

Hanna Lapinkangas

# TEOLLISUUSALUEEN MUUNTAMORA- KENNUKSEN RAKENNUSTEKNINEN SPESIFIKAATIO

Selvitys rakentamista ohjaavista standardeista, viran-  
omaismääräyksistä ja käyttäjävaatimuksista

Opinnäytetyö

Insinööri

Rakennustekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Hanna Lapinkangas
Työn nimi	Teollisuuden muuntamorakennuksen rakennustekninen spesifikaatio
Toimeksiantaja	AFRY Group Finland Oy
Vuosi	kesäkuu 2021
Sivut	80 sivua
Työn ohjaaja(t)	Juha Karvonen, Jani Pitkänen, Juha Nieminen

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää teollisuusalueella sijaitsevan muuntamorakennuksen rakentamista ohjaavat viranomaispäätökset, säädökset, standardit ja asiakkaan vaatimukset. Selvitystyön tuloksien avulla laaditaan opinnäytetyön jatkotoimenpiteenä erillinen rakennustekninen spesifikaatio AFRY Group Finland Oy:n asiakkaalle.

Spesifikaatioita laaditaan tilanteisiin, joissa tavoitellaan saavutettavien lopputuloksien samankaltaisuutta ja toistettavuutta. Teollisuuskohteisiin vaikuttavien lainsäädännöllisten määräysten hierarkian selvittäminen oli työssä ensisijainen tutkimuskohde. Ongelmana on lainsäädännön ja ohjeiden tulkinnanvaraisuus. Tähän saatiin selkeyttä tutkimalla lainsäädäntöä ja sen suhdetta standardointiin. Tietopohja koostettiin tutkimalla kohteeseen liittyviä säädöksiä, ohjeita ja standardeja. Tilaajan vaatimukset, muiden alojen asiantuntijoiden tarpeet ja käyttäjien käytönaikaiset havainnot olemassa olevista muuntamorakennuksista saatiin dokumentoitua tiedoksi opinnäytetyöhön haastatteluiden pohjalta.

Spesifikaation tilauksen taustalla oli voimakas tarve tehostaa rakennesuunnittelua ja toteuttaa mahdollisimman kustannustehokas rakennuttamisprosessi asiakkaan näkökulmasta katsottuna. Suunnittelijalle spesifikaatio toimii ohjaavana asiakirjana, jonka avulla rakennuksen erityispiirteisiin voidaan perehtyä kattavasti. Asiakkaalle se on laadunhallinta-asiakirja, jonka avulla suunnittelua ja rakentamista voidaan ohjata.

Opinnäytetyössä havaittiin, että teollisuusrakennuksia koskevaa lainsäädännöllistä ohjeistusta on hyvin vähän. Sen sijaan eri teollisuusalojen asiantuntijaryhmien koostamia ohjeita ja standardisoimiseen osallistuneiden tahojen tarjoamaa tietoa on runsaasti. Oleellisen tiedon löytämiseksi oli läpikäytävä useita kymmeniä asiakirjoja ja valittava sisällöstä kohteeseen sopiva tieto. Tutkimustyön tuloksena saatiin koostettua opinnäytetyöhön yleinen katsaus muuntamorakennuksien rakennustekniseen spesifikaatioon määriteltävistä tärkeimmistä rakennusteknisistä aihealueista. Suorana seurauksena tästä saadaan suunnitteluun tarvittavaa selvitystyöhön käytettyä aikaa vähennettyä ja toteutettaville uusille rakennuksille yhteneväiset suunnitteluratkaisut.

**Asiasanat:** Standardisointi, laadunhallinta, spesifikaatio, teollisuusrakentaminen

Degree	Bachelor of Engineering (AMK)
Author (authors)	Hanna Lapinkangas
Thesis title	Specification for structural engineering of transformer buildings in industrial areas
Commissioned by	AFRY Group Finland Oy
Time	June 2021
Pages	80 pages
Supervisor	Juha Karvonen, Jani Pitkänen, Juha Nieminen

## ABSTRACT

The object of the thesis was to study and report the requirement of the client, regulations of public authorities, and standards that instruct the construction of transformer buildings in industrial areas. Help provided by this survey is used to draft a specification of construction for a client of the mandator. Specifications are often drafted in different industrial branches to replicate a particular outcome of a certain process.

Analyzing the hierarchy of governmental regulations related to the construction of industrial buildings was the primary subject of study. The main difficulty was that the guides and regulations are open to various interpretations. This issue was clarified by examining legislation, and how it relates to standardization. The basis of knowledge was compiled by researching the regulations, standards and instructions related to transformer buildings in industrial areas. Knowledge from other subject-related professionals, users, and requirements from the client were gathered via e-mail, interviewing, and in various conversations.

To find the essential information for the thesis, dozens of documents were studied. After finding the information, it needed to be screened and transferred into the thesis. As a result of the thesis, a general view of the most important determinable aspects in the specification of construction was composed. Compatible practices in the designing of new transformer buildings and reduced use of time in background research come as a natural and direct implication of the thesis. Help provided by this thesis is used to draft a specification of construction for a client of the mandator. Specifications are often drafted in different industrial branches to replicate a particular outcome of a certain process.

**Keywords:** Standardization, quality management, specification, industrial construction

# SISÄLLYS

## TERMINOLOGIA

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Lähtökohdat .....	7
1.2	Tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....	8
1.3	Tutkimusmenetelmät, rajaus ja toteutus .....	9
2	STANDARDISOINTI .....	10
2.1	Mitä on standardisointi .....	10
2.2	Kansainväliset standardit .....	10
2.3	Eurooppalaiset standardit .....	11
2.4	Suomalaiset standardit ja määräykset .....	12
2.5	Yritysten rooli standardisoinnissa .....	14
2.6	Menetelmätyyppiset määritelmät eli spesifikaatiot .....	15
3	RAKENNESUUNNITTELUN TOIMENPITEET .....	16
3.1	Runkojärjestelmät, jäykistys ja rakenneosat .....	18
3.2	Materiaalien valinta .....	21
3.3	Rakennuksen paloluokka, palokuorma ja osastointi .....	24
3.4	Kuormat .....	29
3.5	Liitokset ja rakennuksen vaipan tiiveys .....	30
3.6	U-arvo ja energiatehokkuus .....	32
3.7	Aukotus ja läpiviennit .....	34
4	RAKENNUSTEKNISEN SPESIFIKAATION LAADINTA .....	41
4.1	Kaapelitila .....	44
4.2	Muuntajatila ja kompensatiotila .....	47
4.3	Sähkökeskustila .....	49
4.4	LVI-tila .....	61
4.5	Akkutila .....	64
4.6	U-arvo, tiiveys ja energiatehokkuus .....	66

5	TULOKSET JA POHDINTA.....	72
5.1	Opinnäytetyön tulokset .....	72
5.2	Pohdinta .....	74
	LÄHTEET.....	77

## TERMINOLOGIA

Harmonisointi	Yhdenmukaistaminen, ristiriidattomaksi käsitteleminen
Sydänmastojäykistys	Runkojärjestelmässä käytettävä jäykistystapa, tavanomaisesti porraskäytävä tai muu massiivinen mastorakenne rakennuksessa.
Tilaelementti	Valmiiksi rakennettu tila tai tilan osa, joka nostetaan kokonaisuutena paikalleen rakennustyömaalla.
Karakteristinen lujuus	Empiirisillä menetelmillä saatujen arvojen avulla laskennallisesti määritelty lujuuden arvo.
CE-merkintä	Jonkun tuotteen ominaisuuksien osoittaminen harmonisoituun tuotestandardiin tai eurooppalaiseen tekniseen hyväksyntään yhdenmukaisiksi. Ei todista tuotteen tai menetelmän asiakohtaista soveltuvuutta suoraan.
Tyyppihyväksyntä	Kansallinen hyväksyntämenettely rakentamistuotteelle, osoitus tuotteen tai menetelmän soveltuvuudesta tarkoitukseensa.
ETA-arviointi	Harmonisoidun tuotestandardin puuttuessa, voidaan tuote hyväksyttävä tällä arvioinnilla CE-merkinnän saamiseksi
Angstrom	Erittäin lyhyt pituuden yksikkö. Arvioitu noin yhden atomin pituiseksi. Yksikön suuruus $1 \times 10^{-10}$ m
ESD	Sähköstaattinen purkaus
EPA-alue	Staattiselta sähköltä suojattu alue
ESDS	Sähköstaattiselle purkaukselle herkkä komponentti
Bernoullin yhtälö	Fysiikan laki fluidien virtauksista, voidaan esittää yhtälöllä
Entropia	Järjestelmän epäjärjestystä kuvaava fysikaalinen suure
ATEX	Atmosphères explosibles, räjähdysvaarallinen ympäristö
Faradayn laki	Elektrolyysiin ja induktioon liittyvät säännöt
Inerttikaasu	Stabiili kaasu, joka ei reagoi itsestään kemiallisesti muiden aineiden kanssa.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Lähtökohdat

Rakennushankkeet ovat monivaiheisia prosesseja, eivätkä teollisuusrakennushankkeet ole poikkeus tässä suhteessa. Jokaista rakennustyömaan aloitusta ovat edeltäneet sadat, usein jopa tuhannet, selvitettävät asiat ja ratkaistavat haasteet. Ennen ensimmäisenkään yleispiirroksen valmistumista on suoritettu paljon valmistelevaa työtä. Tähän valmistelevaan työhön sisältyy määrävien tekijöiden selvittäminen kunkin projektin osalta. Rakennuksia ja rakennelmia valmistetaan hyvin monenlaisiin tarkoituksiin, mutta ydinajatus kaikissa on sopia tarkoitukseensa mahdollisimman hyvin. Rakenne voi suojata, estää, helpottaa ja mahdollistaa toimintaa. Mutta vain, jos suunnittelu toteutetaan kohteen vaatimilla ehdoilla.

