each type (or level) of protection used (IEC 60079-0 2011, kohta 29.4.)



Kuvio 4. SLAM Starin tyypikilpi.
(Atexor Oy 2016.)

CE₀₅₃₇ on CE-merkki, jonka alapuolella on tuotannon laadunvalvonnan sertifioineen ilmoitetun laitoksen, eli tässä tapauksessa VTT Expert services -laitoksen tunnusnumero. CE-merkintä on pakollinen merkintä, joka osoittaa, että valmistaja vakuuttaa tuotteen täyttävän standardin mukaiset vaatimukset tuotteen rakenteessa (Suomen Standardisoimisliitto SFS 2013, 35.)

Ex-räjähdyssuojaustunnuksella merkitään, että laite on sertifioitu räjähdysvaarallisiin tiloihin ATEX-direktiivin mukaan. Merkintä II tarkoittaa, että laite soveltuu muihin kuin kaivostiloihin. Numero 2 on laiteluokka, joka kertoo laitteen soveltuvan alueille tilaluokituksilla 1, 21, 2 ja 22. Kirjainmerkintä G tarkoittaa, että laite soveltuu kaasutiloihin. Laite ei sovellu pölytiloihin, koska siinä ei ole D-kirjainmerkintää. (SESKO ry 2018, 378-379.)

Ylärivillä on ilmoitettu kaasutiloja koskevat merkinnät: Ex eb mb op is IIC T4 Gb. Ex-räjähdyssuojaustunnus tarkoittaa, että laite on sertifioitu räjähdysvaarallisiin tiloihin. Kirjainyhdistelmä eb on varmennetun rakenteen merkintä, jossa kirjain e merkitsee varmennettua rakennetta. Kirjainyhdistelmä mb on massavalurakenteen merkintä. Molemmissa kirjainyhdistelmissä oleva kirjain b tulee räjähdysuojaustasosta Gb.

(SESKO ry 2018, 379.) Merkintä op is tarkoittaa, että laitteen rakenteessa on otettu huomioon optinen säteily (IEC 60079-28 2015, kohta 7).

IIC on laiteryhmä, joka sallii laitteen käytön kaikissa kaasun tai höyryn räjähdysryhmissä. Lämpötilaluokitus T4 kertoo, että laitteen sisäinen maksimilämpötila on 135 °C myös vikatilanteessa. Merkintä Gb on korkean kaasutilan räjähdysuojaustaso, jossa laite ei ole syttymislähde normaalissa tai odotettavissa olevissa vikatilanteissa (SESKO ry 2018, 379.) Merkintöjen alla on ilmoitettu laitteen käyttölämpötila-alue $-20\text{ °C} \leq T_{amb} \leq +40\text{ °C}$.

Tyypikilvessä kerrotaan laitteen teho, käyttöjännite, käyttötaajuus ja IP-luokitus. IP66-luokitus kertoo kotelointiluokan. Kotelointiluokka määräytyy standardin SFS-EN-60529 mukaisesti. Ensimmäinen tunnusnumero kertoo, että vaaralliset osat on kosketussuojattu halkaisijaltaan 1,0 mm esinekoettimen sisään tunkeutumiselta (SFS-EN 60529 + A1 2011, kohta 5.1). Ensimmäinen numero kertoo myös, että laite on pölytiivis, jolloin pölyä ei saa tunkeutua laitteen sisään. Toinen tunnusnumero kertoo, että laite on suojattu voimakkaalta vesisuihkulta, jossa kaikista suunnista suuttimella ohjattu voimakas vesisuihku ei aiheuta haittaa laitteelle. (SFS-EN 60529 + A1 2011, kohta 6.)

Tyypikilvessä on VTT:n myöntämän tyypisertifikaatin tunnus VTT 15 Atex 077 ja IECEx -sertifikaatin tunnus IECEx VTT 16.0002. Alareunassa valaisimen valmistustehtaan, eli Atexor Oy:n Seinäjoen tehtaan käyntiosoite. Näin ollen SLAM Star täyttää räjähdysvaaralliseen tilaan tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien sekä valaisimen merkintävaatimukset. Tyypikilvestä ilmenee laitteen valmistaja ja yhteystiedot, kuten standardissa on määritelty:

The marking shall include the following:

the name of the manufacturer or his registered trade mark;

the manufacturer's type identification;

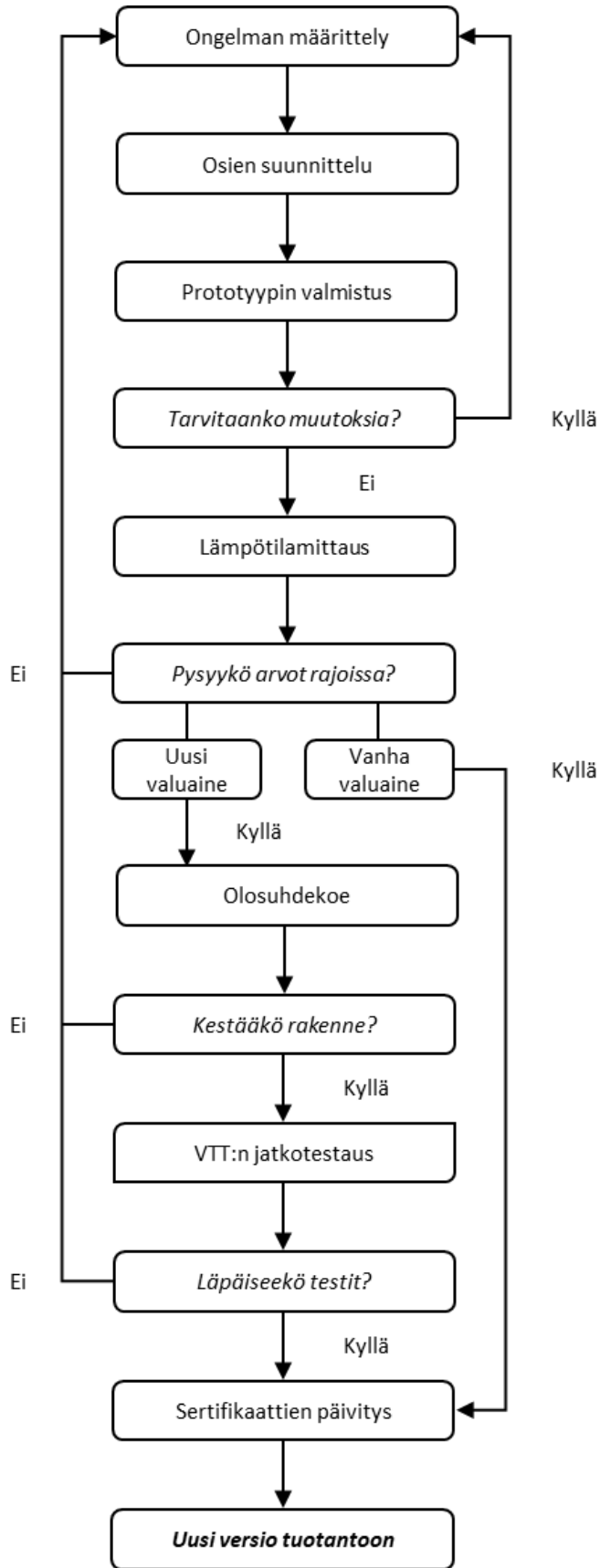
a serial number, except for connection accessories (IEC 60079-0 2011, kohta 29.3.)

3 TYYPPIHYVÄKSYNTÄMITTAUKSET

SLAM Star -syvästeilijän valomoduulin alumiiniprofiilin ja valuaineen vaihto vaativat sertifikaattien päivityksen, jonka takia standardin mukaiset tyyppitestit uusittiin. Käyttölämpötilan, maksimi pintalämpötilan ja olosuhdekokeen mittaukset tehtiin VTT:n luvalla ja valvomana Atexor Oy:n tiloissa ja mittalaitteilla. Käyttölämpötila ja maksimi pintalämpötila mitattiin edellisiä vuoden 2016 mittausraportteja mukaillen ja ne suoritettiin uudelle profiilille ja molemmille valuaineille. Mittauksilla selvitettiin, muuttuiko uuden rakenteen lämpötila oleellisesti verrattuna vanhaan rakenteeseen. Uusille valomoduuleille suoritettiin olosuhdekoe sääkaapissa, minkä jälkeen niille tehtiin loput tarvittavat tyyppitestit VTT:llä.

