

Riku Dahlgrén

# YHDYSVALTOJEN STANDARDIEN MUKAINEN HAZLOC-TILOJEN SÄHKÖ- JA INSTRUMENTOINTISUUNNITTELU

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Energiatekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	insinööri (AMK)
Tekijä	Riku Dahlgrén
Työn nimi	Yhdysvaltojen standardien mukainen HazLoc-tilojen sähkö- ja instrumentointisuunnittelu
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Vuosi	2024
Sivut	63 sivua, liitteitä 8 sivua
Työn ohjaaja(t)	Vesa Kankkunen

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää räjähdysvaarallisten (HazLoc) tilojen sähkö- ja instrumentointisuunnittelun perusteita Yhdysvalloissa. HazLoc-tilojen vaatimuksiin tutustuttiin tutkimalla aihetta käsitteleviä lainsäädäntöjä, standardeja sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Tietoa sovellettiin työssä laatimalla ohjedokumentteja, joita suunnittelijat voisivat työssään hyödyntää.

Työssä perehdyttiin yhdysvaltalaiseen NEC 500:n mukaiseen HazLoc-tilojen alueluokitusjärjestelmään. Sähkö- ja instrumentointisuunnittelun osalta opinnäytetyössä keskityttiin räjähdysvaarallisissa tiloissa vaadittaviin laitesertifiointeihin, suojaustekniikoihin ja tilaluokkia koskeviin laitevaatimuksiin. Yhdysvalloissa sähkölaitteiden on oltava NRTL-sertifioituja, OSHA:n lainsäädännön ja NEC-standardin mukaisia.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi räjähdysvaarallisia tiloja koskevia ohjedokumentteja, joita voidaan käyttää tulevaisuudessa hyväksi sähkölaitteiden suojaustekniikoita valittaessa.

**Asiasanat:** NEC, räjähdysvaaralliset tilat, sähkö- ja instrumentointisuunnittelu, standardit, ohjeet

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Riku Dahlgrén
Thesis title	Electrical and instrumentation design for HazLoc areas according to U.S. standards
Commissioned by	South-Eastern University of Applied Sciences
Time	2024
Pages	63 pages, 8 pages of appendices
Supervisor	Vesa Kankkunen

## ABSTRACT

The aim of this thesis was to investigate the fundamentals of electrical and instrumentation design for hazardous locations (HazLoc) in the United States. The requirements for HazLoc areas were explored by studying relevant legislation, standards, and related literature. This information was applied by creating guidelines that designers could utilize in their work.

The thesis focused on the U.S. classification system for HazLoc areas according to NEC 500. Regarding the electrical and instrumentation design, the thesis concentrated on the equipment certifications required in hazardous locations, protection techniques, and equipment requirements for different area classifications in explosive environments. In the United States, electrical equipment must be NRTL-certified, in compliance with OSHA regulations and the NEC standard.

As a result of the thesis, guidelines for hazardous locations were produced. They can be used to select appropriate protection techniques for electrical equipment in the future.

**Keywords:** NEC, Hazardous locations, electrical and instrumentation design, electrical standards, guidelines

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Opinnäytetyön tavoite.....	7
1.2	Selvitysmenetelmät.....	8
2	LAIT JA STANDARDIT YHDYSVALLOISSA.....	8
2.1	ANSI.....	8
2.2	OSHA.....	9
2.3	NFPA.....	10
2.4	NEC.....	10
2.5	NEMA.....	11
2.6	Kansallisesti tunnustetut NRTL-testauslaboratoriot.....	11
2.6.1	UL Enterprise.....	12
2.6.2	FM.....	12
2.6.3	CSA Group.....	13
3	LAITESERTIFIointi.....	13
4	RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT.....	16
4.1	Syttymislähteet.....	17
4.2	Räjähdyksvaarallisia tiloja koskevat standardit Yhdysvalloissa.....	18
4.3	Räjähdyksvaarallisen tilan määritelmä.....	20
4.4	Class & Division alueluokitukset.....	20
4.5	Räjähdyksvaarallisen ilmapiirin luokkajaottelu.....	22
4.6	Räjähdyksvaarallisten alueiden divisioonajako.....	23
4.7	Materiaaliryhmän valinta.....	25
4.7.1	Palavat kaasut ja höyryt.....	25
4.7.2	Palavat pölyt.....	26
5	RÄJÄHDYSSUOJAUSTEKNIIKAT.....	27
5.1	Pölytiivis.....	28
5.2	Pölyräjähdyssuojattu.....	28

5.3	Räjähdyssuojattu .....	28
5.4	Paineistettu .....	28
5.5	Öljyupotettu .....	29
5.6	Hermeettisesti suljettu .....	29
5.7	Luonnostaan vaaraton .....	29
5.8	Palamaton rakenne.....	29
6	NEMA-SUOJAUSLUOKAT .....	30
6.1	Yleiset NEMA-suojausluokat .....	31
6.2	Räjähdyksvaarallisiin tiloihin soveltuvat NEMA-suojausluokat .....	32
7	RÄJÄHDYSVAARALLISEN TILAN SÄHKÖLAITTEIDEN LAITEVAATIMUKSET .....	33
7.1	Lämpötilaluokat.....	33
7.2	Sähkölaitteita koskevat merkinnät .....	35
7.3	Sähkömoottorit.....	36
7.4	Instrumentointilaitteet.....	38
7.5	Kaapelit.....	42
7.5.1	Luokka I .....	43
7.5.2	Luokka II .....	45
7.5.3	Luokka III .....	47
7.5.4	Luonnostaan vaarattomien piirien kaapelointi .....	48
7.5.5	Kaapelimerkinnät .....	48
7.6	Läpiviennit ja suojaputkien tiivistäminen .....	48
7.7	Ohjauspaneelit.....	51
7.8	Maadoitus ja potentiaalintasaus.....	52
7.9	Dokumentointi.....	56
8	YHTEENVETO STANDARDEISTA .....	56
9	POHDINTA .....	58
	LÄHTEET.....	59
	LIITTEET	

## LYHENNE- JA TERMI LUETTELO

AHJ	Authority Having Jurisdiction, viranomaisen valtuuttama yhteisö, joka suorittaa virallisia tarkastuksia
AWG	American Wire Gauge, amerikkalainen kaapelin halkaisijan mittastandardi
ATEX	Atmosphères Explosives, Euroopan Unionin Räjähdysvaarallisia tiloja ja laitteita koskeva lainsäädäntö
AIT	Auto-ignition Temperature, itsesyttymislämpötila, eli alin lämpötila, jossa aine voi syttyä ilmassa itsestään ilman kipinöitä ja liekkejä
ANSI	American National Standards Institute, amerikkalainen standardisoimisjärjestö
CSA	Canadian Standards Association, kanadalainen standardisoimisjärjestö
FM	Factory Mutual, amerikkalainen keskinäinen vakuutusyhtiö
HazLoc	Hazardous Location, termillä viitataan räjähdysvaaralliseen tilaan
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
NEC	National Electrical Code, Yhdysvaltojen kansallinen sähkösäädännöstö
NEMA	National Electrical Manufacturers Association, sähkölaitevalmistajien järjestö Yhdysvalloissa
NFPA	National Fire Protection Association, yhdysvaltalainen paloturvallisuusjärjestö
NPT	National Pipe Taper, amerikkalainen ANSI/ASME B 1.20.1 standardin mukainen kartioputkikierre
NRTL	Nationally Recognized Testing Laboratory, OSHA:n toimesta kansallisesti tunnustettu testauslaboratorio
OSHA	Occupational Safety and Health Administration, Yhdysvaltojen työministeriön alaisuuteen kuuluva työturvallisuus- ja työterveysvirasto
UL	Underwriters Laboratories, yhdysvaltalainen sertifiointi- ja testausorganisaatio

## 1 JOHDANTO

Kansainväliset markkinat asettavat erilaisia turvallisuusvaatimuksia sähkökäyttötuotteille riippuen kohdemaasta. Tämän tutkimuksen tavoitteena on etsiä keskeistä ja ajankohtaista tietoa Yhdysvaltojen standardeista, ja niiden merkityksestä suunnitellussa instrumentointi- ja sähköasennuksia räjähdysvaarallisiin tiloihin Yhdysvaltoihin.

Työn aihepiiri on ajankohtainen, koska Suomen ja Yhdysvaltojen väliset taloussuhteet ovat viime vuosina syventyneet merkittävästi ja Yhdysvallat on noussut Suomelle yhdeksi tärkeimmäksi vientimaaksi ja kauppakumppaniksi (Kostiainen 2023, 6–9). Tullin (2022) julkaiseman tilaston mukaan Suomen vienti Yhdysvaltoihin vuonna 2021 oli yli 4,5 miljardia euroa, jonka osuus oli 6,8 % Suomen kokonaisviennistä. Yhdysvaltojen kanssa käydystä kaupasta kertyi Tullin mukaan vuonna 2021 kauppataseen ylijäämää jopa 2,3 miljardia euroa. Tilaston mukaan Yhdysvallat on Suomen suurin kaupan ylijäämämaa.

Opinnäytetyössä on tarkoitus käsitellä yhdysvaltalaisia standardeja, jotka asettavat vaatimukset räjähdysvaaralliseen tilaan sijoittuville sähköasennuksille. Työssä käsitellään mm. yhdysvaltalaisia kaasu- ja pölyräjähdysvaarallisten tilojen luokituksia, suojausmenetelmiä sekä asennuksia. Standardien pohjalta on tarkoitus koostaa ohjedokumentit, jota pystyttäisiin käyttämään suunnittelun apuna esimerkiksi laitetoimituksissa.

Työ tullaan toteuttamaan tutustumalla pääasiassa paikallisiin käytössä oleviin NFPA:n ja UL:n standardeihin, sekä liittovaltion viraston OSHA:n säätämiin lakeihin, jotka määrittelevät vaatimukset räjähdysvaarallisiin tiloihin Yhdysvalloissa.

### 1.1 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön subjektiiviset, opiskelijälähtöiset tavoitteet ovat peruslähtökohdiltaan osaamisen kehittämiseen liittyviä. Opiskelijan tavoitteena on laajentaa HazLoc-osaamistaan ja ymmärrystään Yhdysvaltojen standardeista. Tavoitteena on selvittää kaikki oleelliset asiat, jotka tulee ottaa huomioon räjähdysvaarallisten tilojen sähkö- ja instrumentointisuunnittelussa. Osaamisen sekä materiaalin kehittäminen voi tarjota tulevaisuudessa mahdollisuuden toimia

HazLoc-asiantuntijana konsultointi- ja suunnittelupalveluja tarjoavissa yrityksissä. Työn toisena tavoitteena on rakentaa standardien pääkohdista ohjedokumentit räjähdysvaarallisten tilojen sähkö- ja instrumentointisuunnittelun tueksi.

## 1.2 Selvitysmenetelmät

Tämä insinööri työ on tutkimustyö, joka perustuu olemassa olevan aineiston arviointiin ja hyödyntämiseen. Työn pääasiallisina lähteinä käytetään aihetta käsittelevää lainsäädäntöä, standardeja sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Tiedonhankinnan tukena tarkastellaan verkossa olevia avoimia räjähdysvaarallisia tiloja koskevia aineistolähteitä. Työssä haetaan vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä Yhdysvaltojen standardit, säädökset tai niiden osat koskevat räjähdysvaarallisia tiloja?
- Miten standardeissa määritellään räjähdysvaaralliset tilat?
- Mitä vaatimuksia räjähdysvaarallisia tiloja koskevat standardit asettavat sähkö- ja instrumentointisuunnittelulle?

## 2 LAIT JA STANDARDIT YHDYSVALLOISSA

Yhdysvaltojen oikeusperusta ovat yhdistelmä tuotestandardeja, palosuojelumääräyksiä, sähködirektiivejä ja kansallisia lakeja. Paikalliset hallintoviranomaiset valvovat määräysten noudattamista ja toteutusta. (Laws and standards in North America s.a.) ATEX on nimenomaan Euroopan unionin direktiivi räjähdysvaarallisia ilmaseoksia vastaan; Sitä ei ole yhdenmukaistettu NFPA:n palavan pölyn standardien kanssa, eikä OSHA pidä sitä hyväksyttävänä sertifikaattina räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäville sähkölaitteille. Myös esimerkiksi CE-sertifiointi on eurooppalainen vaatimus, jota ei tunnusteta Yhdysvalloissa. (Paredes 2023.)

### 2.1 ANSI

American National Standards Institute, eli ANSI, on voittoa tavoittelematon, standardien kehittämistä tukeva ja valvova organisaatio Yhdysvalloissa, joka on perustettu vuonna 1918. Organisaatio valvoo standardien kehittämistä ja käyttöä tarkistamalla ja hyväksymällä standardeja kehittävien organisaatioiden

menettelyt. (ANSI 2024.) ANSI tekee yhteistyötä paikallisten hallintoviranomaisten kanssa ja tarjoaa teknistä apua ja tukea kansallisten standardien, kuten työturvallisuus- ja työterveysstandardien kehittämisessä (OSHA 2001). ANSI on myös kansainvälisen standardointijärjestö ISO:n ja kansainvälisen sähköteknisen komissio IEC:n virallinen Yhdysvaltain edustajajäsen (ANSI 2024).

## 2.2 OSHA

Occupational Safety and Health Administration, eli OSHA, on liittovaltion virasto, joka asettaa ja valvoo Yhdysvaltojen työturvallisuus- ja työterveysstandardeja. OSHA on saanut alkunsa vuonna 1970, kun Yhdysvaltain kongressi presidentti Richard Nixonin johdolla hyväksyi uuden työturvallisuus- ja työterveyslain. OSHA:n toimivalta ulottuu koko maahan ja se kattaa kaikki 50 osavaltiota ja Yhdysvaltain aluetta. (OSHA 2023, 3–5.)

OSHA:n työsuojelulain yleislausekkeen mukaan työnantaja on velvollinen varmistamaan, että työpaikalla ei esiinny vakavia vaaroja. OSHA:n säätämät standardit säätelevät yrityksiä ylläpitämään turvallisia ja terveellisiä työoloja, sekä tarjoamaan työntekijöilleen sopivaa koulutusta ja apua ennen töiden aloittamista. Nämä standardit sisältävät mm. materiaali- ja laitevaatimuksia, sekä työnantajille annettavat ohjeet työntekijöiden henkilöriskien minimoimiseksi. (OSHA 2023, 9–11.)

Liittovaltion OSHA-määräykset kattavat useimmat yksityisen sektorin työnantajat ja työntekijät 29 osavaltiossa. Yksityisen sektorin työnantajat ja työntekijät muissa 21 osavaltiossa ja Puerto Ricossa kuuluvat OSHA:n hyväksymien osavaltiosuunnitelmien piiriin. Osavaltioilla voi olla omat liittovaltion hyväksymät työturvallisuuden ja -terveyden sääntelyohjelmat, joita kutsutaan osavaltiosuunnitelmiksi. Näiden osavaltiosuunnitelmien määräysten on kuitenkin oltava vähintään yhtä tiukat kuin liittovaltion OSHA-määräykset, mutta osavaltioilla on kuitenkin harkintavalta toteuttaa tiukempia määräyksiä halutessaan. (OSHA 2023, 6.)

## 2.3 NFPA

National Fire Protection Association, eli NFPA, on yhdysvaltalainen kansainvälinen voittoa tavoittelematon paloturvallisuusjärjestö, joka perustettiin vuonna 1896 palovakuutusyhtiöiden toimesta. Järjestön alkuperäinen tehtävä oli luoda standardi sprinklerijärjestelmille. Sittemmin sen toiminta on laajentunut myös muiden paloturvallisuusstandardien kehittämiseen, tutkimukseen sekä paloturvallisuuskouluttamiseen. NFPA on julkaissut yli 300 paloturvallisuusstandardia, joiden tarkoituksena on eliminoida tulipalon, sähkön ja niihin liittyvien vaarojen aiheuttamia kuolemantapauksia, loukkaantumisia ja taloudellisia menetyksiä. (NFPA 2024.)

## 2.4 NEC

National Electrical Code, eli NEC, tai toiselta nimeltään NFPA 70, on alueellisesti hyväksyttävä standardi sähköjohtojen ja -laitteiden turvalliselle asennukselle Yhdysvalloissa. Se on osa National Fire Code -sarjaa, joka on yksityisen paloturvallisuusjärjestö NFPA:n julkaisema. NEC-standardit ovat käytössä Yhdysvaltojen jokaisessa 50 osavaltiossa ja se on Yhdysvaltojen kansallisen standardointiliitto ANSI:n tunnustama ja hyväksymä. (ESF 2024.)

NEC asettaa vähimmäisvaatimukset sähköasennuksille tulipalojen ja muiden sähköonnettomuuksien estämiseksi. Toimivaltainen viranomainen (AHJ) tarkastaa näiden vähimmäisvaatimusten noudattamisen. Standardit ovat suunnattu käytettäväksi niin asuin-, liike- kuin teollisuusympäristöissäkin. (ESF 2024.)

NEC-standardit tarkistetaan National Fire Protection Associationin, eli NFPA:n kansallisen sähkösäätökomiteassa. Komitea koostuu 19 koodintekopaneelista ja teknisestä korrelaatiokomiteasta. Standardeja päivitetään kolmen vuoden välein uusimman tekniikan ja turvallisuuden varmistamiseksi. Hyväksytyt standardiversio vaihtelee osavaltion mukaan, sillä kaikissa osavaltioissa ei ole käytössä standardien uusinta painosta. (ESF 2024.) Viimeisin NEC-standardipainos on vuodelta 2023 (NFPA-70 2023).

## 2.5 NEMA

The National Electrical Manufacturers Association, eli NEMA, on voittoa tavoittelematon sähkölaitevalmistajien järjestö, joka perustettiin vuonna 1926.

Organisaatioon kuuluu noin 325 jäsentä. Sen jäsenet valmistavat erilaisia tuotteita, kuten voimansiirto- ja jakelulaitteita, valaistusjärjestelmiä, tehdasautomaatio- ja ohjausjärjestelmiä sekä lääketieteellisiä järjestelmiä. Lisäksi NEMA on julkaissut yli 700 standardia ja teknistä paperia. (NEMA 2024.)

## 2.6 Kansallisesti tunnustetut NRTL-testauslaboratoriot

Kansallisesti tunnustetut NRTL-testauslaboratoriot (eng. Nationally Recognized Testing Laboratories) ovat Yhdysvaltojen työturvallisuus- ja työterveysvirasto OSHA:n tunnustamia liittovaltiosta riippumattomia yksityisen sektorin laboratorioita tuotteiden testaamiseksi ja sertifiointiksi. NRTL-testauslaboratoriot täyttävät lakisääteiset vaatimukset, jotka koskevat konsensuspohjaisiin testausstandardeihin kuuluvien tuotteiden turvallisuustestausta ja sertifiointia. (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.7.)

NRTL-testauslaboratorion toimesta sertifioidut tuotteet täyttävät sekä rakennusalan että yleisten OSHA:n sähköstandardien vaatimukset. Jokainen NRTL-testauslaboratorio käyttää omaa yksilöllistä rekisteröityä sertifiointimerkkiään osoittaakseen tuotteen olevan sovellettavien tuoteturvallisuusstandardien mukainen. Tuotteen sertifiointin jälkeen tuotteen valmistaja on valtuutettu kiinnittämään tuotteeseen sertifiointimerkin. Sertifiointimerkki osoittaa, että tuote on asianmukaisesti testattu ja että tuote täyttää yhden tai useamman standardin asettaman tuoteturvallisuusvaatimuksen. (OSHA 2024c.)