Tärkeimpiä määrittäviä tekijöitä rakennusten suunnittelussa ovat tilaajan tarpeet, lainsäädäntö koskien rakentamista ja sen suunnittelua ja standardien antamat ohjeet. Teollisuuden tarpeisiin rakennettavat rakennelmat ja rakennukset eroavat asuinrakentamisesta melkoisesti jo ulkonäöllisestikin, mutta huomattavin ero löytyy kuitenkin rakennuksen sisältä. Asuinrakennus tehdään ihmiselle ja teollisuusrakennus tehdään tuotantoprosessille. Ihmiselle rakennettavan rakennuksen suunnittelua ohjaa hyvin pitkälle lainsäädännöt terveellisyydestä, turvallisuudesta ja energiatehokkuudesta. Nämä vaatimukset toistuvat rakentamishankkeesta riippumatta hyvin samankaltaisina ja ovat yleisesti rakennuksia suunnittelevien tahojen tiedossa. Teollisuusrakennuksen suunnittelua ohjaa pakollisen turvallisuus- ja kantavuustarkastelun jälkeen prosessin tarpeet ja kustannustehokkuus.

Eri teollisuuden aloilla käytetään paljon oman alan ja omaan toimintaympäristöön laadittuja spesifikaatioita. Hyvin monella suurella ja keskisuurella teollisuusyrityksellä on käytössä myös rakennustekninen spesifikaatio, jotta jokaisessa samankaltaisena toistuvassa rakennuksessa tai toteutettavassa tilassa olisi noudatettu samoja periaatteita laitteiden sijoittelussa, riskien hallinnassa, käyttäjä turvallisuudessa ja toteutustavassa. Jokainen poikkeava rakenneratkaisu vaikuttaa tuotantoprosessien toimintaan, joko suoraan tai välillisesti. Sa-

mankaltaisuus tuo tehokkuutta, mutta vaikuttaa myös itse rakennuttamisprojektin kuluihin merkittävästi. Sen lisäksi, että taustatyöhön käytettävä aika vähenee tiedon löytyessä yhdestä paikasta, suunnittelu nopeutuu ja rakentamisvaiheessa ilmenevät yllättävät tekijät vähenevät.

Vaikka teollisuudessa on tapana noudattaa tunnollisesti erilaisten standardien ja muiden yhteisöjen laatimia ohjeita, on joidenkin ohjeistusten kritisoitu olevan huonosti tarkoitustaan palvelevia ja ylimitoitettuja. Näitä kuitenkin noudatetaan, koska lain, asetusten ja standardien välinen hierarkia on monelle kokeneellekin rakennusalan ammattilaiselle tuntematon.

Opinnäytetyön tilaajana on AFRY Group Finland Oy, joka tilaa opinnäytetyön asiakkaalleen. Kyseinen asiakas toimii suurten teollisuusalueiden sähkönjakeluverkkojen omistajana ja operaattorina. AFRY on globaalisti toimiva, pohjoismaiden suurin suunnittelu- ja konsultointiyhtiö, jonka neljä päädivisioonaa toimivat Suomessa; Prosessiteollisuus, Energia, Infra ja Liikkeenjohdon konsultointi. Rakennesuunnittelu toimii kaikkien näiden alojen yhteydessä palvelemaan eri teollisuudenalojen toimintojen tarpeita. Työntekijöitä AFRY:llä on maailmanlaajuisesti 16 000, toimistoja yli 40 maassa ja projekteja 100 maassa. Yhtiö on vankasti keskittynyt kestävien ratkaisujen kehittämiseen yhdessä teollisuuden eri sektorien kanssa. (AFRY 2021.)

## **1.2 Tavoitteet ja tutkimuskysymykset**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää muuntamorakennusten suunnitteluun vaikuttavat lainsäädännölliset viranomaismääräykset ja säädökset, standardit sekä tilaajan vaatimukset. Selvitystyön avulla voidaan laatia rakennustekninen spesifikaatio sähköverkkoyhtiölle, joka operoi teollisuuden kriittisiä sähkönjakeluverkkoja. Spesifikaatio ohjaa uusien muuntamorakennusten suunnittelua ja rakentamista huomioiden teollisuusalueella sijaitsevien prosessilaitosten läheisen sijainnin mukanaan tuomat lisävaatimukset.

Spesifikaatio tulee toimimaan rakennesuunnittelua ohjaavana ja se käsittelee rakennusteknisiä vaatimuksia, turvallisuuteen liittyviä vaatimuksia ja käytännössä hyväksi havaittuja ratkaisuja muuntamorakennuksen eri tiloissa. Käy-



tännön tietoa on saatu tutustumalla kohteeseen tiloja käyttävien ammattilaisten johdolla ja keskusteluissa teollisuuden muuntamorakennuksia suunnittelevien asiantuntijoiden kanssa.

Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan asetettuihin tutkimuskysymyksiin:

- *Mitkä standardit, viranomaismääräykset ja suunnitteluohjeet ohjaavat teollisuuden muuntamorakennusten suunnittelua?*
- *Mitä asioita tulee ottaa huomioon näiden tilojen rakennesuunnitteluvaiheessa tavanomaisten kantavuustarkastelujen lisäksi?*
- *Ovatko tilojen käytettävyydessä tehdyt käytännön havainnot siirrettävissä spesifikaatioon?*

### **1.3 Tutkimusmenetelmät, rajaus ja toteutus**

Käytettävää aineistoa analysoidaan laadullisesti, eli tutkimusmenetelmäksi valikoituu kvalitatiivinen menetelmä. Analysoitavina aineistoina käytetään Suomessa voimassa olevia viranomaismääräyksiä, suunnittelua ohjaavia muita asiakirjoja sekä kansainvälisiä, eurooppalaisia ja kansallisia standardeja, jotka koskevat muuntamorakennuksen sisältämiä toimintoja. Myös rakennuksia käytettäessä kerätty tieto analysoidaan.

Opinnäytetyössä tavoitellaan tuotoksen tiedolla kyllästämistä, eli valittujen määriteltävien asioiden tulee toistua useassa aineiston teoksessa. Tämä takaa, että tuotoksessa ei ilmaannu yllättäviä uusia määääviä tekijöitä, vaan jokaisella valitulla määrityksellä on usean lähteen tekemä varmistus. Tätä varmistusta ei kuitenkaan eritellä erikseen tässä opinnäytetyössä, vaan työhön valittu sisältö on itsessään useassa lähteessä toistunut ja näin varmennettu.

## 2 STANDARDISOINTI

Tässä luvussa käsitellään standardisoimista globaalisti, kansallisesti ja yritysten sisällä. Luvussa käsitellään erityisesti rakennusalaan koskevien standardisointilautakuntien muodostumista ja niiden merkitystä nykyiselle rakennuttamista ohjaavalle standardisoinnille ja lainsäädännölle. Globaalien ja eurooppalaisten standardien, sekä kansallisen rakentamista ohjaavan lainsäädännön kietoutuminen yhteen on tärkeää ymmärtää, jotta rakentamista ohjaavien määräävien tekijöiden löytäminen on mahdollista.

### 2.1 Mitä on standardisointi

Standardisointi tarkoittaa sananmukaisesti normittamista eli asioiden normaalien määrittämistä. Esineiden kohdalla se voi esimerkiksi tarkoittaa ruuvinkierteen kaltevuuskulman määrittelyä ja prosessin kohdalla yksittäisen työntekijän työnoisuuden rajaamista tehokkuuden nimissä. Moderni standardisointi on teollisuuden kannattavuuden nimissä kehittynyt vastaamaan teollisen vallankumouksen myötä alkaneeseen kiihtyneeseen massatuotantoon.

Aluksi standardit kehittyivät teollisuuden vapaaehtoisina valmistustapoina ja eri maiden keskinäisinä sopimuksina vakiintuen hitaasti erinäisten sitoutujien kesken. Viimeistään ensimmäinen maailmansota siivitti jo alkaneen standardisoinnin kehityskulun kohti uutta aikakautta, jossa tarve tehokkuudelle kumpusi kansakuntien tarpeesta rakentua uudelleen vähin resurssein.

(Åberg & Comment 2014, luku 1.)

### 2.2 Kansainväliset standardit

Vuonna 1917 perustettiin Saksaan Der Normenausschuss der deutschen Industrie, joka myöhemmin tunnetaan nimeltä Deutscher Normenausschuss, DIN. Tämä oli ensimmäinen lukuisista kansallisista standardisoimista koordinoivista lautakunnista ja teollistuneet maat seurasivatkin seuraavalla vuosikymmenellä runsain joukoin perässä. Suomi seurasi muiden maiden esimerkkiä vuonna 1924 omalla standardoimislautakunnallaan Finlands Standardiseringskommisjonen – SFS. (Åberg & Comment 2014, 21.)

Kansainvälisen standardisoinnin alkumetreillä International Federation of the National Standardizing Associations (ISA) järjestöä perustettaessa SFS oli ensimmäisten maiden joukossa liittymässä siihen ja on täten ollut ISA:n perustajajäsen (Comment & Åberg 2014, 53). International Organization for Standardizationia, ISO:a perustettaessa ISA haudattiin kaikessa hiljaisuudessa toista maailmansotaa edeltäneen aikakauden järjestönä ja Suomi osallistui jälleen uuden kansainvälisen järjestön sääntöjen hyväksyntään (Åberg & Comment 2014, 74).

Sodan aikana Pohjoismaat olivat hakeneet taloudellista ja kaupallista tukea toisistaan ja perustaneet yhteistyötä helpottamaan INSTA-yhteisön Tanskan, Norjan, Ruotsin ja Suomen kesken. Pohjoismaiset käytänteet ja tavoitteet olivat standardisoinnin osalta toistensa kaltaisia ja kaikista tärkein rooli INSTA-yhteistyöllä olikin ISO-toiminnan piirissä. Kansainvälisessä organisaatiossa nämä maat pystyivät muodostamaan yhteisiä kantoja ja edustamaan niitä yhtenä rintamana. (Åberg & Comment 2014, 79.)

Eräs rakennusteollisuudessa tunnettu INSTA standardisointi on INSTA 142, joka lujuus luokittelee havupuu sahatavaraa ja se on harmonisoitu vastaamaan standardin EN 338 lujuusluokkia (PuulINFO 2020).