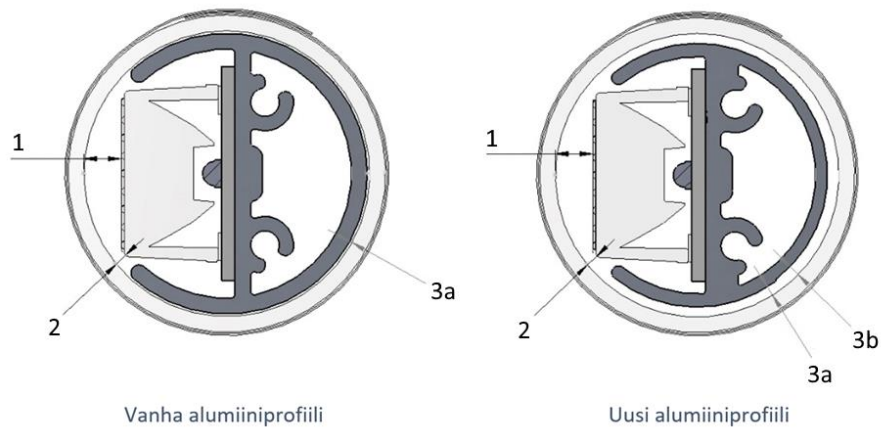
3.1 Prosessikuvaus

Kuvion 5 prosessikaaviossa on kuvattu SLAM Star -syvästeilijän valomoduulin jatkokehityksen ja tyyppihyväksynnän vaiheet. Prosessikaavio on rakenteeltaan yksinkertainen ja alkaa ongelman määrittelystä ja suunnittelusta. Prototyypin testauksen jälkeen mahdolliset ongelmat käytiin läpi ja materiaaleille tehtiin tarvittavat muutokset. Hyväksytyjen muutosten jälkeen osien dokumentit korjattiin vastaamaan lopullista rakennetta. Kun rakenne todettiin toimivaksi, prototyypille suoritettiin lämpötilamittaukset. Kun korjatun rakenteen lämpötilat pysyivät alkuperäisen lämpötilaluokan määrittelemissä rajoissa vanhalla valuaineella, voitiin uusi rakenne sertifioida vanhalle valuaineelle. Samat lämpötilamittaukset suoritettiin myös uudelle valuaineelle. Uudelle valuaineelle suoritettiin myös olosuhdekoe, jonka jälkeen testatut moduulit lähetettiin VTT:lle jatkotestaukseen. Kun testit hyväksyttiin, voitiin sertifikaatit päivittää ja uusi valomoduuli voitiin ottaa tuotantoon uudella profiililla ja valuaineella.



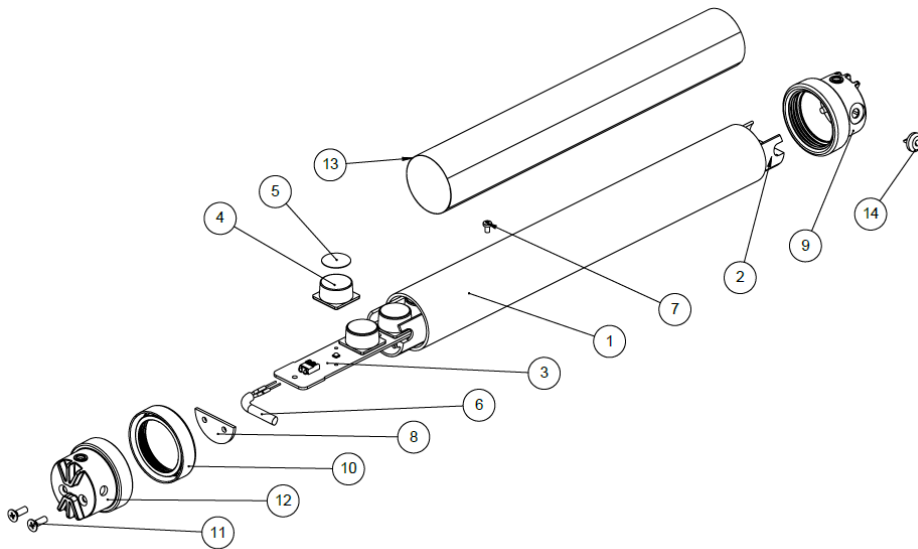
Kuvio 5. Prosessikaavio valomoduulin jatkokehitysprosessista.

3.2 Rakenteen jatkokehitys



Kuvio 6. SLAM Star -valomoduulin poikkileikkaus.

Valomoduulin rakennetta paranneltiin pienillä muutoksilla. Kuviossa 6 on esitetty valomoduulin poikkileikkaukset vanhalla ja uudella alumiiniprofiililla. Alumiiniprofiili vaihdettiin uuteen profiiliin ja rakenteessa olevia tiivisteitä muokattiin muotonsa puolesta niin, että valominen helpottuu. Suojaputken ja alumiiniprofiilin välystä 3a kasvatettiin ja LED-polttimon linssin etäisyydet 1 ja 2 suojaputkeen pidettiin vakiona. Etikettitarraa varten tehtiin syvennys 3b alumiiniprofiiliin. Valomoduulin muutokset pyrittiin viemään läpi muuttamatta valmistusmateriaaleja, koska niiden todettiin toimivan myös vanhalla rakenteella. Suunnitteluun käytettiin Solidworks 2017 -suunnitteluohjelmistoa.



Kuvio 7. SLAM Star -valomoduulin räjäytyskuva.

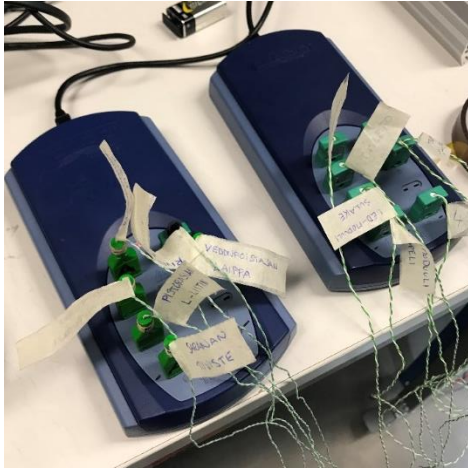
Kuvion 7 räjäytyskuvassa on esitetty valomoduulin rakenne. Valomoduulin runkona toimivaan alumiiniprofiiliin (2) kiinnitetään LED-ohjainkorttimoduuli (3.) Alumiiniprofiili liitetään alumiinipäättyihin (12) ruuveilla (11). Alumiinipäättyjen (9) väliin tulee läpinäkyvä suoja putki (1). Alumiiniprofiilin ja suoja putken väliin tulee kaulustiivisteet (10.) Alumiiniprofiilin ja alumiinipäättyjen väliin tulee myös tiivisteet (8). Valmis rakenne täytetään lopuksi optisella valuaineella. Valuaine vaihdettiin ja osia 2, 8, 9, 10 ja 14 muokattiin helpottamaan valamisprosessia. Kokoonpanoa varten suunniteltiin myös uusia kokoonpanokiinnittimiä ja tuotannon apuvälineitä.

3.3 Mittauksissa käytetyt mittalaitteet

Mittauksissa käytettiin lämpötilan ja sähkön mittaamiseen tarkoitettuja mittalaitteita. Mittalaitteet saatiin käyttöön Atexor Oy:lta. Ympäristön ja valaisimen lämpötiloja mitattiin Pico-termoparidataloggereilla ja termopariantureilla. Muut käytettävät mittarit tai laitteet olivat Fluken valmistamat oskilloskooppiyleismittari, pihtivirtamittari ja lämpökamera. Olosuhdekokeessa käytettiin Espec-sääkaappia.

3.3.1 Pico TC-08 -termoparidataloggeri

Pico TC-08 on kahdeksankanavainen termoparidataloggeri (kuva 2). Lämpötilojen mittaus ja tallennus tapahtuvat kytkemällä mittauslaite tietokoneeseen USB A/B -kaapelilla. Termoparianturin koirasliitin kytketään dataloggeriin, ja termoparin toisessa päässä oleva anturipisara kiinnitetään mitattavaan kohteeseen.



Kuva 2. PicoLog TC-08 -termoparidataloggerit.

Dataloggeri on suunniteltu mittaamaan lämpötiloja laajalta lämpötila-alueelta. Laitteella voidaan mitata lämpötiloja $-270 \dots +1820 \text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä riippuen käytettävistä termopareista. Laitteen sisäänrakennetulla piirillä voidaan mitata myös ympäristön lämpötilaa. Mittauslaitteen mittauskyvyn resoluutio ja tarkkuus ovat korkeat, koska mittaus sykli voi olla parhaimmillaan 10 mittausa sekunnissa. Lämpötilan mittaus-tarkkuus on $\pm 0,2 \text{ } \%$ tai $\pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Mittauslaitetta voidaan laajentaa 20 mittausyksikköön tai 160 kanavaan ja se soveltuu käytettäväksi useiden tunnettujen termopari-tyyppien kanssa. Termoparien tyyppi voidaan määrittellä ohjelmistossa, jolloin mit-taustulokset vastaavat valittujen antureiden mittaus tuloksia. (Pico Technology Limited, [Viitattu 31.8.2018].) Lämpötilamittauksissa käytetyt termoparidataloggerit oli kalibroitu 15.5.2018 ja 6.6.2018. Mittausohjelmistona käytettiin PicoLogin ohjelmis-toa, jonka avulla mitattavasta aineistosta saatiin tulostettua graafinen kuvaaja ja lo-kitiedosto, joka voitiin muuttaa Excel-tiedostoksi. Picolog-ohjelmisto on vapaasti la-dattavissa valmistajan kotisivuilta.