Testausstandardit, jotka on todettu soveltuvan käytettäväksi työturvallisuus- ja työterveysvirasto OSHA:n NRTL-ohjelmassa, sisältävät mm. ANSI-, FM, IEEE-, NEMA-, CSA- ja UL-standardit (OSHA 2024a). Tuotesertifiointi on vaadittu mm. sähkölaitteille, nestekaasulaitteille, paloilmittimille ja sammuttimille, sekä räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäville laitteille (OSHA 2024e).

### **2.6.1 UL Enterprise**

UL Enterprise on yhdysvaltalainen turvallisuustieteeseen keskittyvä yritys, joka on perustettu vuonna 1894 (UL Solutions 2024a). Organisaatio tunnettiin vuoteen 2022 asti nimellä Underwriters Laboratories, kunnes organisaatiosta tuli emoyhtiö 1. tammikuuta 2012 osakeyhtiö UL LLC:lle, joka otti tuotetestaus- ja sertifiointiliiketoiminnan haltuunsa (NRC 2011). Yritykset brändättiin uudelleen 26.6.2022 kolmeksi erilliseksi organisaatioksi, jotka muodostavat nykyisen UL Enterprisen. Uudet organisaatiot ovat UL Solutions, UL Standards & Engagement ja UL Research Institutes. (UL Solutions 2024a.)

UL Enterprise asettaa Yhdysvalloissa palo- ja tuoteturvallisuusvaatimuksia sähkölaitteille ja komponenteille, sekä valvoo niiden toteutumista (UL Solutions 2024a). UL:n testaus- ja sertifiointipalvelut sisältävät henkilöstön, tuotteiden, tilojen, prosessien ja järjestelmien sertifiointin sovellettavien standardien ja vaatimusten mukaisesti (UL Solutions 2024b). Yhtiön määrittelemät standardit sähkökomponenteille ja niiden käytölle ovat kansallisen sähkökoodin NEC:n mukaisia, ja yrityksellä on Yhdysvaltain liittovaltion työturvallisuus- ja työterveysvirasto OSHA:n virallinen hyväksyntä turvallisuustestien suorittamiselle (OSHA 2024b).

### **2.6.2 FM**

Factory Mutual Insurance Company, eli FM, on kansainvälinen keskinäinen vakuutusyhtiö sekä tutkimuslaitos, joka perustettiin jo vuonna 1835. FM:n vakuustoimintaan kuuluu omaisuuteen liittyvien riskien tunnistus, sekä ohjeiden ja suositusten antaminen, joilla voidaan suojata omaisuutta. (FM 2024a.) FM:n toimialaan kuuluu myös laitteiden testaus- ja sertifiointipalvelut. FM tarjoaa turvallisuustodistuksia mm. palontorjuntalaitteille sekä räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäville sähkölaitteille. (FM 2024b.) Yritys on NRTL-hyväksytty testaaja, joten sillä on Yhdysvaltain liittovaltion työturvallisuus- ja työterveysvirasto OSHA:n virallinen hyväksyntä turvallisuustestien suorittamiselle (OSHA 2024b).

### 2.6.3 CSA Group

Canada Standards Association Group, eli CSA, on vuonna 1919 alkunsa saanut kanadalainen standardointiorganisaatio. CSA asettaa tuoteturvallisuusvaatimuksia Kanadassa myytävälle sähkölaitteille ja komponenteille, sekä testaa ja sertifioiduista laitteista. Organisaatio sertifioiduista laitteista myös Yhdysvaltojen markkinoille. (CSA group 2024b.) CSA on solminut keskinäisen komponenttien hyväksymissopimuksen UL:n kanssa, ja CSA:n tunnustetaan täyttävän UL:n standardeja vastaavat testausstandardit (CSA Group 2024a). Lisäksi yhtiöllä on OSHA:n myöntämä NRTL-valtuutus räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävien tuotteiden testaamiseksi ja sertifiointiksi Yhdysvaltojen alueella (CSA group 2022a, 4).

## 3 LAITESERTIFIINTI

OSHA:n standardin mukaan räjähdysvaarallisissa tiloissa on käytettävä sertifioiduista sähkölaitteista. Käytettävien sähkölaitteiden on täytettävä tilaluokan turvallisuusvaatimukset ja laitteiden on oltava erikseen hyväksytyjä käytettäväksi kyseisissä tiloissa. (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307.) Hyväksyntä eli laitesertifiointi saadaan NRTL-testauslaboratorion toimesta. Monissa tapauksissa edellytetään lisäksi, että laitteet ovat listattuja jonkin NRTL:n toimesta. (UL-120101 2024, 31.)

### AHJ, Authority Having Jurisdiction

Laitteiden hyväksyntä määritellään NEC:n artiklan 100 mukaisesti "acceptable to the authority having jurisdiction". AHJ on vastuussa NEC-standardin vaatimusten tulkinnasta ja toimeenpanosta laitteiden, materiaalien, asennuksen tai menettelyn hyväksymisestä lopullisena viranomaisena. Viranomainen voi olla jokin julkishallinnollinen organisaatio tai esimerkiksi palo- tai sähkötarkastaja. (NFPA-70 2023, 26–28.)

### UL-Certified

UL-sertifiointi on terminä laaja UL:n tarjoamille turvallisuustodistuksille. UL:n tarjoamat turvallisuustodistukset voidaan jakaa laitos-, prosessi- henkilöstö-, järjestelmä- ja tuotesertifiointeihin. (UL Solutions 2024b.) Tuotteiden kohdalla UL-sertifiointi tarkoittaa, että tuote täyttää sille asetetut paikalliset ja liittoval-

tion ympäristö- ja turvallisuusstandardit. Nämä turvallisuusstandardit vaihtelevat tuotekategorian mukaan, mutta voivat sisältää esimerkiksi sähköturvallisuutta, syttyvyyttä ja myrkyllisyyttä koskevia vaatimuksia. (AerosUSA 2024.)

### UL-Listed

UL-listatut tuotteet ovat itsenäisiä lopputuotteita ja kokonaisia komponentteja, jotka soveltuvat pääasiassa suoraan tehdas- ja kenttäasennuksiin. Tämän kaltaisen tuote voisi olla esimerkiksi savunilmaisin, lämmitin tai muu sähkölaite. Lisäksi UL-listattu tuote ei sisällä kohtuullisesti ennakoitavissa käyttöolosuhteissa sähköiskun tai tulipalon riskiä 2. divisioonaan luokitellussa käyttöympäristössä. (AerosUSA 2024.)

Tuotteessa oleva UL-listausmerkki tarkoittaa, että valmistaja on osoittanut kykynsä tuottaa tuote, joka täyttää kaikki vaatimukset, jotka liittyvät tuotteeseen liittyviin kohtuudella ennakoitaviin riskeihin. Yhdysvaltojen ja Kanadan yhteistä UL-merkkiä sovelletaan tuotteisiin, jotka ovat tutkittu molempien maiden vaatimusten mukaisesti. Kanadan UL-listausmerkkiä sovelletaan Kanadassa käytettäviin tuotteisiin, jotka on tutkittu Kanadan turvallisuusvaatimusten mukaisesti. (UL Solutions 2015, 38.) Kuvassa 1 on esitetty eri markkina-alueiden UL-listed tuotemerkinnät.



Kuva 1. UL-listed tuotemerkinnät (UL Solutions 2015, 38)

### UL-Classified

UL-luokitellut tuotteet testataan rajoitetusti tietyin edellytyksin, kuten tapaturman tai tulipalon varalta. UL-luokiteltu merkki vastaa kuitenkin vain kyseistä testiä. UL-luokiteltu ei tarkoita, että tuote olisi läpäissyt kaikkia muita yleisiä UL:n turvallisuusstandardeja. Esimerkiksi tuote on saatettu testata vain rajoitetuissa räjähdysvaarallisissa olosuhteissa. (Eagle Justrite Safety Group 2024.) UL-merkintä vaihtelee markkina-alueen mukaan, riippuen onko tuote tarkoitettu Yhdysvaltoihin, Kanadaan tai molempiin (UL Solutions 2015, 39). Kuvassa 2 on esitetty eri markkina-alueiden UL-Classified tuotemerkinnät.



Kuva 2. UL-Classified tuotemerkinnät (UL Solutions 2015, 39)

### UL-Recognized

UL-tunnustetut tuotteet eroavat listatuista tuotteista sillä, että UL-tunnustusta ei sovelleta itsenäisiin lopputuotteisiin. UL-tunnustus osoittaa, että komponentti noudattaa UL-standardeja ja komponentti on osana suurempaa UL-sertifioitua palvelua tai tuotetta. Verrattuna UL-listattuun tuotteeseen, UL-tunnustus status on helpompi saada, koska hyväksyntäprosessiin liittyy vähemmän testausta. (AerosUSA 2024.) UL-tunnustusmerkintä vaihtelee markkina-alueen mukaan, riippuen onko tuote tarkoitettu Yhdysvaltoihin, Kanadaan tai molempiin (UL Solutions 2015, 39). Kuvassa 3 on esitetty eri markkina-alueiden mukaiset UL-Recognized tuotemerkinnät.



Kuva 3. UL-Recognized tuotemerkinnät (UL Solutions, 2015, 39)

### FM-Approved

FM käyttää omaa sertifiointimerkkiä kaikilla tuotteilla, jotka se on hyväksynyt. FM-Approved merkintä ilman lisäkirjaimia osoittaa, että tuotteen ominaisuudet on tutkittu ja hyväksytty Yhdysvaltojen standardien mukaan. C US -lisämerkintä osoittaa tuotteen täyttävän sekä Yhdysvaltojen että Kanadan standardien vaatimukset. Kanadan markkinoille tarkoitetuissa tuotteissa käytetään C-lisämerkintää. Se osoittaa, että tuotteen ominaisuudet on tutkittu ja hyväksytty Kanadan standardien mukaan. (FM approvals 2014.) Kuvassa 4 on esitetty eri markkina-alueiden mukaiset FM-Approved tuotemerkinnät.



Kuva 4. FM-Approved tuotemerkinnät (FM approvals 2014)

### CSA-Approved

CSA:n käyttämä sertifiointimerkki osoittaa tuotteen täyttävän siihen sovellettavat sertifiointivaatimukset, sekä turvallisuus- ja suorituskykystandardit. CSA-merkintä ilman lisämerkintöjä osoittaa, että tuote täyttää Kanadan standardit. C US -lisämerkintä osoittaa tuotteen täyttävän sekä Yhdysvaltojen että Kanadan standardien vaatimukset. Yhdysvaltojen markkinoille tarkoitetuissa tuotteissa käytetään US-lisämerkintää, joka osoittaa tuotteen täyttävän Yhdysvaltojen vaatimat standardit. (CSA Group 2022b, 4–6.) Kuvassa 5 on esitetty eri markkina-alueiden mukaiset CSA-sertifiointimerkinnot.



Kuva 5. CSA-sertifiointimerkinnot (CSA Group 2022b, 6)

## 4 RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT

Räjähdyksivaarallisella alueella tarkoitetaan yleensä tilaa, jossa esiintyy räjähdys- tai tulipalomahdollisuus aineiden, kuten syttyvien kaasujen, höyryjen tai palavien pölyjen esiintymisen vuoksi. Räjähdyksivaarallisia tiloja esiintyy muun muassa kemianteollisuudessa, maatalousteollisuudessa, meriteollisuudessa, lentokonehalleilla, bensiinin jakelu- ja huoltoasemilla sekä öljynjalostamoilla palavien nesteiden valmistus-, käsittely- ja varastointialueilla. (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307.)

Räjähdyksen syntyyn tilassa tarvitaan pääsääntöisesti kolme tekijää, joiden on esiinnyttävä samanaikaisesti:

**Palava aine**, joka voi muodostaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen.

**Happi**, joka yhdessä palavan aineen kanssa muodostaa räjähtävän seoksen.

**Syttymislähde**, joka voi olla esimerkiksi kuuma pinta tai kipinä.

Räjähdyksen syntyprosessi kuvataan tyypillisesti kuvan 6 mukaisen räjähdyskolmion avulla. Räjähdyks tapahtuu, kun palava aine sekoittuu ilmaan ja pääsee kosketuksiin syttymislähteen kanssa. Syttymislähteen lisäksi hapetta ja

palavaa ainetta tulee esiintyä oikeassa suhteessa, jotta räjähdys olisi mahdollinen. (Emerson 2023, 4.) Räjähdyksenvaarallisen tilan riskitasoa määritettäessä hyödynnetään räjähdyskolmion elementtejä (Panduit 2020, 4).



Kuva 6. Räjähdykskolmio, jossa räjähdykseen tarvittavat tekijät (Panduit 2020, 4)

#### 4.1 Syttymislähteet

Räjähdyksenvaarallisissa tiloissa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttymisen estämiseksi on oltava tietoinen kaikista mahdollisista syttymislähteistä.

Yleisimpiä syttymislähteitä ovat

- kuumat pinnat, kuumat kaasut ja avotuli
- mekaaniset kipinät
- staattinen sähkö
- salama
- ionisoiva säteily
- ultraäänet
- sähkölaitteiden aiheuttamat valokaaret, kipinät ja kuumat pinnat
- sähkömagneettiset aallot, lasersäteily.

(HazLoc Directory 2024b.)

Sähkölaitteet voivat nostaa lämpötilaa laitteen pinnalla, aiheuttaa kuumia pintoja, synnyttää valokaaria tai kipinöitä. Ne ovatkin yksi merkittävimmistä syttymislähteistä räjähdysvaarallisissa tiloissa. Koska sähkölaitteita kuitenkin edelleen tarvitaan HazLoc-tiloissa, niiden suunnitteluun ja asennukseen on sisällytettävä erityiset räjähdys-suojatekniikat, jotta niistä ei tule syttymislähdettä. (HazLoc Directory 2024b.) Eri suojatekniikat käsitellään kappaleessa 5.

## 4.2 Räjähdyksvaarallisia tiloja koskevat standardit Yhdysvalloissa

Räjähdyksvaarallisten tilojen asennuskoodien ja tuotestandardien kehitys on kulkenut eri suuntiin Yhdysvaltojen ja Euroopan välillä. Räjähdyksvaaralliset tilat mainittiin Yhdysvaltojen standardeissa ensimmäisen kerran vuonna 1920, kun NEC-standardiin lisättiin uusi artikkeli otsikolla ”Extra-Hazardous Locations”. Artikkelin oli osoitettu tiloihin ja alueisiin, joissa käsiteltiin, valmistettiin tai varastoitettiin helposti syttyviä kaasuja, nesteitä ja muita räjähdysvaarallisia seoksia. Vuonna 1931 räjähdysvaarallisten tilojen ilmapiirit jaettiin ensimmäisen kerran luokkiin, ja myöhemmin vuonna 1935 alueluokituksiin lisättiin materiaalityypit. (UL-120101 2024, 27.) Divisioonat esiteltiin NEC-standardissa ensimmäisen kerran vuonna 1947, jolloin nykyisen alueluokitusjärjestelmän voidaan katsoa saaneen alkunsa (NFPA-497 2024, 66).

Yhdysvalloissa räjähdysvaarallisten tilojen luokitteluun on nykyisin olemassa kaksi erillistä standardia: Vuonna 1947 alkunsa saanut NEC 500, sekä vuonna 1996 vaihtoehtoiseksi standardiksi luotu NEC 505. NEC:n artikla 500 luokittelee tilat perinteisen pohjoisamerikkalaisen divisiooniin perustuvan alueluokitusjärjestelmän mukaan. Uudempi NEC:n artikla 505 luokittelee tilat IEC-standardeihin perustuvan vyöhykejärjestelmän mukaan, jonka on tarkoitettu toimivan vaihtoehtona divisioonajärjestelmälle. (FM 2012, 4.)

Uudemman NEC:n artiklaan 505 perustuvan vyöhykejärjestelmän käyttöönotto on jäänyt Yhdysvalloissa rajoittuneeksi. Syynä tähän on NEC:n vaatimukset: Standardi edellyttää, että räjähdysvaaralliset alueet on luokiteltava joko perinteisen tai uuden vyöhykejärjestelmän mukaan. Tilaluokitusjärjestelmiä ei saa sotkea keskenään. Kun kaikki ennen vuotta 1996 käyttöönotetut räjähdysvaaralliset tilat ovat perustuneet NEC:n artiklan 500 mukaiseen alueluokitusjärjestelmään, uutta vyöhykejärjestelmää ja siihen perustuvia tekniikoita ei voida ottaa käyttöön ilman tilojen uudelleen luokittelusta. (FM 2012, 27.)

Yhdysvalloissa rajoittuneeseen käyttöön jääneen IEC:n standardeihin perustuvan vyöhykeluokitusjärjestelmän tarkempi käsitteleminen on rajattu pois tästä opinnäytetyöstä ja työssä keskitytään NEC:n artiklan 500 sisältöön. Taulukossa 1 esitellään työssä käsiteltävät HazLoc-tiloja koskevat standardit.

Taulukko 1. Opinnäytetyössä käsiteltävät räjähdysvaarallisia tiloja koskevat standardit.

Turvastandardit ja määräykset	USA: OSHA
Sähköasennukset	NFPA 70: National Electrical Code
Räjähdyssuojaus	NFPA 70: NEC artikla 500

Eri organisaatiot ovat kehittäneet lukuisia oppaita ja standardeja, jotka ovat OSHA:n määräysten ja kansallisen sähkökoodin NEC:n mukaisia. Tämän työn apuna on käytetty taulukossa 2 esitettyjä HazLoc-tiloja koskevia julkaisuja.

Taulukko 2. Apuna käytetyt räjähdysvaarallisia tiloja koskevat NFPA:n ja UL:n standardit

Standardi	Julkaisun nimi
NFPA 30	Flammable and Combustible Liquids Code
NFPA 496	Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment
NFPA 497	Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas
NFPA 499	Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas
UL 674	Electric Motors and Generators for Use in Hazardous (Classified) Locations
UL 698A	Industrial Control Panels Relating to Hazardous (Classified) Locations
UL 913	Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II and III, Division 1, Hazardous (Classified) Locations
UL 1203	Explosion-Proof and Dust-Ignition-Proof Electrical Equipment for Use in Hazardous (Classified) Locations
UL 2225	Cables and Cable-Fittings For Use In Hazardous (Classified) Locations
UL 120101	Definitions and Information Pertaining to Electrical Equipment in Hazardous Locations
UL 121201	Nonincendive Electrical Equipment for Use in Class I and II, Division 2 and Class III, Divisions 1 and 2 Hazardous (Classified) Locations

### 4.3 Räjähdyksvaarallisen tilan määritelmä

Räjähdyksvaarallista tilaa kutsutaan Yhdysvalloissa nimellä "hazardous location". NEC määrittelee tilan/alueen vaaralliseksi silloin, kun alueella esiintyy palo- tai räjähdysvaara syttyvien kaasujen tai höyryjen, syttyvien nesteiden, palavan pölyn, syttyvien kuitujen tai nukkien vuoksi. (NFPA-70 2023, 389.)

NEC:n määrittelyssä tilaa voidaan pitää räjähdysvaarallisena kaasu- tai pölyräjähdysvaaran vuoksi. Palovaaralla viitataan pääasiassa tiloihin, joissa on läsnä syttyviä kuituja tai nukkia. (Benedetti ym. 2009, 15.)