Merkittävimmät kansainväliset standardoimiselimet tällä hetkellä ovat WTO:n sopimuksissa mainitut

- The International Electrotechnical Commission (IEC)
- The International Organization for Standardization (ISO)
- The International Telecommunication Union (ITU)
- The Codex Alimentarius Commissions (CAC)
- The International Plant Protection Convention (IPPC)
- The World Organization for Animal Health (OIE)

(ISO publication on Good Standardization Practices 2019, 27–28).

### **2.3 Eurooppalaiset standardit**

Kansainvälisen kaupan kasvun myötä alettiin kokea voimakasta tarvetta harmonisoida eri maiden standardeja keskenään sopiviksi. Uusien kauppakumppanimaiden tuotteet kohtasivat maiden rajoilla lennätinajoista tutun ongelman eli yhteisen järjestelyn puutteen. Saksasta ostetut ruuvit eivät aina kierteiltään

sopineet italialaisiin muttereihin tai Espanjassa lujuusluokiteltua terästä oli lähes mahdotonta suunnitella käytettäväksi Iso-Britannian monissa silloissa. Vaikka Suomessa oli jo käytetty tärkeimpien kauppakumppanuusmaiden normeja Länsi-Saksan DINiä ja Iso-Britannian BSI:tä, oli niiden ja kansallisten standardien harmonisointi vaillaista. (Åberg & Comment 2014, 91.)

European Economic Communitiesin (EEC) ja European Free Trade Associationin (EFTA) jäsenmaiden kansalliset standardisointijärjestöt perustivat yhdessä vuonna 1961 Comité Européen de Coordination des Normesin, joka tunnetaan lyhenteellä CEN. Tämän järjestön tarkoituksena oli harmonisoida jäsenmaiden standardeja keskenään sopivimmiksi ja yhtenäistää näin kaupankäyntiä Euroopan sisällä. CENin perustamisen jälkeen INSTA-maat siirsivät yhteistoiminnallisen tavoitteellisuutensa ISON alaisuudesta CENin piiriin. (Åberg & Comment 2014, 93.)

CEN muutti toimintaansa 70-luvulla niin, että harmonisoinnin sijaan se alkoi laatia yhteisiä eurooppalaisia standardeja. Eurooppalaisessa standardisoinnissa oli kansainväliseen standardointiin verrattuna erityinen piirre, joka antoi yhteistyökumppaneille markkinaetua. Standardeja valmistelevat työryhmät eivät olleet nimettyjä yleisiä komiteoita vaan erityisesti tietyn standardin laatimista varten koostettuja työryhmiä alan ammattilaisista. Työryhmien koko ja määrä vaihteli tarpeen mukaan. (Åberg & Comment 2014, 95.)

Rakennusteollisuuden kannalta merkittävin piirre, joka ohjaa kansallista rakentamista nykyään, oli EFTAn päätös standardien määräämisestä yleisesti noudatettaviksi viranomais määräyksien voimalla. SFS:stä tuli pakollisten standardien kansallinen koordinaattori vuonna 1966. (Åberg & Comment 2014, 94.)

## **2.4 Suomalaiset standardit ja määräykset**

Vuonna 1942 säädettiin Suomessa standardisointilaki, joka tarkoitti, että valtioneuvosto sai määrätä kotimaisia ja tuontituotteita ohjaavat standardit ja rakenteiden ominaisuuksia koskevat tekniset määräykset (Åberg & Comment 2014, 63).

Rakentamisen standardisointi käynnistyi kunnolla vasta talvisodan jälkeisenä aikana irrallaan SFS:stä kuuluen Arkkitehtiliiton jälleenrakennuskomitean alaisuuteen. Arkkitehtiliiton Standardisoimislaitos alkoi julkaista Rakennustieto kortteja eli RT-kortteja, joiden ei ollut määrä vastata SFS:n standardisoinnin vaatimuksiin, vaan toimia eräänlaisina esistandardeina tai kevytstandardeina. Nämä sopivat sodan ajan Suomeen hyvin ja ovat jääneet yleiseen käyttöön. (Åberg & Comment 2014, 63.)

Standardeja laadittiin rakentamisteollisuudessa laajalla kentällä eikä kaikkea alun perin pyritty viemään Suomen standardoimislautakunnan kautta. Metalliteollisuus laati omia TES-standardeja ja Rakennusinsinööriyhdistys laati rakennusteknisiä ratkaisuja koskevia RIY-normeja, jotka tunnettiin myöhemmin RIL-normeina. SFS vahvisti RIL-normeja, RT-kortteja ja TES-normeja virallisiksi kansallisiksi standardeiksi 70- ja 80-lukujen aikana. (Åberg & Comment 2014, 90.)

Suomessa viranomaisten määräyksissä ja laeissa alettiin siirtyä viittausmenetelyyn CENin toiminnan myötä. Tämä tarkoitti, että laissa saatettiin viitata Euroopan talousalueella käytettävään standardiin, jolloin se nousi lainvoimaiseksi ja määrääväksi ohjeeksi. EN-standardeista onkin tullut Suomessa rakentamisalalla määrääviä ohjeita vuoden 1966 jälkeen. (Åberg & Comment 2014, 94.)

Suomessa SFS:n alaisuudessa toimivat toimialayhteisöt, jotka tällä hetkellä vastaavat standardisoinnista ovat

- Kemesta ry
- Liikenne ja viestintävirasto Traficom
- Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys METSTA ry
- Muoviteollisuus ry
- Rakennustuoteteollisuus RTT ry
- SESKO ry
- Suomen ympäristökeskus SYKE
- Väylävirasto
- Yhteinen Toimialaliitto YTL ry

(Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2021).

## 2.5 Yritysten rooli standardisoinnissa

Standardien noudattaminen oli alun perin vapaaehtoista toimintaa ja niiden laadinta oli yksityisen sektorin rahoittamaa. Standardoimisen yleistyessä ja standardeihin viittaamisen muuttuessa lainvoimaiseksi toimintatavaksi nousi kansallisesti kysymys standardisoinnin ydintoiminnasta. Valtio on vastuullinen viitatessaan lainsäädännössään standardeihin, jotka vaikuttavat yhteiskunnallisiin intresseihin kuten työterveyteen, mutta standardisoinnin muuttuminen valtiovetoiseksi vähentäisi yksityisen sektorin osallistumishalua standardisointiin. Standardisointi on päätetty pitää erillään valtiollisesta säätämisestä, mutta ajoittain standardeihin viittaamisesta käydään kiivasta keskustelua edelleen ja se on noussut uudelleen ajankohtaiseksi aiheeksi yhteiskuntavastuun ollessa standardisoinnin kohteena ISOssa. (Åberg & Comment 2014, 118.)

SFS on purkanut yhteistyösopimukset vuonna 1994 ja niiden alainen toiminta on siirretty kokonaisuudessaan toimialayhteisöille. Tämän opinnäytetyön kannalta tunnetuin purettu yhteistyösopimus on Prosessiteollisuuden Standardoimiskeskuksen PSK:n sopimus. PSK-standardit ovat kuitenkin edelleen laajalti suosittuja ohjeita prosessiteollisuuden piirissä. Tällainen laaja-alainen toimialat ylittävä standardisointityö on nykyään jaettu SFS:n ja eri toimialayhteisöjen kesken. (Åberg & Comment 2014, 131.)

Yritysten rooli on standardisoinnin alkuaikoihin nähden pienentynyt ja teknisiä yksityiskohtia sisältävien standardien noudattaminen on edelleen vapaaehtoista. Ainoastaan laissa ja säädöksissä viitatut standardit ovat pakollisia.

Yritys, joka osallistuu aktiivisesti tuotteen tai menetelmän standardisointiin saa merkittävää markkinaetua kilpailijoihin nähden. Sen lisäksi, että standardia noudattava yritys koetaan luotettavammaksi toimijaksi, on normittamiseen osallistuja usein tietoinen seuraavasta kehityskohteesta ja mahdollisista muutoksista. Oman prosessin tai tuotteen muuttaminen standardinmukaiseksi on työläämpää kuin oman tuotteen tai prosessin määrittäminen uudeksi standardiksi.

Standardisointi on toisaalta yritysten roolien vuoksi myös ristiriitaista. On pyrittävä ajamaan omaa etuaan, mutta myös avattava oma markkina vapaalle kilpailulle ja pyrittävä helpottamaan sitä. Jokainen standardisointityö on sen hetken paras kompromissi. (Åberg & Comment 2014, 181–182.)

## **2.6 Menetelmätyyppiset määritelmät eli spesifikaatiot**

Rakentamista ohjaava lainsäädäntö ja standardit antavat runsaasti vapauksia suunnittelijalle toteuttaa tilaajan tarpeita kunhan suunnitteluratkaisut eivät vaaranna henkilö- ja pelastusturvallisuutta tai vaikuta negatiivisesti rakenteiden terveellisyyteen, kestävyYTEEN tai elinkaareen. Tämä vapaus näkyy esimerkiksi omakotitalojen ja julkisten rakennusten moninaisuutena. Niiden tarkoitus on näyttää monipuolisilta ja näin elävöittää joko kaupunkiympäristöä tai asukkaita itseään. Arkkitehtuurinen moninaisuus ei kuitenkaan usein sovi tehokkaan rakentamisen kanssa samaan ajatusmaailmaan. Rakennuksia tarvitaan myös alati kasvavaan kaupunkilähiöiden asutokesyntään, prosessien ja laitteiden suoJiksi, varastoiksi ja tilapäisrakennelmiksi. Tällaisiin tarpeisiin vastamisessa korostuu suunnittelun tehokkuus ja yhdenmukaisuus.

Standardisointi on globaalisti ja kansallisesti vastaus tuotannon tehostamiseen, lopputuotteiden yhdenmukaisuuteen ja kilpailun lisäämiseen. Spesifikaatio on yrityksen tai yhtiön oma standardi, jolla lisätään sisäisen toiminnan yhteensopivuutta ja tehokkuutta. Spesifikaatioita on yrityksellä usein monia ja niihin lukeutuvat esimerkiksi suunnitteluohjeet, tuoteohjeet sekä asennus- ja työohjeet.