3.3.2 K-tyyppin termoparianturi

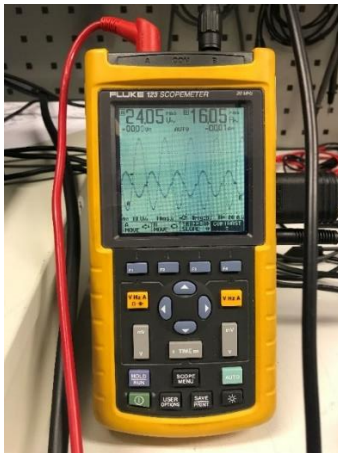
Termopariantureita käytetään usein lämpötilojen mittaukseen niiden edullisen hankintahinnan ja laajan lämpötila-alueen takia. Termopari on pienikokoinen, joten sillä saadaan mitattua myös nopeat lämpötilavaihtelut. Termopari mittaa kahden sähköä johtavan metallin välille syntyvää jännitettä. Mittaus perustuu mittauspisarassa olevan kahden metallin liitoskohdan lämpötilaeroon. Mitattavan lämpötilan vaihdellessa johtavien metallien välille syntyy jännite-ero, jonka dataloggeri muuttaa lämpötila-arvoksi. (Pietiko Oy, [Viitattu 31.8.2018].) Termoparin toimintaperiaate perustuu Seebeck-ilmiöön, jossa kahden eri johteen väliset liitokset aiheuttavat termojännitteen, joka johtuu eri lämpötiloista johtuvasta termisestä epätasapainosta. Ilmiön keksi saksalainen fyysikko Thomas Seebeck vuonna 1821. Termopari on yleisin lämpötila-anturityyppi. (Kärhä 2004.)



Kuva 3. K-tyyppin termoparianturi.
(Pietiko Oy, [Viitattu 31.8.2018].)

Mittauksissa käytettävät anturit ovat kuvan 3 mukaisia K-tyyppin antureita, joiden lämpötila-alue on $-210 \dots +1372 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Pietiko Oy, [Viitattu 31.8.2018].) K-tyyppin anturin termoparin muodostavat ensimmäisessä johdossa oleva nikkelin ja kromin seos NiCr (Chromel) ja toisessa johdossa oleva nikkelin ja alumiinin seos NiAl (Alumel) (Kärhä 2004.)

3.3.3 Fluke Scopemeter 123 -oskilloskooppiyleismittari



Kuva 4. Fluke 123 Scopemeter -oskilloskooppiyleismittari.

Koneen toimintaan vaikuttavia signaalien häiriöitä, notkahduksia ja virheitä voidaan mitata oskilloskoopilla. Kuvassa 4 esitetyllä Fluke 123 Scopemeterilla pystytään yhtä aikaa mittaamaan ja kuvaamaan mittauservoja graafisella kuvaajalla. Mittarin ominaisuuksiin kuuluu kaksikanavainen 20 MHz:n digitaalinen oskilloskooppi, kaksi digitaalista yleismittaria, 10 esiasetusta ja asetusnäyttöä, suojatut mittaussjohtimet oskilloskoopin, resistanssin, jatkuvuuden ja kapasitanssin mittaamiseksi ja seitsemän tunnin toiminta-aika. (Fluke corporation 2018.)



Kuva 5. 0i-110s AC/DC-virtapihti oskilloskoopeille.
(Fluke corporation 2018.)

Vaihtovirran AC ja tasavirran DC mittaukseen tyyppitestausten aikana käytettiin oskilloskooppiin liitettävää kuvan 5 mukaista Fluke 80i-110s AC/DC -pihtivirtamittaria, jolla mitattiin johtimessa kulkevaa sähkövirtaa magneettikentän avulla (Fluke corporation 2018.) Lämpötilamittauksissa käytetty oskilloskooppi ja pihtivirtamittari oli kalibroitu 23.10.2017.

3.3.4 Fluke Ti10 -lämpökamera

Fluke Ti10 on infrapunatekniikkaa hyödyntävä, mittaava lämpökamera (kuva 6.) Lämpökamera vastaanottaa lämpösäteilyä ja se mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameran ilmaisimella muuttuu kohteen lämpötilasäteilyn lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostetaan reaaliajassa. Lämpökameraa käytetään pintalämpötilajakaumien havainnollistamiseen. (Infradex Oy 2018.)



Kuva 6. Fluke Ti10 -lämpökamera.

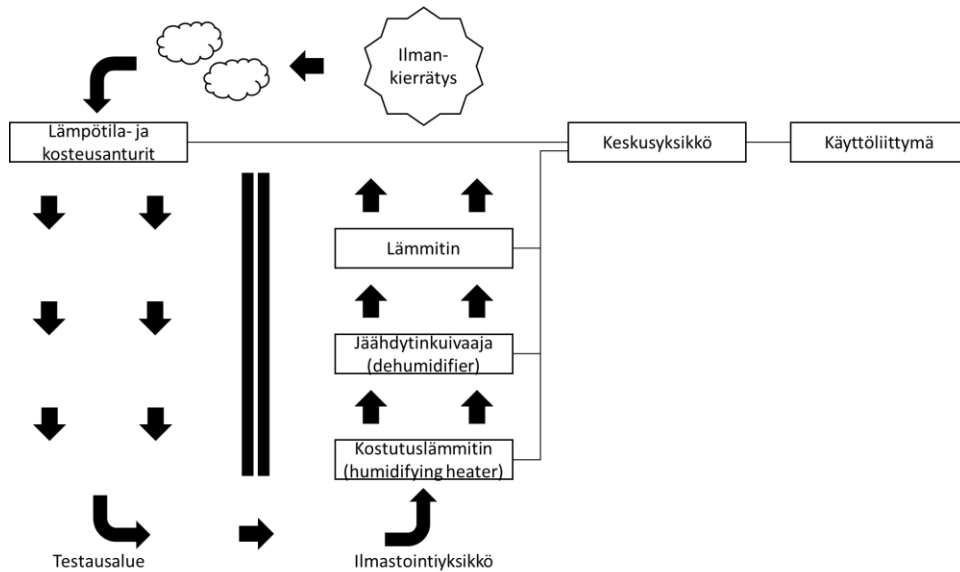
Lämpökamera on tarkoitettu sähköasennuksien, sähkömekaanisten laitteiden, prosessinohjauslaitteiden, LVIS-laitteistojen ja muiden kohteiden vikojen paikallistamiseen. Fluke Ti10 -lämpökamera käyttää kahden kuvan yhdistelmätekniikkaa, jossa lämpökuvan ja valokuvan voidaan yhdistää yhdeksi kuvaksi. Tekniikka tallentaa digitaalisen valokuvan ja lämpökuvan samanaikaisesti ja yhdistää kuvat toisiinsa lämpökuvan analysoinnin helpottamiseksi. Lämpökameran lämpötilan mittaustulosalue on -20 ... +250 °C ja lämpötilan mittaustarkkuus on ± 5 °C tai +5% riippuen kummalla saavutetaan korkeampi mittaustulos. (Fluke corporation 2018.) Lämpökamerassa ei ole automaattitarkennusta, vaan kuvaa tarkennetaan käsin kuvausetäisyydestä riippuen. Digitaalikameran erottelukyky eli resoluutio on 640x480 pikseliä (Fluke corporation 2018). Mittaustuloksia voidaan analysoida Fluke SmartView -ohjelmistolla, joka on vapaasti ladattavissa valmistajan kotisivuilta.

3.3.5 Espec PL-4KPH -sääkaappi

Olosuhdekoe suoritettiin Espec corporationin valmistamassa Espec PL-4KPH -sääkaapissa. Sen avulla pystytään testaamaan materiaalien kuumen- ja kylmänsietokykyä, kosteuden- ja kuivuudensietokykyä, varastoitavuutta, käyttöikää sekä niiden ikääntymistä ja hajoamista.

Laitteen mallimerkintä PL-4KPH kertoo laitteen tuottamat lämpötila- ja kosteusarvot, lastauskapasiteetin, mallisarjamerkinnän ja kojeistotyypin. Olosuhdekaapin tuottamaa lämpötilaa ja kosteutta merkitään kirjainyhdistelmällä PL, joka tarkoittaa laitteen kykyä tuottaa $-40 \dots +150$ °C lämpötila ja 20-98 % suhteellinen kosteus RH. Laitteen lastauskapasiteettia merkitään tyyppinumeroilla 1-4. Tyyppinnumero 4 kertoo, että laite on varustettu mallisarjan suurimmalla 800 litran lastauskapasiteetilla. Mallisarjatyypin K on valmistajan käyttäjä- ja ympäristöstävällinen mallisarja. Kirjain P tarkoittaa, että olosuhdekaappi on varustettu ohjelmoitavalla graafisella käyttöliittymällä, jonka avulla voidaan määrittää ja seurata olosuhdekaapin asetuksia. Mallimerkinnän viimeinen kirjain H tarkoittaa, että mittauksissa käytetty laite on eritelty tuottamaan 150 °C maksimilämpötila. (Espec corporation 1998, 3.)

Lämpötilan vaihdellessa $-40 \dots +100$ °C välillä mittaustarkkuus lämpötilalle on $\pm 0,3$ °C. Korkeammalla lämpötila-alueella mittaustoleranssi kasvaa, koska lämpötilan vaihdellessa $+100,1 \dots +150$ °C välillä mittaustarkkuus on $\pm 0,5$ °C. Kosteuspitoisuuden virhemarginaali on $\pm 2,5\%$ RH. (Espec corporation 1998, 127.) Olosuhdekoeksessa käytetty sääkaappi oli kalibroitu 7.9.2018.



