

Arttu Juntunen

SILIKONIPROFIILIN STANDARDINMUKAINEN PALOTESTAUS

SILIKONIPROFIILIEIN STANDARDINMUKAINEN PALOTESTAUS

Arttu Juntunen
Opinnäytetyö
Kevät 2025
Energiatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Arttu Juntunen

Opinnäytetyön nimi: Silikoniprofiilien standardinmukainen palotestaus

Työn ohjaaja(t): Tilly Andersson

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: 6/2025

Sivumäärä: 37 + 1 liitettä

Opinnäytetyössä käytiin läpi Euroopan alueella raide- ja laivaliikenteen standardien palotestausvaatimuksia silikoniprofiilien toimittajille. Työn toimeksiantajana toimi V.A.V Group Oy, suomalainen silikoniprofiilivalmistaja listä. Aiheen taustalla oli toimeksiantajan tarve uusia palotestiraportteja.

Työn tavoitteena oli määrittää yrityksen kasvulle tärkeät standardit markkina-alueella, kartoittaa laboratoriotestausta tekevät yritykset ja suorittaa tuotekehitystä palonkestävän silikoniseoksen osalta toimittajien uusilla halogeenittomilla lisäaineilla.

SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023-standardin ja IMO FTP Code 2010:n palamiskäyttäytymisvaatimusten täyttäminen antaa hyvät lähtökohdat yritykselle toimia työhön rajatulla alueella. Työssä kartoitettiin näiden standardien vaatimukset yrityksen toimittamille tuotteille. Yritykselle merkittäviä uusia standardeja ei selvitysvaiheessa löydetty. Maakohtaisien standardien mukaisia testejä harkitaan tulevaisuudessa projektin sitä vaatiessa.

Työssä päädyttiin suorittamaan tuotekehitystä toimittajan uusilla halogeenittomilla lisäaineilla. Tuotekehityksen tavoitteena oli luoda uusi palonkestävä silikoniseos, jolla vastattaisiin tulevaisuudessa mahdollisesti kiristyviin turvallisuus- ja kemikaalivaatimuksiin Euroopan alueella.

Tuotekehitys oli onnistunut ja uudella seoksella päädyttiin suorittamaan EN 45545-2 -standardin materiaalin käyttökohteisiin vaatimat palotestit. Testattu uusi materiaali läpäisi kaikki EN 45545-2 -standardin materiaalin käyttökohteissa vaaditut palotestit vaaraluokan HL3- vaatimustasolla, eli korkeimmalla vaatimustasolla. Nämä tulokset osoittavat, että uusi kehitetty materiaali soveltuu käytettäväksi markkina-alueen asiakaskohteisiin palamiskäyttäytymisen osalta. Lisäksi se tarjoaa valmiuksia toimia mahdollisesti Euroopan alueella kiristyvien kemikaalivaatimusten myötä.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin onnistuneesti. Selvitys alueella vaikuttavista standardeista, niiden vaatimuksista sekä yrityksen nykyisestä asemasta standardien täyttämässä antaa vahvan perustan kilpailukyvyllä markkina-alueella myös tulevaisuudessa. Uuden testausyhteistyökumppanin löytäminen tukee yrityksen valmiuksia vastata vaatimuksiin ja kehittää tuotteita. Lisäksi uusi, EN 45545-2 -standardin täyttävä halogeeniton silikoniseos vahvistaa yrityksen asemaa palonkestävien tuotteiden tarjoajana. Näiden toimenpiteiden myötä yrityksellä on hyvät edellytykset jatkaa kasvua Euroopan laiva- ja raideliikennemarkkinoilla.

Avainsanat: Silikoniprofiili, palotestaus, EN45545-2, palonkesto,

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Bachelor of Engineering, Energy and Environmental Engineering

Author(s): Arttu Juntunen
Title of thesis: Standardized fire testing for silicone profiles
Supervisor(s): Tilly Andersson
Term and year when the thesis was submitted: 6/2025
Number of pages: 37 + 1 appendix

The thesis reviews the fire testing requirements for silicone profile suppliers in new construction projects in the rail and maritime sectors within the European region. The commissioning party is V.A.V Group Oy, a Finnish silicone profile manufacturer based in Ii. The subject came from the company's need to renew fire test reports. Scope of the work was expanded to include a broader examination of the topic.

The objectives of the thesis were to identify the key standards relevant to the company's growth in the target market area, map laboratories performing fire testing, and carry out product development of a fire-resistant silicone compound using the supplier's new halogen-free additives.

The standards SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023 and IMO FTP Code 2010 define the fire safety requirements for materials used in railway and marine applications within Europe. These standards specify the required fire testing methods and performance criteria for materials and components used in construction. Evaluated aspects include flame spread, smoke density, and toxicity. Complying with the fire safety requirements of EN 45545-2 and the IMO FTP Code provides the company with sufficient readiness to operate in the defined market area.

Product development was carried out using the supplier's new halogen-free additives. The objective was to create a new fire-resistant silicone compound that would meet potentially tightening fire safety and chemical regulations in the European region. Fire tests required by the EN 45545-2 standard for the intended applications of the material were conducted to ensure the compound's suitability for commercial use.

The newly developed material passed all required fire tests under the EN 45545-2 standard at Hazard Level HL3, the highest performance level. These results demonstrate that the material is suitable for use in customer applications within the target market in terms of fire behavior. Furthermore, it provides readiness to meet potentially stricter chemical regulations in Europe in the future.

The objectives set for the thesis were successfully achieved. The study of relevant standards in the area, their requirements, and the company's current level of compliance provides a strong foundation for continued operations and competitiveness in the market area in the future. Finding a new testing partner supports the company's ability to meet requirements and develop its products. In addition, the new halogen-free silicone compound compliant with the EN 45545-2 standard strengthens the company's position as a supplier of fire-resistant products.

Keywords: silicone profile, fire retardant, EN45545-2,

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PALONKESTÄVÄT SILIKONITUOTTEET	7
2.1	Silikonikumin lämmön- ja palonkesto-ominaisuudet	7
2.2	Silikoniprofiilin valmistus	9
2.3	Silikonikumin käyttökohteita	11
2.3.1	Ajoneuvoteollisuus	12
2.3.2	Raide- ja laivaliikenneteollisuus	13
2.3.3	Rakennus- ja energiateollisuus	15
3	MARKKINA-ALUEELLA VAIKUTTAVAT MERKITTÄVÄT STANDARDIT	17
3.1	SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023 Palontorjunta rautateiden kalustoyksiköissä	17
3.1.1	Standardin vaatimukset palamiskäyttämiseksi listatuille tuotteille	18
3.1.2	Vaatimusluokittelun määräämät palotestit ja palotestien vaatimukset V.A.V Groupin toimittamille materiaaleille	19
3.2	IMO 2010 FTP CODE	24
3.2.1	IMO 2010 FTP CODE osa 2 – savunmuodostuminen ja myrkyllisyys	24
3.2.2	IMO 2010 FTP CODE osa 5 – Liekin leviäminen	26
4	STANDARDIEN MUKAISET PALOTESTAUKSET	28
4.1	Palotestauksen nykytilanne	28
4.2	Uuden halogeenittoman palonkestosilikoniseoksen kehittäminen ja koesuunnitelma	29
4.3	Polttokokeiden lopputulokset	32
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	33
	LÄHTEET	35
	LIITTEET	37

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan V.A.V Group Oy:n valmistamille silikoniprofiileille markkina-alueella vaadittavien paloturvallisuusstandardien vaatimuksia yrityksen toimittamille palonkestäville silikonituotteille. Työhön markkina-alue on rajattu tämänhetkisen myynnin ja sen kasvupotentiaalın mukaan Euroopan maihin raide- ja laivaliikenteen uudisrakentamiseen. Näissä kohteissa Euroopan alueella tapahtuvan rakentamisen kaikki vaiheet ovat hyvin pitkälti eri standardien ohjaamia. (1.)

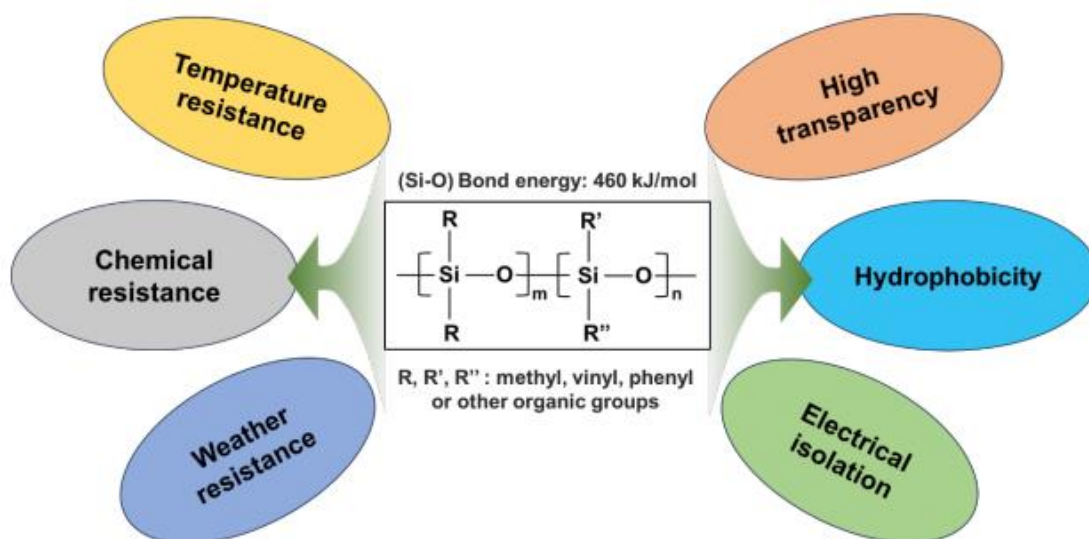
Opinnäytetyön tavoitteena on löytää yrityksen kasvua tukevat markkina-alueella vaadittavat standardit palonkestäville FireX-nimeä kantaville silikoniprofiileille. Palonkestävät silikoniprofiilit saavat parannetut palonkesto-ominaisuudet silikonikumiseokseen lisätyistä palonestoaineista. Niiden käyttö on yleistynyt uudisrakentamisen paloturvallisuusvaatimuksien kiristyessä, esimerkiksi Euroopan alueella kiskoliikenteen uusissa hankkeissa kaikkien materiaalien osalta palonkesto arvioidaan EN 45545-2:2020 + A1:2023-standardin mukaisesti. (1.)