Rakennustekninen spesifikaatio on dokumentaatio, jossa rakennesuunnittelulle annetaan rajat, joiden sisällä suunnittelija voi tehdä valintoja. Spesifikaation laadintaan sisältyy lainsäädännön ja kohteeseen liittyvien standardien läpikäynti ja niistä käytettävän tiedon poimiminen. Tietoa kerätessä täytyy suhtautua standardeihinkin lähdekriittisesti ja arvioida niiden tarkoituksenmukaisuus kohteessa. Spesifikaation voi ajatella olevan laadunhallintajärjestelmä, jonka avulla voidaan varmistaa lopputuloksen laatuvaatimusten täyttyminen (Nieminen 2021).

### 3 RAKENNESUUNNITTELUN TOIMENPITEET

Kaiken rakenteellisen suunnittelun voi jakaa pääpiirteissään kahteen vaiheeseen: Ensin lasketaan tai arvioidaan rakenteeseen vaikuttavat määräävät kuormat ja jännitykset rakenteellisten analyysien keinoin, eli mietitään, mitä rakennuksen tulee kestää kyseessä olevassa tilanteessa ja paikassa. Sen jälkeen mitoitetaan rakenteet taloudellisesti ottaen huomioon turvallisuus, stabiiliteetti, huollettavuus ja käytettävyys. Toisin sanottuna tämä tarkoittaa rakenteiden materiaalien, profiilien ja jännevälien valitsemista turvallisuussäädösten, standardien, käyttäjien ja tilaajan ehdoilla niin, että ne kestävät vähintään suunnitellun käyttöiän ajan. (Hassoun & Al-Manaseer 2015, 1.)

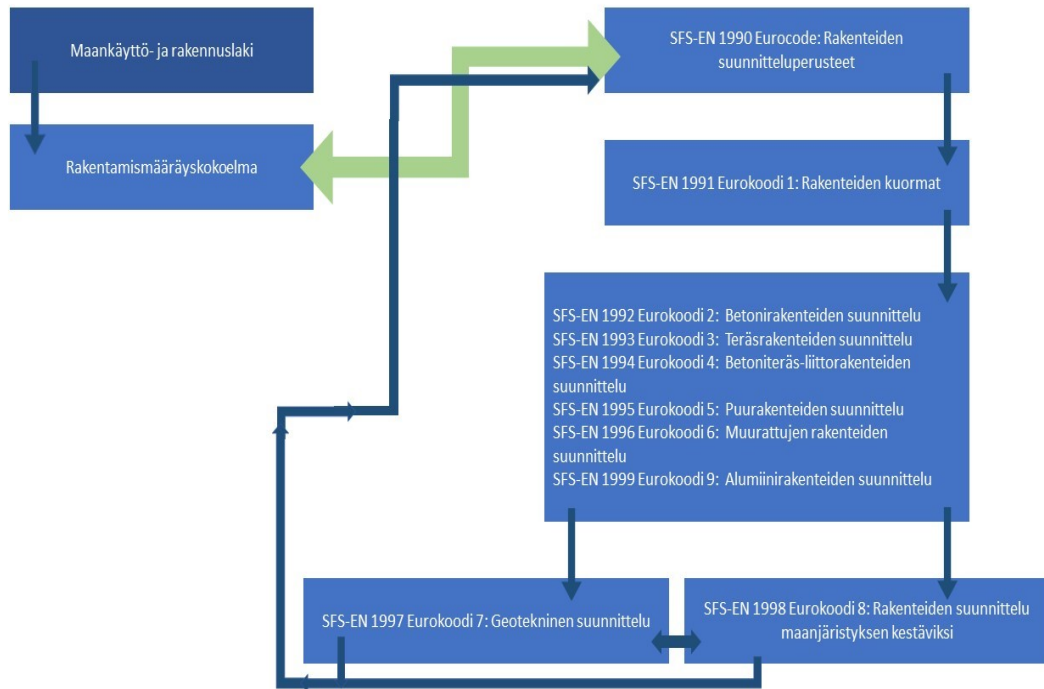
Rakennuksen tulee kestää onnettomuustilanteissa niin, että mahdolliset vauriot eivät ylitä laajuudellaan alkuperäistä syytä. Pieneksi luokiteltavan onnettomuuden tai inhimillisen virheen ei tule aiheuttaa rakennuksessa esimerkiksi jatkuvaa sortumaa. (RIL 201-1-2017:2017, 25.)

Suunnittelijan on aloittaessaan suunnittelutyötä selvitettävä, mikä määrittelee rakennuksen tilojen ja rakenneosien vaatimukset. Suomessa rakentamista ohjaa ylimmäisenä toimijana Maankäyttö- ja rakennuslaki (kuva 1). Maankäyttö- ja rakennuslaissa annetaan asetuksenanto-oikeus ympäristöministeriölle, joka antaa asetukset lainvoimaisina viranomaismääräyksinä rakentamismääräyskokoelmassa. Rakentamismääräyskokoelmassa olevat määräykset ohjaavat uuden rakennuksen rakentamista ja soveltuvilta osin sitä voi käyttää myös korjausrakentamiskohteissa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.)

Eurokoodit ovat laaja asiakirjakokonaisuus koskien kantavien rakenteiden suunnittelua ja ne on koostettu Euroopan unionin standardisointielimessä. Rakentamisen osalta niihin sisältyvät kaikki yleisimmät rakennusmateriaalit ja niitä julkaisee tai vahvistaa Suomessa Suomen Standardoimisliitto SFS. Eurokoodeja käytetään yhdessä kansallisten liitteiden (NA) kanssa. Jos riskienhallinta on otettu huomioon muilla tavoilla, päätetään yhdessä paikallisen rakennusvalvonnan kanssa käytännöistä, joiden avulla tulokset varmennetaan. Esimerkiksi laskennallista palomitoitusta tehdessä on sallittua käyttää eurokoodiston tarjoamaa laskentamenetelmää yhdessä eurokoodin tarjoamien arvojen kanssa, vaikka niitä ei ole kansallisessa liitteessä kirjattu yleisesti käytettä-



väksi tavaksi. Kansalliset liitteet ovat ympäristöministeriön vahvistamia asetuksia eli ne kuuluvat rakentamismääräyskokoelman kautta lainvoimaisiin määräyksiin. Kansallisissa liitteissä on ilmoitettu suunnittelussa apuna käytettäviä kansallisia parametrejä. (Nykyri 2020a, 13.)



Kuva 1. Suunnittelua ohjaava laki, säädökset ja standardit (Nykyri 2020a, 13)

Teollisuuden tarpeisiin suunniteltavat rakennukset eivät ole poikkeus lainsäädännöllisesti katsottuna ja noudattavat samoja rakennusten suunnittelun käytäntöjä kuin kuvassa 1 esitetään. Teollisuuden tarpeisiin vastaavat rakennukset kuitenkin usein poikkeavat tavanomaisesta asuintalojen ja liiketilojen rakentamisesta kuormien, kemikaalirasitusten, käyttöiän ja käyttötarkoituksen osalta. Palokuorma onnettomuustilanteessa voi olla huomattavan suuri ja vaikuttaa rakenteisiin sisä- ja ulkopuolelta samanaikaisesti tai se voi olla erittäin pieni suuressa hallissa ja vaikuttaa pistemäisesti. Erilaisissa halleissa yleisesti käytetyt siltanosturit taas ymmärrettävästi aiheuttavat rakennuksen rungolle suuria vaakavoimia.

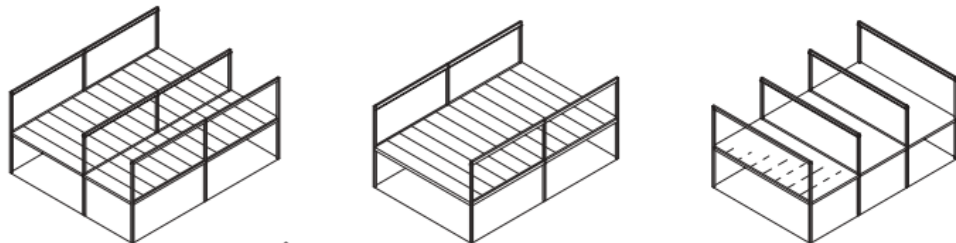
Teollisuus- ja varistorakennuksia koskien laki antaa käyttäjä- ja pelastusturvallisuuden osalta vain vähimmäisvaatimukset, joita voi noudattaa joko tau-

lukkumitoituksella tai laskennallisesti suoritettuina. Rakennuksien käytettävyydelle ja rakenteiden toimivuudelle löytyy ohjaavia tietoja standardeista, mutta suurin osa tilojen vaatimuksista ja tarpeista on käyttäjillä ja tilaajilla itsellään.

### 3.1 Runkojärjestelmät, jäykistys ja rakenneosat

Rakennuksen runkojärjestelmä valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Teollisuudessa käytettävät rakennukset ovat hyvin moninaisia, mutta usein niille yhteistä on raskaat kuormat, suuri tilantarve ja rakennuksen sisäosien muokattavuus tuotetun prosessin mahdollisten muutoksien vaatimuksia vastaavaksi. Nämä vaatimukset johtavat usein pilari-palkki-laattarunkojärjestelmän tai pilari-palkkirunkojärjestelmän valintaan, jotta rakenteilla olisi mahdollisimman suuri kantokyky, pienet muodonmuutokset ja vaakarakenteilla mahdollisimman pitkät jännevälit. (Vänttilä 2016.)

Pilari-palkki-laattarunkojärjestelmässä laatat siirtävät kuormat palkeille, palkit pilareille ja pilarit lopuksi perustuksille. Kuvassa 2 on nähtävissä esimerkkejä pilari-palkki-laattajärjestelmällä tehtävistä tilanjakoratkaisuista, sekä laattojen ja palkkien suuntautumisesta toisiinsa nähden. Jäykistys hoidetaan tavallisesti sydänjäykistykseenä, eli massiivinen mastorakenne jäykistää rakennuksen pystysuunnassa ja välipohjalaatatot vaakasuunnassa. Jos pilari-palkki-laattarunko on tehty paikallavalettuna betonirunkona, pilareiden ja palkkien liitospaikkaan muodostuu jäykkä liitos ja ne toimivat yhdessä kehärakenteena. Kehäjäykistämällä voidaan jäykistää korkeintaan muutaman kerroksen korkuisia rakennuksia. (Nykyri 2020a, 78.)