Kuvio 8. Olosuhdekaapin toimintaperiaate.
(Espec corporation 1998.)

Olosuhdekaapin toimintaperiaate on esitetty kuviossa 8. Olosuhdekaapin lämpötilaa ja kosteutta ohjataan järjestelmällä nimeltä BTHC, joka tulee sanoista Balanced Temperature and Humidity Control. Sen avulla kammion lämpötilaa ja kosteutta voidaan säätää haluttujen mittausolosuhteiden saavuttamiseksi. Tätä ohjataan säätämällä jäähdytinkuivaajaa ja kostutuslämmitintä reaaliajassa. Jäähdyttimen arvoja säädellään jatkuvasti testikappaleiden lämpökuorman vaikutuksen minimoimiseksi. Keskusyksikkö ohjaa kaikkia toimintoja ja niitä voidaan säädellä käyttöliittymällä. (Espec corporation 1998, 25.) Testiohjelmien tekemiseen käytettiin vapaasti ladattavaa Espec ERC-100S -ohjelmistoa.

3.4 Lämpötilamittaukset ja niiden vaatimukset

Mittauksilla selvitettiin valomoduulin korkein käyttölämpötila normaalikäytössä ja korkein lämpötila laitteen ollessa vikatilassa. Käyttölämpötilamittausten perusteella määräytyi asetukset olosuhdekoetta varten. Koska kyseessä oli räjähdysluokiteltu sähkölaite, sille suoritettiin standardin IEC 60079-0 mukaiset lämpötilamittaukset käyttölämpötilalle ja maksimi pintalämpötilalle. Käyttölämpötilan mittaus määriteltiin standardin kohdassa 26.5.1.2 Service temperature ja maksimi pintalämpötilan mittaus standardin kohdassa 26.5.1.3 Maximum surface temperature.

Mittauksiin käytettiin kahta termoparidataloggeria ja termopariantureita. Syöttöjännitettä ja virtaa seurattiin jatkuvasti oskilloskooppiyleismittarilla ja virtapihdillä. Termoparien paikat määriteltiin lämpökameralla. Termoparit pyrittiin kiinnittämään niin, ettei ne irtoa laitetta siirrettäessä ja että termoparin anturipisara on tukevasti mitattavaa pintaa vasten. Termoparien kiinnittämiseen käytettiin sijoituspaikasta riippuen pikaliimaa, silikoniliimaa, jousia tai Kapton-polyamiditeippiä.

Lämpötilan mittauslaitteet (lämpömittarit ja termoparit) liitosjohtoineen tulee valita ja sijoittaa siten, etteivät ne merkittävästi vaikuta sähkölaitteen termiseen käyttäytymiseen (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.5.1.1.)

Mittausten lopuksi PicoLog-ohjelmistosta saatu mittausraportti muutettiin Excelin ymmärtämään muotoon. Mittausraportista haettiin jokaisen mitatun pisteen mittausajanjakson korkein lämpötila ja senhetkinen ympäristön lämpötila, joiden erotus eli lämpenemä kirjattiin ylös. Ympäristön lämpötilaa mitattiin koteloidulla termoparilla. Koteloinnin avulla pyrittiin tasaamaan lämpötilaa ja ehkäisemään ympäristön, kuten ilmanvirtauksien, vaikutusta mitattuun lämpötilaan.

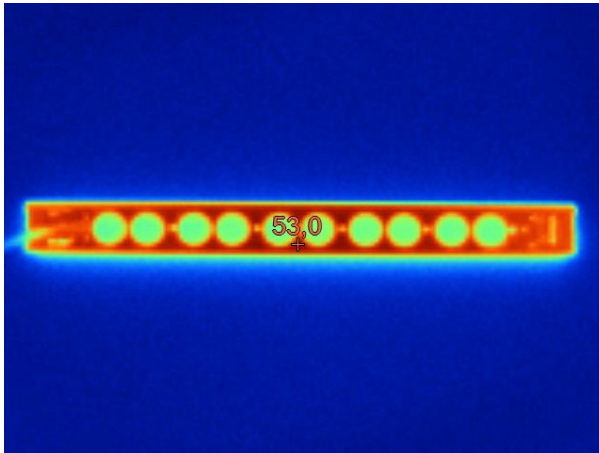
3.4.1 Käyttölämpötilan mittaus

Lämpötilamittauksella selvitettiin laitteen suurin käyttölämpötila ottamatta huomioon laitteen vikatiloja. Mittauksen avulla määritettiin rakenteen kuumimmat pisteet normaaleissa käyttöolosuhteissa nimellisjännitteellä.

The test to determine service temperatures shall be made at the rated voltage of the electrical equipment but without considering malfunctions. The temperature of the hottest point of any non-metallic enclosures or non-metallic part of enclosure upon which the type of protection depends shall be determined. (IEC 60079-0 2011, kohta 26.5.1.2.)

Mittaukset suoritettiin vanhalle ja uudelle valuaineelle käyttämällä uutta alumiiniprofiilia. Mittaukset toistettiin käyttämällä kahta eri valmistajan virtalähdettä, jotta saatiin selvitettyä, kumpi virtaläheistä aiheuttaa korkeamman lämpenemän valomoduulin rakenteelle. Käyttölämpötilamittaus toistettiin näin ollen yhteensä neljä kertaa eri kokoonpanoille.

Mittauksia varten valmistettiin kaksi valomoduulia molempia valuaineita varten. Valomoduulin rakenteen kuumimmat pisteet määriteltiin lämpökameralla ja lämpökameran ohjelmiston ”kuumin piste”-toiminnolla (kuva 7.) Yhteen valomoduuliin kiinnitettiin yhteensä viisi termoparia mittaamaan lämpötiloja eri puolilta valomoduulin rakennetta. Silikonivalun sisälle ja ulkopuolelle tulevat termoparit kiinnitettiin lämpökameralla määriteltyihin kuumimpiin pisteisiin.



Kuva 7. Valomoduulin kuumimman pisteen määrittäminen lämpökameralla.

Mitattava valomoduuli sijoitettiin valaisinkokoonpanon keskimmäiseksi valaisimeksi, jotta saatiin huomioitua viereisten valaisinmoduulien yhteisvaikutus lämpötiloihin. Valaisinkokoonpanon koteloon sijoitetut termoparit sijoitettiin edellisen käyttölämpötilamittauksen mukaisiin paikkoihin, koska valaisimen koteloon ei ollut tehty muutoksia edellisten mittausten jälkeen.

Valaisimeen syötettiin 24 V:n vaihtovirtajännite. Koska valaisimessa on myös pistorasiasia, kytkettiin rasiaan resistiivinen kuorma, koska sen havaittiin lämmittävän valaisimen rakennetta. Kuorma säädettiin suuruudeltaan sellaiseksi, että valaisimen syöttökaapelista mitattuna kokonaiskuorman suuruudeksi voitiin mitata 16 A. Mittausjännitettä ja virtaa seurattiin oskilloskoopilla. Kaikkien mittausten aikana valaisinta käännettiin eri asentoihin ottaen huomioon lämpötilan 2 K/h nousunopeus. Näin haettiin eri asentojen vaikutus mitattaviin lämpötiloihin. Kun lämpötilat olivat tasaantuneet, mitattujen pisteiden mittausajanjakson korkeimmat lämpötilat kirjattiin ylös. Niiden ja ympäristön lämpötilan avulla laskettiin kunkin mitatun pisteen lämpenemä. Mittaustapa määriteltiin standardissa seuraavasti:

The final temperature shall be considered to have been reached when the rate of rise of temperature does not exceed 2 K/h (IEC 60079-0 2011, kohta 26.5.1.1.)

For electrical equipment which can normally be used in different positions, the temperature in each position shall be considered (IEC 60079-0 2011, kohta 26.5.1.1.)

3.4.2 Maksimi pintalämpötilan mittaus

Mittauksella selvitettiin valomoduulin suurin lämpötila laitteelle epäsuotuisimmissa olosuhteissa. Mittauksen avulla määriteltiin tuotteen lämpötilaluokka. Mittaukset suoritettiin vanhalle ja uudelle valuaineelle käyttämällä uutta alumiiniprofiilia. Mittaukset tehtiin käyttölämpötilamittauksissa kuumemmaksi todetulla virtalähteellä.

Testi maksimi pintalämpötilan määrittämiseksi tulee tehdä kaikkein epäedullisimmilla mitoitusarvojen alueilla ja syöttöjännitteen vaihdellessa välillä 90 % ja 110 % sähkölaitteen mitoitusjännitteestä. Korkein havaittu lämpötila kirjataan. (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.5.1.3.)

Mittauksia varten valmistettiin kaksi valomoduulia molempia valuaineita varten. Valomoduulien virranrajoituspiirit poistettiin käytöstä. Valomoduulin rakenteen kuumimmat pisteet määriteltiin käyttämällä lämpökameraa ja lämpökameran ohjelmiston ”kuumin piste”-toimintoa. Valomoduuliin kiinnitettiin termoparit kahteen mittauspisteeseen mittaamaan lämpötiloja. Valaisinkokoonpanon koteloon sijoitetut termoparit todettiin valomoduulin lämpötilamittausten kannalta epäoleellisiksi. Valaisinkokoonpano käännettiin valo alaspäin lattiaa kohti, koska se todettiin käyttölämpötilamittauksissa kuumimmaksi mittausasennoksi.