Työssä käydään läpi silikonikumin palonkesto-ominaisuuksien perustaa ja lisäaineilla saatavaa parannusta palonkesto-ominaisuuksiin. Työssä tarkastellaan myös silikoniprofiilin valmistuksen perusteita ja valmiin tuotteen käyttökohteita. Työ käsittelee myös yritykselle markkina-alueen tärkeimpiä paloturvallisuusstandardeja, niiden määrittelemiä palonkestovaatimuksia silikoniprofiileille ja tuotekehitystä vaatimukset täyttävän silikoniseoksen valmistukseen ja testaamiseen.

Opinnäytetyön toimeksiantaja V.A.V Group Oy on vuonna 2005 lissä perustettu Pohjois-Suomalainen tiivisteprofiileja valmistava yritys, jolla on yli 20 vuoden kokemus profiilivalmistuksesta. Yritys pystyy valmistamaan korkealaatuiset silikonista ja TPE:stä (termoplastinen elastomeri) valmistetut profiilit, sekä niiden kokoonpanot aina raaka-aineseoksista lähtien. Yrityksen tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan alusta asti asiakkaalle sopivaksi lin tehtaalla. Yrityksen palveluita myydään Suomen markkinoilla ja vientiä on myös ympäri maailman rakennus-, raide- ja laivateollisuuteen, sekä raskaaseen teollisuuteen. Viennin osuus koko yrityksen myynnistä vuonna 2024 oli n. 30 %. (2.)

2 PALONKESTÄVÄT SILIKONITUOTTEET

Silikonikumi on synteettinen elastomeeri, jonka polymeeriketju muodostuu siloksaaneista, joiden toistuvana yksikkönä on pii-happi-keju. Kuva 1 kuvaa silikonikumin molekyyliarakennetta (siloksaani). Siloksaanin (-Si-O-Si-O-) ketjujen rikkominen vaatii enemmän energiaa (433 kJ/mol) kuin orgaanisen kumin hiilidoksien (C – C) ketjut, jotka vaativat 355 kJ/mol. Tästä syystä silikonikumilla on paremmat lämmönkesto-ominaisuudet kuin orgaanisella kumilla. (4, s. 3.) Silikonikumin synteettiset polymeeriketjut ovat hyvin pitkiä ja monimutkaisia, jotka vaativat muodostuakseen yli 1800 °C lämpötilan. Tässä kappaleessa käsitellään silikonikumin kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, esitellään valmistusprosessi sekä tyypillisimmät käyttökohteet.



KUVA 1. Silikonikumin molekyyli rakenne ja ominaisuudet (4, s. 2)

2.1 Silikonikumin lämmön- ja palonkesto-ominaisuudet

Silikonikumin erinomainen lämmönkesto on yksi suurimmista syistä silikonikumin käytön yleistymiseen. Silikonikumiseoksen käyttölämpötila-alue on aina hetkellisistä 350 °C:n lämpötiloista -70 °C:seen. 150 °C:n käyttölämpötila ei käytännössä vaikuta kumin ominaisuuksiin ollenkaan, ja se voi kestää 200 °C:n käyttölämpötilassa jopa 10 000 käyttötuntia. (4, s. 3.)

Silikonikumilla on luontaista palonsietokykyä ja esimerkiksi suoralle liekille altistettuna silikonikumi ei leimahda helposti. Silikonikumi kuitenkin syttyy tuleen, kun se altistetaan suoralle liekille useamman sekunnin ajaksi. (4, s. 9.) Silikonikumilla ei ole itsestään sammuvia ominaisuuksia, mutta sitä ja palonkesto-ominaisuuksia voidaan parantaa eri käsittelyin. Tämä voidaan tehdä joko silikonipohjaa valmistaessa muokkaamalla kemiallisesti syntyviä polymeeriketjuja tai lisäämällä lopputuotteen valmistukseen käytettävään seokseen erilaisia palonestoaineita. (5, s. 1, 4.)

Kemiallisesti polymeeriketjuja muokkaamalla lisäämällä ketjuihin alkuaineita esim. typpeä, fosforia ja rikkiä voidaan saavuttaa parempaa palonkestoaa. Tämän kemiallisen muokkauksen hyödyt tulevat siitä, että kun muokkaus tehdään polymeeriketjun syntyessä, vaikutukset muihin silikonikumin ominaisuuksiin ovat vähäisiä. Kemiallinen muokkaus on kuitenkin työllistävää ja täten aika kallista ja tulokset mitä sillä voidaan saavuttaa palonkeston parantamiseksi ovat rajalliset. (5, s. 4, 5.)

Palonestoaineiden lisääminen lopputuotteiden valmistukseen käytettävään seokseen tapahtuu helposti lopputuotteeseen käytettävän materiaalin sekoitusvaiheessa. Tämä on paljon helpompi ja kustannustehokkaampi tapa vaikuttaa materiaalin palonkesto-ominaisuuksiin kuin kemiallisesti polymeeriketjun muokkaus. Usein palonestoaineita joudutaan lisäämään huomattavan iso määrä valmistettavaan seokseen. Määrä vaihtelee palonestoaineen mukaan aina n. 5–20 % lisääainetta, silikoni kiloa kohden, jotta päästään palonkeston osalta haluttuun lopputulokseen. Tämä lisääminen vaikuttaa silikonipohjan ominaisuuksiin esimerkiksi viskositeetin ja läpinäkyvyyden osalta, ja nämä voivat lopputuotteen kannalta olla kriittisiä ominaisuuksien muutoksia. (5, s. 5.)

Palonestoaineista nykypäivänä suositaan halogeenittomia aineita, koska lähes kaikkien halogeeniä sisältävien aineiden käyttö on kielletty ympäristölle aiheutuvien riskien takia (5, s. 18). Halogeenittomia palonestoaineita on neljä eri tyyppiä ja niiden toiminta perustuu eri periaatteisiin:

1. Fosfori-pohjaiset palonestoaineet (P-N)

Esimerkkinä Melamiinipolyfosfaatti (MPP), muodostaa suojaavan hiilikerroksen vapauttaen vapaita radikaaleja, jotka estävät palon leviämistä (5, s. 7).

2. Silikonipohjaiset palonestoaineet POSS (eng. Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane)

Silikonipohjainen palonestoaine eli POSS-yhdisteet muodostavat palamisen aikana nanoko-
koisia SiO₂-partikkeleita, jotka luovat tiheän suojaavan kerroksen estäen lämmön ja hapen
pääsyn. (5, s. 8.)

3. Epäorgaaniset palonestoaineet

Esimerkkeinä alumiinihydroksidi (ATH), Magnesiumhydroksidi (MH), Sinkkikarbonaatti ja LDH
(eng, layered double hydroxide). Epäorgaanisten palonestoaineiden toiminta perustuu palami-
sen aikana vapautuvaan veteen ja hiilidioksidiin laimentaan ja hidastaen palamista. Aineet
edistävät myös suojaavan hiilikerroksen muodostumista materiaalin pintaan. (5, s. 9.)

4. Nanotäyteaineet

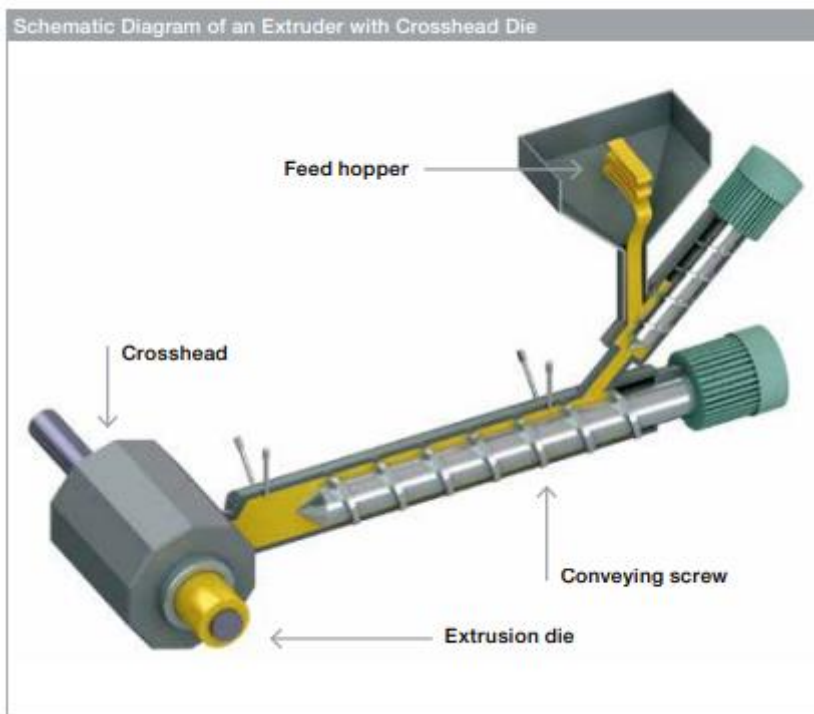
Esimerkkinä hexagonaalinen boorinitridi (h-BN). Toiminta perustuu siihen, että aineiden pala-
amisen aikana syntyy suojaava kerros, joka estää lämmön ja hapen pääsyn. Voivat myös pa-
rantaa materiaalin mekaanisia ja lämmönjohtavuusominaisuuksia. (5, s. 13, 14.)

2.2 Silikoniprofiilin valmistus

Silikonituotteiden valmistukseen on useita eri menetelmiä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pur-
sotukseen. Työn toimeksiantaja valmistaa pääasiassa kaikki silikoniprofiilit pursottamalla. Pursotus
valmistusprosessina on 3-vaiheinen prosessi, joka koostuu silikonipohjan sekoituksesta, pursotuk-
sesta ja vulkanoinnista. Pursotusmenetelmällä valmistettuja lopputuotteita ovat esimerkiksi eri
muotoiset profiilit tai letkut. (6, s. 4.)