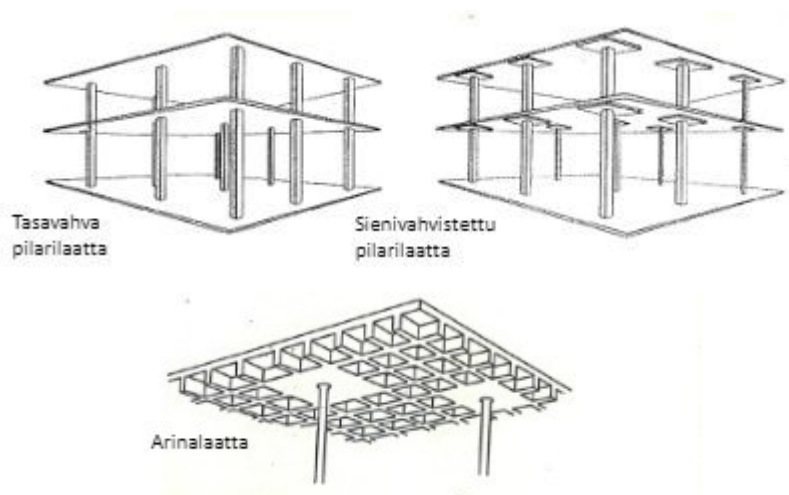


Kuva 2. Pilari-palkki-laatta-runkojärjestelmiä (RT 82-10765 2001, 6)

Myös pilari-laattarunkojärjestelmä lukeutuu yleisimpiin ratkaisuihin betonilla toteutettuna. Tässä järjestelmässä välipohjana toimii massiivinen paikallavalettua

betonilaatta tai arinan tapaan toimiva paikallavalettu laattarakenne (Vänttilä 2016). Laattarakennetta voidaan vahvistaa sienimäisellä lisälaattalla tai arinalaatasta jättämällä laatan ylösnosto tekemättä pilarien kohdalla. Tämä vahvistaa laatan kestävyyttä pilarista tulevaa läpileikkausvoimaa vastaan kasvattamalla pinta-alaa, johon voima kohdistuu (kuva 3).

Arinan tapaan toimivalla laattarakenteella tarkoitetaan laattarakennetta, jossa laatan alapinnassa on joko yhteen- tai molempiin suuntiin ripoja. Koska raudoituksesta pääosa sijoitetaan ripoihin, voidaan ripojen välissä olevaa laattaa oleellisesti ohentaa. Tämä taas keventää rakennetta ja mahdollistaa näin sellaisten pilari-laattarakenteiden toteutuksen, jossa paino voi tulla toteutusta rajoittavaksi tekijäksi. Ripa- ja arinalaatat voidaan suunnitella ja mitoittaa laattapalkkien säännöillä eurokoodiston mukaan. (Nykyri 2020b, 7.)



Kuva 3. Pilari-laatta runkojärjestelmiä ja arinalaatta (Vänttilä 2016)

Pilari-laatta-runkojärjestelmän jäykistäminen hoidetaan tavallisesti joko sydänmastojäykistämällä tai erillisillä ristikkorakenteilla (Nykyri 2020a, 79).

Nykyisin lähes kaikki betonirakenteiset asuinrakennukset toteutetaan kantavat seinät-laatta -järjestelminä. Tässä järjestelmässä jäykistäminen hoidetaan levyjäykistysnä seinärakenteella kantavien seinien ollessa sijoitettuna rakennuksen molempiin pääsuuntiin. Jos välipohjalaatasto on toteutettu elementtirakenteisena, se saadaan toimimaan yhteneväisenä jäykistävänä levyrakenteena, joko rengasraudoituksella, joka kiertää laattakentän tai saumaraudoituksella, joka sitoo laatat toisiinsa saumojen kohdalta. (Nykyri 2020a, 78.)

Teräsrakenteiset runkojärjestelmät ovat yleisesti käytettyjä teollisuusrakentamisessa erityisesti kevytteollisessa tarkoituksessa. Yleisin runkojärjestelmä teräksellä toteutettuna on pilari-palkkirunkojärjestelmä. Välipohjana käytetään tässä yhteydessä useimmiten elementtirakenteisia rakenneosia. Siinä kuormat siirtyvät kuten pilari-palkki-laattajärjestelmässä (kuva 2), mutta jäykistykseen saatetaan käyttää sydänmastojäykistykseen sijaan tai sen lisänä myös teräsristikkorakenteita. (InnoSteel & HAMK 2008, 60.)

Tilaelementtirakentaminen tuo muihin runkojärjestelmiin verrattuna aivan omaa luokkaansa olevan esivalmistusasteen. Tilaelementtirakentaminen kehittyy kuten rakennusalaalla kaikki käyttökelpoisiksi todetut rakentamistavat yrityksen ja erehdyksen kautta. Muihin rakennustapoihin verrattuna tilaelementtirakentamisen historia on lyhyt, joten kehitysprosessi on kesken. Tämä saateen kokea tämänhetkisten tilaelementtirakennusprojektien epäonnistumisina, vaikka kyseessä on luonnollinen kehityskulku, jossa suunnittelu, toteutuskäytänteet ja vastuut löytävät paikkansa. Teollisuuden tarpeisiin tilaelementtejä valmistetaan suurimmaksi osin teräksestä ja betonista, joten materiaalien osalta niillä ei saavuteta kustannuksissa hyötyjä. Kustannushyödyt realisoituvat sekundääreinä hyötyinä, kuten säästettynä aikana työmaalla, vähentyneinä raportointi-, dokumentointi- ja kilpailutustöinä sekä muutostöiden tarpeen vähentymisellä. Tilaelementit vaativat niiden käytön tiedostamisen jo esisuunnitteluvaiheessa, jotta niillä saavutettava hyöty olisi mahdollisimman suuri. Paikalleen nostamiseen jälkeen tilat ovat lähes välittömästi käyttöönottokytkentöjä vaille valmiit. (Smith 2010, 46.)

Runkorakenteen valintaan vaikuttaa sen sopivuus suunniteltavaan rakennusprojektiin. Jokaisella ratkaisulla on huomioon otettavia ominaispiirteitä. Rungon ollessa teräsrakenteinen, esivalmistuksella päästään tehokkaimiin tuloksiin asennusvaiheen nopeutuessa verrattuna paikalla valettuihin runkorakenteisiin. Teräsrakenteiden nostamiseen paikoilleen asentamista varten riittää muutaman kerroksen korkuisessa rakennuksessa ajoneuvonosturi, mutta koska välipohja tehdään usein pitkistä betonielementeistä tarvitaan nosturilta suurempaa kapasiteettia ja nostoulottuvuutta.

Paikalla valetun betonisen runkojärjestelmän valitseminen sopii moninaisia muotoja ja tasoja sisältäviin kohteisiin erinomaisesti, koska monimuotoista lopputulosta varten ei tarvitse joustaa suojaustason saavutettavuudella. Betonimassan valaminen rakennuspaikalla kuitenkin muodostaa suuren kuluerän rakentamisen aikaisista kustannuksista. Muottityöt usein yli kaksinkertaistavat valmiin rakenteen lopullisen hinnan (taulukko 3) ja tahdittavat työmaatuotannon. Betonille täytyy myös suorittaa lopullisen lujuuden saavuttamiseksi asianmukainen jälkihoito. (Hassoun & Al-Manaseer 2015, 16.) Näiden edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa rakenteen palosuojauksen erillistarpeeseen, huollettavuuteen ja asennustöiden nopeuteen.

### 3.2 Materiaalien valinta

Rakennusmateriaalien lujuusominaisuudet vaihtelevat merkittävästi jopa oman materiaalityypin sisällä. Erityisesti verrattaessa keskenään eri materiaalityypien yleisimpiä käytettyjä laatuja tulevat eroavaisuudet selkeästi havaittaviksi (taulukko 1). Vertailtaessa materiaalien ominaisuuksia näin suoraviivaisesti keskenään on ymmärrettävä, että syvälinen materiaaliopin, dimensioiden ja rasituksen suuntien vaikutus vertailussa on jätetty yksinkertaistuksen vuoksi pois. Vertailun tarkoitus on havainnollistaa karkeasti oman ryhmänsä lopputuotteiden lujuuden eroavaisuuksia. On syytä korostaa, että lujuus ei ole synonyymi käyttötarkoitukseen sopivalle.

Taulukko 1. Eri materiaalityypien yleisimpien tuotteiden lujuuksien vertailu (Pellosniemi & Kalamies, 656; RIL 205–1–2017, 53; Mannonen 2012, 81; Nykyri 2020a, 102)

Materiaalityyppi	Puu	Betoni	Metalli
Tuote/laatu	Liimapuu GL30h	Betoni C30/37	Rakenneteräs S355J2G3
Myötölujuus (Puristuslujuus), karakteristinen arvo	24 N/mm <sup>2</sup> (syiden suuntainen)	37 N/mm <sup>2</sup> (kuutiolujuus)	355 N/mm <sup>2</sup>
Vetomurtolujuus, karakteristinen arvo	19 N/mm <sup>2</sup> (syiden suuntainen)	3,7 N/mm <sup>2</sup>	510–680 N/mm <sup>2</sup>

Taulukosta 1 voidaan todeta, että eri materiaaliryhmien edustajien väliset karakteristiset lujuusarvot vaihtelevat suuresti.

Ruduksen valmisbetonihinnaston mukaan (2021, 7) normaalisti kovettuvan rakennebetonin kilohinta laadulle C30/37 vaihtelee välillä 133,32–173,65 €/m<sup>3</sup> eli betonin kuutiopainolle 2,0 kN/m<sup>3</sup> jaettuna kalleimmillaan 86,81 €/tonni. Teräksen kilohintaa laskettaessa Teknologiateollisuuden Teräs- ja metallihintaraportin kuumavalssattujen kelojen USA:n tonnihinnan mukaan (2015, 2) tulee lopputulokseksi n. 350 €/tonni. Betonimassa tulee asennusvalmiina massana halvemmaksi kuin teräs pelkkänä raaka-ainehintana. Pelkällä kilohinnalla suoritettu vertailu ei kuitenkaan ole käytännössä taloudellista, koska molemmat materiaalit ovat optimaalisia erilaisissa tilanteissa ja olosuhteissa. Teräksellä saavutetaan haluttu loppulujuus huomattavan paljon pienemmällä raaka-ainemäärällä ja asennustyöllä.