Mitattava valomoduuli sijoitettiin valaisinkokoonpanon keskimmäiseksi valaisimeksi, jotta saatiin huomioitua viereisten valaisinmoduuleiden yhteisvaikutus lämpötiloihin. Keskimmäiseen mitattavaan valomoduuliin syötettiin erillisellä virtalähteellä 24 V:n vaihtovirtajännite, jolle annettiin virtaa 1336 mA. Kahteen reunimmaiseen valomoduuliin syötettiin virtaa käyttölämpötilamittauksen mukaisesti valaisimen vakiovirtalähteillä. Virranrajoituspiiriin asetusarvo ja toleranssi sekä asetusvas-

tuksen toleranssi määräytyivät VTT:n sähköpostikeskustelun perusteella (VTT Expert Services Ltd, Sulonen & Hirvelä 2016) ja standardin IEC 60079-18 kohdan 8.2.2 mukaan.

Arvojen avulla laskettiin mittausvirta, joka määräytyi seuraavasti:

$$I1 * Tol_{piiri} * Tol_{vastus} = I2 \quad (1)$$

(VTT Expert Services Ltd, Sulonen & Hirvelä 2016)

missä

virranrajoituspiirin asetusarvo $I1$ on 1150 mA, virranrajoituspiirin toleranssi Tol_{piiri} on 15 % ja asetusvastuksen toleranssi Tol_{vastus} on 1 %. Mittausvirraksi $I2$ saatiin 1336 mA.

Tämän jälkeen valaisimen annettiin lämmetä standardin IEC 60079-0 tyyppimitausten mukaisesti niin, että lämpötilan nousunopeus ei ylittänyt 2 K/h. Kun lämpötilat olivat tasaantuneet, mitattujen pisteiden mittausajanjakson korkeimmat lämpötilat kirjattiin ylös. Niiden ja ympäristön lämpötilan avulla laskettiin molempien mitattujen pisteiden lämpenemät.

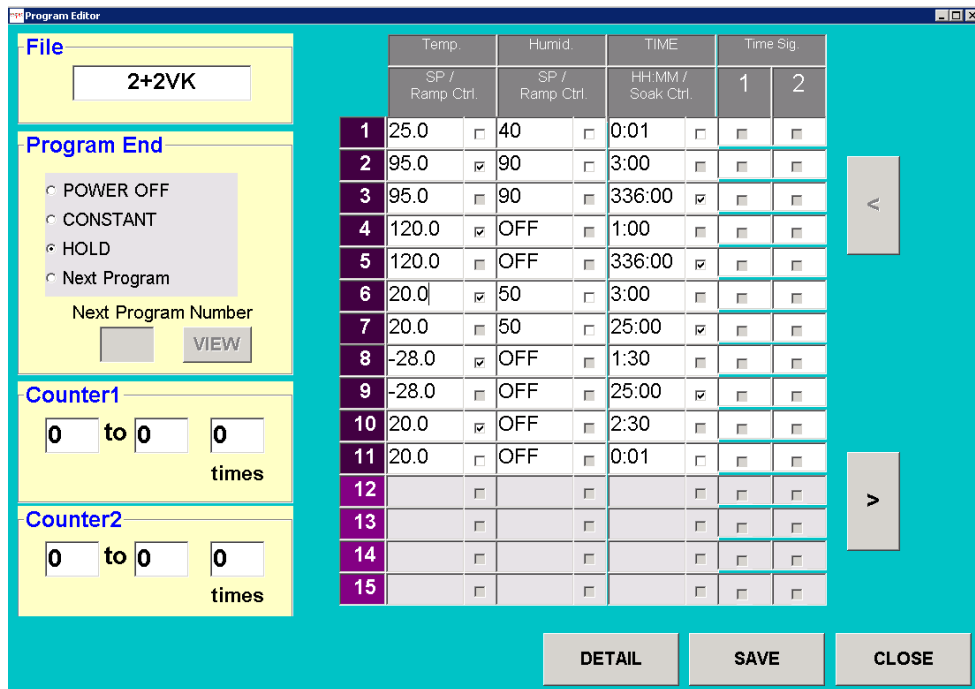
3.5 Olosuhdekoe

Olosuhdekoe suoritettiin Atexor Oy:n tiloissa Espec corporationin valmistamassa Espec PL-4KPH -sääkaapissa. Olosuhdekoe käsittää standardin IEC 60079-0 kohdissa 26.8 ja 26.9 määritellyt termisen lämmönkestävyyden- ja kylmänkestävyyden testit. Koska standardista IEC 60079-0 on saatettu voimaan suomenkielinen versio SFS-EN 60079-0, lainataan testien selostuksissa suomenkielisen version määrittäviä.



Kuva 8. Valomoduulit sijoitettuna sääkaappiin.

Olosuhdekoetta varten valmistettiin kaksi kappaletta lopullisella rakenteella olevia valomoduuleita, joissa käytettiin uutta profiilityyppiä ja uutta valuainetta. Testattujen valomoduulien rakenteessa käytettiin myös muotonsa puolesta paranneltuja päätytiivisteitä. Valomoduulit sijoitettiin sääkaappiin ritilän päälle alumiiniprofiileilla tuettuna kuvan 8 mukaisesti. Olosuhdekokeen terminen lämmönkestävyydesti suoritettiin käyttölämpötilamittauksissa mitatun kuumimman lämpötilan mukaan. Sen jälkeen valomoduulit jäähdytettiin ja niille suoritettiin terminen kylmänkestävyydesti. Olosuhdekokeen arvot on esitetty kuviossa 9 ja ne ohjelmoitiin Espec-sääkaapin ERC-100S-ohjelmistolla. Olosuhdekokeessa testatut valomoduulit lähetettiin VTT:lle, missä niille suoritettiin isku- ja tiiveyskokeet.



Kuvio 9. Olosuhdekokeen ohjelman määrittely valomoduuleille ERC-100S-ohjelmistossa.

3.5.1 Terminen lämmönkestävyytestesti

Valomoduulin terminen lämmönkestävyys testattiin altistamalla se käyttölämpötilamittauksen määrittelemän kuumimman lämpötilan mukaan määräytyville kuumuus- ja kosteusolosuhteille. Olosuhdekokeen arvot määräytyivät käyttölämpötilamittauksen valomoduulin kuumimman pisteen perusteella.

Terminen lämmönkestävyys tulee määrittää altistamalla ei-metalliset kotelot tai koteloiden ne ei-metalliset osat, joista räjähdys-suojaurakenteen säilyminen on riippuvainen, testeihin taulukon 15 mukaan (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.8.)

Standardin SFS-EN 60079-0 + A11 kohdan 26.8 taulukossa 15 on määritelty testiolosuhteet uuden valuaineen käyttölämpötilamittauksissa mitatun kuumimman lämpötilan mukaan. Valomoduulin käyttölämpötilan T_s todettiin ylittävän käyttölämpötilamittauksissa standardin taulukon määrittelemän 75 °C rajan. Näin ollen valomoduuleita pidettiin ensimmäiset kaksi viikkoa 95 °C lämpötilassa ilman suhteellisen kosteuden ollessa 90% , jota seurasi kahden viikon lämpötila kuivissa olosuhteissa. Kuivan olosuhteen lämpötila määräytyi seuraavasti:

$$\Delta T + T_{max} = T_s \quad (2)$$

(Konster 2018)

ja

$$T_s + T_a = T_{os} \quad (3)$$

(SFS-EN 60079-0 + A11, kohta 26.8)

missä

ΔT on suurin mitattu lämpenemä 46,5 °C ja T_{max} on laitteelle ilmoitettu maksimi käyttölämpötila 40 °C ja T_s on mitattu käyttölämpötila 86,5 °C ja T_a on standardin määrittämä lämpötila 20 °C. T_{os} on olosuhdekokeen kuivan vaiheen lämpötila 106,5 °C. Lasketun lämpötilan perusteella määräytyi olosuhdekokeen kuivan vaiheen lämpötila kahden viikon ajaksi. Termistä lämmönkestävyyttä testattiin yhteensä noin neljän viikon ajan. Testiolosuhteet määräytyivät taulukon 9 mukaan.

Taulukko 9. Termisen lämmönkestävyyden testiolosuhteiden määrittäminen. (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.8).