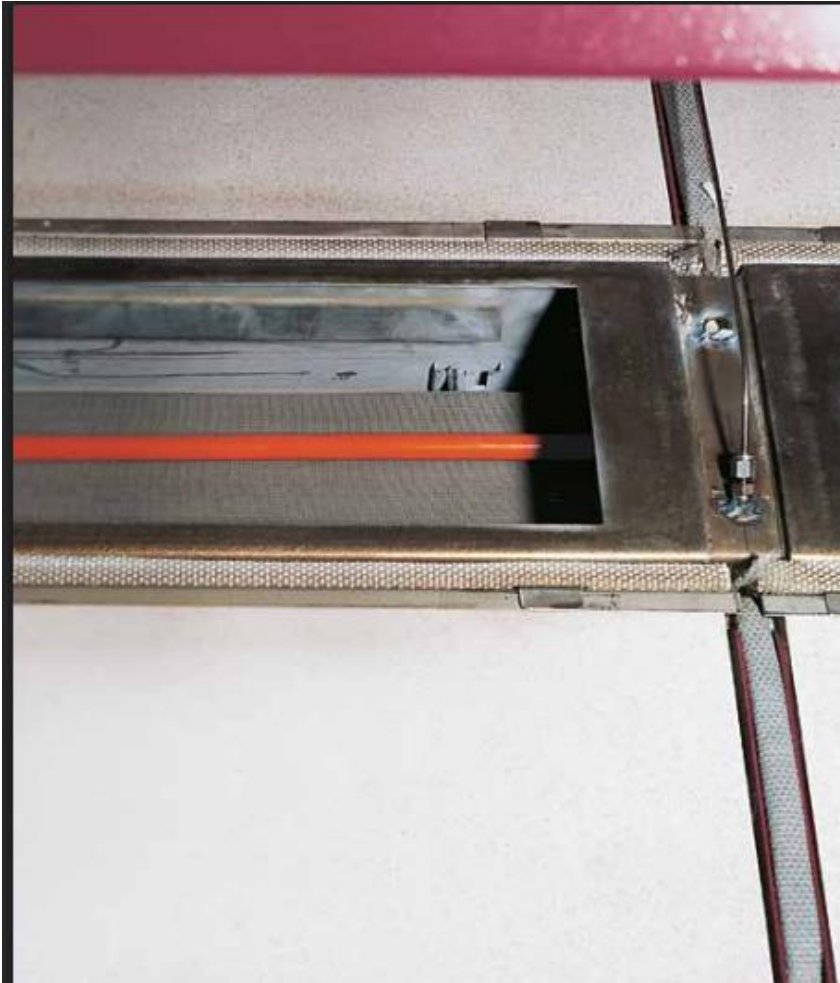
Silikoniprofiilin valmistusprosessi alkaa silikoniseoksen **sekoituksella**. Teollisessa ympäristössä
se tehdään suuren ruuvin tai valssin avulla. (7, s. 30.) Sekoituksen olennainen vaihe on ristisidonta-
aineen valinta (eng. crosslinker), sillä se vaikuttaa myös silikonipohjan valintaan. Ristisidonta-
aineita on kahdenlaisia, platina ja peroksidi. Nämä sitovat silikonipolymeerejä yhdessä lämmön
kansa lukiten sidokset paikalleen. Tätä kutsutaan yleisesti vulkanoinniksi. Tämän jälkeen valitaan
silikonipohja haluttujen lopputuotteen ominaisuuksien mukaan, lisätään haluttuja ominaisuuksia
tuovat lisäaineet kuten väri, mahdolliset täyteaineet ja palon- ja lämmönkestoaineet. (7, s. 10–13.)
Lopputuloksena saadaan homogeeninen seos, joka muotoillaan sopivaksi palkiksi pursotuskoneen
syöttämistä varten (6, s. 4).

Sekoituksen jälkeen tapahtuu **pursotus**. Kuva 2. havainnollistaa pursotuksen eri vaiheet. Pursotus alkaa syöttämällä valmiiksi sekoitettua silikonipalkkia pursotuskoneeseen (eng. extruder). Pursotuskoneessa koneen ruuvi vetää palkkia ja työntää sen tasaisella paineella suuttimen (eng. extrusion die) läpi. Suutin on pyöreä metallilevy missä on aukkoja minkä läpi työnnettävä massa pursoituu ottaen profiilin muodot. (6, s. 4.) Suuttimen jälkeen profiili ohjataan vulkanointiuuniin. Tyyppisimpiä silikoniprofileita mitä pursotus menetelmällä valmistetaan ovat, letkut, profiilit ja o-renkaat (7, s. 41).



KUVA 2. Pursotusprosessin havainnointikuva (7, s. 41)

Viimeisenä tapahtuu **vulkanointi**. Vulkanointiin käytetään siihen suunniteltuja uuneja, joissa pursotettu profiili, esimerkkinä kuvan 3 letku on asetettu metalliselle kuljetinhihnalle, joka kulkee uunin sisällä. Hihna on asetettu kulkemaan samalle nopeudelle millä pursotuskone työntää profiilia ulos, ja se kuljettaa profiilin uunin läpi vulkanoiden profiilin valmiiksi tuotteeksi. Vulkanointilämpötila uunissa on profiilin koon ja kuljetinhihnan kierrosnopeuden mukaan asetettu n. 200–500 °C:seen. Uuneja voidaan lämmittää eri menetelmillä, esimerkiksi ihan perinteisiä vastuksia ja ilmaa kiihdyttäviä puhaltimia hyödyntäen tai infrapunalamppuja ja heijastinpeltejä hyödyntämällä. (7, s. 45, 46.)



KUVA 3. Letku vulkanointiuunissa kuvattuna ylhäältä päin (7, s. 46)

2.3 Silikonikumin käyttökohteita

Silikonikumin käyttö on yleistynyt nopeasti monilla eri teollisuudenaloilla, ja kehitys jatkuu edelleen uusien markkinoiden ja niihin liittyvien haasteiden myötä. Materiaalin suosiota selittää sen ainutlaatuinen yhdistelmä fysikaalisia ominaisuuksia, kuten elastisuus, lämmönkesto ja säänkesto ja kemiallinen kestävyys. (4, s. 9)

Silikonikumin yleisimmät käyttökohteet ovat erilaiset tiivistemateriaaliratkaisut. Sen erinomainen elastisuus mahdollistaa tiiviit ja kestävät ratkaisut haastavissakin käyttöympäristöissä. Yksi silikonikumin merkittävimmistä eduista verrattuna perinteisiin orgaanisiin kumeihin on sen kyky säilyttää joustavuutensa laajalla lämpötila-alueella, tyypillisesti -60 °C :sta aina $+250\text{ °C}$:seen asti. Orgaaniset kumit sen sijaan haurastuvat ja menettävät elastisuutensa kylmissä olosuhteissa, mikä rajoittaa niiden käyttöä erityisesti ulkotiloissa ja vaihtelevissa ilmasto-olosuhteissa ja teollisuuden prosesseissa. (3, s. 9.) Lähtökohtaisesti, jos jokin tiivistemateriaali ei luonnollisissa olosuhteissa kestä

lämmönvaihtelua tai vaihtuvia sääolosuhteita kuten UV-säteilylle altistumista, valitaan käyttökohteeseen aina silikonikumi.

Silikonikumilla on myös muita hyviä ominaisuuksia juuri soveltumiseksi tiivistemateriaaliksi. Näihin kuuluvat muun muassa vedenhyhkivyyys ja hyvä irrotettavuus. Vedenhyhkivyyden ansiosta silikonikumitiivisteet eivät ime kosteutta itseensä, mikä tekee niistä erityisen sopivia kosteisiin olosuhteisiin. Hyvä irrotettavuus taas tarkoittaa, että materiaali ei tartu helposti muihin pintoihin, mikä helpottaa esimerkiksi tiivisteiden asentamista, irrottamista ja puhdistamista. (5, s. 3.)

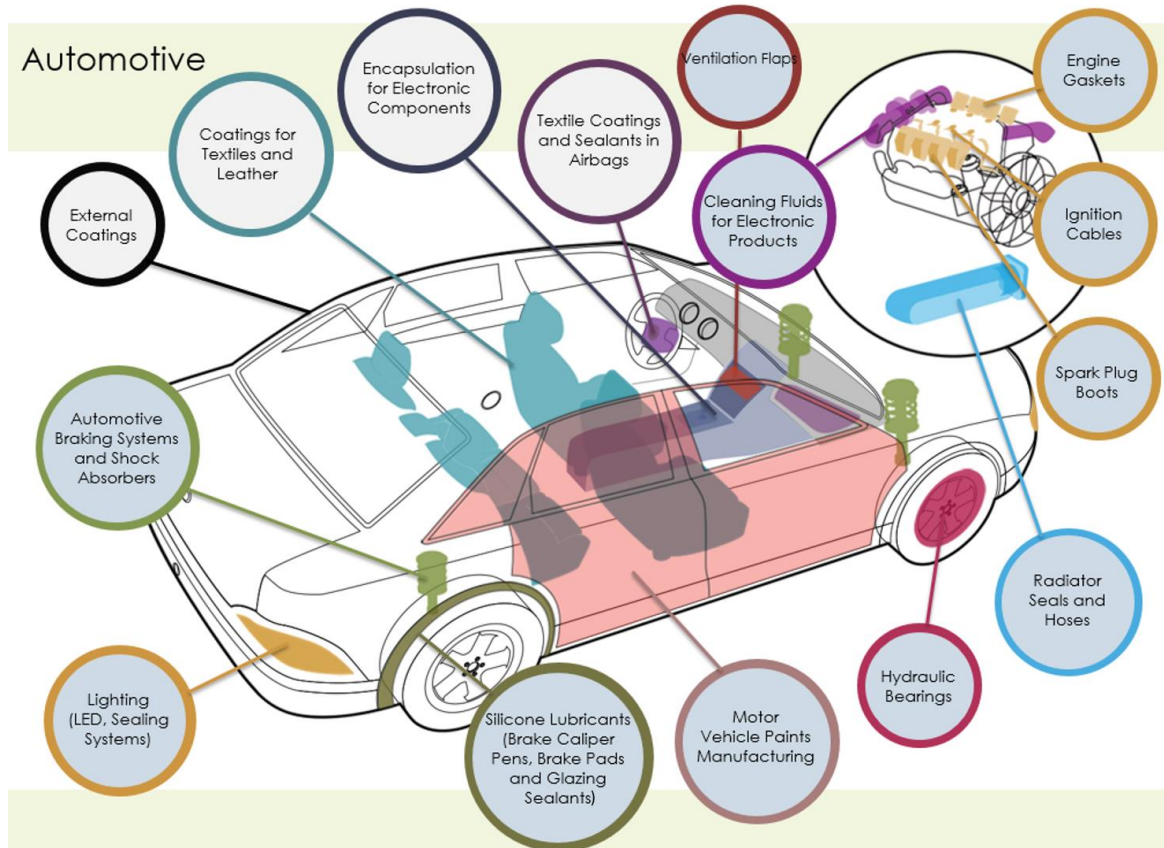
Hyvien tiivistävyyden ominaisuuksiensa ansiosta silikonikumi on löytänyt paikkansa monilla eri sektoreilla, kuten autoteollisuudessa, rakennusteollisuudessa ja energiateollisuudessa. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan näiden sektoreiden tapoja hyödyntää silikonikumin ominaisuuksia tuotteissaan.