### 4.4 Class & Division alueluokitukset

Räjähdyksvaarallisten tilojen luokitusmenetelmien tarkoituksena on antaa tarkka kuvaus mahdollisesti esiintyvistä vaarallisista materiaaleista ja sen esiintymisen todennäköisyydestä, jotta voidaan valita sopivat laitteet ja noudattaa turvallisia asennuskäytäntöjä. Tarkoituksena on, että laitoksen jokainen huone, osa tai alue otetaan erikseen huomioon sen luokitusta määritettäessä. (NFPA-70 2023, 389-390.) NEC:n artikla 500 määrittelee räjähdysvaaralliseksi luokitellut tilat seuraavasti:

**Luokan I, divisioona 1** on tila, 1) jossa voi esiintyä syttyviä kaasujen tai höyryjen pitoisuuksia normaaleissa käyttöolosuhteissa; tai 2) joissa tällaisten kaasujen tai höyryjen syttyviä pitoisuuksia voi esiintyä usein korjaus- tai huoltotoimenpiteiden tai vuotojen vuoksi; tai 3) jossa laitteiden tai prosessien rikkoutuminen tai virheellinen toiminta saattaa vapauttaa syttyvinä pitoisuuksina kaasuja tai höyryjä aiheuttaen samanaikaisen sähkölaitteen vian. (NFPA-70 2023, 390.)

**Luokan I, divisioona 2** on tila, 1) jossa haihtuvia syttyviä nesteitä tai syttyviä kaasuja käsitellään tai käytetään, mutta joissa vaaralliset nesteet, höyryt tai kaasut on yleensä suljetuissa säiliöissä tai suljetuissa järjestelmissä, joista ne voivat poistua vain vahingossa tällaisten säiliöiden tai järjestelmien rikkoutuessa tai laitteiden epänormaalin toiminnan seurauksena; tai 2) joissa kaasujen tai höyryjen syttyvät pitoisuudet estetään normaalisti ylipaineisella ilmanvaihdolla ja joista voi tulla vaarallisia ilmanvaihtolaitteiden vikojen tai epänormaalien toiminnan vuoksi; tai 3) se on luokkaan I, divisioonaan 1 määritellyn tilan

vieressä ja johon saattaa satunnaisesti päästä syttyviä kaasu- tai höyrypitoisuuksia, ellei tällaista satunnaista kaasujen ja höyryjen kulkeutumista estä riittävä ylipainetuuletus puhtaan ilman lähteestä ja tehokkaat suojoimenpiteet ilmanvaihtohäiriöiden varalta. (NFPA-70 2023, 390–391.)

**Luokan II, divisioona 1** on tila, 1) jossa palavaa pölyä on tai voi olla ilmassa suspensiona normaaleissa käyttöolosuhteissa, sekä sitä on riittävä määrä muodostamaan räjähtäviä tai syttyviä seoksia; tai 2) jossa koneen tai laitteiston mekaaninen vika tai epänormaali toiminta saattaa aiheuttaa tällaisten räjähtävien tai syttyvien seosten muodostumisen ja voi myös olla syttymislähde sähkölaitteiden samanaikaisen vian, suojalaitteiden toimimattomuuden vuoksi tai muista syistä; tai 3) jossa saattaa esiintyä sähköä johtavaa, luonteeltaan palavaa pölyä. (NFPA-70 2023, 391.)

**Luokan II, divisioona 2** on tila, 1) jossa palavaa pölyä ei esiinny ilmassa normaaleissa olosuhteissa räjähtävien tai syttyvien seosten muodostumiseksi; tai 2) jossa pölyn kerääntyminen ei tavallisesti riitä häiritsemään sähkölaitteiden tai muiden laitteiden normaalia toimintaa, mutta palavaa pölyä voi esiintyä ilmassa prosessilaitteiden harvoin esiintyvien toimintahäiriöiden seurauksena; tai 3) jossa toimintahäiriöistä aiheutuva palavan pölyn kerääntyminen sähkölaitteen päälle, sen sisään tai läheisyyteen saattaa riittää häiritsemään lämmön turvallista haihtumista sähkölaitteista tai se voi sytyttää palon sähkölaitteiden epänormaalin toiminnan tai vian vuoksi. (NFPA-70 2023, 391.)

**Luokan III, divisioona 1** on tila, jossa käsitellään, valmistetaan tai käytetään herkästi syttyviä kuituja tai materiaaleja, jotka muodostavat paloherkkää nukkaa. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi jotkin viskoosi-, puuvilla- ja muiden tekstiilitehtaiden osat, kuitujen valmistus- ja käsittelylaitokset, vaatteiden tuotantolaitokset ja puuntyöstölaitokset. (NFPA-70 2023, 391.)

**Luokan III, divisioona 2** on tila, jossa helposti syttyviä kuituja ja materiaaleja varastoidaan tai käsitellään, mutta tilassa ei valmisteta materiaaleja (NFPA-70 2023, 391).

#### 4.5 Räjähdyksvaarallisen ilmapiirin luokkajaottelu

Tässä kappaleessa tarkastellaan tarkemmin tilojen luokkia. Räjähdyksvaaralliset ilmapiirit jaotellaan kolmeen eri luokkaan Class I, Class II ja Class III NEC:n artiklan 500 mukaisesti. HazLoc-tila on luokiteltava syttyvän kaasun, palavan nesteen tuottaman höyryn, syttyvän pölyn tai tilassa läsnä olevien tulenarkojen kuitujen tai nukkien ominaisuuksien perusteella. (NFPA-70 2023, 390.) Taulukossa on 3 on esitetty NEC:n mukaiset ilmapiirien luokat.

Taulukko 3. NEC:n mukaiset ilmapiirien luokat (mukaillen NFPA-70 2023, 390)

Luokka	Räjähdykskykyinen ilmapiiri
Class I	Palavia kaasuja, höyryä tai sumua
Class II	Pölyjä
Class III	Kuidut ja nukat

Ensimmäiseen luokkaan (Class I) määriteltävistä syttyvistä kaasuista vety- ja hiiliyhdisteet reagoivat herkimmin ilmassa olevan hapen kanssa. Esimerkiksi asetyleeni on räjähdysherkkä kaasu alhaisen leimahtamispisteen takia jo huoneenlämmössä. Syttyvät nesteet, joilla on matala leimahduspiste, ovat vaarallisempia kuin nesteet, joilla on korkea leimahduspiste. (OSHA 2024d, 29 CFR 1926.449.)

Palavan aineen on oltava leimahduspisteessään tai sen yläpuolella ennen kuin räjähdys voi tapahtua (Benedetti ym. 2009, 11). Nesteen leimahduspiste on vähimmäislämpötila, jossa nesteestä vapautuu riittävästi höyryä muodostamaan syttyvä ilmaseos nesteen pinnalle (NFPA-30 2024, 19). Tarkat eri nesteille määritetyt leimahduspisteet löytyvät julkaisusta NFPA 497 (Benedetti ym. 2009, 12).

Kaikki syttyvät kaasut ja palavat nesteet, jotka on kuumennettu leimahduspisteensä yläpuolelle, voivat syttyä. Useimmille aineille on olemassa sekä alempi- että ylempi syttymisraja. Syttymisrajat ovat pitoisuuksia, joiden rajoissa aineen ja ilman seos voi syttyä. Syttymisrajojen ulkopuolella seos on joko liian laihaa tai rikasta syttyäkseen. (Benedetti ym. 2009, 12–13.)

Toiseen luokkaan (Class II) määriteltäviä palavia pölyjä ovat mm. viljan ja viljatuotteiden käsittelyssä ja prosessoinnissa syntyneet pölyt, muovi- ja metallipöly, kuivatut muna- ja maitojauheet, jauhetut mausteet, tärkkelys ja tahnat, peruna- ja puujauho, kuivattu heinä ja muut orgaaniset materiaalit, jotka voivat tuottaa palavaa pölyä niitä käsiteltäessä. Sähköä johtavat pölyt kuten magnesium- tai alumiinipöly ovat erityisen vaarallisia, ja näiden kanssa on noudatettava äärimmäistä varovaisuutta syttymisen ja räjähdysten välttämiseksi. (OSHA 2024d, 29 CFR 1926.449.)

Jotta palavaa materiaalia voidaan pitää pölynä, sen on oltava hienojakoisena kiinteänä aineena, jonka hiukkaskoko on korkeintaan 500 mikronia. Kiinteät materiaalit, joiden hiukkaskoko ylittää 500 mikronia ja jotka voivat muodostaa räjähtävän seoksen tai syttyvän kerroksen, luokitellaan kuituihin ja nukkiin. (NFPA-499 2024, 6.)

Kolmanteen luokkaan (Class III) määriteltäviä helposti syttyviä kuituja ja nukkia ovat esimerkiksi viskoosi, puuvilla, sisal tai henequen, istle, juutti, hamppu, touvi, kaakaokuitu, tammi, paalattu jätekapokki, espanjalainen sammal, lastuvilla, sahanpuru, puulastut ja muut samankaltaiset materiaalit (OSHA 2024d, 29 CFR 1926.449).

#### **4.6 Räjähdyksivaarallisten alueiden divisioonajako**

Kohdassa 4.5 käsitellyt luokat saavat vielä erillisen divisioonan määrittämisen. NEC:n mukaan divisioonalla määritetään räjähdysvaarallisen ilmapiirin olemassaolon todennäköisyys. Luokat jaetaan kahteen divisioonaan.

**Divisioona 1:** Tilat, joissa voi esiintyä syttyvien kaasujen (Class I), räjähdyskykyisten pölyjen (Class II) tai syttyvien kuitujen ja nukkien (Class III) vaarallisia muodostumia. Syttyviä kemikaalipitoisuuksia esiintyy tilassa normaaleissa käyttöolosuhteissa ja/tai vaara johtuu toistuvista huolto- tai korjaustöistä tai toistuvista laitevioista. (NFPA-70 2023, 390–391.)

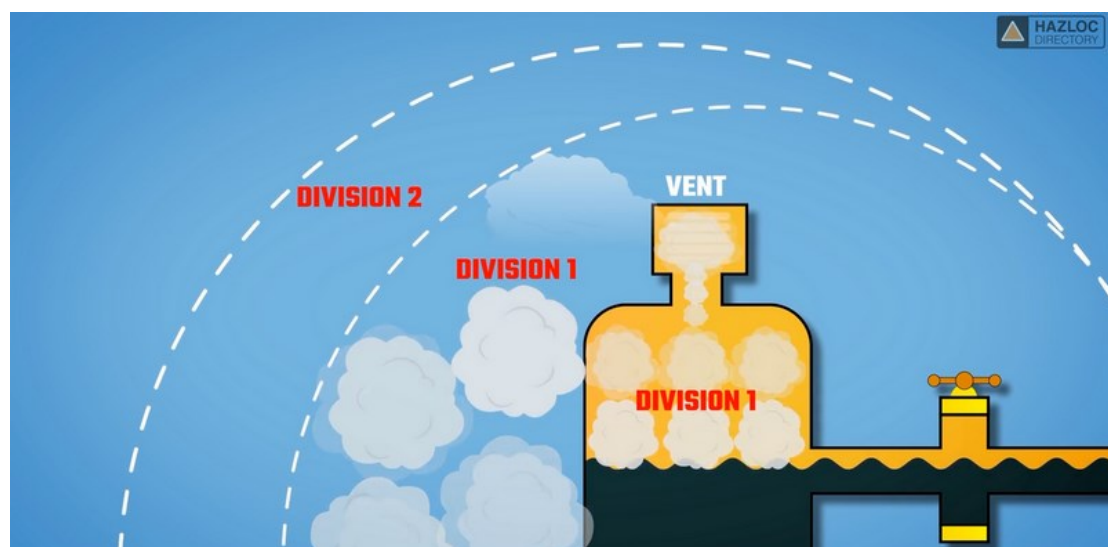
**Divisioona 2:** Tilat, joissa syttyvien kaasujen (Class I), räjähdyskykyisten pölyjen (Class II) tai syttyvien kuitujen ja nukkien (Class III) vaarallisia muodostu-

mia voi esiintyä vain virheolosuhteissa. Tilassa käsiteltävät tai käytettävät syttyvät kemikaalit ovat tavallisesti suljetuissa säiliöissä tai suljetuissa järjestelmissä, joista ne pääsevät ulos vain säiliöiden tai järjestelmien rikkoutuessa. (NFPA-70 2023, 390–391.) Taulukossa 4 on esitetty divisioonajako.

Taulukko 4. NEC:n mukaiset divisioonat (mukaillen NFPA-70 2023, 390)

Divisioona 1	Divisioona 2
<p>Tilat, joissa esiintyy syttyviä kaasuja, räjähdyskykyistä pölyä, tai syttyvien kuitujen ja nukkien vaarallisia muodostumia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- normaaleissa käyttöolosuhteissa.</li> <li>- johtuen toistuvista huolto- tai korjaustöistä tai toistuvista laitevioista.</li> </ul>	<p>Tilat, joissa esiintyy syttyviä kaasuja, räjähdyskykyistä pölyä, tai syttyvien kuitujen ja nukkien vaarallisia muodostumia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vain virheolosuhteissa.</li> <li>- tilassa käsiteltävien suljettujen kemikaalisäiliöiden tai järjestelmien rikkoontuessa.</li> </ul>

Kuva 7 havainnollistaa divisioonan määrittämistä. Divisioona 1 sijaitsee varastosäiliön sisällä nesteen yläpuolella, missä höyrystynyttä kaasua voi esiintyä, sekä säiliön ulkopuolella, tuuletusventtiilin välittömässä läheisyydessä. Divisioona 2 sijaitsee varastosäiliön ulkopuolella alueella, joka on hieman syrjässä säiliön tuuletusventtiilistä. (HazLoc Directory 2024a.)



Kuva 7. Havainnollistava periaatekuva divisioonan määrittämisestä (HazLoc Directory 2024a)

## 4.7 Materiaaliryhmän valinta

Kaasujen, höyryjen tai pölyjen ilmaseosten räjähdysominaisuudet vaihtelevat materiaalin mukaan. Kaasu- ja pölyräjähdysvaarallisiin tiloihin määritellään erikseen materiaaliryhmät. Kaasuräjähdysvaarallisten tilojen materiaaliryhmien määrittelyyn on käytetty NFPA 497 -standardia. Vastaavasti pölyräjähdysvaarallisten tilojen materiaaliryhmien luokitteluun on käytetty NFPA 499 -standardia. Materiaaliryhmät löytyvät myös NEC:n standardista, joskin asiaa käsitellään siinä suppeammin.

### 4.7.1 Palavat kaasut ja höyryt

Palavat kaasut ja höyryt jaetaan materiaaliryhmiin A, B, C, ja D. Palavien kaasujen ja höyryjen luokitukset perustuvat MESG- ja MIC-arvoihin NEC:n artiklan 500.6 mukaisesti. (NFPA-70 2023, 392.)

MESG (Maximum Experimental Safe Gap): Suurin välys kahden rinnakkaisen metallipinnan välillä, joka on havaittu tietyissä testiolosuhteissa estämään testikammiossa tapahtuvan räjähdysleviämisen toissijaiseen kammioon, joka sisältää samaa kaasua tai höyryä samalla pitoisuudella. (NFPA-497 2024, 7.)

MIC (Minimum Igniting Current): Induktiivisesta kipinäpurkauksesta tarvittavan vähimmäisvirran suhde, joka sytyttää helpoimmin syttyvän kaasun tai höyryn seoksen, jaettuna minimivirralla, joka vaaditaan induktiivisesta kipinäpurkauksesta metaanin sytyttämiseksi testiolosuhteissa. (NFPA-497 2024, 7.) Taulukossa 5 on esitetty NEC:n mukaiset kaasuryhmät ja niiden MESG- ja MIC-arvot, sekä tyypillinen kaasu jokaisesta ryhmästä.

Taulukko 5. NEC:n mukaiset ryhmät kaasuille (mukaillen NFPA-70 2023, 392)

Kaasuryhmä	Tyypillinen kaasu	MESG	MIC
A	Asetyleeni	-	-
B	Vety	≤ 0.45 mm	≤ 0.4
C	Etyleeni	> 0.45 mm ≤ 0.75 mm	> 0.4 ≤ 0.8
D	Propaani	> 0.75 mm	> 0.8

**Ryhmä A:** Asetyleenia sisältävä ilmakehä, joka voi palaa tai räjähtää (NFPA-497 2024, 6).

**Ryhmä B:** Ilmakehä, jossa on syttyvää kaasua, nestettä tai höyryä, joka voi palaa tai räjähtää. MESG-arvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 0.45 mm tai MIC-suhde pienempi tai yhtä suuri kuin 0.40. Tyypillinen B-ryhmän aine on vety. (NFPA-497 2024, 6.)

**Ryhmä C:** Ilmakehä, jossa on syttyvää kaasua, nestettä tai höyryä, joka voi palaa tai räjähtää. MESG-arvo on suurempi kuin 0.45 mm mutta pienempi tai yhtä suuri kuin 0.75 mm, tai MIC-suhde on suurempi kuin 0.40 mutta pienempi tai yhtä suuri kuin 0.80. Tyypillinen C-ryhmän aine on etyleeni. (NFPA-497 2024, 6.)

**Ryhmä D:** Ilmakehä, jossa on syttyvää kaasua, nestettä tai höyryä, joka voi palaa tai räjähtää. MESG-arvo on suurempi kuin 0.75 mm tai MIC-suhde suurempi kuin 0.80. Tyypillinen D-ryhmän aine on propaani. (NFPA-497 2024, 7.)

Tarkat palavia kaasuja ja höyryjä koskevat määritelmät löytyvät standardista NFPA 497: *Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas.*

#### 4.7.2 Palavat pölyt

Räjähdyskykyiset pölyt jaetaan materiaaliryhmiin E, F ja G (NFPA-70 2023, 393). Taulukossa 6 on esitetty NEC:n mukaiset pölyryhmät.

Taulukko 6. NEC:n mukaiset pölyryhmät (mukaillen NFPA-70 2023, 393)

Pölyryhmä	Pöly
E	Metallipöly
F	Hiilipöly
G	Hiukkaspöly

**Ryhmä E:** Ilmakehä, jossa on palavia metallipölyjä, mukaan lukien alumiini, magnesium ja niiden kaupalliset seokset. Ryhmän E pölyt luokitellaan myös sähköä johtaviin pölyihin. (NFPA-499 2024, 7–9.)

**Ryhmä F:** Ilmakehä, jossa on palavia hiilipitoisia pölyjä, mukaan lukien hiili-  
musta- tai koksipölyt. Hiilipitoinen räjähdysvaaralliseksi luokiteltava pöly sisältää haihtuvia aineita vähintään 8 %, tai on herkistynyt räjähdysvaaralliseksi muiden aineiden vaikutuksesta. (NFPA-499 2024, 7.)

**Ryhmä G:** Muut palavia pölyjä sisältävät ilmakehät, jotka eivät ole luokiteltavissa ryhmiin E tai F. Näihin kuuluvat esimerkiksi jauhot, viljat, puu, muovi ja muut kemikaalipitoiset pölyt. (NFPA-499 2024, 7.)

Pölyryhmien tarkat syttymislämpötilat löytyvät standardista NFPA 499: *Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas*.

## 5 RÄJÄHDYSSUOJAUSTEKNIIKAT

Sähkölaitteiden suunnittelussa ja asennuksessa on otettava huomioon räjähdys-  
suojaustekniikat, jotta niistä ei syntyisi mahdollista syttymislähdettä räjähdys-  
vaarallisella alueella. Kaikista perusteellisin suojaustapa räjähdysvaarallissa  
tiloissa on välttää sijoittamasta sähkölaitteita tilaan. Laitossuunnittelussa  
tulisi ottaa tämä tekijä huomioon ja mahdollisuuksien mukaan pyrkiä sijoitta-  
maan sähkölaitteet HazLoc-tilan ulkopuolelle. (UL-120101 2024, 32.)