Koska prosessiteollisuudessa käytettäville rakennuksille tulevat käyttökuormat, onnettomuuskuormat, kemialliset kuormitukset sekä tilantarve ovat usein hyvin suuria, materiaalivalikoima supistuu käytännössä kahteen pääraaka-aineeseen: betoniin ja teräkseen. Teollisuusrakennuksissa käytettävien rakennosien materiaalien valitsemisessa on otettava huomioon materiaaleilla saavutettava kokonaishyöty. Kaikista taloudellisinta on optimoida rakenneosat materiaaleja myöten vastaamaan rakennukselta toivottaviin ominaisuuksiin niin, että ne kestävät vaurioitumatta vakavasti suunnitellun käyttöiän ajan (Nieminen 2021). Taulukoissa 2 ja 3 on eritelty näille materiaaleille lueteltuja etuja ja heikkouksia toisiinsa nähden yleisesti tärkeimmiksi miellettyjen ominaisuuksien kannalta.

Taulukko 2. Betonin edut ja heikkoudet (Hassoun &amp; Al-Manaseer 2015, 3)

Betonin etuja	Betonin heikkouksia
Suhteellisen suuri puristuslujuus	Taivutuslujuus on vain noin 1/10 osa puristuslujuudesta
Terästä parempi palonkesto	Lopulliseen lujuteen/kestoon vaikuttaa moni vaihe (sekoitus, valu, jälkihoito)
Pitkä käyttöikä alhaisilla huoltokustannuksilla	Muottityöt ja -materiaalit kalliita, kaksinkertaistavat kulut
Kaikista taloudellisin materiaali kohteissa olosuhteissa (padot, laiturit, anturat jne.)	Puristuslujuus alhainen teräkseen verrattuna, noin 1/10 osa riippuen teräksen laadusta ja dimensioista
Halutun muodon saavuttaminen helpo	Halkeilu yleistä johtuen mm. muuttuvista kuormista ja kutistumasta

Taulukko 3. Teräksen edut ja heikkoudet (InnoSteel &amp; HAMK, 2008, 16–20)

Teräksen etuja	Teräksen heikkouksia
Korkea esivalmistusaste, asennuskulut betonia huomattavasti alhaisemmat	Palonkesto betonia heikompi, vaatii erityissuunnittelua
Suuri mittatarkkuus	Suuri mittatarkkuus, vähemmän tilaa mittavirheille asennuksessa
Korkea kierrätysaste	Valmistuksen suuret ilmastovaikutukset, ei toimi hiilivarastona
Suhteellisen kevyt lujuteensa nähden, ohuet ja monipuoliset rakenteet	Raaka-ainekulut suuret
Kantavuus lisättävissä, lisäosien hitsaus helppoa jälkikäteen	Betonia suurempi sivuttaisen tuennan tarve

Yllä olevista taulukoista käy ilmi materiaalivalintojen soveltuvuus kohteisiin halettujen saavutettavien asioiden perusteella. Korkean kierrätysasteen ollessa merkittävä on teräs optimaalisin valinta. Betoni soveltuu hyvin kestävyytensä puolesta kohteisiin, joissa se on kosteudelle alttiina. Betonin kosteudenkestokyky on terästä korkeampi ja huollettavuuden tarve matalampi.

Jos teräsrunгон osat palosuojataan maalaamalla, on osien käsittelyyn maalaamisen jälkeen kiinnitettävä erityisesti huomiota. Nostotöissä ja kuljetuksessa osat on suojattava mekaaniselta kulumiselta, jottei palonsuojamaalaus vahingoitu. Osien muokkaaminen hitsaamalla on jälkikäteen haastavaa palonsuojamaalauksen vuoksi. Hitsatut muutoskohdat on puhdistettava huolellisesti ennen paikkamaalausta palonsuojamaalilla. Palonsuojamaalaus tehdään usein työpajalla ja tarkasti valvotuissa olosuhteissa, jotta voidaan varmistaa sen riittävä paksuus ja tasainen levittyvyys. Työmaalla ei voida palosuojata maalaamalla teräsosia samalla tarkkuudella kuin metallipajalla, mutta maalaus on kyllä mahdollista. (Ratu 0439, 9–10.)

### **3.3 Rakennuksen paloluokka, palokuorma ja osastointi**

Tässä alaluvussa esitetyt pohdinnat ja johtopäätökset perustuvat pitkälti Suomen säädöskokoelman Ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017), sekä asiantuntijoilta saatuihin ohjeisiin palokuorman laskennasta ja paloluokista. Teollisuussähkötiloja koskevilta osin on käytetty lähteinä myös suoraan niitä koskevia standardeja ja ohjeita.

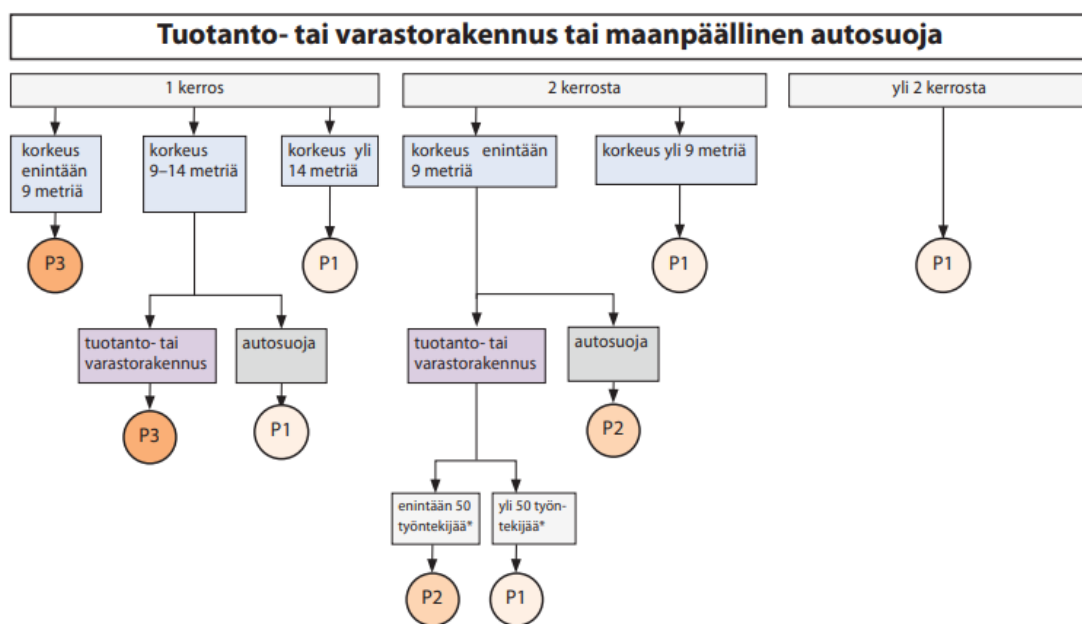
Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017, 3) todetaan suunnittelijoiden vastuusta seuraavaa:

*Pääsuunnittelijan, rakennussuunnittelijan ja erityissuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti huolehdittava rakennuksen suunnittelusta niin, että rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti täyttää paloturvallisuudelle asetetut olennaiset tekniset vaatimukset.*

Asetuksessa mainitaan, että suunnittelussa on otettavan huomioon käyttötarkoituksen mukaisuuden arviointi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, ettei rakennusta tule suunnitella tietoisesti niin, että käyttäjäturvallisuus vaarantuu, taloudelliset vahingot ovat onnettomuustilanteessa omaisuusarvon huomioon ottaen kestävämmät tai pelastustyöt vaikeutuvat. (Suomen säädöskokoelma 848/2017, 3.)



Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta määrittää tavat luokitella rakennuksia annettujen luokkien ja lukuarvojen perusteella. Paloluokat ovat P1, P2, P3 ja P0. Kun suunnitellaan teollisuudessa käytettävää sähkötilaa, määritellään rakennuksen paloluokka tuotanto- ja varastotilojen ryhmän vaatimuksilla, kuten kuvassa 3 on esitetty. Luokiteltaessa rakennuksia luokkiin P1, P2 ja P3 luokitellaan ympäristöministeriön asetuksen 848 mukaisen taulukoiden ja lukuarvojen avulla, jotka perustuvat standardipalon lämpötila-aikakäyrään. Se kuvaa palotilanteen äärimmäisiä arvoja ja tuo näin rakenteellista varmuutta palotilanteeseen ylimitoituksella. P0 luokittelu tehdään kokonaan tai oleellisilta osin oletettuun palonkehitykseen perustuen. Oletetussa palonkehityksessä otetaan huomioon syttymis-, kytemis- ja sammumisvaihe, sekä tilassa vallitsevat todelliset olosuhteet. Kantavien rakenteiden palokäyrä määritellään tapauskohtaisesti perustuen palokuorman määrään ja laatuun. (Teräsrakenneyhdistys & Ramboll 2019, 3.)



Kuva 3. Teollisuus ja varastorakennuksen paloluokan määrittäminen ja keskeiset palotekniset vaatimukset (RT 103131, 6)

Paloluokitus P1 on eniten suojausta vaativa luokitus rakenteiden palonkestolle. Rakennuksen paloluokituksen ollessa P1 on rakennuksen palo-osastojen palokuormat määriteltävä. Määrittelyyn voi suorittaa joko käyttötarkoitukseen perustuvalla luokittelulla tai laskemalla palo-osaston palokuorman. (Suomen säädöskokoelma 848/2017, 4.)