2.3.1 Ajoneuvoteollisuus

Ajoneuvoteollisuudessa silikonikumia ja silikonia hyödynnetään laajasti lähes kaikkien komponenttien tiivistyksessä. Sen monipuoliset ominaisuudet ja asennustavat tarjoavat ratkaisuja useisiin autovalmistajien kohtaamiin teknisiin haasteisiin. Silikonikumin erinomaiset tiivistysominaisuudet, korkea kulutuskestävyys, laaja käyttölämpötila-alue sekä kyky vaimentaa värinää tekevät siitä materiaalin vaativiin olosuhteisiin. Lisäksi sen sähköneristävyys on tärkeä ominaisuus erityisesti sähkö- ja hybridiajoneuvojen komponenteissa. Yksi konkreettinen esimerkki silikonikumin käytöstä on sähköautojen akustojen kotelointi, jossa tiivisteiden on kestävä sekä äärimmäisiä lämpötilavaihteluita että mekaanista rasitusta. Samalla tiivisteiden on toimittava sähköneristeenä ja estettävä kosteuden sekä epäpuhtauksien pääsy akkuyksikön sisälle. Silikonikumi täyttää nämä vaatimukset tehokkaasti, mikä tekee siitä ensisijaisen valinnan monissa sähköautojen tiivistysratkaisuissa. (8.)

Kuva 4 listaa muitakin käyttökohteita silikonikumille autoissa. Käyttökohteissa kuten moottorin tiivisteissä tiivisteet ovat tyypillisesti erilaiset muotoon leikatut profiilit tai O-renkaat, jotka asennetaan eri moottorikomponenttien väliin luoden tiiviin liitoksen 2- metallipinnan välille. Näillä tavoitteena on pitää komponenteissa kiertävät nesteet sisällä ja ulkopuolelta haittaa aiheuttavat aineet, kuten kosteus, pöly ja suola ulkopuolella. Yleisesti kaikki sähköjohdot on päällystetty silikonikumilla sähköneristeenä ja niiden liittimien liitoskohdat on tiivistetty esimerkiksi O-renkailla, jotta vesi ja lika ei

pääse liittimiin aiheuttamaan korroosiota. Myös ovet, ikkunat ja esimerkiksi valaisimien kuoret tiivistetään erilaisilla profiileilla, pitäen lian ja kosteuden ajoneuvon ulkopuolella. Kaiken tämän tavoitteena on pidentää auton käyttöikää. (8.)



KUVA 4. Silikonikumin käyttökohteita autoissa. (8)

Monet autoteollisuudessa käytetyt tiivistesovellukset ovat yleisiä myös raide- ja laivateollisuudessa. Toimialalla on lisäksi omia erityispiirteitään, jotka asettavat tiivisteille ainutlaatuisia vaatimuksia. Tässä luvussa on haastateltu työn toimeksiantajan puolelta laatupäällikköä Tuomas Moilasta, jolla on kokemusta tuotekehityksestä juuri näihin haastaviin kohteisiin.

2.3.2 Raide- ja laivaliikenneteollisuus

Raideliikenteessä junien ja metrojen ovet avautuvat ja sulkeutuvat useita kertoja matkan aikana. Tämä jatkuva käyttö edellyttää tiivisteiltä erityisen hyvää kulutuskestävyyttä sekä pitkäikäisyyttä haastavissa olosuhteissa. (9.)

Monissa tapauksissa junien ovet sulkeutuvat toisiaan vasten ilman erillistä mekaanista lukitusta, jolloin ovien väliin jäävien tiivisteiden täytyy yksinään varmistaa riittävä tiiveys. Tämä tarkoittaa, että kahden vastakkain osuvan tiivisteen tulee muodostaa yhdessä tiivis ja joustava rajapinta, joka säilyttää ominaisuutensa kovissakin nopeuksissa. Samalla tiivisteiden on oltava mekaanisesti riittävän jäməkötä kestääkseen ulkoisia kuormituksia, kuten matkustajien nojaamista oviin ajon aikana. (9.)

Tiivisteiltä vaaditaan siis sekä hyviä elastisia ominaisuuksia että mekaanista kestävyyttä esimerkiksi junanovissa. Tiivisteiden kiinnityksen on oltava suunniteltu siten, että ne pysyvät tiukasti paikoillaan koko käyttöiän ajan, vaikka niihin kohdistuisi toistuvia mekaanisia rasituksia. Kiskoajoneuvojen tilaajat yleisesti asettavat ajoneuvojen käyttöiäksi 20–30 vuotta. Korkealaatuinen silikoniprofiili käyttökohteeseen hyvin suunniteltuna ja ylläpidettynä voi kestää koko ajoneuvon käyttöiän vaativista olosuhteista huolimatta. (9.)

Toimeksiantajayritys hyödyntää näissä sovelluksissa niin sanottua kaksikovuussilikonipursotusta. Tällä menetelmällä voidaan valmistaa silikonitiivisteprofiili, jossa yhdistyy kaksi erilaista materiaalkovuustasoa. Pehmeämpi materiaali sijoitetaan osaan, jossa kaksi silikoniprofiilia kohtaavat toisensa, jotta saavutetaan tarvittavat elastiset ominaisuudet ja tiiveys. Kovempaa materiaalia käytetään tiivisteen kiinnitysosassa, jolloin tiiviste pysyy luotettavasti paikoillaan esimerkiksi oven rungon urassa. Tämä rakenneratkaisu mahdollistaa sen, että tiiviste täyttää samanaikaisesti vaatimukset sekä tiiviyden että mekaanisen kiinnittymisen osalta eli ominaisuudet, joita ei välttämättä voida saavuttaa yhdellä materiaalilla. (9.)

Laivoissa, erityisesti suurilla matkustaja- ja risteilyaluksilla, alusten monikerroksinen rakenne, lukuisat hytit sekä monipuoliset palvelut luovat suuret tarpeet erilaisille räätälöidyille tiivisteille. Kerroksien ja hyttien lukumäärän vuoksi tiivisteitä on paljon myös sellaisissa paikoissa missä ne altistuvat suolavedelle, lämmönvaihtelulle ja UV-säteilylle. (9.)

Yksi merkittävä kohde risteilyaluksilla on myös ilmastointilaitteet, niiden eri komponenttien liitoskohdat ja kerrosten läpiviennit niin ilmastointikanavien, putkien kuin sähköjohtojen osalta. Nämä kaikki läpiviennit tulee olla tiivistetty paloturvallisin tavoin. Nämä komponentit rakennetaan yleensä valmiiksi jossain muualla ja esimerkiksi kiinnitys tiivisteelle tulee suunnitella siten, että se on asen-

nettu valmiiksi kanavaan liitettävään komponenttiin. Esimerkiksi keittiön liesituuletin on liitos kohdasta tiivistetty ja asennuspaikassa se vain liitetään osaksi kanavaa tiivistäen liitoskohdan ilman erillistä tiivisteiden asennusvaihetta. (9.)

Laivalta, kuten myös junista, vaikean poistumisen luonteen vuoksi kaikkien tiivisteiden tulee olla palon leviämistä ehkäiseviä ja niille on myös tarkat vaatimukset savukaasun muodostumisen määrän ja myrkyllisyyden osalta. Silikonikumi tarjoaa nämä vaatimukset täyttävät seokset ja täten on hyvin yleisesti käytetty materiaali laiva- ja raideteollisuudessa. (10.)

2.3.3 Rakennus- ja energiateollisuus

Rakennusteollisuudessa isoja haasteita rakennuksille ja niissä käytettäville materiaaleille tulee säänkestosta, esimerkiksi lämmönvaihtelusta ja UV-säteilystä. Myös vesi ja tuuli halutaan pitää ulkona. Silikonikumin ominaisuudet näissä olosuhteissa on ylivoimaiset muihin yleisesti käytössä oleviin materiaaleihin verrattuna ja tästä syystä se valitaan kaikista vaativimpiin kohteisiin. (10.)

Silikonikumi tarjoaa useita mahdollisuuksia kiinnitykselle. Perinteisten uraan painettavien kantojen tai peltien väliin asennuksen lisäksi hyvän liimantarttuvuuden vuoksi silikonitiivisteet voidaan liimata suoraan lasiin, metalliin, muoviin ja puuhun. Nämä kaikki ovat yleisiä materiaaleja ikkunan karmeissa helpottaen asennusta eri käyttökohteissa. Yleisiä käyttökohteita ovatkin ikkuna-, ovi- ja lasitustiivisteet, reunanauhat ja suojalistat, ilmanvaihtokanavien liitoskohtien tiivisteet ja erilaiset ratkaisut tärinän vaimennukseen. (10.)

Parvekelasitukset ovat vaatimuksiltaan esimerkiksi Suomen olosuhteissa sellaisia, missä lähes kaikki valmistajat käyttävät silikonikumiä muiden materiaalien sijaan sen UV-keston ja käyttölämpötila alueen vuoksi.

Energiateollisuudessa silikonikumi on yleisesti käytössä eri energiantuotantomenetelmien käyttökohteissa. Silikonikumin, kemikaalien kestävyys, hyvä lämmönkestävyys, ja pitkä käyttöikä ovat keskeisessä asemassa siinä, miksi eri prosessien haastavissa olosuhteissa tiivisteiden materiaalin osalta päädytään juuri silikoniin. Energiateollisuuden prosesseissa korostuu myös toimintavarmuus ja tämä valitaan usein tärkeimmäksi prioriteetiksi, jolloin useissa kohteissa silikonikumi on varmin vaihtoehto huolimatta siitä, että se olisi vähän kalliimpi vaihtoehto hankinta vaiheessa. (11.)

Yleisimpiä silikonikumista valmistettuja tiivisteratkaisuja energiateollisuudessa ovat, erilaiset räätä- löidyt tiivisteprofiilit, O-renkaat, kustomoidut letkut ja värinän vaimennukseen tarkoitetut profiilit. Si- likoni. Aurinkopaneelien vesitiivis kotelointi on yksi esimerkki, mikä on yleistynyt uusiutuvien ener- gian tuotantomuotojen. Se on tärkeässä roolissa paneelien käyttöikätaitoitteen ja sähkönjohtavuu- den vuoksi. (11.)

3 MARKKINA-ALUEELLA VAIKUTTAVAT MERKITTÄVÄT STANDARDIT

Tällä hetkellä V.A.V Groupin markkina-alue koostuu pääasiassa Suomen ja Pohjois-Euroopan alueesta. Suuri osa yrityksen tulevaisuuden kasvupotentiaalista näkyy näillä alueilla juuri palonkestävien silikonituotteiden yleistymisessä ajoneuvoteollisuuden uudisrakentamisessa.