Erilaisia suojaustekniikoita ja -menetelmiä on kehitetty minimoimaan mahdolli-  
set sähkölaitteista aiheutuvat räjähdys- tai tulipaloriskit HazLoc-tiloissa. Kolme  
perussuojausmenetelmää ovat räjähdys-  
suojaus, syttymislähteen eristäminen  
ja laitteiden energian rajoittaminen. (UL-120101 2024, 32.)

NFPA 70:n artikla 500.7, sekä OSHA:n standardi 29 CFR 1910.307 sisältävät  
kaikki Class & Division-järjestelmän hyväksyttävät suojaustekniikat. Tässä  
opinnäytetyön luvussa käsitellään kaikki standardien mukaiset suojaustekniikat.

## 5.1 Pölytiivis

Pölytiivis (eng. dust-tight) kotelorakenne estää pölyn pääsyn kotelon sisään ja antaa suojan pölyä vastaan (Emerson 2023, 56). Pölytiivis kotelorakenne on suojausmenetelmänä sallittu käytettäväksi luokan II, divisioonan 2, ja luokan III, divisioonan 1 ja 2 tiloissa (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307).

## 5.2 Pölyräjähdysuojattu

Pölyräjähdysuojattu (eng. dust ignition-proof) kotelorakenne estää syttyvän pölyn pääsyn laitteistoon. Kotelorakenne myös estää kaapin sisällä syntyneiden kipinöiden tai sisältä vapautuvan lämmön syttymistä ulkona, tai ilmakehään kerääntyneen pölyn syttymisen kotelon päällä tai sen läheisyydessä. (Emerson 2023, 24.) Pölyräjähdysuojattu kotelorakenne soveltuu käytettäväksi luokan II, divisioonan 1 ja 2 tiloissa (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307). Pölysuojaustekniikka perustuu UL 1203 - sekä FM 3616 -standardiin Yhdysvalloissa (OSHA 2024a).

## 5.3 Räjähdyssuojattu

Räjähdyssuojattu (eng. explosion-proof) räjähdyspaineen kestävä koteloraakenne kestää sisällään tapahtuvan räjähdysten ja estää kipinöiden, liekkien ja lämmön vapautumisen räjähdysvaaralliseen ympäristöön (Emerson 2023, 27). Räjähdyssuojattu kotelo ei ole kaasutiivis, mutta kotelot on suunniteltu siten, että kotelosta poistuvan kaasun lämpötila on selvästi syttymispisteensä alapuolella, kun se vapautuu koteloa ympäröivään ilmakehään (FM 2012, 19). Räjähdyssuojattu rakenne soveltuu käytettäväksi luokan I, divisioonan 1 ja 2 tiloissa (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307). Räjähdyssuojaustekniikka perustuu UL 1203 - sekä FM 3615 -standardeihin Yhdysvalloissa (OSHA 2024a).

## 5.4 Paineistettu

Paineistettuja (eng. purged or pressurized) koteloita voidaan käyttää sähkölaitteiden sijoittamiseen sellaisiin räjähdysvaarallisiin tiloihin, joihin laitteet eivät muutoin soveltuisi. Jatkuvalle paineistuksella estetään ympäröivän räjähtävän kaasun tai höyryn pääsy esimerkiksi ohjauskaappiin, muuntajaan tai moottoriin. hyväksyttäviä suojakaasuja ovat normaalilaatuinen instrumentti-

ilma, tyyppi tai muut palamattomat kaasut. (FM 2012, 13.) Painesuojaustekniikka voidaan käyttää laitteiden suojaamiseen kaikissa räjähdysvaarallisissa tilaluokissa (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307). Painesuojaustekniikka perustuu FM 3620 - ja NFPA 496 -standardeihin (OSHA 2024a).

### **5.5 Öljyupotettu**

Öljyupotus (eng. oil immersed) on suojaustyyppi, jossa sähkölaite tai sen osat upotetaan suojaavaan nesteeseen siten, että tilan räjähdyskelpoinen ilmaseos ei pääse kosketuksiin potentiaalisen syttymislähteen kanssa (FM 2012, 19). Tämä suojaustekniikka on sallittu virran katkaiseville koskettimille luokan I, divisioonan 2 vaarallisissa tiloissa (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307).

### **5.6 Hermeettisesti suljettu**

Hermeettisesti suljettu (eng. hermetically sealed) rakenne on suljettu kaasutiiviisti käyttämällä metallisulatusliitoksia, lasia tai keraamisia materiaaleja (Emerson 2023, 57). Hermeettisesti suljetut rakenteet ovat hyväksytyjä käytettäväksi luokan I, divisioonan 2, luokan II, divisioonan 2, tai luokan III vaarallisissa tiloissa (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307).

### **5.7 Luonnostaan vaaraton**

Luonnostaan vaaraton (eng. intrinsically safe) IS-laite on suunniteltu toimimaan niin alhaisella virralla ja jännitteellä, ettei sen energia riitä sytyttämään räjähdysvaarallista ilmaseosta (Emerson 2023, 105). Luonnostaan vaarattomuus on toteutettavissa vain vähän sähköä kuluttaville pienjännitelaitteille, kuten mittalaitteille tai termoelementeille. Sähköä paljon kuluttavat suurjännitelaitteet eivät voi olla perusominaisuuksiensa takia luonnostaan vaarattomia. (Vaisala 2020.) IS-sertifioituja laitteita voidaan asentaa kaikkiin räjähdysvaarallisiin tilaluokkiin (OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307).

### **5.8 Palamaton rakenne**

Rakenteeltaan palamaton (eng. non-incendive) laite ei pysty vapauttamaan riittävästi sähkö- tai lämpöenergiaa sytyttääkseen räjähdysvaarallista ilmaseosta. Palamattomien laitteiden kanssa käytetään johdotusta, joka on myös

testattu ja hyväksytty käytettäväksi palamattomien laitteiden kanssa. Tekniikka on sallittu käytettäväksi luokan I, divisioonan 2, luokan II, divisioonan 2, tai luokan III tiloissa riippuen tilaluokasta, johon laite on testattu ja hyväksytty. Suojusrakenne perustuu UL 121201 -standardiin. (UL-121201 2021, 9, 13.)

Taulukossa 7 on esitetty räjähdysuojaustekniikoiden soveltuvuus tilaluokittain. Numerot 1 ja 2 merkitsevät taulukossa divisioonaa, johon tekniikka on hyväksytty.

Taulukko 7. Sähkölaitteiden suojaustekniikat (mukaillen OSHA 2024d, 29 CFR 1910.307)

Räjähdyssuojaustekniikka	Class I Divisioona	Class II Divisioona	Class III Divisioona
Pölytiivis		2	1, 2
Pölyräjähdysuojattu		1, 2	
Räjähdyssuojattu	1, 2		
Paineistettu	1, 2	1, 2	1,2
Öljyupotettu	2		
Hermeettisesti suljettu	2	2	1, 2
Luonnostaan vaaraton	1, 2	1, 2	1, 2
Palamaton rakenne	2	2	1, 2

## 6 NEMA-SUOJAUSLUOKAT

NEC:n artikla 110.28 määrittelee, että koteloiden suojausluokitusten on oltava Yhdysvalloissa NEMA:n mukaisia (NFPA-70 2023, 70). NEMA-luokitukset muistuttavat eurooppalaista IP-luokitusjärjestelmää. NEMA 250 -standardi luokittelee kotelot sen perusteella, miten ne suojaavat ympäristökijöiltä, kuten pölyltä, vedeltä ja korroosiolta. Toisin kuin IP-luokitukset, NEMA-luokitukset ottavat huomioon myös muita tekijöitä, kuten korroosionkestävyyden, iskunkestävyyden ja asennustavan. Tästä syystä pelkän IP-luokituksen saanut kotelo ei välttämättä täytä NEMA-standardeja, koska IP-luokitus arvioi pelkästään kotelon tiiveyttä. (NEMA FAQs: Enclosures 2024.)

## 6.1 Yleiset NEMA-suojausluokat

Yleisiä NEMA-suojausluokkia on 16 (NEMA-250 2021, 2-4). Kotelot, jotka täyttävät useamman kuin yhden tyyppiluokituksen vaatimukset, voidaan merkitä tyyppinumeroiden yhdistelmällä. Kotelolla voi olla esimerkiksi sisä- tai ulko-käyttöluokituksen lisäksi luokitus räjähdysvaaralliseen tilaan. (NEMA FAQs: Enclosures 2024.) Räjähdyssuojatut NEMA-suojausluokat käsitellään erikseen kohdassa 6.2.

**Tyyppin 1** kotelo on tarkoitettu sisäkäyttöön ja suojaamaan putoavaa likaa vastaan paikoissa, joissa ei ole epätavallisia käyttöolosuhteita (NEMA-250 2021, 2).

**Tyyppin 2** kotelo on tarkoitettu sisäkäyttöön ensisijaisesti antamaan suojan putoavaa vettä ja likaa vastaan (NEMA-250 2021, 2).

**Tyyppin 3** kotelo on tarkoitettu ulkokäyttöön ja antaa suojaa sateelta, räntäsateelta ja tuulen tuomalta pölyltä. Kotelon jäätyminen ei vahingoita sen rakenteita. (NEMA-250 2021, 2.)

**Tyyppin 3R** kotelo on tarkoitettu ulkokäyttöön antaen suojaa sateelta ja räntäsateelta. Kotelon jäätyminen ei vahingoita sen rakenteita. Siinä on tuuletettu rakenne, joka helpottaa ilmavirtausta ja jäähdytystä. (NEMA-250 2021, 2.)

**Tyyppin 3S** kotelo tarjoaa lisäsuojaa kotelon lukitusmekanismille jäätymistä vastaan, mutta on muuten ominaisuuksiltaan vastaava kuin tyyppin 3 kotelo (NEMA-250 2021, 2).

**Tyyppin 3X** kotelo tarjoaa lisäsuojan korroosiota vastaan, mutta on muuten ominaisuuksiltaan vastaava, kuin tyyppin 3 kotelo (NEMA-250 2021, 2).

**Tyyppin 3SX** kotelo tarjoaa lisäsuojan korroosiota vastaan, mutta on muuten ominaisuuksiltaan vastaava, kuin tyyppin 3S kotelo (NEMA-250 2021, 3).

**Tyyppin 3RX** kotelo tarjoaa lisäsuojan korroosiota vastaan, mutta on muuten ominaisuuksiltaan vastaava, kuin tyyppin 3R kotelo (NEMA-250 2021, 3).

**Tyyppin 4** kotelo on tarkoitettu sisä- sekä ulkokäyttöön antaen suojan tuulta, pölyä, sadetta, roiskeita ja letkuohjattua vesisuihkua vastaan. Kotelon jäätyminen ei vahingoita sen rakenteita. (NEMA-250 2021, 3.)

**Tyyppin 4X** kotelo tarjoaa lisäsuojan korroosiota vastaan, mutta on muuten ominaisuuksiltaan vastaava, kuin tyyppin 4 kotelo (NEMA-250 2021, 3).

**Tyyppin 5** kotelo on tarkoitettu käytettäväksi sisätiloissa ja antamaan suojaa laskeutuvaa pölyä, putoavaa likaa ja tippuvia syövyttämättömiä nesteitä vastaan (NEMA-250 2021, 3).

**Tyyppin 6** kotelo on tarkoitettu sisä- tai ulkokäyttöön ja antamaan suojaa letkuohjattua vesisuihkua vastaan. Rakenne kestää hetkellisen upotuksen veteen rajoitetussa syvyydessä ja kotelon jäätyminen ei vahingoita sen rakenteita. (NEMA-250 2021, 3.)

**Tyyppin 6P** kotelo kestää jatkuvan upotuksen veteen rajoitetussa syvyydessä, ja se vastaa muilta ominaisuuksiltaan tyyppin 6 koteloa (NEMA-250 2021, 3).

**Tyyppin 12** kotelo on tarkoitettu sisäkäyttöön antamaan suojaa ilmassa leijuvaa pölyä, putoavaa likaa ja tippuvia syövyttämättömiä nesteitä vastaan (NEMA-250 2021, 4).

**Tyyppin 12K** kotelo sisältää valmiiksi rakennetut läpiviennit kaapeleita ja antennejä varten, mutta on muuten ominaisuuksiltaan vastaava, kuin tyyppin 12 kotelo (NEMA-250 2021, 4).

**Tyyppin 13** kotelo on tarkoitettu sisäkäyttöön antamaan suojaa nukkaa, pölyä, roiskuvaa vettä, öljyä ja syövyttämätöntä jäähdytysnestettä vastaan (NEMA-250 2021, 4).

## **6.2 Räjähdyksvaarallisiin tiloihin soveltuvat NEMA-suojausluokat**

NEMA 250 -standardi sisältää kaksi räjähdyksvaarallisiin tiloihin soveltuvaa NEMA-suojausluokkaa, jotka ovat räjähdyssuojattu (eng. explosion-proof) ja pölyräjähdyssuojattu (eng. dust ignition-proof).

**Tyyppin 7** kotelo on räjähdysuojattu, joka noudattaa UL 1203 -standardin vaatimuksia. Kotelorakenne on suunniteltu kestävänsä sisäinen räjähdys aiheuttamatta ulkoista vaaraa. Kotelo määritellään luokkaan I, divisioonaan 1, ryhmiin A, B, C tai D NEC:n mukaisesti. (NEMA-250 2021, 4.)

**Tyyppin 9** kotelo on pölyräjähdysuojattu, joka noudattaa UL 1203 -standardin vaatimuksia. Kotelorakenne on suunniteltu estämään palavan pölyn syttyminen. Kotelo määritellään luokkaan II, divisioonaan 1, ryhmiin E, F tai G NEC:n mukaisesti. (NEMA-250 2021, 4.)

## **7 RÄJÄHDYSVAARALLISEN TILAN SÄHKÖLAITTEIDEN LAITEVAATIMUKSET**

Kappaleessa esitellään tietoa räjähdysvaaralliseen tilaan sijoitettujen sähkölaitteiden laitevaatimuksista sekä käydään läpi tämän työn kannalta olennaiset räjähdysvaarallisten tilojen sähkölaitteet. OSHA:n säätämät HazLoc-tilojen sähkölaitevaatimukset - ja asennusstandardit ovat NEC:n mukaisia. NEC:n artikkelit 500–503 asettavat vaatimukset Class & Division-järjestelmän sähkölaitteille ja johdotuksille.

### **7.1 Lämpötilaluokat**

Lämpötilaluokat ovat osa laitteen soveltuvuuden määrittämistä räjähdysvaaralliseen tilaan. Lämpötilaluokkia käytetään osoittamaan laitteen pinnan maksimikäyttölämpötila, joka ei saa ylittää ympäröivän ilmakehän syttymislämpötilaa. Syttymislämpötila on vähimmäislämpötila, joka vaaditaan normaalissa ilmanpaineessa ilman kipinää tai liekkiä, jolla laitteen pinta syttyisi itsestään tulleen. (NFPA-70 2023, 394–395.)

Räjähdysvaarallisen tilan ilmaseos ei saisi koskaan saavuttaa kohtuuttomia lämpötiloja. Lämpötilojen tulee olla kyseisessä mahdollisestiräjähdysvaarallisessa tilassa sovellettavan lämpötilaluokan sisällä. On myös huomioitava, että räjähdys- tai pölyräjähdysuojattuja laitteita ei saa käyttää alle -25 °C lämpötiloissa, ellei niitä ole tarkoitettu käytettäväksi matalassa lämpötilassa. (NFPA-70 2023, 394–395.) Taulukossa 8 on esitetty NEC:n artiklan 500.8 mukaiset lämpötilaluokat.

Taulukko 8. NEC:n artiklan 500.8 mukaiset lämpötilaluokat (NFPA-70 2023, 395)

Pinnan maksimilämpötila		Lämpötilaluokka
°C	F°	T koodi
450	842	T1
300	572	T2
280	536	T2A
260	500	T2B
230	446	T2C
215	419	T2D
200	392	T3
180	356	T3A
165	329	T3B
160	320	T3C
135	275	T4
120	248	T4A
100	212	T5
85	185	T6

**Luokan I** tiloissa pinnan maksimilämpötila ei saa ylittää kaasun tai höyryn itsestymislämpötilaa (NFPA-70 2023, 395). Itsestymislämpötila tarkoittaa vähimmäislämpötilaa, jossa kiinteä aine, neste tai kaasu syttyy itsestään palaamaan ja jatkaa palamista ilman ulkopuolista lämmönlähdettä (NFPA-497 2024, 6).

**Luokan II** tiloissa pinnan maksimilämpötila ei saa ylittää pölyn syttymislämpötilaa. Orgaaniset pölyt, jotka voivat lämmön seurauksena dehidratoitua tai hiiltä, lämpötila ei saa ylittää pölyn syttymislämpötilaa tai 165°C lämpötilaa. (NFPA-70 2023, 395.)

**Luokan III** tiloissa pinnan maksimilämpötila ei saa ylittää kuitujen/nukkien syttymislämpötilaa. Ei-metalliset palavat kuidut/nukat, jotka voivat lämmön seurauksena dehidratoitua tai hiiltä, lämpötila ei saa ylittää kuitujen/nukkien syttymislämpötilaa tai 165 °C lämpötilaa. Kun kuituja/nukkaa on läsnä, lämpötila

ei saa ylittää 165 °C laitteilla, jotka eivät ole alttiina ylikuormitukselle. Ylikuormitukselle alttiit laitteet, kuten moottorit tai tehomuuntajat, eivät saa ylittää 120 °C lämpötilaa. (NFPA-70 2023, 395–396.)

## 7.2 Sähkölaitteita koskevat merkinnät

Sähkölaitteiden merkitsemistä koskevat säännöt on määritelty NEC:n artikkelissa 500.8. Laite on merkittävä selvästi sen luokitellun alueen mukaan, johon se voidaan asentaa.

Laitteeseen kiinnitetyissä merkinnöissä on ilmoitettava vähintään seuraavat tiedot:

Laitemerkinnoissä on mainittava luokka (Class), johon laite soveltuu. Lisäksi on ilmoitettava divisioona, jos laite soveltuu vain 2. divisioonaan. Divisioonaan 1 soveltuvista laitteista saa jättää pois osastomerkin. Laitemerkinnoissä on määritettävä sovellettava materiaaluokitusryhmä artikkelin 500.6 mukaisesti. Laitteelle on ilmoitettava lämpötilaluokka tai käyttölämpötila 40°C ympäristön lämpötilassa tai sitä korkeammassa ympäristön lämpötilassa, jos laite on mitoitettu soveltuvaksi yli 40°C ympäristön lämpötilalle. Lämpötilaluokka on ilmoitettava laitemerkinnoissä lämpötilaluokan T-koodeilla. Lisäksi laitteelle on ilmoitettava kaikki muut laitetta koskevat erityisehdot. (NFPA-70 2023, 395.)



Kuva 8. Laitetilven räjähdysvaarallista alueluokitusta koskevat merkinnät (mukaihen UL Solutions 2024c)

### 7.3 Sähkömoottorit

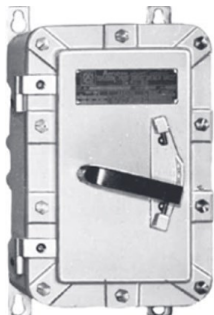
Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävän sähkömoottorin koteloinnin ja rakenteen on vastattava sen käyttöympäristön sille asettamia vaatimuksia. Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävä moottori ei saisi vikaantuessaan ja sisäisen räjähdysten tapahtuessa päästää runkonsa ulkopuolelle minkäänlaista kipinää, joka voisi aiheuttaa räjähdysten moottoria käytettävässä tilassa. Räjähdysvaarallisen tilan syttymisherät kaasut, höyry tai pöly eivät saisi myöskään päästä moottorin sisäosiin ja kosketuksiin komponenttien kanssa. (Miklavcich 2018.)