Palokuormalla tarkoitetaan lämpöenergian määrää, joka tilassa olevasta materiaalista vapautuu sen palaessa täydellisesti, eli kun materiaali luovuttaa kokonaan tiheyteensä sitoutuneen energian lämpöenergiana ympäristöön (SFS-EN 1991–1–2+AC, 22). Palokuorman ominaisarvon voi määrittellä laskennallisesti kaavalla 1.

$$Q_{f,i,k} = \sum M_{k,i} * H_{ui} * \Psi_i = \sum Q_{f,i,k,i} \quad (1)$$

jossa	$Q_{f,i,k}$	palokuorman ominaisarvo	[MJ]
	$M_{k,i}$	palavan materiaalin määrä	[kg]
	$H_{ui}$	materiaalikohtainen nettolämpöarvo	[MJ/kg]
	$\Psi_i$	oletettavasti palonkestävän suojan sisällä olevalle palokuormalle käytettävä kerroin	[-]

(SFS-EN 1991–1–2+AC, 80)

Palokuorman tiheyden ominaisarvo määritellään kaavalla 2.

$$q_{f,k} = Q_{f,i,k}/A \quad (2)$$

jossa	$q_{f,k}$	palokuorman tiheyden ominaisarvo	[MJ/m <sup>2</sup> ]
	$Q_{f,i,k}$	palokuorman ominaisarvo	[MJ]
	$A$	palotilan tai siitä tarkasteltavan osan lattiapinta-ala	[m <sup>2</sup> ]

(SFS-EN 1991–1–2+AC, 80)

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta mainitaan, että tuotanto- ja varastotilojen palokuorma määritetään kohdekohtaisesti. Käyttötapaakohtaisen määrittelyn voi siis tulkita sopimattomaksi näissä tilanteissa. Palokuorman määrittely ohjeistetaan tekemään tässä tapauksessa muilla sallituilla tavoilla. Käytännössä muut sallitut tavat tarkoittavat laskennallista menettelyä. (Suomen säädöskokoelma 848/2017, 4.)

Tehtäessä palokuorman määrittelyä laskennallisesti noudattaen SFS-EN 1991–2 standardia on sen liitettä E: Palokuormien tiheydet, pakollista soveltaa kansallisesti vähintään kohdan E.4 Lämmönluovutusnopeuden Q osalta. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2016, 2.) Vaikka kohtaa E.2 ei määritellä pakolliseksi tavaksi laskennalle, sitä voi käyttää ohjeellisena tapana. Suunnittelijan harkinnan mukaan, voidaan käyttää myös muita ohjeita ja käsikirjoja (Jantunen 2021).

Teollisuuden muuntamorakennusten rakentamiskustannuksien määräytymisen kannalta, riittävän tarkka arvio palokuorman suuruudesta voi olla myös taulukkoarviointiin perustuva. On syytä olettaa, että teollisuuden muuntamoraakennuksissa olevat sähkötilat kuuluvat palokuormaltaan luokkaan 600 MJ/m<sup>2</sup>, kun suunnitellaan paloluokan P1 rakennusta. Oletus perustuu sähkötiloissa pysyvästi sijaitseviin materiaaleihin ja niiden määriin; palaviksi materiaaleiksi lasketaan lähinnä sähköreleiden, -johtojen ja -kaapeleiden päällä oleva muovi. Sitä on suhteutettuna useimpien sähkötilojen pinta-aloihin erittäin vähän.

Opinnäytetyön tilaajan asiakkaan käyttämissä muuntamorakennuksissa paloluokka on ollut lähes kaikissa tapauksissa P1 ympäristöministeriön asetusten antamilla luokituksilla. Tilaajan asiakas on turvallisuuden ja toimivuuden nimissä asettanut omat vaatimuksensa, jotka ovat ajoittain olleet huomattavasti lakisääteisiä asetuksia tiukemmat. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti luokiteltuna, rakennusten kerroksien lukumäärä ja rakennuksien korkeus ohjaavat paloluokituksen luokkiin P2 ja P3. Koska tiloissa ei työskentele vakinaisesti henkilökuntaa, se ei ole ollut määrävänä tekijänä (kuva 3). Jos rakennuksen kaikkia toimintoja ei saada sijoitettua luokkiin P2 ja P3, vaan on pakko ottaa luokituksiksi P1, voidaan suorittaa toiminnallinen palotilanteen tarkastelu. Tällä toiminnallisella palotilanteen tarkastelulla voidaan joissain tapauksissa keventää tietyiltä osin palosuojausta rakennuksen luokituksen ollessa P1. Tällä osittaisella keventämisellä voidaan mahdollisesti saavuttaa säästöjä rakentamiskustannuksissa. (Jantunen 2021.)

P2 ja P3 paloluokkien rakennusten kokoa ja käyttötarkoitusta on rajoitettu taulukon 4 mukaisesti. Annetut vaatimukset on verrattain helppoa saavuttaa opinnäytetyön käsittelemissä kohteissa. Teollisuuden muuntamorakennuksiin ja

sähkötiloihin suositellaan PSK 2002 standardin mukaan jonkinlaista automaattista sammutusjärjestelmää (PSK 2002, 4). Automaattisella sammutusjärjestelmällä saavutetaan onnettomuustilanteessa vähentyneet omaisuus- ja henkilövahingot. Tämä lisää turvallisuutta, vaikka siitä ei erityistä luokittelun tuomaa kustannushyötyä tässä kyseisessä teollisuus- ja varastorakennuksessa ole.

Taulukko 4. P3 ja P2 paloluokkien rakennusten käyttötarkoitusta ja kokoa koskevat rajoitukset (Suomen säädöskokoelma 848/2017, 5)

<b>Paloluokka P3</b>			
<i>Rakennus</i>	<i>Kerrosluku enintään</i>	<i>Korkeus enintään<sup>1)</sup></i>	<i>Kerrosala enintään</i>
1–kerroksinen, yleensä	1	9 m	2400 m <sup>2</sup> (4800m <sup>2*</sup> )
Tuotanto- tai varastorakennus	1 <sup>2)</sup>	14 m	Ei rajoitusta
<b>Paloluokka P2</b>			
<i>Rakennus</i>	<i>Kerrosluku enintään</i>	<i>Korkeus enintään<sup>1)</sup></i>	<i>Kerrosala enintään</i>
Yleensä	2	9 m	Ei rajoitusta
1–kerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	1 <sup>2)</sup>	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta
Palovaarallisuusluokan 2 tuotanto- tai varastorakennus	1 <sup>2)</sup>	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta
<sup>1)</sup> Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan korkeus maan pinnasta (MRA 58§). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo. <sup>2)</sup> Pääosin 1–kerroksisessa rakennuksessa toisen kerroksen tasolle saa sijoittaa osastoituna enintään 200 m <sup>2</sup> ja osastoimattomana 50 m <sup>2</sup> oleellisesti rakennuksen toimintaan liittyviä tiloja. * <sup>3)</sup> Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla			

### 3.4 Kuormat

Teollisuusalueen muuntamorakennuksen kuormien kestävyysperusvaatimukset ovat samat kuin millä tahansa muullakin rakennuksella. Rakennuksen tulee kestää kaikki tavanomaiset kuormat ja vaikutukset, joita todennäköisesti esiintyy sen käyttöajan aikana ja säilyä käyttökelpoisena käyttötarkoitukselleen (RIL 201–1–2017, 25). Tähän lasketaan rakennuksen käytöstä aiheutuvat kuormat, kuten sähkölaitteistojen painot. Niiden massat pohjapinta-alaa kohti vaihtelevat välillä  $1000 \text{ kg/m}^2$ – $1500 \text{ kg/m}^2$ , riippuen muuntajasta ja muunnettavasta jännitteestä. Kuormitusyhdistelmät ja laskenta tehdään EN 1991 Rakenteiden kuormat standardien mukaisesti. Kantavuus- ja kestävyystarkastelujen jälkeen voidaan teollisuusrakennusten osalta siirtyä suoraan optimoimaan rakennusta sen sisältämälle prosessille sopivaksi.

Teollisuusalueella vaikuttavaksi kuormaksi muodostuu myös ilmaston vaikutus kantavien rakenteiden säilyvyyteen ja suojauksen tarpeeseen, sekä ilman-suodatuksen tarpeeseen. Tilaajan asiakkaan tapauksessa kuormitusta syntyy teollisuusilmaston lisäksi myös meri-ilmastosta. Taulukossa 9 on esitetty ilmastokorroosiovaikutusluokat ja annettu esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä. Teollisuusalueen sijaitessa rannikolla voidaan olettaa ilmaston olevan luokituksen mukaan C4 ankara, C5 hyvin ankara tai paikoitellen jopa CX äärimmäinen. Taulukosta voidaan myös havaita, että ilman asianmukaista suojauksista matalahiilisen teräksen vuotuinen painohäviö pinta-alayksikköä kohden voi korkeimmillaan olla jopa yli  $1500 \text{ g/m}^2$ . (SFS-EN ISO 12994–2:2017, 10.) Ilmastokuormitusta vastaava rakenteellinen suojaus teräsrakenteille voidaan toteuttaa maalaamalla, pinnoittamalla, katodisella suojauksella tai rakenteellisella suojauksella. Vastaavasti käytettäessä teräsbetonirakenteita korroosioivassa ympäristössä on tarpeen kasvattaa suojabetonikerroksen paksuutta, jotta raudotteiden korroosio olisi mahdollisimman hidasta. Betonin suojaava vaikutus lisääntyy massan tiheyden lisääntyessä, joten tiivistyksellä ja jälkihoidolla vaikutetaan myös korroosiolta suojautumiseen. (Mannonen 2012, 97.)

Rakennuksen sisäpuolinen lämpökuorma tulee ottaa huomioon. Lämpötilan noustessa sen kyky sitoa kosteutta itseensä lisääntyy ja tämä osaltaan voi myötävaikuttaa ilmatilakorroosion ilmaantumiseen. Korroosio nopeutuu, kun

ilman suhteellinen kosteus lisääntyy ja rakenteissa esiintyy kondensoitumista. Erityisesti ulkoilmalle alttiit rakenteet ovat nopealle korroosiolle alttiita, jos niiden pinnalle pääsee kondensoitumaan kosteutta. (SFS-EN ISO 12944–2:2017, 8.) Tämä tulisi ottaa huomioon suunniteltaessa rakennuksen tiivyyden kannalta oleellisia osia, kuten liitoksia ja mahdollisesti elementtien saumoja. Sisätiloista vuotavat ilmavirrat saattavat vaikuttaa rakenteiden kestävyysalenukseen huomattavasti.