Euroopan alueella tuotteita toimittavat yritykset joutuvat tarkkaan noudattamaan uudisrakentamisessa pitkälti standardoituja rakennusvaiheita. Näissä standardeissa esitetään myös vaatimukset tavaran toimittajille, ja tästä syystä tavarantoimittajien tulee suorittaa standardien mukaista testausta säilyttääkseen kilpailukykyä. Tässä kappaleessa tarkastellaan oleellisempia markkina-alueella vaikuttavia standardeja.

3.1 SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023 Palontorjunta rautateiden kalustoyksiköissä

Standardi SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023 on osa 2 eurooppalaista standardisarjaa, jonka yleisotsikko on Rautatiesovellukset. Rautatiesovellukset standardisarjassa EN45545 määrittävät toimenpiteet ja vaatimukset henkilöiden turvallisuuden näkökulmasta kiskoajoneuvon tulipalotilanteissa. Sarja on kehitetty Kansainvälisen rautatieliiton ja Euroopan maiden kanssa olemassa olevien paloturvallisuusmääräyksien pohjalta. (12, s. 2.)

EN45545-1- standardi eli standardisarjan osa 1 vaatii, että kaikkien kiskoajoneuvoissa käytettävien materiaalien ja komponenttien tulee noudattaa standardin SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023, eli sarjan osan 2 määräyksiä. Testauksen toteutumisesta vastaa kiskoajoneuvojen toimittaja. Standardisarjan osassa 2 määritellään kiskoajoneuvoissa käytettyjen materiaalien ja komponenttien palamiskäyttäytymisen vaatimukset. (12, s. 2, 3.)

TAULUKKO 1. SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023 -standardin Taulukko 1. Vaaraluokat (13, s. 11)

Käyttö- luokka	Suunnitteluluokka			
	N: Standardiajoneuvot	A: Automaattijunan muodostavat vaunut, joissa ei ole pelastus- toimiin koulutettua henkilöstöä	D: Kaksikerrosvaunut	S: Makuuvaunut ja lepovaunut
1	HL1	HL1	HL1	HL2
2	HL2	HL2	HL2	HL2
3	HL2	HL2	HL2	HL3
4	HL3	HL3	HL3	HL3

Palamiskäyttötymisen määrittelyä standardin osassa 2 on tehty vaara- ja vaatimusluokkia käyttäen. Vaaraluokat on laadittu EN45545-1- standardissa määritellyjä käyttö- ja suunnitteluluokkia käyttäen. Taulukossa 1 on esitetty käyttö- ja suunnitteluluokkien vaikutukset vaaraluokkiin HL1, HL2 ja HL3. HL1 on matalin taso ja HL3 korkein. Vaaraluokkiin perustuvat vaatimusluokat määrittävät mitä palotestaustestausmenetelmiä eri komponenteille tulee käyttää ja ajoneuvon käyttö ja suunnitteluluokka taas määrittää hyväksymiskriteerit vaaraluokkien mukaan. Nämä esitetään taulukossa 1. (13, s. 9-11.)

Standardi avaa tarkemmin palamiskäyttötymisen arvioinnin luokittelua kaikille kiskoajoneuvoihin sijoitettaville materiaaleille ja komponenteille, mutta tässä opinnäytetyössä tarkastellaan standardin palamiskäyttötymisen arviointia standardin listatuiden tuotteiden osalta, koska toimeksiantajan tuotteet kuuluvat tähän luokitteluun.

3.1.1 Standardin vaatimukset palamiskäyttötymiselle listatuille tuotteille

Materiaalien ja komponenttien palamiskäyttötymisvaatimukset yleisesti riippuvia niin materiaalin ominaisuuksista kuin niiden määrästä ja sijoittelusta kiskoajoneuvossa. Listatut tuotteet ovat standardin yleisimmin käytettävät tuotteet, jotka on listattu näiden tekijöiden ja vaaraluokan perusteella. Listauksen tavoitteena on, palamiskäyttötymisen testausvaatimukset olisivat mahdollisimman selkeitä eri tuoteryhmille. (13, s. 15–20.)

Listatut tuotteet on luokiteltu ja jaettu alaryhmiin niiden käyttökohteen (sisällä vai ulkona) ja tuotteiden käyttötarkoituksen (esim. kaluste ja sähkötekninen laite) mukaan. Alaryhmään luokiteltu tuote saa vaatimusluokan (koodi R), joka määrittelee tuotteiden kykyä estää palon leviämistä.

Standardin taulukko 2 ”Listattuja tuotteita koskevat vaatimukset” määrittää listattujen tuotteiden ryhmittelyn ja näille ryhmille sovellettavat vaatimusluokat. (13, s. 15–20.)

V.A.V Group Oy:n tuotteet ovat pääsääntöisesti vaunujen sisä- ja ulkopuolella sijaitsevat pitkänomaiset tiivisteet, kuten ikkuna- ja ovitiivisteet. Nämä tuoteryhmät löytyvät standardin listattujen tuotteiden alta, ja niille sovellettavat vaatimusluokat standardin taulukon 2 mukaan ovat R22 ja R23. Vaatimusluokat voivat erota siis samoissakin tuotteissa riippuen siitä, onko tuote sijoitettu vaunun sisä- vai ulkopuolelle. Vaatimusluokka asettaa polttokokeille tiukemmat vaatimukset vaunun sisällä sijaitseville tuotteille vaaraluokittain. (13, s. 15–18.)

3.1.2 Vaatimusluokittelun määräämät palotestit ja palotestien vaatimukset V.A.V Groupin toimittamille materiaaleille

Taulukko 2 kuvaa standardin taulukkoa 5 ”Materiaalivaatimusluokat”. Taulukko 2 määrittelee vaatimusluokkaan perustuen materiaalille vaadittavan testimenetelmän sekä hyväksymiskriteerit vaaraluokille (HL1, HL2, HL3). Taulukosta 2 voidaan lukea, että V.A.V Group Oy:n toimittamille tuotteille, eli vaatimusluokille R22 ja R23 vaaditaan standardin testit T.01 **EN ISO4689-2**, T10.03 **EN ISO 5959-2** ja T12 **EN17084** menetelmä 2 tai T11,02 **EN 17084** menetelmä 1. (13, s. 22, 28).

TAULUKKO 2. SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023 standardin taulukko 5. Materiaalivaatimusluokat vaatimusluokille R22 ja R23 (13, s. 28).

Vaatimusluokka (käytetään alla mainituissa luokissa)	Testimenetelmä	Parametri ja yksikkö	Maksimi vai minimi	HL1	HL2	HL3
R22 (IN16; EL2; EL6A; EL7A; M2)	T01 EN ISO 4589-2: OI	Happipitoisuus %	Minimi	28	28	32
	T10.03 EN ISO 5659-2: 25 kWm-2	Ds max. yksikötön	Maksimi	600	300	150
	T12 EN 17084 Menetelmä 2 600 °C tai T11.02 EN 17084 Menetelmä 1 25 kWm-2	CITNLP yksikötön tai CITG yksikötön	Maksimi	1,2	0,9	0,75
R23 (EX12; EL2; EL5 EL6B; EL7B; M3)	T01 EN ISO 4589-2: OI	Happipitoisuus %	Minimi	28	28	32
	T10.03 EN ISO 5659-2: 25 kWm-2	Ds max. yksikötön	Maksimi	–	600	300
	T12 EN 17084 Menetelmä 2 600 °C tai T11.02 EN 17084 Menetelmä 1 25 kWm-2	CITNLP yksikötön tai CITG yksikötön	Maksimi	–	1,8	1,5

T01 EN ISO 4589-2 Palokäyttötymisen määrittäminen happi-indeksin avulla Osa 2: Testaus ympäristön lämpötilassa

SFS-EN ISO 4589-2 on standardisoitu palotestausmenetelmä, jossa testikappale asetetaan pystysuoraan testilaitteeseen, jossa virtaa hapen ja typin seosta. Testillä selvitetään ympäristön tilassa olevien kappaleiden palamisesta pienintä hapen prosenttiosuutta, jossa materiaali ei sammuu, kun sarja testikappaleita poltetaan eri happipitoisuuksissa. Tuloksena saadaan siis prosenttina pienin happipitoisuus (OI, Oxygen Index), missä materiaali jatkaa palamista. (14, s. 6, 7.)

Testikappaleille standardi asettaa seuraavat vaatimukset toimeksiantajan testattavalle materiaalille. Testiin tarvitaan vähintään 15 kpl testattavia kappaleita. Standardin taulukko 2. ”Test specimen dimensions” kertoo vaatimukset testikappaleiden koolle. Toimeksiantajan tuotteet kuuluvat taulukon ryhmään 1. Tämän ryhmän tuotteille testikappaleen pituus tulee olla välillä 80–150 mm, leveys 10 mm ja paksuus 4 mm. (14, s. 14, 16.)

Taulukosta 2 voidaan määrittää toimeksiantajan tuotteille asetetut happi-indeksivaatimukset eri vaaraluokille EN45545-2 standardin mukaisesti. Mikäli tuotteita halutaan käyttää kaikissa vaaraluokissa testatun materiaalin happi-indeksin (OI) on oltava vähintään 32 %. Tällöin materiaali täyttää standardin tiukimmat vaatimukset vaatimusluokissa R22 ja R23 eli, HL3 vaaraluokan vaatimukset happi-indeksin osalta. (13, s. 28.)

T10.03 EN ISO 5659-2 Muovit. Savun muodostuminen. Osa 2: Optisen tiheyden määrittäminen yksikammioitettavalla

SFS-EN ISO 5659-2 on standardisoitu palotestausmenetelmä, jossa vaakasuoraan asetettu testikappale altistetaan lämpösäteilylle suljetussa kaapissa. Testissä mitataan syntyvän savun määrää optisesti. Savun määrän vaikuttaa lämpösäteilyn voimakkuus. (15, s. 7.) Taulukosta 2 saadaan toimeksiantajan materiaalin osalta valittavaksi tehoksi 25 kWm⁻².

Testikappaleita poltetaan 6 kpl per haluttu paksuus aina 25 mm:n paksuuteen asti. Näistä 3 kappaletta poltetaan pilottiliekin kanssa ja 3 kappaletta ilman pilottiliekkiä. Testikappaleiden koko tulee olla 75 mm x 75 mm. Standardin mukaan materiaalit tulisi testata mahdollisuuksien mukaan niiden lopullisessa käyttöpaksuudessa, eli testaaja määrittää itse halutun paksuuden testattavan materiaalin käyttökohteen mukaan. (15, s. 9, 10.)