Räjähdyssuojattu sähkömoottori on suunniteltu hyvin tiivistetyllä, paksulla ja karkaistuilla teräskotelolla kestämään moottorin sisäisen räjähdysten aiheuttama paine. Räjähdyksessä syntyvä kuuma kaasu pakotetaan jäähtymään kulkemalla pitkien, ahtaiden liekkirakojen läpi ennen karkaamista moottoritilasta. Moottorista ulos virtaavan kaasun lämpötila jää alle ilmakehän kaasujen itsesyttymislämpötilan AIT:n. (Miklavcich 2018.)

Oikean sähkömoottorityypin valitseminen HazLoc-tilaan edellyttää neljää keskeistä tietoa sen käyttöympäristöstä: Tilasta on tiedettävä ilmapiirin luokka, divisioona, materiaalityyppi, sekä tilassa olevan vaarallisen aineen itsesyttymislämpötila AIT. (Miklavcich 2018.) Kaikissa helmikuun 1975 jälkeen valmistetuissa moottoreissa on T-koodi (taulukko 8). Moottorin T-koodimerkinnän on korreloitava moottorin käyttöympäristössä olevan vaarallisen aineen itsesyttymislämpötilan kanssa, jota moottorin pinnan maksimilämpötila ei saa ylittää. (Cowern 2018, 44.)

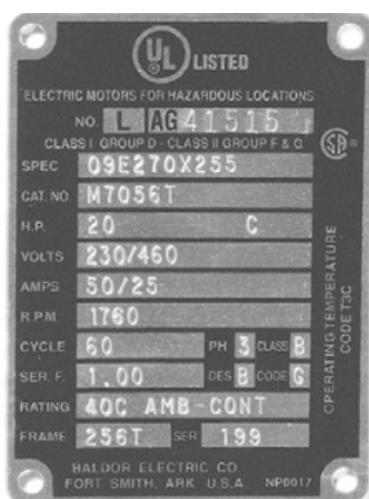
On tärkeää, että moottoriluokitus vastaa aina tilaluokitusta, johon moottori ollaan asentamassa. Luokan I kaasuräjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi suunniteltujen moottoreiden laakereissa ei ole välttämättä pölysuojuksia, jotka löytyvät pölyräjähdysvaarallisiin tiloihin suunnitelluista luokan II moottoreista. Pölysuojat estävät pölyn pääsyn laakerikehälle. Laakerikehälle kerääntyvä pöly voi ylikuumentua ja aiheuttaa pölyn syttymisen moottorissa. (Panduit 2020, 8.)

Mootoreiden turvakytkimet, moottoriohjaimet, ja kytkimet, jotka on tarkoitettu katkaisemaan moottorin virta normaaleissa käyttöolosuhteissa, on myös varustettava ympäristön tilaluokitusta vastaavilla koteloilla (Emerson 2023, 78). Kuvassa 9 on esitetty esimerkki räjähdyssuojatusta turvakytkimestä.



Kuva 9. Emersonin valmistama räjähdyssuojattu turvakytkin (Emerson 2023, 79)

Jokaisessa HazLoc-tilaan hyväksytyssä moottorissa on tyyppikilpi, joka osoittaa moottorin olevan suunniteltu käytettäväksi joko luokan I tai luokan II tiloissa. Osa moottoreista on hyväksytty käytettäväksi molemmissa luokissa. (Miklavcich 2018.) Lisäksi tyyppikilvessä on ilmoitettu ainakin moottorin teho, nimellisjännite, taajuus, kytkentätapa, käyttötapa, huippukuormitusvirta, kierrosnopeus ja lämpötilaluokka. (UL 674 2022, 55–56.) Kuvassa 10 on esitetty esimerkki UL-listatun moottorin tyyppikilvestä, joka on hyväksytty käytettäväksi luokassa I, ryhmässä D ja luokassa II, ryhmässä F/G.



Kuva 10. UL-listatun moottorin tyyppikilpi (Covern 2018, 44)

Tarkat sähkömoottorien ja generaattorien käyttöä koskevat vaatimukset räjähdysvaarallisissa tiloissa löytyvät standardista UL 674: *Electric Motors and Generators for Use in Hazardous (Classified) Location*.

## 7.4 Instrumentointilaitteet

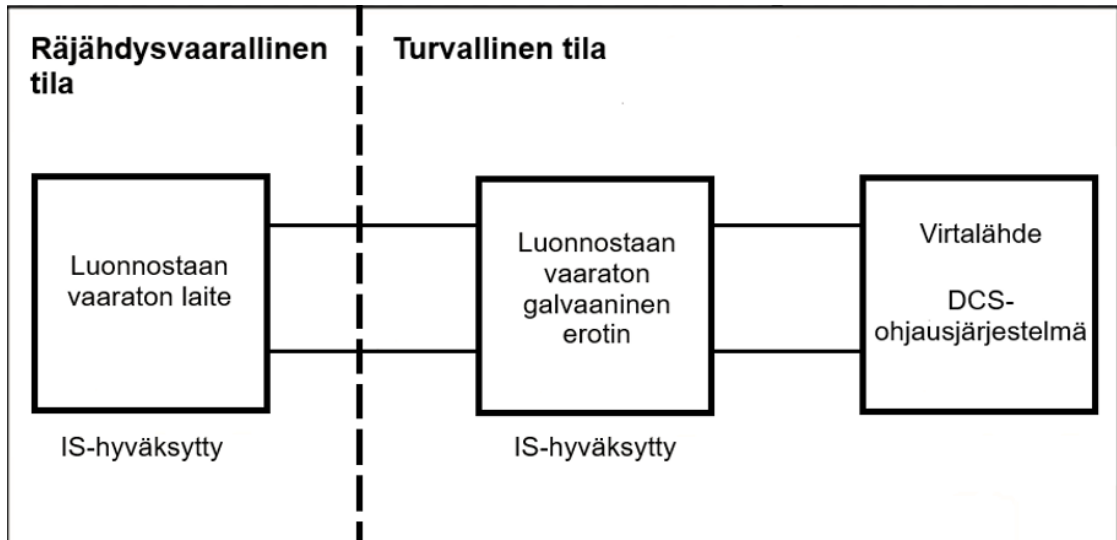
NEC:n mukaisesti räjähdysvaarallisten tilojen instrumentointilaitteet hyödyntävät kappaleessa 5 esiteltyjä suojaustekniikoita.

### Luonnostaan vaaraton (IS)

UL 913 -standardi käsittelee IS-laitteita koskien niiden suunnittelu-, testaus- ja arviointiperusteita. IS-laitteiden asennusvaatimukset sisältyvät NEC:n artiklaan 504.

NEC tunnustaa luonnostaan vaarattomat sähkölaitteet ja niiden johdotusten käytön. IS-laite on turvallinen käyttää räjähdysvaarallisissa tiloissa ilman erityisiä koteloita tai fyysistä suojausta, joita laitteilta yleensä vaadittaisiin. Luonnostaan vaarattomien sähköpiirien teollinen käyttö on kasvanut merkittävästi. Tekniikkaa käytetään yhä enemmän täydentämään tai korvaamaan muita suojausmuotoja HazLoc-tiloissa. IS-laitteiden käyttö rajoittuu ensisijaisesti prosessin ohjausinstrumentteihin, jotka sopivat käytettäväksi alhaisella jännitteellä ja virralla. IS-laitteet ovat näin ollen ihanteellisia prosessien valvonta- tai ohjaussovelluksiin esimerkiksi kemiantehtailta ja öljynjalostamoilla. (FM 2012, 19.)

IS-laitteet tarvitsevat aina lisäksi virtapiiriin liitettävän luonnostaan vaarattoman tehoa rajoittavan laitteen, kuten jännitesuojalaitteen tai galvaaniseen erottimen. Tehoa rajoittava laite asennetaan virtalähteen ja IS-laitteen väliin, ja se sijoitetaan räjähdysvaarallisen tilan ulkopuolelle. Suojalaitteen tarkoituksena on rajoittaa räjähdysvaaralliseen ympäristöön sijoitetulle IS-laitteelle syötettävää jännitettä ja virtaa. Luonnostaan vaarattoman IS-järjestelmän kaikki laitteet on suunniteltu ja asennettu niin, ettei niiden energia riitä sytyttämään tilan räjähdysvaarallista kaasuseosta edes laitteiden vikaantuessa. (Vaisala 2020.) Luonnostaan vaaraton tehoa rajoittava erotin toimii myös sulakkeen tavoin. Kun erotin havaitsee liikaa energiaa, erotin reagoi ja avaa piirin. (Panduit 2020, 9.) Kuvassa 11 on esitetty luonnostaan vaarattoman laitteen kytkentä.



Kuva 11. Luonnostaan vaaraton piiri (mukaillen Pickens 2014, 6)

IS-laite täytyy olla testattu, sertifioitu ja erikseen merkitty luonnostaan vaarattomaksi UL 913 -standardin mukaisesti (Phoenix Contact 2024, 2). Organisaatioista UL, CSA ja FM sertifioivat ja listaavat IS-laitteita räjähdysvaarallisiin tiloihin (Pickens 2014, 6).

Esimerkiksi seuraavia tehoa rajoittavan erottimen kanssa käytettäväksi tarkoitettuja IS-laitteita on saatavissa:

- 4-20 mA 2-johdinlähettimet
- lämpötila-anturit
- kuorma-anturit
- paine-, virtaus- ja pintakytkimet
- sähköpneumaattiset signaalinmuuntimet
- solenoidiventtiilit
- induktiiviset anturit
- potentiometrit
- LED-indikaattorit
- infrapunalämpömittarit
- magneettiset nopeusanturit

(Pickens 2014, 6.)

IS-laitteet on merkitty kappaleen 7.2 mukaisesti. IS-laitteet on kaapeloitava kappaleessa 7.5.4 esitettyjen vaatimusten mukaisesti. IS-laitteiden maadoitus käsitellään kappaleessa 7.8.

Tarkat IS-laitteiden käyttöä, dokumentointia ja merkintää koskevat vaatimukset löytyvät standardista UL 913: *Standard for Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II, III, Division 1, Hazardous (Classified) Locations*.

### Yksinkertainen laite

Yksinkertaisella laitteella tarkoitetaan sellaista laitetta, jolla on tarkoin määritelty sähköiset parametrit, jotka vastaavat piirin luonnollista vaarattomuutta. Sitä ei tarvitse testata, sertifioida tai merkitä luonnostaan vaarattomaksi eikä erikseen luokitella räjähdysvaarallisen tilan laitteeksi. Sähköisten parametrien rajoitukset ovat seuraavat: Laite ei voi tuottaa enempää kuin 1,5 voltia, 0,1 ampeeria tai 1,5 Wattia ja tehohäviön on oltava alle 2,5 wattia. Esimerkkejä vastaavista laitteista ovat termoelementit, vastuslämpötila-anturit, LEDit ja kytkimet. (Phoenix Contact 2024, 2.) Yksinkertaisen laitteen parina on käytettävä luonnostaan vaarattomaksi sertifioitua tehoa rajoittavaa IS-laitetta (Pickens 2014, 6).

Yksinkertainen laite sallitaan asennettavaksi mihin tahansa räjähdysvaaralliseksi luokiteltuun tilaan, missä yksinkertaisen laitteen suurin pintalämpötila ei ylitä syttyvien kaasujen, höyryjen, nesteiden, pölyjen tai kuitujen/nukkien syttymislämpötilaa. Suurin pintalämpötila voidaan määritellä siihen liittyvän tehoa rajoittavan laitteen lähtötehon arvoista. (NFPA-70 2023, 415.)

Suurin pintalämpötila voidaan määrittää yhtälöstä 1.

$$T = P_o R_{th} + T_{amb} \quad (1)$$

Jossa	$T$	Suurin pintalämpötila
	$P_o$	Lähtöteho, joka on merkitty siihen liittyvään tehoa rajoittavaan laitteeseen
	$R_{th}$	Yksinkertaisen laitteen lämpöresistanssi
	$T_{amb}$	Ympäristön lämpötila (normaalisti 40 °C)

Laitteelle saadaan NEC:n mukainen lämpötilakoodi vertaamalla yhtälöstä saatua pintalämpötilan arvoa NEC:n 500.8 taulukkoon (taulukko 8). Lisäksi pinta-

alaltaan alle 10 cm<sup>2</sup> komponentit voidaan luokitella T5 lämpötilaluokkaan, jos niiden pintalämpötila ei ylitä 150 °C. (NFPA-70 2023, 415.)

### **Räjähdyssuojattu**

Luonnostaan vaarattomien ja yksinkertaisten laitteiden lisäksi Hazloc-tilassa voidaan käyttää Räjähdyssuojattuja instrumentteja, jotka ovat tilaluokiteltuja asennettavaan ympäristöön. Räjähdyssuojatun instrumentin rakenne kestää sisällään tapahtuvan syttymisen/räjähdyksen, ja rakenne estää kipinöiden, liekkien ja lämmön vapautumisen räjähdysvaaralliseen ympäristöön. Räjähdyssuojattujen instrumenttien kanssa koko sähköpiiri on suojattava ja kaapelit on asennettava räjähdyssuojattuun asennukseen hyväksytyihin suojaputkiin. (Wilcoxon 2010, 11.)

Räjähdyss- ja pölyräjähdysuojattujen sähkölaitteiden vaatimukset käsitellään standardissa UL 1203: *Explosion-Proof and Dust-Ignition-Proof Electrical Equipment for Use in Hazardous (Classified) Locations*.

### **Paineistettu**

Kun asennettavat instrumentit eivät ole räjähdyssuojattuja tai luonnostaan vaarattomia, paineistusta käytetään usein luokitellun alueen turvallisuuden ylläpitämiseksi. Kaapelit ja kotelot on suojattu positiivisella ilmanpaineella, jota ylläpidetään koteloissa, kytkentärasioissa ja suojaputkissa. (Wilcoxon 2010, 11.)

Paineistustekniikan vaatimukset käsitellään standardissa NFPA 496: *Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment*.

### **Muut tekniikat**

Öljyupotetut, pölytiivit, rakenteeltaan palamattomat ja hermeettisesti suljetut ovat muita suojaustekniikoita, joita käytetään tarvittaessa sähköpiirien suojaukseen. Ne ovat harvemmin kuitenkaan käytössä instrumenttien suojaamisessa. (Wilcoxon 2010, 11.)

## 7.5 Kaapelit

Tässä kappaleessa esitellään yleisiä vaatimuksia räjähdysvaarallisten tilojen kaapeleille. Räjähdysvaarallisessa tilassa kiinteissä asennuksissa käytettävien kaapelien on sovelluttava tilaluokkaan ja ympäristöolosuhteisiin. Kaapelit eivät saa pintalämpötilaltaan ylittää tilan lämpötilaluokitusta. Jokaiselle tilaluokalle on erikseen määritelty alueelle sopivat kaapelityypit. Sopivan kaapelin valinnan lisäksi on myös noudatettava oikeita asennustekniikoita. Asennustekniikat vaihtelevat riippuen tilaluokasta. Kaapeliasennuksissa on käytettävä tilaan soivia ja listattuja kaapelikanavia, holkkitiivisteitä ja liittimiä. Termi listattu viittaa komponenttiin, jonka kansallisesti tunnustettu testauslaboratorio on testannut standardien mukaisesti. (Panduit 2020, 5.)

Räjähdysvaarallisen tilaluokan asettamien vaatimusten lisäksi kaapeloinnissa on muilta osin noudatettava NEC:n yleisiä kaapelointivaatimuksia, jotka löytyvät artiklasta 300. Taulukossa 9 on esitetty NEC:n asettamat kaapelointivaatimukset eri tilaluokille. Luonnostaan vaarattomien piirien kaapelointivaatimukset käsitellään erikseen NEC:n kohdassa 504.20.

Taulukko 9. NEC:n mukaiset kaapelointivaatimukset (mukaillen NFPA-70 2023, 396–417)

Kaapelointivaatimukset	NFPA 70 artikla
Yleiset vaatimukset	300
Luokan I räjähdysvaaralliset tilat	501.10
Luokan II räjähdysvaaralliset tilat	502.10
Luokan III räjähdysvaaralliset tilat	503.10
taipuisat kaapelit	501.140, 502.140, 503.140
Luonnostaan vaarattomat järjestelmät	504.20

Tarkat käyttöä, rakennetta, mitoitusta ja testausta koskevat NEC:n mukaiset vaatimukset räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäville kaapeleille ja kaapelitiivisteille löytyvät standardista UL 2225: *Cables and Cable-Fittings For Use In Hazardous (Classified) Locations*.

### 7.5.1 Luokka I

Luokan I, 1. divisioonassa sallittuja johdotusmenetelmiä ovat kaapeleiden suo-  
jaus kierteellisellä RMC-metalliputkella ja IMC-teräsväliputkella. Esimerkiksi  
tiedonsiirrossa usein käytettävät ethernet- tai profinet- kaapelit voidaan asen-  
taa RMC- tai IMC-putkeen. Jäykät PVC- ja RTRC-tyypin putket voidaan sallia  
tietyissä olosuhteissa, jos ne sijoitetaan maan alle tai valetaan betoniin. Tyy-  
pin MI-kaapeli ja tietyissä teollisissa sovelluksissa luetellut MC-HL- ja ITC-HL-  
kaapelijärjestelmät ovat sallittuja. (Panduit 2020, 7,11.) Optiset kuitukaapelit  
ovat yleisesti kaikissa tilaluokissa sallittuja (NFPA-70 2023, 396–413).

Tarkat asennusvaatimukset löytyvät NEC:n artiklasta 501.10 A. Taulukossa  
10 on esitetty luokan I, divisioonassa 1 sallitut johdotusmenetelmät.

Taulukko 10. Luokan I, divisioonan 1 johdotusmenetelmät (mukaillen NFPA-70 2023, 396)

Class I, Div 1, sallitut yleiset johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaapelin asennus kierteelliseen RMC- tai IMC-putkeen	501.10 A (1)
Kaapelin asennus PVC- tai RTRC-putkeen	501.10 A (2)
Mineraalieristetty MI-kaapeli	501.10 A (3)
Metallipäällysteinen MC-HL-kaapeli	501.10 A (4)
ITC-HL-kaapeli	501.10 A (5)
Optiset kuitukaapelit: OFNP, OFCP, OFNR, OFCR, OFNG, OFCG, OFN tai OFC	501.10 A (6)
TC-ER-HL-kaapeli	501.10 A (7)
Metallipäällysteinen tyyppin P kaapeli	501.10 A (8)

Luokan I, 2. divisioonassa kaikki edellä mainitut 1. divisioonan johdotusmene-  
telmät ovat sallittuja, koska vaatimukset ovat kaikista tiukimmat 1. divisioo-  
nassa. Divisioona 2 sisältää myös muita käytettävissä olevia kaapelityyppejä,  
koska vaaranaste on 1. divisioonaa pienempi. PLTC-kaapelit on asennettava  
kaapelihyllyyn listattujen liittimien kanssa. Kunnollisella vaipalla varustetut  
MC-kaapelit voidaan asentaa ilman suojaputkea, kunhan kaapelin kulku on  
kunnolla tuettu. ER-liitteisiä kaapeleita voidaan käyttää paljaana johdotuksena  
vedettynä ulos kaapelikourusta, kun liitäntä on alle kuuden metrin päässä  
päätelaitteeseen, kuten moottoriin. (Panduit 2020, 7.)

Tarkat asennusvaatimukset löytyvät NEC:n artiklasta 501.10 B. Taulukossa 11 on esitetty luokan I, divisioonan 2 sallitut johdotusmenetelmät.