Käyttölämpötila T_s	Testiolosuhteet
$T_s > 75 \text{ °C}$	336₊₃₀⁰ h (90 ± 5) % RH (95 ± 2) °C, jota seuraa 336₊₃₀⁰ h kuiva $T_s + 20 \pm 2 \text{ K}$

3.5.2 Terminen kylmänkestävyydestesti

Termisen lämmönkestävyyden testauksen jälkeen valomoduuleita jäähdytettiin yhden vuorokauden ajan 20 °C lämpötilassa ja 50 % suhteellisessa kosteudessa, minkä jälkeen niille suoritettiin termisen kylmänkestävyyden olosuhdetesti. Siinä valomoduulit altistettiin alinta käyttölämpötilaa matalammalle lämpötilalle vuorokauden ajaksi. Valomoduulin alin käyttölämpötila -20 °C määräytyi SLAM Starin halutun käyttölämpötila-alueen mukaan, joka oli $-20 \text{ °C} \leq T_{amb} \leq +40 \text{ °C}$ (Atexor Oy 2018). Näin ollen termisen kylmänkestävyydestestin lämpötila määritettiin standardin mukaisesti

pienemmäksi kuin haluttu minimilämpötila. Termisen lämmönkestävyydestin jälkeen tehty jäähdytys ja terminen kylmänkestävyydesti määriteltiin standardissa seuraavasti:

Välittömästi taulukon testien jälkeen testatut ei-metalliset kotelot tai kotelonosat tulee jäädyttää $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa ja $(50 \pm 10) \%$ suhteellisessa kosteudessa 24_{+48}^0 h , minkä jälkeen välittömästi tehdään terminen kylmänkestävyyden testi (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.8).

Terminen kylmänkestävyys tulee määrittää altistamalla ei-metalliset kotelot tai koteloiden ne ei-metalliset osat, joista räjähdyssuojausrakenteen säilyminen on riippuvainen, 24_{+2}^0 h , ajan ympäristön lämpötilassa, joka vastaa alinta käyttölämpötilaa vähennettynä kohdassa 26.7.2 osoitetulla määrällä (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.9).

Alempi testilämpötila: minimi käyttölämpötila alennettuna vähintään 5 K, mutta enintään 10 K (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.7.2).

4 TULOKSET

Projektin alussa määritellyt tavoitteet saatiin pääosin täytettyä. Käyttölämpötilamittausten avulla määritettiin lämpötila olosuhdekokeen testiolosuhteille, jonka todettiin ylittävän termisen lämmönkestävyydestin standardin määrittelemän käyttölämpötilan arvon 75 °C. Maksimi pintalämpötilan mittausten perusteella lämpötilaluokaksi määritettiin T4. Edellisiin lämpötilamittauksiin verrattuna uuden valomoduulin käyttölämpötilat pysyivät samalla tasolla ja maksimi pintalämpötila kasvoi vanhaan valomoduuliin verrattuna muutaman asteen verran käytettäessä uutta valuainetta ja uutta alumiiniprofiilia. Valomoduulin rakenteessa ja valumassassa ei havaittu olosuhdekokeen jälkeen merkittäviä silmämääräisiä muutoksia, joten valomoduulit lähetettiin VTT:lle isku- ja tiiveyskokeisiin. Mittaustulosten ja tyyppitestien perusteella valomoduulien uusi rakenne hyväksyttiin ja sertifikaatit päivitettiin. Alumiiniprofiilin päivitys ja valuaineen vaihdon todettiin nopeuttavan ja helpottavan valomoduulien tuotantoa. Tuotannosta saatujen mittaustulosten perusteella myös valuaineen hukkamäärä saatiin minimoitua.

4.1 Lämpötilamittaukset

Käyttölämpötilamittauksissa ja maksimi pintalämpötilan mittauksissa mitattiin valomoduulin lämpenemää sen hetkessä ympäristön lämpötilassa. Lämpenemä laskettiin seuraavasti:

$$T1 - T2 = \Delta T \quad (4)$$

(Konster 2018)

missä

T1 on ajan hetkellä mitattu kuumin lämpötila, ja T2 on ympäristön lämpötila ajan hetkellä. ΔT on lämpenemä.

Käyttölämpötilamittauksissa mitattiin lämpenemät vanhalla ja uudella valuaineella sekä virtalähteillä A ja B (taulukko 10). Käyttölämpötilamittausten suurimmaksi läm-

penemäksi mitattiin 49,5 °C. Käyttölämpötilan suurin lämpenemä määritettiin valo-moduulin mittauspisteeseen 4 käyttäen vanhaa valuainetta ja virtalähdettä B. Mit-taustulosten perusteella uusi valuaine todettiin viileämmäksi normaaleissa käyttö-olosuhteissa kuin vanha valuaine.

Taulukko 10. Käyttölämpötilan mittaustulokset.

Vanha valuaine	A T1	A T2	A ΔT	B T1	B T2	B ΔT
Mittauspiste 1	62,7	25,4	37,3	64,7	26,7	37,9
Mittauspiste 2	68,3	25,4	43,0	70,0	26,6	43,4
Mittauspiste 3	69,8	25,4	44,5	71,6	26,8	44,8
Mittauspiste 4	74,1	25,4	48,7	76,1	26,6	49,5
Mittauspiste 5	63,9	25,4	38,5	65,5	26,7	38,8
Uusi valuaine	A T1	A T2	A ΔT	B T1	B T2	B ΔT
Mittauspiste 1	59,1	24,7	34,4	60,8	25,9	34,9
Mittauspiste 2	63,9	25,0	38,9	66,2	25,8	40,4
Mittauspiste 3	65,5	25,0	40,5	68,1	25,8	42,2
Mittauspiste 4	70,0	25,0	45,0	72,4	25,8	46,5
Mittauspiste 5	60,8	24,7	36,1	62,7	25,8	36,8

Maksimi pintalämpötilan mittaus tehtiin kahdella valuaineella. Mittaukset suoritettiin aluksi vanhalle valuaineelle, minkä jälkeen mittaus toistettiin uudelle valuaineelle. Laitteen lämpötilaluokkaa määriteltessä laskettiin yhteen laitteen haluttu käyttöläm-pötila ja maksimi pintalämpötilan mittauksesta saatu suurin lämpenemä. Siihen li-sättiin vielä yleisvaatimusstandardissa määritelty T4-lämpötilaluokan viiden asteen varmuusmarginaali (IEC 60079-0 2011, kohta 26.5.1.3). Maksimi pintalämpötila las-kettiin seuraavasti:

$$T_{kl} + \Delta T + T_{vm} = T_{mpl} \quad (5)$$

(IEC 60079-0 2011, kohta 26.5.1.3)

missä

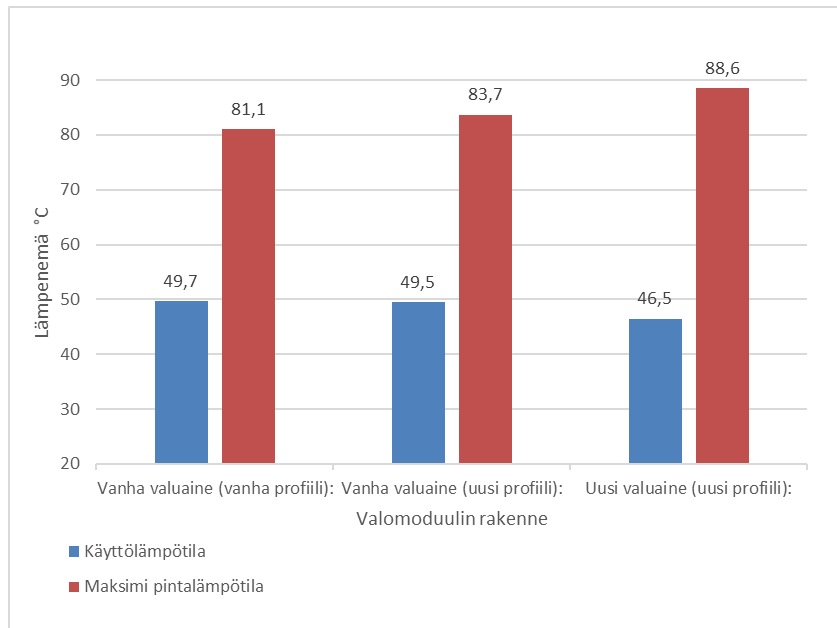
T_{kl} on laitteen haluttu käyttölämpötila 40 °C, ΔT on suurin mitattu lämpenemä 88,6 °C, T_{vm} on varmuusmarginaali 5 °C ja T_{mpl} on maksimi pintalämpötila 133,6 °C.

Maksimi pintalämpötilan suurimmaksi lämpenemäksi mitattiin 88,6 °C uudelle valuaaineelle (taulukko 11.) Mitattu maksimi pintalämpötila ei saanut ylittää ryhmän II laitteeseen merkittyä lämpötilaluokkaa vähennettynä viidellä asteella (SFS-EN 60079-0 + A11 2013, kohta 26.5.1.3). Tässä tapauksessa lämpötilaluokka haluttiin pitää T4:nä, joten maksimi pintalämpötila ei saanut ylittää 135:tä °C. Mittausten perusteella valaisimen lämpötilaluokaksi voitiin määrittää T4, koska maksimi pintalämpötilaksi saatiin varmuusmarginaalin huomioiden 133,6 °C.

Taulukko 11. Maksimi pintalämpötilan mittaustulokset.