Tulokset ilmoitetaan suurimpana- savun optisena tiheytenä (D_{smax}). Taulukosta 2 voidaan määrittää toimeksiantajan tuotteille asetetut vaatimukset savun muodostumiselle eri vaaraluokille EN45545-2 standardin mukaisesti. Mikäli tuotteita halutaan käyttää kaikissa vaaraluokissa testatun materiaalin suurin savun optinen tiheys (D_{smax}) on oltava enintään 150. Tällöin materiaali täyttää standardin tiukimmat vaatimukset vaatimusluokissa R22 ja R23 eli HL3 vaaraluokan vaatimukset savunmuodostumisen osalta. (13, s. 28.)

T12 EN 17084 menetelmä 2, Kaasuanalyysi kahdeksalle kaasulle ja syntyvän savukaasun myrkyllisyydelle

SFS-EN 17084:2019-standardin menetelmä 2 määrittelee testausmenetelmän, jolla arvioidaan materiaalin palaessa syntyvän savukaasun myrkyllisyyttä. Testauksen analysointimenetelminä sovelletaan standardien NF X 70–100–2:2006 tai ISO 19701 kohtia,, jotka on esitelty kuvassa 6. Nämä kohdat sisältävät yksityiskohtaiset ohjeet savukaasujen keruusta ja analysoinnista. (16, s. 8.)

Testimenetelmässä käytetään pientä, noin 1 gramman painoista koekappaletta, joka asetetaan putkiuuniin, jossa materiaali lämmitetään haluttuun lämpötilaan (16, s. 8). Toimeksiantajan materiaalin osalta testauslämpötila on taulukon 2 mukaan 600 °C.

Testauksen aikana muodostuvat savukaasut kerätään ja analysoidaan edellä mainittujen standardien mukaisesti. Analyysin tuloksena määritetään kahdeksan merkittävän yhdisteen ainemäärät, jotka on esitetty taulukossa 3. (16, s. 18.)

TAULUKKO 3. EN 17084- standardin taulukko 1. standardin menetelmän 2 analyysimenetelmät (16, s. 18).

Table 1 — Analytical methods that may be used with Method 2

Gas	Method of analysis	Section of NF X 70-100-1	Section of ISO 19701
CO	Non-dispersive infrared spectrometry	7.1.1	5.1
CO ₂	Non-dispersive infrared spectrometry	7.1.2	5.2
HF	Spectrophotometry	7.2.1	5.6.2
	Ion chromatography		
	Specific electrode ionometry	7.2.2	5.6.1
HCl	Titrimetry using a silver electrode	7.3.1	5.5.3
	Ion chromatography	7.3.2	5.5.2
	Specific electrode ionometry		5.5.1
HBr	Titrimetry using a silver electrode	7.4.1	5.5.3
	Ion chromatography	7.4.2	5.5.2
	Specific electrode ionometry		5.5.1
HCN	Spectrophotometry	7.5.1	5.4.3
	Ion chromatography	7.5.2	
	Colourimetry (chloramine T)		5.4.1
	Colourimetry (acid picric)		5.4.2
SO ₂	Ion chromatography	7.6	5.12
NO, NO _x	Chemiluminescence	7.7	5.7.1
NO ₂	Ion chromatography	7.8	5.7.2

Tulokset menetelmälle 2 ilmoitetaan CIT_{NLP}-lukuna. CIT- lyhenne tulee englannin kielen sanoista Conventional Index of Toxicity ja sitä käytetään kuvaamaan materiaalien palaessa syntyvien savukaasujen kokonaismyrkyllisyyttä. Luvun muodostaminen laskemalla käydään läpi EN 17084 -standardin kappaleessa 7.3. Mitä suurempi CIT- arvo, sitä myrkyllisempää syntyvä savukaasu on. (16, s. 18, 20).

Taulukosta 2 voidaan määrittää toimeksiantajan tuotteille asetetut vaatimukset savukaasujen myrkyllisyyden osalta eri vaaraluokille EN45545-2- standardin mukaisesti. Mikäli tuotteita halutaan käyttää kaikissa vaaraluokissa testatun materiaalin CIT_{NLP}- arvo on oltava enintään 0,75. Tällöin materiaali täyttää standardin tiukimmat vaatimukset vaatimusluokissa R22 ja R23 eli HL3 vaaraluokan vaatimukset savukaasujen myrkyllisyyden osalta. (13, s. 28.)

3.2 IMO 2010 FTP CODE

IMO, eli Kansainvälinen merenkulkujärjestö, on Yhdistyneiden kansakuntien erikoisjärjestö, joka vastaa merenkulun turvallisuudesta, alusten turvallisuudesta sekä meri- ja ilmapäästöjen ehkäisemisestä. Sen toiminta tukee YK:n kestävän kehityksen tavoitteita. (17.)

International Code for Application of Fire Test Procedures (2010 FTP CODE) on IMO:n säädös, joka määrittelee testimenetelmät laivojen paloturvallisuus materiaalien arvioimiseksi (18). Päätöslauselma MSC.307(88) on dokumentti, jossa käydään läpi säädöksen vaatimukset palamisikäyttyymiselle laivateollisuudessa. Päätöslauselma määrittää siis mitkä tuotteet tulee testata ja mitkä testit kullekin tuoteryhmälle tulee suorittaa ja miten ne tulee suorittaa eri materiaalien ja komponenttien paloturvallisuuden arvioimiseksi. (19.)

V.A.V Groupin Oy:n toimittamille silikoniprofiileille päätöslauselma ei erittele testejä, vaan tuotteet testataan osana laajempia kokonaisuuksia, joiden paloturvallisuutta taas tulee arvioida. Tämä tarkoittaa myös sitä, että tiivisteprofiileita ei komponenttina voi sertifioida koodin mukaisiksi, vaan vaatimukset palotesteille tulee loppuasiakkaiden testattavien komponenttien pohjalta. Tästä syystä tässä opinnäytetyössä paneudutaan päätöslauselman osien 2 ja 5 vaatimiin palotesteihin, koska nämä ovat toimeksiantajan asiakkaiden vaatimukset.

3.2.1 IMO 2010 FTP CODE osa 2 – savunmuodostuminen ja myrkyllisyys

Päätöslauselman osassa 2 määritellään suoritettavat palotestit ja vaatimukset komponenteille paikoissa, joissa materiaalilta vaaditaan, ettei se tuota palaessa liiallisesti savua tai myrkyllisiä aineita. Tuotteet eivät saa myöskään aiheuttaa myrkyllisyysvaaraa kohonneissa lämpötiloissa. Näille tuotteille tulee suorittaa palotestausta savunmuodostumisen osalta päätöslauselman liitteen 1 mukaisesti ja kaasujen myrkyllisyyden osalta päätöslauselman liitteen 2 mukaisesti. (19, s. 21.)

Testit savunmuodostumisen osalta tulee suorittaa standardin ISO 5659-2 testimenettelyä käyttäen ja testit myrkyllisyyden osalta tehdään ISO 19702 -standardin mukaisella mittaustavalla. Osan 2 liitteissä 1 ja 2 on myös lisäyksiä testimenetelmiin, mitä tulee noudattaa. (19, s. 24.)

Savunmuodostumista testaava **ISO 5659-2** -testimenettely on käsitelty tarkemmin opinnäytetyön luvussa 3.1.4. Päätöslauselman osan 2 vaatimukset testikappaleille ovat samat kuin luvussa 3.1.4. Testaus suoritetaan päätöslauselman osan 2 liitteen 1 vaatimusten mukaisesti, joiden mukaan kolme testikappaletta tulee testata onnistuneesti seuraavilla parametreilla säteilytehon ja sytytysliekin osalta:

- Näyte 1: Säteilyteho 25 kW/m², pilottiliekin kanssa
- Näyte 2: Säteilyteho 25 kW/m², ilman pilottiliekkiä
- Näyte 3: Säteilyteho 50 kW/m², ilman pilottiliekkiä (19, s. 30.)

Kullekin testinäytteelle määritetään optisesti savun suurin tiheys (D_{smax}). Näiden kolmen näytteen D_{smax} arvoista lasketaan savun suurimman tiheyden keskiarvo (D_m), jota käytetään materiaalin luokitteluperusteena. Päätöslauselman mukaan materiaalien hyväksyttävyyys perustuu D_m -arvoon seuraavasti:

Seinien, verhousten tai kattojen pintamateriaalit:

D_m -arvo ei saa ylittää 200 missään testausolosuhteessa.

Ensisijaiset kansipinnoitteet:

D_m -arvo ei saa ylittää 400 missään testausolosuhteessa.

Lattianpäällysteet:

D_m -arvo ei saa ylittää 500 missään testausolosuhteessa.

Muoviputket:

D_m -arvo ei saa ylittää 400 missään testausolosuhteessa. (19, s. 21, 30.)

ISO 19702- standardin mukaiset testit suoritetaan keräämällä näytteet savun tiheyden ollessa suurimmillaan. Näytteenä otetut kaasut analysoidaan FTIR-tekniikalla. (18, s. 32) Jos savunmitaustestejä tehdään liitteen 1 mukaiset 3 kpl tulee myrkyllisyysmittaukset tehdä näytteen 2 ja 3 testin aikana otetuista näytteistä. (19, s. 34.)

Tuloksena ilmoitetaan ainemäärät (ppm) kammiossa FTIR- tekniikalla mitatuille aineille eli hiilimonoksidille (CO), kloorivedylle (HCl), vetybromidille (HBr), vetyfluoridille (HF), syaanivedylle (HCN),

typen oksideille NO_x (NO + NO₂) ja rikkidioksidille (SO₂) yksikössä. Päätöslauselman asettamat luokitteluperusteet kunkin aineen maksimipitoisuuksille ovat:

- CO (hiilimonoksidi): 1 450 ppm
- HBr (vetybromidi): 600 ppm
- HCl (vetykloridi): 600 ppm
- HCN (vetysyanidi): 140 ppm
- HF (vetyluoridi): 600 ppm
- SO₂ (rikkidioksidi): 120 ppm
- (poikkeus: lattianpäällysteille 200 ppm)
- NO_x (typpiyhdisteet, esim. NO ja NO₂): 350 ppm (19, s. 22.)

3.2.2 IMO 2010 FTP CODE osa 5 – Liekin leviäminen

Päätöslauselman osassa 5 määritetään suoritettavat palotestit ja vaatimukset komponenteille paikoissa, joissa materiaalien pintojen tulee olla vähän paloa siirtäviä ja kansimateriaaleille, joilta vaaditaan, etteivät ne ole helposti syttyviä. Osan 5 testeillä arvioidaan siis liekkien leviämistä testattavien materiaalien pinnalla. (19, s. 100.)