Taulukko 11. Luokan I, divisioonan 2 johdotusmenetelmät (mukaillen NFPA-70 2023, 397)

Class I, Div 2, sallitut yleiset johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaikki Class I, Div 1 johdotusmenetelmät	501.10 A
Kaapelin asennus RMC- tai IMC-putkeen Sileät tai kierteelliset liittimet	501.10 B (1)
Suljetut tiivistetyt kaapelikourut ja -väylät	501.10 B (2)
Jänniterajoitettu PLTC- ja PLTC-ER-kaapeli	501.10 B (3)
ITC- ja ITC-ER-kaapeli	501.10 B (4)
MC-, MV-, TC- tai TC-ER kaapeli	501.10 B (5)
Kaapelin asennus RTRC-putkeen tai PVC-päällystettyyn RMC-/IMC-putkeen	501.10 B (6)
Cablebus	501.10 B (8)
Tyypin P kaapeli	501.10 B (9)

Yhdysvalloissa tyypillinen tapa suojata kaapeleita on asentaa ne kuvan 12 mukaiseen metalliseen jäykkään suojaputkeen. HazLoc-tiloihin sallittujen kaapelityyppien lisäksi kierteelliseen metalliseen RMC- tai IMC-putkeen voidaan asentaa muitakin yleisesti hyväksytyjä kaapeleita. Asennuksen hyväksyntä on kiinni paikallisesta AHJ:n viranomaisesta, mutta tyypillisesti myös turvallisiin tiloihin suunnitellut kaapelit saavat hyväksynnän. (Panduit 2020, 7.)



Kuva 12. Tyypilliset suojaputkiasennukset Luokan I, 2. divisioonassa (Emerson 2023, 66)

Kiinteissä asennuksissa Luokan I, divisioonissa 1 ja 2 NEC hyväksyy taipuisan kaapelin käytön ainoastaan erikoistilanteissa, jossa taipuisuus on tarpeen laitteiden aiheuttaman värinän siirtymisen minimoimiseksi tai huoltotoimien vuoksi, tai taipuisan kaapelin käyttö on välttämätöntä liikkuville sähköisille koneille tai käyttövälineille. Taipuisan kaapelin käyttö sallitaan lisäksi väliaikaisten kannettavien kokoonpanojen kanssa, jotka on yksilöllisesti hyväksytty kyseiseen sijaintiin. Taipuisan kaapelin on oltava raskaaseen käyttöön tarkoitettu, erikseen listattu EHU-kaapeli. Ohjeet taipuisien kaapeleiden käyttöön löytyy NEC:n artiklasta 501.140. (NFPA-70 2023, 405–406.)

### 7.5.2 Luokka II

Luokan II, 1. divisioonassa voidaan suojata kaapeleita RMC- tai IMC-putkella. RMC- ja IMC-putkien liittimien on oltava kierteellisiä. MI-kaapelin asennuksessa käytettävien liittimien ja läpivientiholkkien on oltava tilaluokkaan sopivia ja listattuja. MI-kaapelille on varmistettava riittävä tuenta ja kireyttä on tarkkailtava. Kaapelikourujen on oltava suljettuja ja pölyräjähdysvaaralliseen tilaan suunniteltuja. Tapauskohtaisesti tietyissä teollisissa sovelluksissa MC-HL-, ITC-HL-, ITC-ER-HL- ja P tyyppin kaapelit voidaan sallia. Optiset kuitukaapelit on asennettava kaapelihyllyyn ja niiden kanssa on käytettävä tiiviitä, tilaluokkaan sopivia liittimiä. (NFPA-70 2023, 407.)

Tarkat asennusvaatimukset löytyvät NEC:n artiklasta 502.10 A. Taulukossa 12 on esitetty luokan II, 1. divisioonassa sallitut johdotusmenetelmät.

Taulukko 12. Luokan II, 1. divisioonan johdotusmenetelmät (mukaillen NFPA-70 2023, 407)

Class II, Div 1, sallitut yleiset johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaapelin asennus kierteelliseen RMC- tai IMC-putkeen	502.10 A (1)
Mineraalieristetty MI-kaapeli	502.10 A (2)
Metallipäällysteinen MC-HL-kaapeli	502.10 A (3)
Optiset kuitukaapelit: OFNP, OFCP, OFNR, OFCR, OFNG, OFCG, OFN ja OFC	502.10 A (4)
ITC-HL-kaapeli	502.10 A (5)
TC-ER-HL-kaapeli	502.10 A (6)
Metallipäällysteinen tyyppin P kaapeli	502.10 A (7)

Luokan II, 2. divisioonassa RMC- ja IMC-putkien asennuksessa sallitaan sekä NPT-kierteelliset että sileät liittimet. Myös EMT-putket sallitaan, ja niiden asennuksessa on käytettävä puristusliittimiä. Kaapelivalikoima laajenee toisessa divisioonassa: MC-, MV-, TC- ja TC-ER-kaapelit ovat sallittuja, sekä ITC- ja ITC-ER-kaapelit sallitaan, eikä kaapeleilta vaadita HL-merkkiä. Tapauskohtaisesti tietyissä teollisissa sovelluksissa ja voimakkaasti korrosoivassa ympäristössä voidaan sallia RTRC- ja Schedule 80 PVC -putkien käyttö. (NFPA-70 2023, 408.)

Tarkat asennusvaatimukset löytyvät NEC:n artiklasta 502.10 B. Taulukossa 13 on esitetty luokan II, 2. divisioonassa sallitut johdotusmenetelmät.

Taulukko 13. Luokan II, 2.divisioonan johdotusmenetelmät (mukaillen NFPA-70 2023, 408)

Class II, Div 2, sallitut yleiset johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaikki Class II, Div 1 johdotusmenetelmät	502.10 A
Kaapelin asennus RMC- tai IMC-putkeen Sileät tai kierteelliset liittimet	502.10 B (2)
Kaapelin asennus pölytiiviseen kaapelikouruun tai EMT-putkeen puristuskytkennällä	502.10 B (3)
MC-, MV-, TC- tai TC-ER-kaapeli	502.10 B (4)
Jänniterajoitettu PLTC- ja PLTC-ER-kaapeli	502.10 B (5)
ITC- tai ITC-ER-kaapeli	502.10 B (6)
RTRC- tai Schedule 80 PVC-putki	502.10 B (7)
Cablebus	502.10 B (9)
Tyypin P kaapeli	502.10 B (10)

Kiinteissä asennuksissa Luokan II, divisiooniin 1 ja 2 luokitelluissa tiloissa NEC hyväksyy taipuisan kaapelin käytön tilanteissa, joissa taipuisan kaapelin käyttö on välttämätöntä liikkuville sähköisille koneille, käyttövälineille, tai kannettaville kokoonpanoille, jotka on yksilöllisesti hyväksytty kyseiseen sijaintiin. Taipuisien raskaaseen käyttöön suunniteltujen EHU-kaapeliin lisäksi tiloissa hyväksytään taipuisat vesitiiviit LFMC- ja LFNC-suojaputkiasennukset, sekä hissikäyttöön tarkoitetut EO-, ETP- ja ETT-kaapelit. Ohjeet taipuisien kaapeleiden käyttöön löytyy NEC:n artiklasta 502.140. (NFPA-70 2023, 407.)

### 7.5.3 Luokka III

Luokan III johdotusmenetelmien vaatimukset ovat samat riippumatta siitä, onko kyseessä 1. tai 2. divisioona. Johdotusmenetelmät sisältävät yhden poikkeuksen toisen divisioonan tiloissa, jotka eivät sisällä koneita ja joita käytetään yksinomaan varastointiin: Pinta-asennetut johdotukset sallitaan, jos ne on asennettu NEC:n artiklan 398 mukaisesti ja suojattu artiklan 398.15 mukaisesti. (NFPA-70 2023, 413.)

Yleisesti luokassa III sallitaan kaapeleiden asennukset RMC-, PVC-, RTRC-, IMC-, EMT-putkeen tai pölytiiviseen kaapelikouruun. Metallipäällysteiset MC-kaapelit tai mineraalipäällysteiset MI-kaapelit sallitaan. Jänniterajoitetut PLTC- ja PLTC-ER-kaapelit sallitaan. Myös ITC- ja ITC-ER-instrumentointikaapelit, TC- ja TC-ER-ohjauskaapelit, MV-keskijännitekaapelit ja Cablebus sallitaan. Tapauskohtaisesti tietyissä teollisissa sovelluksissa P tyyppin kaapelit voidaan sallia. (NFPA-70 2023, 412–413.)

Tarkat asennusvaatimukset löytyvät NEC:n artiklasta 503.10. Taulukossa 14 on esitetty luokan III sallitut johdotusmenetelmät.

Taulukko 14. Luokan III johdotusmenetelmät (mukaillen NFPA-70 2023, 412–413)

Class III sallitut yleiset johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaapelin asennus RMC-, PVC-, RTRC-, IMC- tai EMT-putkeen, pölytiiviseen kaapelikouruun tai MC-/MI-kaapeli	503.10 (1)
PLTC- tai PLTC-ER-kaapeli	503.10 (2)
ITC tai ITC-ER-kaapeli	503.10 (3)
MV-, TC, tai TC-ER-kaapeli	503.10 (4)
Cablebus	503.10 (5)
Metallipäällysteinen tyyppin P kaapeli	503.10 (6)

NEC ei tarkasti määrittele tilanteita taipuisien kaapeleiden käytölle luokan III tiloissa, mutta se sallii kaikki edellä mainitut luokassa II käyttöön hyväksytyt taipuisat kaapelityypit käytettäväksi luokan III tiloissa. Ohjeet taipuisien kaapeleiden käyttöön löytyy NEC:n artiklasta 503.140. (NFPA-70 2023, 413–414.)

#### **7.5.4 Luonnostaan vaarattomien piirien kaapelointi**

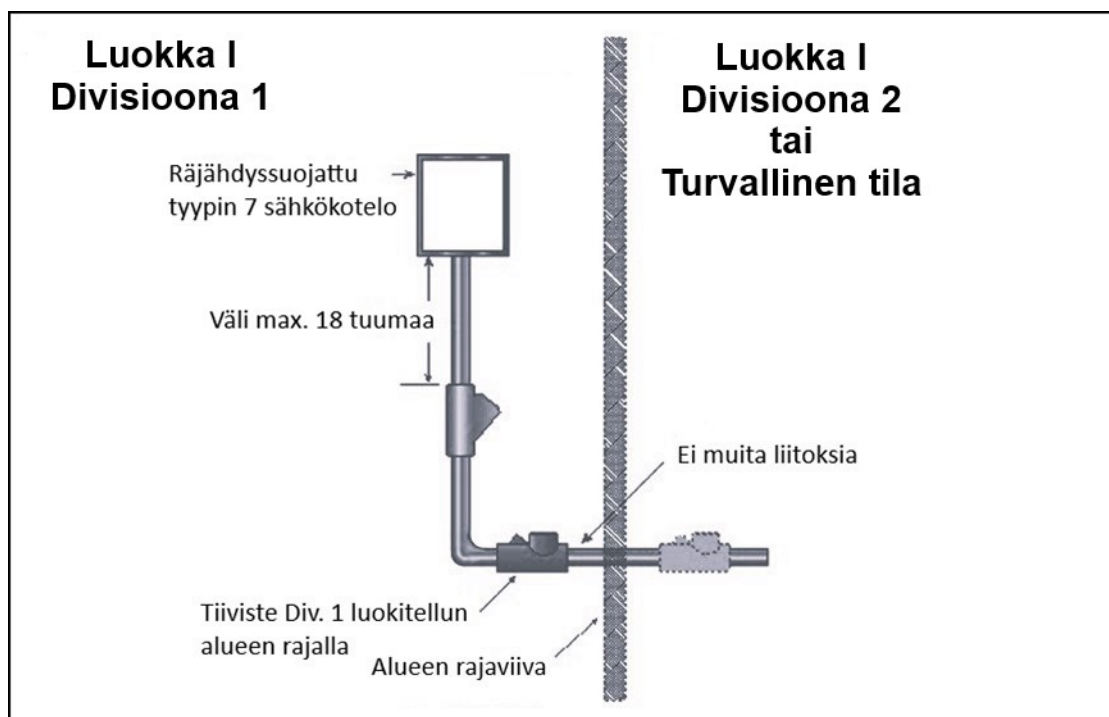
Kaikki NEC:n hyväksymät yleiset kaapelityypit ovat sallittuja käytettäväksi luonnostaan vaarattomien laitteiden asennuksissa, kunhan kaapelin lämpötilaluokka ja muut ominaisuudet ovat tilaan soveltuvia. Luonnostaan vaarattomien laitteiden kaapeleita ei saa asentaa samaan kaapelikouruun muiden kaapeleiden kanssa. Luonnostaan vaarattomat johtimet ja kaapelit erotellaan vaaleansinisellä värikoodauksella muista kaapeleista. Vaaleansininen värikoodaus sallitaan myös luonnostaan vaarattomien kaapeleiden kulureittien, kaapelihyllyjen ja kytkentärasioiden tunnistamiseen. Vaaleansininen värikoodaus on varattu luonnostaan vaarattomille kytkennöille. (NFPA-70 2023, 415–417.)

#### **7.5.5 Kaapelimerkinnät**

Kaapeleille on asetettu vaatimukset myös merkintöjen osalta. Nämä merkinnät auttavat tunnistamaan kaapelin ominaisuudet, sille soveltuvat asennustavat, käyttöolosuhteet ja turvallisuusvaatimukset. Kaapelista on vähintään löydyttävä sen valmistaja/tavaramerkki, suurin sallittu käyttöjännite, kaapelin AWG-koko ja kaapelityyppi, kuten PLTC tai ITC-ER. (NFPA-70 2023, 178.) Tämän opinnäytetyön lopussa liitteenä on kaapeleiden lyhenteistä laadittu taulukko selventämään käytettyjä kaapelilyhenteitä.

### **7.6 Läpiviennit ja suojaputkien tiivistäminen**

HazLoc-tiloissa laitteiden asianmukainen asennus edellyttää tiivisteiden käyttöä. Tiivisteliitännät ovat tarpeen estämään kuumien kaasujen kulkeutumista putkistojärjestelmän kautta ja sytyttämästä muita alueita, jos luokan I sähkölaitteessa tapahtuu sisäinen räjähdys. (Pickens 2014, 4.) Luokan I, divisioonan 1 tiloissa NEC-standardi edellyttää jokaisen koteloon liitettävän suojaputken tiivistämistä, kun kotelo sisältää sähkölaitteita, jotka voivat aiheuttaa valokaa-ria, kipinöitä tai korkeita lämpötiloja. Tiivisteet on asennettava korkeintaan 18 tuuman etäisyydelle kotelosta. Tiivistäminen estää liekkien ja räjähdyspaineen eteenpäin leviämisen kotelon sisältä kaapeleiden suojaputkijärjestelmään. Samoin jokainen läpivientiaukko räjähdysvaarallisen ja turvalliseksi luokitellun tilan välissä on tiivistettävä. (NFPA-70 2023, 398–399.) Kuvassa 13 on esitetty esimerkki tiivisteiden käytöstä luokan I, divisioonaan 1 luokitelluissa tiloissa.



Kuva 13. Suojaputken tiivistäminen NEC:n mukaisesti (mukaillen Emerson 2023, 73)

Luokan I, 1. divisioonassa kaikkien koteloiden sovitteiden, läpivientiholkkien ja tiivisteliittimien on oltava kierteellisiä ja tilaluokkaan hyväksytyjä. Sekä NPT-, että metriset kierrelitännät ovat hyväksytyjä. (NFPA-70 2023, 396.)

Tiivisteliittimet on suunniteltu täytettäväksi tiivisteaineella sen jälkeen, kun kaapelit on asennettu suojaputkiin paikalleen. Suojaputken tiivistämiseen käytettävän tiivisteaineen tulee tarjota riittävä tiiveys kaasun tai höyryn läpivirtauksen estämiseksi tiivisteliittimen läpi. (NFPA-70 2023, 398.) Kuvassa 14 on esitetty tyypilliset kaapeleiden suojaputkiin asennetut tiivisteliittimet.

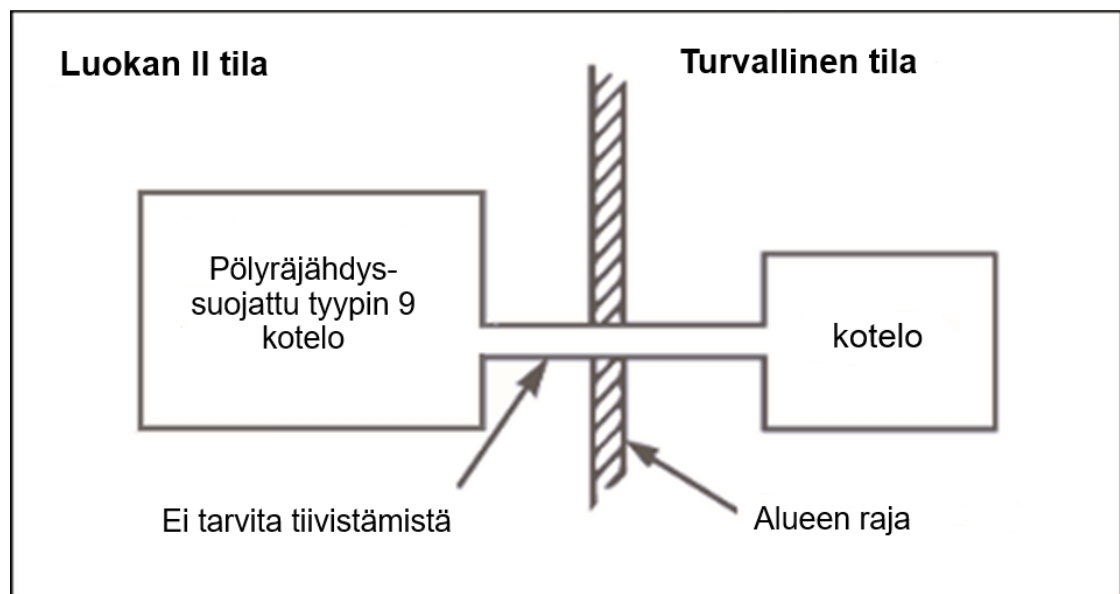


Kuva 14. Tyypilliset kaapeleiden suojaputkiin asennetut tiivisteliittimet (Emerson 2023, 70)

Luokan II tiloissa tiivisteliittimiä tarvitaan estämään syttyvien pölyjen pääsy pölyräjähdysuojattuihin koteloihin putkiston kautta (Pickens 2014, 4). Luokan II, divisioonan 1 tiloissa sallittujen liitosten ja koteloiden läpivientien on oltava pölytiivitä ja niissä on oltava kierreulokkeet putki- tai kaapeliliittimien liittämistä varten. Liittimien ja tiivisteiden on oltava tilaluokkaan sopivia. (NFPA-70 2023, 408.)

Luokan II tiloissa kaapeleiden kulkureitit on tiivistettävä siten, että pöly ei pääse pölyräjähdysuojattuun koteloon kaapeleiden suojaputkien/kaapeliratojen kautta. Kun pölyräjähdysvaarallisessa tilassa on kaksi koteloa, jotka ovat yhteydessä toisiinsa ja kaapelirata tarjoaa yhteyden suojaamattomasta kotelosta pölyräjähdysuojattuun koteloon, pölyn leviäminen koteloiden välillä on estettävä tiivisteillä tai muilla keinoin. (NFPA-70 2023, 408.)