Vanha valuaaine	Tmax	Tamb	ΔT
Mittauspiste A	108,7	25,0	83,7
Mittauspiste B	100,0	25,0	75,1
Uusi valuaaine	Tmax	Tamb	ΔT
Mittauspiste A	113,6	25,0	88,6
Mittauspiste B	105,2	25,0	80,2

Vertaillen vanhan ja päivitetyn valomoduulin lämpötilamittauksia voitiin todeta, etteivät lämpötilat muuttuneet oleellisesti. Edellisen valomoduulin lämpötilamittausten tulokset saatiin vuonna 2016 tehdyistä käyttölämpötilan ja maksimi pintalämpötilan mittausraporteista (Takala 2016). Valomoduulien vanhan ja uuden rakenteen suurimmat mitatut lämpenemät on esitetty kuviossa 10. Valomoduulin edellisen version lämpötilamittauksiin verrattuna käyttölämpötila ei muuttunut merkittävästi käytettäessä vanhaa valuaainetta ja uutta alumiiniprofiilia. Uudella valuaaineella ja profiililla käyttölämpötila laski noin kolmen asteen verran. Päivitetyn valomoduulin maksimi pintalämpötila uudella valuaaineella kasvoi 7,5 °C edellisiin mittauksiin verrattuna, mutta sillä ei todettu olevan vaikutusta laitteen lämpötilaluokkaan. Uuden valuaaineen mittaustuloksiin vaikuttivat mittauksissa käytetyt virtalähteet ja aika, jonka valaisin oli päällä ennen mittauksen aloittamista.



Kuvio 10. Valomoduulin suurimmat lämpenemät.

4.2 Olosuhdekoe

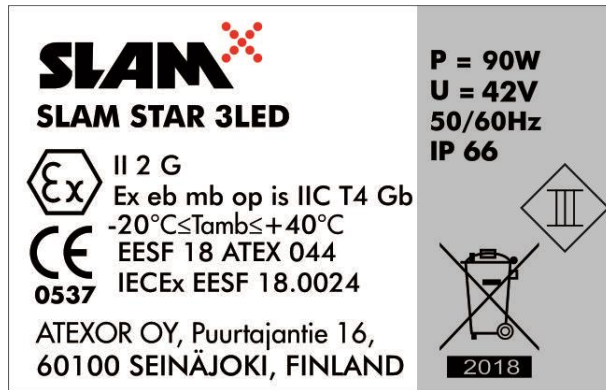
Valomoduuleita pidettiin sääkaapissa yhteensä neljän viikon ajan vaihtelevissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Olosuhdekokeessa havaittiin valuaineen paisuvan hiukan 95 °C lämpötilassa ja 90 % suhteellisessa kosteudessa, jonka takia täyttöventtiili irtosi kiinnitysreiästään. Tämän ei todettu vaikuttavan Ex-suojausrakenteeseen, koska täyttöventtiili ei ole Ex-suojausrakenteen osa. Valomoduulin rakenteessa ja valumassassa ei havaittu olosuhdekokeen jälkeen muita silmämääräisiä muutoksia, joten valomoduulit lähetettiin VTT:lle jatkotestattavaksi.

4.3 Sertifikaattien päivitys

Atexor Oy:lla tehtyjen tyyppitestien jälkeen mittaustulokset ja valomoduulit lähetettiin hyvin pakattuina Teknologian tutkimuskeskus VTT:lle, jossa niille suoritettiin loput tyyppitestit. Atexor Oy:lla ja VTT:llä tehtyjen tyyppitestien tulosten perusteella Slam Star -syväsiteilijän sertifikaatit ja tyyppikilvet päivitettiin. Päivityksen jälkeen päivitetty valomoduuli ja uusi valuaine voitiin ottaa tuotantoon. Sertifikaatin tunnus VTT muutettiin muotoon EESF, koska 1.6.2018 lähtien VTT Expert Services Oy oli nimeltään Eurofins Expert Services Oy (Eurofins Expert Services Oy 2018).

Tyypikilpi (kuvio 11) ja sertifikaatit päivitettiin seuraavasti:

- VTT 15 ATEX 077 ... EESF 18 ATEX 044
- VTT 16 ATEX 008 ... EESF 18 ATEX 045
- IECEx VTT 16.0002 ... IECEx EESF 18.0024.



Kuvio 11. Päivitetty SLAM Starin tyypikilpi.
(Atexor Oy 2018.)

4.4 Valuprosessin aika ja hukka

Alumiiniprofiilin päivityksen ja uuden valuaineen todettiin lyhentävän valun prosessiaikaa, helpottavan valomoduulien tuotantoa ja vähentävän valuaineen hukkaa. Valomoduulien koevalujen avulla huomattiin, että uudella alumiiniprofiililla valuaine virtaa rakenteessa huomattavasti paremmin ja tasaisemmin kuin vanhalla alumiiniprofiililla.

Taulukko 12. Valuprosessiin kulunut aika minuutteina.

Valuprosessi	Vanha	Uusi	%
Valomoduulin nostaminen valutelineeseen	0,5	0	100
Valomoduulin täyttöaika	25	2	92
Valomoduulin nostaminen kuivumistelineeseen	1	0	100
Valomoduulin jälkikäsitely (puhdistus ja tarroitus)	8	4	50
Yhteensä:	34	6	82
Asetusaika	Vanha	Uusi	%
Valukoneen käynnistys ja valuaineen vakumointi	110	10	91
Valuympäristön suojaus	30	10	67
Valuympäristön siivous	90	5	94
Yhteensä:	230	25	89

Taulukossa 12 vertailtiin valomoduulin valuprosessiin kulunutta aikaa vanhan ja uuden valomoduulin rakenteen välillä. Mittausten perusteella valomoduulien valamista varten suunnitellun tuotannon apuvälineen avulla valomoduulien turha siirtely saatiin pois valuprosessista. Valomoduulin uuden rakenteen avulla täyttöön kulunutta aikaa lyhennettiin noin 92 %, läpivalutuksesta johtuvaa jälkikäsitelyaikaa noin puolella ja valuympäristön siivoukseen kuluva aikaa noin 94 %. Uuden valuaineen käynnistysvalmisteluihin ja vakumointiin kului aikaa noin 91 % vähemmän. Tästä voidaan päätellä, että yhden valomoduulin tuotantoaika nopeutui noin 82 % ja valamisen valmistelu nopeutui noin 89 %.

Valuprosessiin ja asetuksiin kulunutta aikaa onnistuttiin lyhentämään, koska valuaineen läpivalutukselle ei ollut enää lainkaan tarvetta uudella valomoduulilla. Uusien valomoduulien koevalujen avulla huomattiin, että ilmakuplat pääsivät nousemaan pois rakenteesta painovoimaisesti ja näin ollen valuaineen hukka minimoitiin aikaisempaan 62 prosentin hukkaan verrattuna lähes kokonaan pois. Todelliset valuainehukan määrät saadaan paremmin selville, kun uusien valomoduulien tuotanto saadaan käyntiin.

5 YHTEENVETO

Atexor Oy valmistaa räjähdysvaarallisiin tiloihin käytettäväksi tarkoitettuja siirrettäviä valaisimia. Sen tuotevalikoimaan kuuluu ammattikäyttöön ja räjähdysvaarallisiin tiloihin käytettäväksi tarkoitetut valaisimet ja niiden lisätarvikkeet. Tuotteita käytetään erityisesti öljyteollisuudessa, julkisen liikenteen toiminnoissa, pelastustöissä, maanpuolustuksessa ja puolijohdeteollisuudessa. Opinnäytetyössä perehdyttiin yrityksen SLAM Star -syväsäteilijän valomoduulin jatkokehitykseen ja sen tyyppihyväksyntämittauksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli jatkokehittää SLAM Star -syväsäteilijän valomoduulin rakennetta niin, että sen valaminen helpottuu. Tutkimustyössä tutkittiin ja hyödynnettiin Ex-standardeja ja -määräyksiä valomoduulin jatkokehityksessä ja tyyppitestimittauksissa. Tyyppitestimittauksen avulla selvitettiin, vaikuttaako valomoduulin lämpötilat oleellisesti sertifikaattien päivitykseen ja kestäkö uusi valumassarakente olosuhdekokeen. Tyyppitestien tulosten avulla pyrittiin päivittämään laitteen sertifikaatit, joiden avulla valomoduulin uusi versio saatiin tuotantoon.

Työssä tutkittiin Ex-standardeja ja -määräyksiä. Niitä tutkimalla selvitettiin, että SLAM Star on merkitty ja sertifioitu Ex-standardien mukaisesti. Rakenteessa otettiin huomioon sekä räjähdysvaarallisten tilojen laitteiden yleisvaatimusstandardin vaatimukset ja tyyppitestimittaukset että varmennetun rakenteen ja massavalurakenteen standardien määräykset. Valaisimen rakenne on toteutettu niin, että sen tuottama optinen säteily ei voi energiallaan aiheuttaa syttymisvaaraa räjähdysvaarallisessa ympäristössä. Atexor Oy:n vuosien kokemuksesta räjähdysturvallisuudesta oli paljon hyötyä tutkimustyön etenemisessä ja standardien tulkitsemisessa. Valomoduulin rakenteen kehitystyössä ja tyyppihyväksyntämittauksissa huomattiin, kuinka tarkasti Ex-laitteen rakenne ja sitä varten tehtävät tyyppitestit oli määritelty standardeissa ja Ex-määräyksissä. Räjähdysturvallisen laitteen rakenne, lämpötilat, optisen säteilyn määrä ja tyyppitestit oli määritelty standardeissa hyvin yksityiskohtaisesti. Tutkimustyöstä teki myös haasteellisen englanninkieliset ja suhteellisen laajat standardit, joiden tulkintaan vaadittiin huolellista paneutumista.