Palotestit tulee suorittaa standardin **ISO 5658- 2** mukaisesti. Testissä 155 mm x 800 mm:n kokoinen testikappale on asetettu pystysuoraan asentoon, joka altistetaan kaasusäteilijän säteilylle. Testissä tulee testata 3 kpl eri näytteitä ja testikappaleiden paksuuksien tulisi olla verrattavissa asennettavien komponenttien paksuteen. Menetelmällä voidaan määrittää tuloksena parametrit:

- Sammumiskriittinen säteilyteho: **CFE**, (critical flux at extinguishment)
- Jatkuvaan palamiseen vaadittu lämpöenergia: **Q_{sb}**, (Heat for Sustained Burning):
- Kokonaislämpöenergian vapautuminen palamisen aikana: **Q_t**, (Total Heat Release):
- Näytteen palamisen aikainen maksimi lämpöenergian vapautuminen: **Q_p**, (peak heat release during burning) (19, s. 100,107)

Palamisen aikana seurataan myös palavasta kappaleesta irtoavia paloja, joiden määrää myös käytetään yhtenä luokitteluperusteena eri komponenteille (19, s. 100). Päätöslauselman asettamat

luokitteluperusteet näille parametreille saadaan taulukosta 4. Jotta testattu materiaali täyttää osan 5 vaatimukset tulee kaikkien kohtien vaatimukset täyttää kussakin käyttökohteessa. (19, s. 101.)

TAULUKKO 4. Luokitteluperusteet päätöslauselman osan 5 palotesteille (18, s. 101).

	Bulkhead, wall and ceiling linings	Floor coverings	Primary deck coverings
<i>CFE</i> (kW/m ²)	≥ 20.0	≥ 7.0	≥ 7.0
<i>Qsb</i> (MJ/m ²)	≥ 1.5	≥ 0.25	≥ 0.25
<i>Qt</i> (MJ)	≤ 0.7	≤ 2.0	≤ 2.0
<i>Qp</i> (kW)	≤ 4.0	≤ 10.0	≤ 10.0
Burning droplets	Not produced	No more than 10 burning drops	Not produced

4 STANDARDIEN MUKAISET PALOTESTAUKSET

V.A.V Group on tehnyt palotestausta eri organisaatioissa eri materiaaleille yrityksen alusta asti. Tavoitteena on ollut aina varmistaa asiakkaille, että he saavat varmasti heidän käyttökohteisiinsa vaatimuksien mukaista profiilia. FireX-silikonisekoitus on kehitetty aikanaan rautatie- ja meriliikennepuolelle sopivaksi EN45545-2 standardin ja IMO FTP- koodin vaatimukset täyttäen. (2.)

4.1 Palotestauksen nykytilanne

Viimeisimmät EN45545-2- standardin mukaiset palotestit FireX-sekoituksille yritys on tehnyt vuonna 2018, ja tämän jälkeen uusille hankkeille on astunut voimaan päivitetty versio standardista EN 45545-2:2020 + A1:2023 ja uusille hankkeille tämän standardin määräyksien noudattamista vaaditaan vuodesta 2020 alkaen. Tästä syystä polttokokeet tulee uusia uuden standardin mukaisesti. (1.)

IMO FTP 2010 -koodin mukaiset palotestit yritys on tehnyt viimeksi vuonna 2022. Vaikka tiivisteitä ei omana komponenttina voida koodin mukaisesti sertifioida, asiakkaat vaativat ajantasaiset raportit polttokokeista. FireX-silikonisekoituksen osalta testitulokset ovat siis vielä ajan tasalla. (1.)

Asiakaskyselyitä yritykselle oli tullut Euroopassa mahdollisesti tulevaisuudessa kiristyvien vaatimuksien myötä halogeenivapaiden palonkestävien silikoniprofiilien osalta. Tällaisia seoksia V.A.V Group Oy:ltä ei vielä löydy valikoimasta. (1.)

Silikonitoimittaja oli tuonut markkinoille uuden halogeenittoman vulkanointiperoksidin. Käytetyt palonestoaineet olivat jo halogeenivapaita, mutta tähän mennessä mahdollisten vulkanointiperoksidin halogeenijäämien poisto tehtiin asiakkaan vaatiessa profiilit jälkiuunitamalla. Jälkiuunitus tarkoittaa sitä, että profiilit oli jouduttu vulkanoinnin jälkeen käyttää erillisessä uunissa n. 4. tunnin ajan 180 °C:n lämpötilassa, jonka aikana mahdolliset peroksidin halogeenien jäämät haihtuvat. Tämä ei ole kovin kustannustehokas tapa yrityksen valmistamien tuotteiden luonteen takia, mutta tietyissä tapauksissa se on ollut ainut tapa varmistua halogeenijäämien poistumisesta. (20.)

Näiden asiakasvaatimuksien ja valmistajan uuden halogeenittoman peroksidin testaamisen vuoksi työn toimeksiantajan kanssa päädyttiin kehittämään uutta halogeenivapaisiin lisäaineisiin pohjautuvaa silikoniseosta. (1.)

4.2 Uuden halogeenittoman palonkestosilikoniseoksen kehittäminen ja koesuunnitelma

V.A.V Groupin tavoitteena oli kehittää yksi uusi silikoniseos. Se olisi yritykselle nimeämisen, tulevaisuuden testaamisen ja logistiikan kannalta paras ratkaisu. Uuden seoksen tulisi vähintään täyttää EN45545-2 standardin kohdan vaatimukset vaatimusluokkien R22 ja R23 vähintään HL2-vaaraluokan tasolla n. 2 mm ja 10 mm:n testauspaksuuksissa, jotta sitä voitaisiin harkita asiakaskäyttöön soveltuvaksi. (20.)

Tavoitteena oli luoda uusi palonkestäväsilikoniseos halogeenittomia lisäaineita käyttäen. Tulee kuitenkin huomioida, että silikonin molekyyli itsessään voi sisältää halogeenia, joten täysin halogeeniton seosta ei ole mahdollista valmistaa. Nämä määrät ovat kuitenkin hyvin pieniä. (20.)

Halogeenittoman peroksidin käytön pitäisi poistaa profiilien jälkiuunituksen tarpeen tehostaen tuotantoa ja tarjoavan ratkaisuja asiakkaille, joilla vaatimukset halogeenien vapautumiselle palamisen aikana ovat kiristyneet. Valmistaja oli tuonut markkinoille myös uuden silikonipohjan, missä palonestoaineet on sekoitettu valmiiksi. Tämän valmiin seoksen pitäisi täyttää standardin EN45545-2 vaatimukset. Myös tätä haluttiin lähteä testaamaan uudessa seoksessa. (20.)

Toimittajan alkuperäisten ohjeiden mukaan aineet olivat käyttövalmiita sellaisenaan, ja niiden olisi tullut toimia sekoituksen osalta samalla tavalla kuin V.A.V:lla käytössä olevat vastaavat tuotteet. Palonestoaineiden määrät silikonipohjassa konsentraatioiltaan olivat kuitenkin voimakkaampia ja vulkanointi peroksidin toiminta perustui eri aineisiin. Täten ne voivat reagoida vulkanointivaiheessa eri tavalla lämpötiloihin mihin tuotantokäytössä olleilla aineilla oli totuttu. (20.)

Ensimmäiseen testaukseen sekoitus tehtiin toimittajan säännöstelyohjeistuksen mukaisesti sekoittamalla keskenään vain halogeenitonperoksidi ja uusi silikonipohja toimittajan antamalla suhteella. (20.) Testiprofileiksi valikoitui palkit 155 mm x 2 mm ja 155 mm x 10 mm.

Heti sekoituksen jälkeen oli havaittavissa, että massa käyttäytyi hyvin omituisesti. Kuvista 5 ja 6 nähdään, että sileän yhtenäisen seoksen sijaan pinta halkeili ja rakenne vaikutti rakeiselta. Tässä vaiheessa päädyttiin kuitenkin vielä testaamaan materiaalia profiliajossa.



KUVA 5. Uusi reseptierä 1. sekoituksen jälkeen

Kuvista 6 ja 7 nähdään, että seos aiheutti uunissa erittäin suurta kuplintaa ja laatu ei ollut ollenkaan profiilille vaaditulla tasolla. Tässä vaiheessa päädyttiin konsultoimaan toimittajaa havainnoista ja mitä tulisi muuttaa, koska oli selvää, että tällaisenaan seos ei soveltunut käyttöön.



KUVA 6. Uusi reseptierä 1. (Poikkileikkauskuva testierän massatestipalasta)



KUVA 7. Uusi reseptierä 1. (kuva ylhäältä päin pursotetusta 155 mm x 2 mm profiilista)

Toimittajan uusien ohjeiden mukaan päädyttiin laimentamaan valmistajan toimittamaa valmista palonestoaineet sisältävää silikonipohjaa sekoittamalla sekaan tietyllä prosentilla toimivaksi todettua itse sekoitettua silikonipohjaa. (21.) Oikean sekoitussuhteen löytymisen jälkeen saatiin palat valmistettua hyväksyttävällä laadulla ja polttotestit päädyttiin toteuttamaan uudella reseptillä. Uusi seos nimettiin tässä vaiheessa FireX: 2020:ksi.

Tässä vaiheessa päätettiin suorittaa EN45545-2:2020 mukaiset palotestit FireX:2020 materiaalilla. Tavoitteena oli täyttää R22 ja R23-vaatimusluokkien vaatimukset vähintään HL2 -vaaraluokan vaatimalla tasolla molemmissa testipaksuuksissa 2 mm ja 10 mm (21.) Testejä varten valmistettiin testipalat kuhunkin vaadittuun palotestiin molemmissa testipaksuuksissa. Vaaditut testit ja niiden vaatimukset testipaloille on esitetty luvussa 3.1.2.

4.3 Polttokokeiden lopputulokset

Yhteistyökumppaniksi polttokokeita varten valittiin Measurlabs, suomalainen yritys, joka toimii asi-
antuntijavälittäjänä laboratoriotestauksessa. Measurlabs ulkoisti EN 45545-2 -standardin mukaiset
testit akkreditoidulle Sychta-laboratoriolle Puolaan, jossa oli käytettävissä vaaditut testauslaitteis-
tot. Testien valmistuttua Measurlabs toimitti tulokset sisältävän testausraportin, (liite 1) jossa esite-
tään palotestien tulokset.