Silloin kun syttyvältä pölyltä suojaamaton kotelo sijaitsee luokittelemattomalla turvallisella alueella, tiivistämistä ei tarvita ja kaapelirata koteloiden välillä voi olla minkä pituinen tahansa (NFPA-70 2023, 408). Syynä tähän on se, että pölyä ei voi siirtyä pölyräjähdysuojattuun koteloon turvalliselta alueelta, koska luokittelematon turvallinen alue ei määritelmän mukaan sisällä palavaa pölyä (Emerson 2023, 90). Kuvassa 15 on esitetty esimerkki em. tilanteesta.



Kuva 15. Esimerkkitalanne, jossa suojaamaton kotelo sijaitsee vaarattomalla alueella ja on yhteydessä luokan II tilaan. (mukaiillen Emerson 2023, 90)

Luokan III tiloissa vaatimukset Lämpötiloille ja tiivisteille ovat huomattavasti Luokan I ja II tiloja kevyemmät. Ainoa koteloita, liitoksia ja läpivientejä koskeva erityisvaatimus luokan III tiloille on, että asennusten tulee olla pölytiivitä. (NFPA-70 2023, 413.)

## 7.7 Ohjauspaneelit

Teollisuuden ohjauspaneelit ovat kokoonpanoja, jotka koostuvat kahdesta tai useammasta päävirtapiirin tai ohjausvirtapiirin komponentista, tai pää- ja ohjausvirtapiirien yhdistelmästä ja niihin liittyvästä johdotuksista ja liittimistä. Päävirtapiirin komponentteihin kuuluvat esimerkiksi moottorinohjaimet, ylikuormitusreleet, sulakkeilla varustetuista erotuskytkimet ja katkaisijat. Ohjauspiirin komponentteihin lukeutuvat esimerkiksi painonapit, valintakytkimet, merkkivalot, ajastimet ja ohjausreleet. (UL 508A 2022, 11.)

Teollisuuden ohjauspaneelita käsittelevän NEC:n artiklan 409 mukaan UL 508A on pienjännitekeskusten turvallisuustandardi (NFPA-70 2023, 307). UL 508A -standardin vaatimukset kattavat teollisuuden ohjauspaneelit, jotka on tarkoitettu yleiseen teollisuuskäyttöön ja jotka toimivat enintään 1000 V jännitteellä. Standardin ohjauspaneelit on tarkoitettu asennettavaksi luokittelemattomiin turvallisiin tiloihin NEC:n vaatimusten mukaisesti. UL508A -standardia ei tule kuitenkaan käyttää räjähdysvaarallisiin tiloihin liittyvien ohjauspaneelien suunnittelussa. (UL 508A 2022, 11.)

UL 698A -standardin vaatimukset kattavat teollisuuden ohjauspaneelit, jotka on liitetty räjähdysvaarallisissa tiloissa sijaitseviin luonnostaan vaarattomiin piireihin ja laitteisiin. UL 698A -standardin mukaan suunniteltua ohjauspaneelia ei saa sijoittaa räjähdysvaaralliseen tilaan, vaan ohjauspaneeli on tarkoitettu sijoitettavaksi luokittelemattomaan turvalliseen tilaan. (UL 698A 2022, 6.)

Räjähdysvaaralliseen tilaan sijoitettavan ohjauspaneelin on täytettävä joko UL 1203 - tai NFPA 496 -standardin vaatimukset. UL 1203 -standardin vaatimukset kattavat räjähdysvaarallisiin tiloihin sijoitettavat räjähdys- ja pölyräjähdysten kestävät sähkölaitteet (UL 1203 2024, 11). Kuvassa 16 on esitetty esi-

merkki UL 1203 -standardin mukaisesta ohjauspaneelistä. Vaihtoehtoisesti räjähdysvaarallisiin tiloihin sijoitettavat kotelot voidaan paineistaa NFPA 496 -standardin mukaisesti (NFPA-496 2024, 5).



Kuva 16. Emersonin valmistama UL 1203 -standardin mukainen ohjauspaneeli (Emerson 2023, 92)

## 7.8 Maadoitus ja potentiaalintasaus

**Maadoitus** tarkoittaa sähköjärjestelmän osien liittämistä maadoituspisteeseen. Maadoituksella luodaan turvallinen reitti maahan, mikäli sähkövirta menee vikatilanteessa väärään paikkaan, kuten jännitteelle alttiille johtaviin osiin. Maadoituksen tarkoitus on varmistaa, että sähköjärjestelmässä mahdollisesti syntyvät ylijännitteet, kuten salamaniskut, oikosulut tai muut vikavirrat, johdetaan turvallisesti maahan. (NFPA-70 2023, 138.)

**Potentiaalintasaus** tarkoittaa kytkentää sähköisen yhteyden jatkuvuuden ja johtavuuden varmistamiseksi. Käytännössä se tarkoittaa metalliosien ja muiden sähköä johtavien laitteiden liittämistä yhteen sellaisen sähköä johtavan polun muodostamiseksi, joka pystyy johtamaan turvallisesti pois siihen mahdollisesti kohdistuvan vikavirran. (NFPA-70 2023, 138.)

Maadoitus yhdessä potentiaalintasauksen kanssa varmistaa, että normaalisti virtaa johtamattomat esineet ja osat pysyvät jännitteettöminä (NFPA-70 2023, 138). NEC-standardi sisältää lukuisia sääntöjä eri tilanteisiin, jotka määrittelevät, kuinka maadoitus ja potentiaalintasaus tulisi suorittaa. Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti maadoituksen ja potentiaalintasauksen pääkohtia räjähdysvaarallisiin tiloihin.

Räjähdyksvaarallisissa tiloissa on otettava huomioon sekä yleiset vaatimukset, että erityisvaatimukset, jotka koskevat laitteiden maadoittamista ja potentiaalintasausausta. Erityisvaatimukset riippuvat räjähdysvaarallisen alueen tilaluokituksista. Yleiset maadoitus- ja potentiaalintasausvaatimukset löytyvät NEC:n artiklasta 250. Räjähdysvaarallisia tiloja koskevat erityisvaatimukset potentiaalintasaukselle eri tilaluokissa on määritelty NEC:n kohdissa 501.30, 502.30 ja 503.30. Luonnostaan vaarattomia järjestelmiä koskevat vaatimukset on määritelty erikseen kohdissa 504.50 ja 504.60. (NFPA-70 2023, 402–417.) Taulukkoon 15 on listattu NEC:n maadoitus- ja potentiaalintasausvaatimuksia koskevat artikkelit.

Taulukko 15. NEC:n maadoitus- ja potentiaalintasausvaatimukset (NFPA-70 2023, 402–417)

Maadoitus ja potentiaalintasaus	NFPA 70 artikla
Yleiset vaatimukset	250
Luokan I räjähdysvaaralliset tilat	501.30
Luokan II räjähdysvaaralliset tilat	502.30
Luokan III räjähdysvaaralliset tilat	503.30
Luonnostaan vaarattomat järjestelmät	504.50, 504.60

### **Yleiset vaatimukset**

NEC:n mukaisesti kaikki 50-1000 voltin vaihtovirtajärjestelmät on maadoitettava. Artiklassa 250.50 on esitetty maadoituselektrodijärjestelmän pääpiirteet, kun taas artiklassa 250.52 on lueteltu hyväksytyt maadoituselektrodit. (NFPA-70 2023, 139, 145–146.)

Yleisesti jokaisella sähköjärjestelmällä on oltava oma maadoituselektrodi, joka yhdistää sähkölaitteiston maahan. Maadoitusjohtimen koko määräytyy pääkytkimen koon ja sähköjärjestelmän tehon mukaan. (NFPA-70 2023, 156–158.)

Laitteiden virtaa kuljettamattomien metalliosien tulee olla maadoitettuja, jos ne voivat olla kosketuksissa ihmiseen tavallisen toiminnan tai muutostöiden aikana, ovat paljaana tai voivat sähköistyä eristevian, löysän johtoliitoksen tai sähköisen häiriön seurauksena. NEC:n artiklassa 250.118 on lueteltu Laitteille hyväksytyt maadoitusjohtimet. (NFPA-70 2023, 155.)

Tasavirtajärjestelmien maadoitusta ja potentiaalintasausta koskevat vaatimukset on esitetty erikseen NEC:n artiklassa 250.160. Instrumentteja, mittalaitteita ja releitä koskevat maadoitus- ja potentiaalintasausvaatimukset on määritelty NEC:n artiklassa 250.170. (NFPA-70 2023, 161-162)

Vihreä ja kelta-vihreä-raitainen ovat hyväksytyt värit maadoitusjohtimille. Terminaalien tunnusväri maadoitusjohtimille on vihreä. Jos terminaali ei ole näkyvässä, se voidaan merkitä sanoilla ”green” tai ”ground”, tai kirjaimilla G tai GR. (NFPA-70 2023, 156–158.)



Kuva 17. Yksi tapa, jolla maadoitusterminaali voidaan merkitä. (NFPA-70 2023, 158)

Taulukossa 16 on esitetty kenttäkaapeleiden maadoitusjohtimien minimikoot. Taulukko on koottu NEC:n taulukon 250.122 mukaisesti. AWG, eli American Wire Gauge, on amerikkalainen kaapelin halkaisijan mittastandardi.

Taulukko 16. Kenttäkaapeleiden maadoitusjohtimien mitoitus (mukaillen NFPA-70 2023, 158)

Kenttäkaapelointia syöttävän ylivirtasuojan maksimi virta (ampeeri)	Kenttäkaapeloinnin maadoitusjohtimen minimikoko (AWG)	
	Johtimen materiaali kupari.	Johtimen materiaali alumiini tai kuparipäällysteinen alumiini.
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1 / 0
600	1	2 / 0
800	1 / 0	3 / 0
1000	2 / 0	4 / 0

## **Räjähdyksvaarallisten tilojen vaatimukset**

Räjähdyksvaarallisissa tiloissa edellytetään kaikkien laitteiden, suojaputkien ja koteloiden ei-virtaa kantavien metalliosien potentiaalintasausta jännitteestä riippumatta (NFPA-70 2023, 152).

Räjähdyksvaarallisissa tiloissa on lisäksi huomioitava seuraavat potentiaalintasausta koskevat erityisvaatimukset: Lukkomutteri- ja kaksoislukkomutteriholkkeja ei saa käyttää ainoana potentiaalintasausmenetelmänä, vaan niitä on käytettävä yhdessä erillisen suojajohtimen kanssa. Tämä vaatimus on voimassa kaikissa räjähdysvaarallisissa tilaluokissa. (NFPA-70 2023, 402, 409, 413.)

Luokan I tiloissa taipuisaa metalliputkea tai nestetiivistä joustavaa metalliputkea ei saa käyttää ainoana potentiaalintasausreitteinä, vaan sen rinnalla tulee käyttää putken sisään tai ulkopuolelle asennettua suojajohdinta. Poikkeuksena luokan I ja II, 2. divisioonassa, sekä Luokan III kaikissa tiloissa taipuisaa metalliputkea tai nestetiivistä joustavaa metalliputkea voidaan käyttää ainoana potentiaalintasausreitteinä, jos kaikki seuraavista ehdoista täyttyvät: 1) suojaputki on pituudeltaan alle 1,8 metriä, 2) piirin ylivirtasuojaja on rajoitettu 10 ampeeriin tai sen alle, 3) virtapiirissä ei ole sähköä kuluttavaa laitetta. (NFPA-70 2023, 402, 409, 413.)

Luokan I tiloissa kaikkien putkiliitoksien kierteiden täytyy käyttää NPT-standardia ja olla kiristetty jakoavaimella siten, että kipinöintiä ei tapahdu vikajännitteen johtuessa putkiliitoksen kautta (NFPA-70 2023, 396).

Muilta osin räjähdysvaarallisissa tilaluokissa pätevät NEC:n artiklan 250 yleiset maadoitus- ja potentiaalintasausvaatimukset.

## **Luonnostaan vaarattomat järjestelmät**

NEC:n Kohdat 504.50 ja 504.60 sisältävät IS-järjestelmien maadoitus- ja potentiaalintasaussäännöt.

Metallirunkoinen IS-laite ja siihen kosketuksissa olevat muut johtavat osat on aina suojamaadoitettava (NFPA-70 2023, 416).

Ohjauspiirustuksen niin vaatiessa luonnostaan vaarattomissa järjestelmissä on oltava sähköjärjestelmästä erillinen maadoitusjohdin, jota pitkin maadoitusvirrat eivät normaalisti kulje. Järjestelmä on liitettävä maadoituselektrodiin NEC artiklan 250 mukaisesti. (NFPA-70 2023, 416.)

Metallirunkoisen IS-laitteen potentiaalintasauksessa on huomioita lisäksi räjähdysvaarallisia tiloja koskevat erityisvaatimukset 501.30, 502.30 ja 503.30 (NFPA-70 2023, 416).

## **7.9 Dokumentointi**

Räjähdysvaarallisiksi tiloiksi luokitellut alueet sekä luokittelemattomiksi määritellyt alueet on dokumentoitava alueluokituspiirustukseen ja muihin asiaan liittyviin asiakirjoihin. Asiakirjoihin on annettava pääsy AHJ:n valtuuttamalle viranomaiselle ja niille, jotka ovat valtuutettu suunnittelemaan, asentamaan, tarkastamaan, huoltamaan tai käyttämään sähkölaitteita määritellyssä tilassa. (NFPA-70 2023, 389.)

## **8 YHTEENVETO STANDARDEISTA**

Yhdysvalloissa ylin laillinen valta on liittovaltiolla, jonka alaisuudessa toimivaan työministeriöön kuuluu työturvallisuus- ja työterveysvirasto OSHA. OSHA:n antamat lakisääteiset työturvallisuusmääräykset ovat kaikkia liittovaltion osavaltioita sitovia.

OSHA edellyttää sähkölaitte- ja kaapeliasennusten olevan kansallisen paloturvallisuusjärjestö NFPA:n julkaiseman NEC-standardin mukaisia. Lisäksi sähkölaitteiden vaaditaan täyttävän niille asetetut tuotestandardit, ja että kansallisesti listattu NRTL-laboratorio on testannut ja hyväksynyt laitteet.

Räjähdysvaaralliset tilat, ja niihin asetetut sähkölaitteita koskevat vaatimukset määritellään NEC-standardissa. Tila määritellään räjähdysvaaralliseksi silloin, kun alueella esiintyy palo- tai räjähdysvaara syttyvien kaasujen tai höyryjen, syttyvien nesteiden, palavan pölyn, syttyvien kuitujen tai nukkien vuoksi.

Käytettävien sähköasennusten, johdotusmenetelmien ja laitteiden on oltava räjähdysuojattuja tai muutoin rakenteeltaan sellaisia, että ne on todettu turvalliseksi käyttää räjähdysvaarallisissa tiloissa.

### **Laitteiden valinnassa huomioitavat pääkohdat**

Suojaustekniikka minimoi mahdolliset sähkölaitteista aiheutuvat räjähdys- tai tulipaloriskit räjähdysvaarallisissa tiloissa. Laitteen suojaustekniikan on oltava asennusympäristön tilaluokkaan hyväksytty.

NEMA-suojausluokka on kotelon/laitteen suojaustaso ympäristötekijöitä, kuten vettä, pölyä ja korroosiota vastaan. Laitteen NEMA-suojausluokan on vastattava ympäristöolosuhteita.

Luokka tarkoittaa tilassa esiintyvän räjähdyskykyisen ilmapiirin syttyvän aineen perusteella tilalle ilmoitettua luokitusta. Luokat määritellään syttyvän kaasun, palavan nesteen tuottaman höyryn, syttyvän pölyn tai tilassa läsnä olevien tulenarkojen kuitujen tai nukkien perusteella. Laitteelle määritellyn luokan on vastattava tilan/alueen luokitusta.

Divisioonalla ilmoitetaan räjähdysvaarallisen ilmapiirin olemassaolon todennäköisyys, ottaen huomioon ainepitoisuuksien määrät. Divisioonaan 1 määritellyjä laitteita voidaan asentaa 1. ja 2. divisioonan tiloihin, mutta divisioonaan 2 määriteltävät laitteet soveltuvat vain 2. divisioonan tiloihin.

Materiaaliryhmä on kaasujen, höyryjen tai pölyjen ilmaseosten räjähdysominaisuuksien mukaan tilalle määritelty ryhmä. Materiaaliryhmä ilmaistaan laitteeseen merkityllä ryhmän tunnuskirjaimella. Laite voi soveltua asennettavaksi useampaan eri materiaaliryhmän tilaan.

Lämpötilaluokka osoittaa laitteen pinnan maksimikäyttölämpötilan, joka ei saa ylittää ympäröivän ilmakehän syttymislämpötilaa. Lämpötilaluokka ilmaistaan laitteeseen merkityllä T-koodilla.

Sertifiointimerkintä osoittaa, että Laite on NRTL-laboratorion toimesta testattu ja hyväksytty, täyttäen vaadittavat turvallisuusvaatimukset. Laitesertifiointi vaaditaan pääsääntöisesti kaikille HazLoc-tiloissa käytettäville laitteille.

## 9 POHDINTA

Yhdysvaltojen standardien mukainen räjähdysvaarallisten tilojen sähkö- ja instrumentointisuunnittelu on aiheena erittäin mielenkiintoinen. Aihepiiri osoitautui myös hyvin laajaksi ja haasteelliseksi. Opinnäytetyöhön liittyvä taustatyö vei paljon aikaa, sillä Yhdysvaltain lainsäädännöstä ja standardeista tulevia vaatimuksia on paljon.

Dokumentteja ja standardeja oli paljon kaiken työhön tarvittavan tiedon koostamiseksi. Standardeissa käytetty virkakieli ja joidenkin termien kääntäminen suomeksi asetti työlle omat haasteensa. Työssä pyrittiin tiivistämään kaikki oleellisimmaksi katsotut tiedot ja samalla paljon asioita jouduttiin rajaamaan pois, jotta työ ei laajenisi liian yksityiskohtaiseksi. Sähkölaitteita koskevat vaatimukset pyrittiin esittämään sillä tasolla, että näiden merkintöjä pystyttäisiin tulkitsemaan ja tekemään laitevalintoja.

Työn myötä olen oppinut paljon Yhdysvaltojen standardeista ja sähkölaitteille asetetuista vaatimuksista räjähdysvaarallisissa tiloissa. Mielestäni työn tavoitteet saavutettiin suhteellisen hyvin. Työstä löytyvät kaikki laitteiden valintaan liittyvät perustiedot ja standardien vaatimuksia on pyritty avaamaan mahdollisimman selkeäksi, yksinkertaistaen raskaslukuisia standardeja yleiskielisiksi.

Opinnäytetyö ei kehittänyt varsinaisesti mitään uutta, vaan se pyrki ainoastaan tuomaan käytettäväksi jo olemassa olevaa ajankohtaista tietoa paremmassa muodossa. Yhdysvaltojen räjähdysvaarallisia tiloja koskevista standardeista ja sähkölaitevaatimuksista ei ole aikaisemmin ollut saatavilla kattavia suomenkielisiä aineistoja. Yhdysvaltojen ja Suomen taloussuhteiden syventyminen ja aikaisempi suomenkielisen aineiston puute aiheesta lisää tämän työn merkityksellisyyttä. Työn toteutukseen käytettiin uusimpia saatavilla olevia versioita standardeista. Tämä työ antaa ajankohtaiset perustiedot Yhdysvaltojen standardeista, räjähdysvaarallisista tiloista ja niissä käytetyistä sähkölaitteista.

## LÄHTEET

AerosUSA. 2024. Everything to know about becoming UL-listed or certified. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://aerosusa.com/everything-to-know-about-becoming-ul-listed-or-certified/> [viitattu 13.12.2024].

ANSI. 2024. About ANSI. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ansi.org/about/introduction> [viitattu 15.10.2024].