Valomoduulin rakennetta muutettiin vaihtamalla sen alumiiniprofiili ja valuaine. Koska valumassa vaihdettiin, sertifikaatit piti päivittää ennen muutosten viemistä

tuotantoon. Työn tavoitteena oli suorittaa standardien mukaiset tyyppihyväksyntämittaukset sertifiointien päivitystä varten ja tutkia standardien määräysten yhteyttä tyyppitestimittausten kulkuun. Työssä perehdyttiin myös mittauksissa käytettyihin mittauslaitteisiin ja niiden toimintaan.

Käyttölämpötilamittauksella selvitettiin laitteen suurin käyttölämpötila ottamatta huomioon sen vikatiloja. Käyttölämpötilamittauksen avulla selvitettiin rakenteen kuumin piste, jonka avulla määritettiin myös olosuhdekokeen lämpötila-arvot. Lämpötilojen ei havaittu nousevan merkittävästi uudella alumiiniprofiililla ja valuaineella edelliseen valomoduulin versioon verrattuna. Maksimi pintalämpötilan mittauksella selvitettiin valomoduulin suurin lämpötila laitteelle epäsuotuisimmissa olosuhteissa. Maksimi pintalämpötilan avulla määriteltiin tuotteen lämpötilaluokka, joka pysyi ennallaan. Mittaukset suoritettiin vanhalle ja uudelle valuaineelle käyttämällä uutta alumiiniprofiilia ja eri virtalähteitä.

Käyttölämpötilamittausten korkeimman lämpötilan perusteella valomoduulille suoritettiin standardien mukainen olosuhdekoe, jonka avulla selvitettiin uuden valumasarakenteen kesto erilaisissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Olosuhdekokeessa valomoduulille tehtiin terminen lämmönkestävyystesti ja terminen kylmänkestävyystesti. Olosuhdekokeen jälkeen testatuissa valomoduuleissa ei havaittu merkittäviä silmämääräisiä muutoksia. Atexor Oy:lla tehtyjen tyyppitestien mittaustulokset ja olosuhdekokeessa olleet valomoduulit lähetettiin VTT:lle arvioitaviksi ja jatkotestatavaksi.

Uudelle valomoduulin rakenteelle suoritettujen lämpötilamittausten, olosuhdekokeen ja muiden tyyppitestien avulla tuotteen sertifiointit päivitettiin ja valomoduulin uusi versio saatiin tuotantoon. Alumiiniprofiilin päivitys ja valuaineen vaihdon todettiin nopeuttavan ja helpottavan valomoduulien tuotantoa. Tutkimustyö katsottiin onnistuneeksi, koska SLAM Star -syväsiteilijän sertifiointit päivitettiin ja valomoduulin uusi versio saatiin tuotantoon.

LÄHTEET

Atexor Oy. 2016. SLAM Star tyyppikilpi. [Kuva].

Atexor Oy. 2018. Päivitetty SLAM Star tyyppikilpi. [Kuva].

Atexor Oy. Ei päiväystä. Company. [Verkkosivu]. Atexor Oy. [Viitattu 6.8.2018]. Saatavana: <https://www.atexor.com/company>

Espec corporation. 1998. User's manual. Temperature (& Humidity) Chambers Platinous K Series Chambers, Basic Operation. Julkaisematon.

Eurofins Expert Services Oy. 2018. Uusi nimemme on Eurofins Expert Services Oy. [Verkkosivu]. Ajankohtaista. Saatavana: https://www.vttexpertservices.fi/ajankohtaista/uutiset/news201806_nimemme-on-eurofins-expert-services-oy

Fluke corporation. 2018. Tuotteet. [Verkkosivu]. Sähkötestaus. Saatavana: <https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/sahkotestaus/kannettavat-oskilloskoopit/fluke-120b>

Huovinen, V. 1962. Havukka-ahon ajattelijä, 14. painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö, WSOY.

Infradex Oy. 2018. Lämpösäteily ja infrapuna. [Verkkosivu]. Lämpökameran toiminta. Saatavana: <https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>

Kaski, J. 2018. Henkilöstökäsikirja. Atexor Oy. Julkaisematon.

Konster, M. 2007. Siirrettävä teollisuusturvavalaisin. Informaatio- ja kommunikaatioteknologian yksikkö, Seinäjoki. Tietotekniikan koulutusohjelma, mekatroniikka. Opinnäytetyö. Julkaisematon.

Konster, M. 2018. Tuotekehitystiimin vetäjä. Atexor Oy. Keskustelut 2018.

Kärhä, P. 2004. Mittaustekniikan perusteet / luento 9. [Verkkojulkaisu]. Espoo: Aalto University School of Electrical Engineering Department of Signal Processing and Acoustics Metrology Research Institute. Saatavana: <http://metrology.tkk.fi/courses/s108-195/Luento9.pdf>

Nurmi, T. Ei päiväystä. Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteiden standardit. [Verkkojulkaisu]. SESKO ry. [Viitattu 23.8.2018]. Saatavana: https://www.sesko.fi/files/84/ex-standardit_edu_kalvot.pdf

Perkiö, J. 2018. Työnjohtaja. Atexor Oy. Keskustelu 1.10.2018.

- Pico Technology. Ei päiväystä. Products. 8 channel thermocouple data logger. [Verkkosivu]. (Pico Technology Limited, [Viitattu 31.8.2018].) Saatavana: <https://www.picotech.com/data-logger/tc-08/thermocouple-data-logger>
- Pietiko Oy. Ei päiväystä. Mittaustietoa. [Verkkosivu]. Termoelementti- ja vastusanturit. (Pietiko Oy, [Viitattu 31.8.2018].) Saatavana: <https://www.pietiko.fi/mittaustietoa/termoelementti--ja-vastusanturit>
- Rintala, T. 2018. Time to act on optical radiation from LED luminaires. [Verkkoleh-tiartikkeli]. Hazardex. Saatavana: <http://www.hazardexonthenet.net/article/155915/Time-to-act-on-optical-radiation-from-LED-luminaires.aspx>
- SESKO ry. 2014. Ajankohtaista sähkö- ja elektroniikka-alan standardoinnista. [Verkkojulkaisu]. SESKO ry. Saatavana: https://www.sesko.fi/files/224/SESKO_114_web.pdf
- SESKO ry. 2018. SFS-käsikirja 604-1. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 1: Määräykset, tilaluokitus ja sähkölaitteiden rakenteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2013. CE-merkintä rakennustuotteisiin 2013 mennessä. [Verkkojulkaisu]. Saatavana: <https://www.sfs.fi/files/307/ce-merkinta2013.pdf>
- Takala, J. 2016. Testiraportit CNT-15-0005 Slam Star valomoduuli vikatilanne ja CNT-15-0009 Slam Star 24V service temp. Seinäjoki: Atexor Oy. Julkaisema-ton.
- Tukes. 2017. ATEX-starttipaketti. [Verkkojulkaisu]. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavana: <https://tukes.fi/documents/5470659/8293726/ATEX-starttipaketti-2017.pdf/b440ed57-218e-4eda-a5b9-42df468e0b5f>
- VTT Expert Services Ltd, Sulonen R., Hirvelä, J. 2016. Sähköpostikeskustelut 2016. Espoo: VTT Expert Services Ltd.
- VTT Expert Services Ltd, Sulonen, R., Koskela, K. & Siirola, M. 2016. EC-Type examination certificate VTT 15 ATEX 077. [Verkkojulkaisu]. Espoo: VTT Expert Services Ltd. Saatavana: https://www.atexor.com/sites/default/files/documents/Edit%20Product%20SLAM%C2%AE%20STAR%20PORTABLE%20FLOODLIGHT/vtt_15_atex_077_id_188181.pdf

TYÖSSÄ KÄYTETYT STANDARDIT

- IEC 60079-1. 2014. Explosive atmospheres. Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures "d". Geneva: IEC.

IEC 60079-14. 2013. Explosive atmospheres. Part 14: Electrical installations design, selection and erection. Geneva: IEC.

IEC 60079-18. 2014. Explosive atmospheres. Part 18: Equipment protection by encapsulation "m". Geneva: IEC.

IEC 60079-28. 2015. Explosive atmospheres. Part 28: Protection of equipment and transmission systems using optical radiation. Geneva: IEC.

IEC 60079-7. 2015. Explosive atmospheres. Part 7: Equipment protection by increased safety "e". Geneva: IEC.

S+ IEC 60079-0. 2011. Explosive atmospheres. Part 0: Equipment – General requirements. Geneva: IEC.

SFS-EN 60079-0 + A11. 2013. Räjähdyksvaaralliset tilat. Osa 0: Laitteet. Yleisvaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 60529 + A1. 2011. Sähkölaitteiden koteloitiluokat (IP-koodi). Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 60598-1 + A11. 2009. Valaisimet. Osa 1: Yleiset vaatimukset ja testit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.