Testattu FireX:2020 materiaali läpäisi kaikki EN 45545-2 -standardin vaatimat vaatimusluokkien
R22 ja R23 mukaiset palotestitestit. Testitulokset täyttivät HL3- vaaraluokan vaatimustasot molem-
milla testatuilla materiaalipaksuuksilla. HL3 -vaaraluokka edustaa tiukimpia vaatimuksia paloturval-
lisuudelle, joten tulokset osoittavat, että materiaali soveltuu käytettäväksi vaativimmissa olosuh-
teissa, kuten matkustajavaunuissa.

Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että V.A.V Group Oy kykenee valmistamaan korkea-
laatuista ja paloturvallista silikonimateriaalia, joka täyttää EN 45545-2 -standardin mukaiset vaati-
mukset palamiskäyttötymisen osalta. Lisäksi materiaali ei sisällä vaarallisiksi luokiteltavia määriä
halogeeneja, mikä tekee siitä ympäristöystävällisemmän vaihtoehdon.

Kehitetty seos tarjoaa myös valmiuksia vastata tulevaisuudessa mahdollisesti kiristyviin sääntely-
vaatimuksiin, jotka rajoittavat entistä enemmän halogeenien vapautumista materiaalien palaessa.
Näin ollen tulokset eivät ainoastaan osoita nykyisten vaatimusten täyttymistä, vaan myös valmis-
tautumista tuleviin materiaalistandardeihin.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön taustalla oli toimeksiantajan ajankohtainen tarve uusia palotestiraportteja. Tarpeen noustessa esiin nähtiin samalla perustelluksi tarkastella myös laajemmin muita mahdollisesti merkittäviä kokonaisuuksia, jotka voivat tukea yrityksen tulevaisuuden kasvutavoitteita. Tavoitteena oli selvittää, onko olemassa muita relevantteja standardeja, joita tulisi huomioida, kartoittaa vaihtoehtoisia testauslaboratorioita sekä arvioida, miten toimittajan lanseeraamat uudet tuotteet voisivat vaikuttaa mahdolliseen tuotekehitykseen.

Työ aloitettiin perehtymällä silikoniprofiilin valmistusprosessiin ja palotestauksen nykytilanteeseen yrityksessä. Tämän pohjalta lähdettiin kartoittamaan mahdollisia muita markkina-alueella sovellettavia standardeja ja palotestauksen toteuttajia. Palotestauksen toteuttamiseen löydettiin uusi yhteistyökumppani Measurlabs. Yhdessä heidän asiantuntijoiden kanssa päätettiin, missä vaiheissa palotestausta kannattaisi tehdä täysin uudelle testaamattomalle seokselle. Tämän pohjalta päädyttiin aloittamaan uuden silikoniseoksen kehitysprosessi. Uusi seos kehitettiin toimittajan uusilla halogeenittomilla lisäaineilla. Kun tuotekehitys oli valmistunut, suoritettiin palotestit EN45545-2 standardin mukaisesti, joka on keskeinen vaatimustaso raideliikenteen sovelluksissa.

Selvitystyön yhteydessä havaittiin, että merkittävimmät palotestivaatimukset työhön rajatulla markkina-alueella olivat jo entuudestaan yritykselle tuttuja. Vaikka markkinoilla esiintyy myös maakohittaisia standardeja, niiden merkitys arvioitiin tässä vaiheessa vähäiseksi. Näiden vaatimusten mukaiseen testaukseen varaudutaan tarvittaessa tapauskohtaisesti, mikäli kyseinen standardi nousee esiin tulevilla projekteilla.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että EN 45545-2 -standardin sekä IMO FTP Code 2010 -koodin mukaisiin palamiskäyttäytymisen vaatimuksiin vastaaminen muodostaa vahvan perustan yritykselle tähän opinnäytetyöhön rajatulle markkina-alueelle. Yhteistyön rakentaminen uuden laboratorikumppanin kanssa, sekä uuden halogeenittomiin lisäaineisiin perustuvan EN 45545-2 -vaatimukset täyttävän silikoniseoksen onnistunut kehittäminen vahvistavat merkittävästi yrityksen kilpailukykyä ja valmiuksia vastata tulevaisuuden asiakas- ja viranomaisvaatimuksiin.

Tarkasteltaessa projektin etenemistä opinnäytetyön kannalta, voidaan todeta, että täysin uuden silikoniseoksen kehittäminen ja testaaminen kasvoi osana opinnäytetyötä liian laajaksi kokonaisuudeksi. Yrityksellä oli rajalliset resurssit tuotekehitykseen, ja toimittajalla oli tässä vaiheessa rajallisesti kokemusta uusien lisäaineiden käyttäytymisestä tuotantoympäristössä. Näistä syistä toimivan silikoniseoksen kehittäminen vei enemmän aikaa kuin alun perin arvioitiin. Tämä viivästytti myös työn keskeistä vaihetta, eli palotestauksen toteuttamista, joka saatiin tehtyä vasta projektin loppupuolella.

Jälkikäteen tarkasteltuna olisi ollut perusteltua rajata työn aihe kapeammin tuotekehityksen ja palotestaukseen kuluvan ajan vuoksi. Yksi vaihtoehto olisi ollut keskittyä uusien lisäaineiden toimintaperiaatteisiin ja kartoittaa vastaavien materiaalien käyttökokemuksia. Tämä olisi kuitenkin ollut haastavaa, sillä tuotteet olivat vasta äskettäin lanseerattu, eikä niistä välttämättä olisi ollut vielä riittävästi käytännön tietoa saatavilla. Toinen vaihtoehto olisi ollut jättää uuden silikoniseoksen kehittäminen kokonaan työn ulkopuolelle.

Jatkossa olisi suositeltavaa lähestyä vastaavia tuotekehitysprojekteja vaihteittain ja rajatumminkin. Eriyisesti uusien lisäaineiden käyttöön liittyvä kehitystyö voisi hyötyä siitä, että aluksi keskitytään yksittäisten komponenttien vaikutusten ymmärtämiseen. Tällainen lähestymistapa mahdollistaisi paremman kokonaiskuvan muodostamisen ennen laajemman tuotekehitysprosessin käynnistämistä.

Koska yrityksellä ei ole omaa tutkimus- ja testauskapasiteettia, sen on perusteltua tukeutua toimittajien asiantuntemukseen. Tämä on useimmiten täysin riittävä lähestymistapa, mutta uusien ja kokeellisten lisäaineiden kohdalla voisi olla hyödyllistä tarkastella myös kolmansien osapuolten kokemuksia tai olemassa olevia vertailukelpoisia tuloksia. Näin voitaisiin arvioida realistisemmin tuotekehityksen onnistumisen edellytykset ja tarvittavat resurssit jo ennen varsinaisen kehitysprosessin aloittamista.

LÄHTEET

1. Moilanen. Tuomas. Laatupäällikkö. V.A.V Group Oy. Haastattelu 15.2.2023
2. V.A.V. Group Oy 2023. Saatavissa: Hakupäivä 28.4.2025. <https://vav-group.com/>.
3. Subhas C. Shit & Pathik Shah 2013. A Review on Silicon Rubber. Hakupäivä 28.4.2025. https://www.researchgate.net/publication/257808467_A_Review_on_Silicone_Rubber.
4. Shinetsu 2025. Characteristic properties of silicone rubber compounds. Hakupäivä. 28.4.2025. https://www.shinetsusilicone-global.com/catalog/pdf/rubber_e.pdf.
5. Yi.Hao Tang 2024. Recent Advances in Fire-Retardant Silicone Rubber Composites. Hakupäivä 28.4.2025. <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/17/2442>.
6. Vesta Inc. 2015. Silicone rubber, material benefits and fabrication advantages. Hakupäivä: 28.4.2025. <https://www.scribd.com/document/524176575/Vmq-White-Rubber>.
7. Wacker Chemicals 2022. Solid and liquid silicone rubber material and processing guidelines. Hakupäivä 5.5.2025. <https://www.wacker.com/h/medias/6709-EN.pdf>.
8. GSC. 2025. Silicones in the Automotive Industry. Hakupäivä 21.5.2025. <https://globalsilicones.org/explore-silicones/benefits-uses/transportation/>.
9. Moilanen, Tuomas 2025. Laatupäällikkö. V.A.V Group Oy. Haastattelu 20.5.2025.
10. Caserta in, 2021, The use of Rubber & Silicone seals in the construction industry, Hakupäivä 4.5.2025. <https://www.casertainc.com/blog/rubber-seals-construction-industry/>.
11. Advanced Materials Ltd. 2025. Silicone rubber solutions for the energy sector. Hakupäivä 4.5.2025. <https://www.siliconerubberextrusions.co.uk/silicone-rubber-solutions-for-the-energy-sector/>.
12. SFS-EN 45545-1. Kiskoliikenne. Palontorjunta kiskoajoneuvoissa.Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 5.5.2025. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/4/295003.html.stx>. Vaatii lisenssin.
13. SFS-EN 45545-2:2020 + A1:2023:en. Rautatiesovellukset. Palontorjunta rautateiden kalustoyksiköissä. Osa 2: Materiaalien ja komponenttien palamiskäyttäytymisen vaatimukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 5.5.2025. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/4/1293012.html.stx>. Vaatii lisenssin.

14. SFS-EN ISO 4589-2:2017. Plastics. Determination of burning behaviour by oxygen index. Part 2: Ambient-temperature test (ISO 4589-2:2017). Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 5.5.2025. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN-ISO/ID2/4/494066.html.stx>.
15. SFS-EN ISO 5659-2. Plastics. Smoke generation. Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test (ISO 5659-2:2017). Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 22.5.2025. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/5/517904.html.stx>. Vaatii lisenssin.
16. SFS-EN 17084:2019. Railway applications. Fire protection on railway vehicles. Toxicity test of materials and components. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 22.5.2025. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/733572.html.stx>. Vaatii lisenssin.
17. International maritime organization. 2025. Hakupäivä: 13.5.2025. <https://www.imo.org/en>.
18. International maritime organization. 2025. Fire testing laboratories Hakupäivä: 13.5.2025. <https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/firetestinglaboratories-default.aspx>.
19. The Maritime Safety Committee. 2010. International Code For Application Of Fire Test Procedures, 2010 (2010 Ftp Code) (Resolution MSC.307(88)). Hakupäivä 13.5.2025. https://traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/21812-MSC_307%2888%29.pdf.
20. Vilen. Pasi. Toimitusjohtaja. V.A.V Group Oy. Haastattelu 10.4.2023
21. Vilen. Pasi. Toimitusjohtaja. V.A.V Group Oy. Puhelinkeskustelu 22.4.2023
22. Vilen. Pasi. Toimitusjohtaja. V.A.V Group Oy. Puhelinkeskustelu 11.10.2023

LIITTEET

Liite 1 Palotestiraportti – Salattu liite