Benedetti, R., Schram, P. & Earley, M. 2009. Electrical Installations in Hazardous Locations. Jones and Bartlett Publishers, Inc.

Cowern, E. 2018. Baldor Motor Basics. How to Select Motors for Hazardous Locations. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.powertransmission.com/ext/resources/issues/0218/hazardous-motors.pdf> [viitattu 20.11.2024].

CSA Group. 2022a. Global Certification Guide for Hazardous Locations. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/Global-Certification-Guide.pdf> [viitattu 9.11.2024].

CSA Group. 2022b. Inspector's guide to products approval. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Inspector-Guide-Digital-Accessible-Apr25-2022.pdf> [viitattu 20.11.2024].

CSA Group. 2024a. CSA and UL announce new agreement to develop Mutual Component Acceptance Program and expand Memorandum of Understanding. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.csagroup.org/news/csa-and-ul-new-agreement-and-expand-memorandum/> [viitattu 9.11.2024].

CSA Group 2024b. Our Journey. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.csagroup.org/about-csa-group/our-journey/> [viitattu 9.11.2024].

Eagle Justrite Safety Group. 2024. Industrial Safety Regulations & Compliance Agencies. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://eagle.justrite.com/safety-regulation> [viitattu 18.8.2024].

Emerson. 2023. Interpreting the Requirements of Articles 500-516 of the NEC. PDF-Dokumentti. Saatavissa: <https://www.appleton.emerson.com/documents/guide-interpreting-requirements-of-articles-500-516-of-nec-appleton-en-10754840.pdf> [viitattu 5.10.2024].

ESF. 2024. The National Electrical Code, NFPA 70 Standards. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.esfi.org/workplace-safety/industry-codes-regulations/the-national-electrical-code-nec/> [viitattu 15.8.2024].

FM. 2012. Electrical Equipment in Hazardous (Classified) Locations. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.fm.com/resources/fm-data-sheets#rbdatasheetssearch\\_q=Electrical%20equipment%20in%20hazardous%20%20locations&rbdatasheetssearch\\_e=0](https://www.fm.com/resources/fm-data-sheets#rbdatasheetssearch_q=Electrical%20equipment%20in%20hazardous%20%20locations&rbdatasheetssearch_e=0) [viitattu 1.10.2024].

FM. 2014. FM Approvals Certification Marks. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fmaprovals.com/-/media/Project/PublicWebsites/FMA/Images/Certifications/FM-Approvals-Certification-Marks.pdf> [viitattu 13.12.2024].

FM. 2024a. Our History. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fm.com/about-us/our-history> [viitattu 13.12.2024].

FM. 2024b. Standards and Certification. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fm.com/resources/more-resources/standards-and-certification/fm-approvals> [viitattu 13.12.2024].

Hazloc Directory. 2024a. Class-division Classified Area in North America. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hazlocdirectory.com/hazloc-posters/class-division-classified-area-in-north-america-protection-techniques-applicable-standards-and-code-required-for-equipment-in-gas-explosive-locations> [viitattu 18.10.2024].

Hazloc Directory. 2024b. Sources of Ignition in Hazardous Locations. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hazlocdirectory.com/technical-documents/sources-of-ignition-in-hazardous-locations> [viitattu 6.10.2024].

Kostiainen, J. 2023. The Transatlantic Investment and Trade Relationship: Stronger and More Important Than Ever. Yritysverkosto Amcham Finland. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://amcham.fi/wp-content/uploads/2023/04/230411-Finland-U.S.-Economic-Deep-Dive-FINAL-WEB.pdf> [viitattu 1.9.2024].

Miklavcich, S. 2018. How to Select Motors for Hazardous Locations. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.pumpsandsystems.com/how-select-motors-hazardous-locations> [viitattu 20.8.2024].

NEMA. 2012. Membership Directory. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nema.org/membership/manufacturers> [viitattu 18.8.2024].

NEMA. 2020. History. The founding of NEMA. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nema.org/about/history/> [viitattu 18.8.2024].

NEMA. 2021. Summary of NEMA 250 Enclosure Types. PDF-dokumentti. Maksullinen. Saatavissa: <https://www.nema.org/standards/view/nema-250-enclosure-types> [viitattu 8.10.2024].

NEMA. 2024. NEMA FAQs: Enclosures. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nema.org/docs/default-source/standards-document-library/faq-enclosures.pdf> [viitattu 8.10.2024].

NFPA. 2024. About Us. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nfpa.org/About-NFPA> [viitattu 1.8.2024].

NFPA 30. 2024. Flammable and Combustible Liquids Code. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-30-standard-development/30> [14.9.2024].

NFPA 70. 2023. National Electrical Code. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-70-standard-development/70> [viitattu 2.8.2024].

NFPA 496. 2024. Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-497-standard-development/496> [viitattu 9.11.2024].

NFPA 497. 2024. Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-497-standard-development/497> [viitattu 9.9.2024].

NFPA 499. 2024. Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-499-standard-development/499> [viitattu 9.9.2024].

NRC. 2011. UL LLC's Notice of Undergoing Changes as of the End of 2011. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nrc.gov/docs/ML1134/ML11346092-5.pdf> [viitattu 25.11.2024].

OSHA. 2001. Memorandum of Understanding between The Occupational Safety and Health Administration and The American National Standards Institute. WWW-dokumentti. saatavissa: <https://www.osha.gov/laws-regs/mou/2001-01-19> [viitattu 21.11.2024].

OSHA. 2023. All About OSHA. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/all\\_about\\_OSHA.pdf](https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/all_about_OSHA.pdf) [viitattu 2.8.2024].

OSHA. 2024a. Appropriate Test Standards. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.osha.gov/nationally-recognized-testing-laboratory-program/list-standards> [viitattu 16.8.2024].

OSHA. 2024b. Current List of NRTLs. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.osha.gov/nationally-recognized-testing-laboratory-program/current-list-of-nrtls> [viitattu 15.8.2024].

OSHA. 2024c. OSHA's Nationally Recognized Testing Laboratory (NRTL) Program. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.osha.gov/nationally-recognized-testing-laboratory-program> [viitattu 16.8.2024].

OSHA. 2024d. Regulations (Standards – 29 CFR). WWW-dokumentti. saatavissa: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910> [viitattu 10.8.2024].

OSHA. 2024e. Type of Products Requiring NRTL Approval. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.osha.gov/nationally-recognized-testing-laboratory-program/products-requiring-approval> [viitattu 15.8.2024].

Panduit. 2020. Specifying Cable Infrastructure in Hazardous Locations per NEC standards. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.panduit.com/content/dam/panduit/en/solutions/NI-IN-CPAT82-ENG.pdf> [viitattu 25.9.2024].

Paredes, R. 2023. The Essential Guide to ATEX Compliance. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://safetyculture.com/topics/atex/> [viitattu 2.9.2024].

Phoenix Contact. 2024. 10 advantages to using intrinsic safety in hazardous locations. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://dam-mdc.phoenixcontact.com/asset/156443151564/8ba16c019fe49240934ea4f2800c3e6a/US\\_Update-Intrinsic-Safety-White-Paper\\_20240603\\_U006888A.pdf](https://dam-mdc.phoenixcontact.com/asset/156443151564/8ba16c019fe49240934ea4f2800c3e6a/US_Update-Intrinsic-Safety-White-Paper_20240603_U006888A.pdf) [viitattu 12.11.2024].

Pickens, G. 2014. Classification of Locations for Electrical Installations in Gas Utility areas. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://asgmt.com/wp-content/uploads/2016/02/052.pdf> [viitattu 23.10.2024].

Pilz. s.a. Laws and standards in North America. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.pilz.com/en-INT/support/law-standards-norms/international-standards/north-america> [viitattu 9.9.2024].

Tulli. 2022. Suomen ja Yhdysvaltojen välinen kauppa vuonna 2022. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://tilastot.tulli.fi/-/suomen-ja-yhdysvaltojen-valinen-kauppa-vuonna-2022-1-6-> [viitattu 23.10.2024].

UL Solutions. 2015. The White Book 2015–16. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://code-authorities.ul.com/wp-content/uploads/2014/09/UL-White-Book.pdf> [viitattu 15.8.2024].

UL Solutions. 2024a. About UL Solutions. History. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ul.com/about/history> [viitattu 19.9.2024].

UL Solutions. 2024b. Certification. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ul.com/services/certification> [viitattu 15.11.2024].

UL Solutions. 2024c. UL and C-UL Hazardous Areas Certification for North America. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ul.com/services/ul-and-c-ul-hazardous-areas-certification-north-america> [viitattu 19.9.2024].

UL 508A. 2022. Industrial Control Panels. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: [https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL508A\\_3\\_S\\_20180424](https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL508A_3_S_20180424) [viitattu 8.11.2024].

UL 674. 2022. Electric Motors and Generators for Use in Hazardous (Classified) Locations. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?UniqueKey=43183> [viitattu 11.11.2024].

UL 698A. 2022. Industrial Control Panels Relating to Hazardous (Classified) Locations. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: [https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL698A\\_4\\_S\\_20180821](https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL698A_4_S_20180821) [viitattu 8.11.2024].

UL 913. 2022. Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II, and III, Division 1, Hazardous (Classified) Locations. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?UniqueKey=26781> [viitattu 8.11.2024].

UL 1203. 2024. ExplosionProof and Dust-IgnitionProof Electrical Equipment for Use in Hazardous (Classified) Locations. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?UniqueKey=44556> [viitattu 1.10.2024].

UL 2225. 2022. Cables and Cable-Fittings For Use In Hazardous (Classified) Locations. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?UniqueKey=26485> [viitattu 10.11.2024].

UL 120101. 2024. Definitions and Information Pertaining to Electrical Equipment in Hazardous Locations. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: <https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?UniqueKey=36540> [viitattu 23.9.2024].

UL 121201. 2021. Nonincendive Electrical Equipment for Use in Class I and II, Division 2 and Class III, Divisions 1 and 2 Hazardous (Classified) Locations. E-kirja. Vaatii rekisteröitymisen. Saatavissa: [https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL121201\\_9\\_S\\_20170915](https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL121201_9_S_20170915) [viitattu 1.10.2024].

Vaisala. 2020. Luonnostaan vaarattomat mittalaitteet auttavat minimoimaan riskejä vaarallisissa paikoissa. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Intrinsically-Safe-Instruments-Application-note-B211118FI.pdf> [viitattu 26.8.2024].

Wilcoxon. 2010. Installation guide for hazardous areas. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://wilcoxon.com/wp-content/uploads/2016/07/Installation\\_Guide\\_Hazardous\\_Areas\\_2010.pdf](https://wilcoxon.com/wp-content/uploads/2016/07/Installation_Guide_Hazardous_Areas_2010.pdf) [viitattu 13.11.2024].

## Ohjedokumentit

### HazLoc-tiloissa käytettävät NFPA:n ja UL:n standardit

Standardi	Julkaisun nimi
NFPA 30	Flammable and Combustible Liquids Code
NFPA 70	National Electrical Code (NEC)
NFPA 496	Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment
NFPA 497	Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas
NFPA 499	Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas
UL 674	Electric Motors and Generators for Use in Hazardous (Classified) Locations
UL 698A	Industrial Control Panels Relating to Hazardous (Classified) Locations
UL 913	Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II and III, Division 1, Hazardous (Classified) Locations
UL 1203	Explosion-Proof and Dust-Ignition-Proof Electrical Equipment for Use in Hazardous (Classified) Locations
UL 2225	Cables and Cable-Fittings For Use In Hazardous (Classified) Locations
UL 120101	Definitions and Information Pertaining to Electrical Equipment in Hazardous Locations
UL 121201	Nonincendive Electrical Equipment for Use in Class I and II, Division 2 and Class III, Divisions 1 and 2 Hazardous (Classified) Locations

**Tilaluokkia koskevat määritelmät**

Luokka	Räjähdyskykyinen ilmapiiri
Class I	Palavia kaasuja, höyryä tai sumua
Class II	Pölyjä
Class III	Kuidut ja nukat

Divisioona 1	Divisioona 2
<p>Tilat, joissa esiintyy syttyviä kaasuja, räjähdyskykyistä pölyä, tai syttyvien kuitujen ja nukkien vaarallisia muodostumia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- normaaleissa käyttöolosuhteissa.</li> <li>- johtuen toistuvista huolto- tai korjaustöistä tai toistuvista laitevicioista.</li> </ul>	<p>Tilat, joissa esiintyy syttyviä kaasuja, räjähdyskykyistä pölyä, tai syttyvien kuitujen ja nukkien vaarallisia muodostumia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vain virheolosuhteissa.</li> <li>- tilassa käsiteltävien suljettujen kemikaalisäiliöiden tai järjestelmien rikkoontuessa.</li> </ul>

Kaasuryhmä	Tyypillinen kaasu	MESG	MIC
A	Asetyleeni	-	-
B	Vety	≤ 0.45 mm	≤ 0.4
C	Etyleeni	> 0.45 mm ≤ 0.75 mm	> 0.4 ≤ 0.8
D	Propaani	> 0.75 mm	> 0.8

Pölyryhmä	Pöly
E	Metallipöly
F	Hiilipöly
G	Hiukkaspöly

**Räjähdyssuojaustekniikat**

Räjähdyssuojaus- tekniikka	Class I Divisioona	Class II Divisioona	Class III Divisioona
Pölytiivis		2	1, 2
Pölyräjähdyssuojattu		1, 2	
Räjähdyssuojattu	1, 2		
Paineistettu	1, 2	1, 2	1,2
Öljyupotettu	2		
Hermeettisesti suljettu	2	2	1, 2
Luonnostaan vaaraton	1, 2	1, 2	1, 2
Palamaton rakenne	2	2	1, 2

**Lämpötilaluokat**

Pinnan maksimilämpötila		Lämpötilaluokka
°C	F°	T koodi
450	842	T1
300	572	T2
280	536	T2A
260	500	T2B
230	446	T2C
215	419	T2D
200	392	T3
180	356	T3A
165	329	T3B
160	320	T3C
135	275	T4
120	248	T4A
100	212	T5
85	185	T6

**Kaapelointivaatimuksia käsittelevät NFPA 70:n artikkelit**

Kaapelointi	NFPA 70 artikla
Yleiset vaatimukset	300
Luokan I räjähdysvaaralliset tilat	501.10
Luokan II räjähdysvaaralliset tilat	502.10
Luokan III räjähdysvaaralliset tilat	503.10
taipuisat kaapelit	501.140, 502.140, 503.140
Luonnostaan vaarattomat järjestelmät	504.20

**Käytetyt kaapelilyhenteet:**

EHU = Extra Hard Usage

ER = Exposed Run

EO = Elevator Cable

ETP = Elevator Traveling Cable

ETT = Elevator Traveling Cable, same as ETP with no outer cover

EMT = Electrical Metallic Tubing

HL = Hazardous Location

IMC = Intermediate Metal Conduit

ITC = Instrumentation Tray Cable

LFMC = Liquid Tight Flexible Metal Conduit

LFNC = Liquid Tight Nonmetallic Conduit

MC = Metal Clad

MI = Mineral Insulated

MV = Medium Voltage

OFC = Optical Fiber Cable

PLTC = Power Limited Tray Cable

PVC = Polyvinyl Chloride Cable

RMC = Rigid Metal Conduit

TC = Tray Cable

**Luokan (Class) I johdotusmenetelmät**

Class I, Div 1, sallitut johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaapelin asennus kierteelliseen RMC- tai IMC-putkeen	501.10 A (1)
Kaapelin asennus PVC- tai RTRC-putkeen	501.10 A (2)
Mineraalieristetty MI-kaapeli	501.10 A (3)
Metallipäällysteinen MC-HL-kaapeli	501.10 A (4)
ITC-HL-kaapeli	501.10 A (5)
Optiset kuitukaapelit: OFNP, OFCP, OFNR, OFCR, OFNG, OFCG, OFN tai OFC	501.10 A (6)
TC-ER-HL-kaapeli	501.10 A (7)
Metallipäällysteinen tyypin P kaapeli	501.10 A (8)

Class I, Div 2, sallitut johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaikki Class I, Div 1 johdotusmenetelmät	501.10 A
Kaapelin asennus RMC- tai IMC-putkeen Sileät tai kierteelliset liittimet	501.10 B (1)
Suljetut tiivistetyt kaapelikourut ja -väylät	501.10 B (2)
Jänniterajoitettu PLTC- ja PLTC-ER-kaapeli	501.10 B (3)
ITC- ja ITC-ER-kaapeli	501.10 B (4)
MC-, MV-, TC- tai TC-ER kaapeli	501.10 B (5)
Kaapelin asennus RTRC-putkeen tai PVC-päällystettyyn RMC-/IMC-putkeen	501.10 B (6)
Cablebus	501.10 B (8)
Tyypin P kaapeli	501.10 B (9)

**Luokan (Class) II johdotusmenetelmät**

Class II, Div 1, sallitut johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaapelin asennus kierteelliseen RMC- tai IMC-putkeen	502.10 A (1)
Mineraalieristetty MI-kaapeli	502.10 A (2)
Metallipäällysteinen MC-HL-kaapeli	502.10 A (3)
Optiset kuitukaapelit: OFNP, OFCP, OFNR, OFCR, OFNG, OFCG, OFN ja OFC	502.10 A (4)
ITC-HL-kaapeli	502.10 A (5)
TC-ER-HL-kaapeli	502.10 A (6)
Metallipäällysteinen tyypin P kaapeli	502.10 A (7)

Class II, Div 2, sallitut johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaikki Class II, Div 1 johdotusmenetelmät	502.10 A
Kaapelin asennus RMC- tai IMC-putkeen Sileät tai kierteelliset liittimet	502.10 B (2)
Kaapelin asennus pölytiiviseen kaapelikouruun tai EMT-putkeen puristuskytkennällä	502.10 B (3)
MC-, MV-, TC- tai TC-ER-kaapeli	502.10 B (4)
Jänniterajoitettu PLTC- ja PLTC-ER-kaapeli	502.10 B (5)
ITC- tai ITC-ER-kaapeli	502.10 B (6)
RTRC- tai Schedule 80 PVC-putki	502.10 B (7)
Cablebus	502.10 B (9)
Tyypin P kaapeli	502.10 B (10)

**Luokan (Class) III johdotusmenetelmät**

Class III sallitut johdotusmenetelmät	NFPA 70 artikla
Kaapelin asennus RMC-, PVC-, RTRC-, IMC- tai EMT-putkeen, pölytiiviseen kaapelikouruun tai MC-/MI-kaapeli	503.10 (1)
PLTC- tai PLTC-ER-kaapeli	503.10 (2)
ITC tai ITC-ER-kaapeli	503.10 (3)
MV-, TC, tai TC-ER-kaapeli	503.10 (4)
Cablebus	503.10 (5)
Metallipäällysteinen tyypin P kaapeli	503.10 (6)

**Maadoitus- ja potentiaalintasausvaatimukset**

Maadoitus ja potentiaalintasaus	NFPA 70 artikla
Yleiset vaatimukset	250
Luokan I räjähdysvaaralliset tilat	501.30
Luokan II räjähdysvaaralliset tilat	502.30
Luokan III räjähdysvaaralliset tilat	503.30
Luonnostaan vaarattomat järjestelmät	504.50, 504.60

**Kenttäkaapeloinnin maadoitusjohtimen mitoitustaulukko**

Kenttäkaapelointia syöttävän ylivirtasuojan maksimi virta (ampeeri)	Kenttäkaapeloinnin maadoitusjohtimen minimikoko (AWG)	
	Johtimen materiaali kupari.	Johtimen materiaali alumiini tai kuparipäällysteinen alumiini.
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1 / 0
600	1	2 / 0
800	1 / 0	3 / 0
1000	2 / 0	4 / 0