### **3.5 Liitokset ja rakennuksen vaipan tiiveys**

Rakennuksen vaipan osien yhdistäminen toisiinsa on suotavaa tehdä joko valmistajan oman suunnittelijan antamien detaljien mukaan tai vastaavan rakennesuunnittelijan detaljien mukaan. Vaipan osien liitosten lisäksi myös vaipan liittyvillä muilla osilla, kuten ovilla ja ikkunoilla on omat detaljit, joita pitää noudattaa halutun tiiveyden saavuttamiseksi.

Liitosten ja liittymien tiiveys on rakennuksen elinkaaren aikana tarvitseman energian ja rakenteiden terveyden kannalta erittäin oleellinen asia. Voimakas ohjaaminen energiatehokkuuteen ja tavanomaisessa rakentamisessa vaadittu energiatodistus ovat saaneet rakennusalan ottamaan rakennusten tiiveyden U-arvon rinnalle yhtä tärkeäksi todennettavaksi arvoksi. Tiiveysmittaus on yksi energiatehokkuuden mittari ja mittarina se on yksikäsitteinen ja yksinkertaisin menettelyin mitattava suure. (Paloniitty 2012, 7–8.)

Tiiveysmittauksesta saadaan rakennukselle ilmanvuotoluku, joka kertoo rakennuksen vuotoreittien kautta vaihtuvan ilmamäärän tuntia kohden. Tiiveysmittaus suoritetaan yksinkertaisesti paine-erokokeella, jossa tutkimuskohteeseen aiheutetaan paine-ero ilmanpuhallinlaitteistolla tai tilan omalla ilmanvaihtokoneistolla. Tilan varsinaiset ilmanvaihtoaukot tukitaan, jolloin ilma pyrkii poistumaan vuotoreittien kautta paine-eron takia. Koneiston sisälle työntämä ilmamäärä mitataan tilanteessa, jossa ylläpidetään usein 50 Pa painetta. (Paloniitty 2012, 14–15.)

Ilmanvuotoluku ilmoitetaan Suomessa yleensä kahdella eri tavalla,

$n_{50}$	Koko rakennuksen ilmatilavuuden vaihtuminen tuntia kohden vaipassa olevien vuotoreittien kautta [1/h]
$q_{50}$	Keskimääräinen vuotoilman määrä, vaipan sisämittojen mukaan laskettua pinta-alaa kohden [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ]

Alaindeksi 50 viittaa molemmissa ilmanvuotoluvun ilmaisuavoissa aiheutettuun paine-eroon. Luotettavan tiiveysmittaustuloksen aikaansaamiseksi on tuulennopeuden oltava alle 6 m/s ja sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen sisäpuolisella korkeudella tulee olla alle 500 m°C. Tuulennopeus vaikuttaa rakennuksen sisäiseen paine-eroon merkittävästi riippuen suunnasta, nopeudesta, rakennuksen muodosta ja sijainnista ja tekee näin tiiveysmittauksesta epästabiilin. Tuulen vaikutuksen arviointia varten ei ole olemassa määritettyä yksityiskohtaista yhtälöä, vaan tuulen paineen vaikutuksia rakennukseen arvioidaan käyttäen Bernoullin yleistä virtausyhtälöä. Rakennuksen korkeuden kanssa kerrottavat lämpötilaerot viittaavat savupiippuefektin vaikutukseen, joka aiheutuu lämpimän ja pienemmän tiheyden saavuttaneen ilman kohoamisesta. Tämä kohonnut ilma aiheuttaa ylipainetta rakennuksen yläosaan ja alipainetta alaosaan. Kylmää ilmaa virtaa rakennuksen alaosaan sisään alipaineiseen tilaan ja lämmintä ilmaa virtaa ulos rakennuksen ylipaineisesta yläosasta kohti ulkoilmaa. Ilmavirtaukset rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välillä ovat kaasuseoksen luonnollista pyrkimystä maksimientropiaan. (Paloniitty 2012, 37–38.)

Riippuen rakennuksessa olevista ilmanvuotokohdista ilmavirtausten pystysuuntaisten liikkeiden aiheuttaman paine-eron neutraaliakselin paikka vaihtelee. Jos ilmanvuotokohdat ovat rakennuksen yläosassa, neutraaliakseli asettuu rakennuksen yläosaan ja vuotokohtien ollessa alaosaan neutraaliakseli asettuu alaosaan. Ilmanvuotokohtien ollessa tasaisesti jakaantuneet neutraaliakseli sijaitsee keskellä huonekorkeutta. (Paloniitty 2012, 37–38.)

Ympäristöministeriö ohjeistaa rakennusten ilmantiiveyden riittävän tason saavuttamiseksi liittymien, läpivientien ja saumojen esittämistä riittävän tarkoin suunnitelmin. Työmaalla suunnitelmien toteutumista tulee seurata mallitöillä,

työvaihetarkastuksilla ja riittävillä laadunvarmistustoimenpiteillä. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2020, 12.) Rakennuksen ilmatiiveyden saavuttamiseksi on erittäin tärkeää, että missään kohdassa rakennusprosessin aikana ei aliarvioida toteutuksen valvontaa. Suunnitelmat eivät riitä todentamaan hyvää lopputulosta, jos prosessi ei kokonaisuudessaan ole määritelty vastaamaan tavoiteltavaa tasoa.

### 3.6 U-arvo ja energiatehokkuus

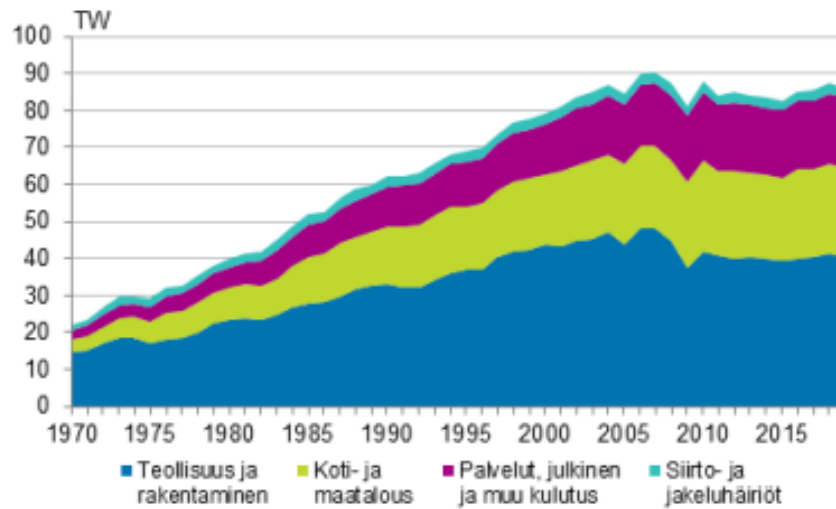
Maankäyttö ja rakennuslaissa (132/1999, 117§) todetaan energiatehokkuudesta:

*Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennuksen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi.*

Uusi rakennus tulisi suunnitella lähes nollaenergiarakennukseksi, jos sen sisäilmaston olosuhteiden ylläpitoon tarvitsee käyttää energiaa. Samassa pykälässä kuitenkin rajataan teollisuus- ja korjaamorakennukset tämän vaatimuksen ulkopuolelle (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 117 g §). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelija voi optimoida teollisuuden rakennusten rakenteet energiatehokkuuden kannalta katsoen kuten parhaimmaksi katsoo. Muita rakenteita koskevia määräyksiä on kuitenkin luonnollisesti sovellettava. (Kalliomäki 2021.)

Euroopan unioni on sitoutunut vähentämään kasvihuonepäästöjään ja energiankulutustaan. Rakennusten tarvitsema energia on noin kolmanneksen energian loppukäytön kokonaismäärästä (Niininen 2020). On siis ymmärrettävää, että rakentamista ohjataan säädöksillä kohti nollaenergiarakentamista. Kuvasta 4 voidaan havaita, että sektoreittain jaoteltuna energian loppukäytössä teollisuus ja rakentaminen on kuluttanut vuonna 2015 noin 35 terawattia kokonaismäärän ollessa noin 83 terawattia. Tähän ryhmään sisältyy myös teollisuuden rakennuksien lämmitykseen ja jäähdytykseen käytetty energia.





Kuva 4. Sähkönkulutuksen jakautuminen sektoreittain (Niininen 2020)

Teollisuusrakennuksien lämmitykseen ja jäähdytykseen tarvittava energiamäärä on suuri. Rakenteiden U-arvon valintaan vaikuttaviksi määrääviksi tekijöiksi muodostuvat käyttökustannukset ja sisäilmaston olosuhteet, kuten ilmankosteus ja lämpötila. Prosessin vaatima ilmasto tulee luoda energiakustannuksista huolimatta, mutta energian hinta ohjaa rakentamaan energiatehokkaan rakennuksen.

Prosessiteollisuuden rakennuksissa sisäilmastossa huomattava laitteiden toimivuuteen vaikuttava arvo on ilmankosteus. Ilmankosteus voi olla peräisin rakennuksen sisältä tai ulkoa. Sisäpuolisella kosteuslähteellä tarkoitetaan muuntamorakennuksien yhteydessä erityisesti rakennusmateriaalien mahdollista lisäkosteuskuormaa, jota voi syntyä betonisten rakenteiden luovuttaessa kosteutta tilaan. Kosteudenlähteitä ovat esimerkiksi lumi, vesi, jää ja vesihöyry. Kosteus ei saa aiheuttaa haittaa tai kerääntyä vaipparakenteeseen aukkojen, läpivientien tai liittyvien rakennusosien kautta. Rakennuksen vaipan, läpivientien ja liitosten on muodostettava yhdessä toimiva kokonaisuus, joka estää vettä tunkeutumasta rakenteisiin mutta päästää satunnaiset kosteusrasitukset poistumaan aiheuttamatta haittaa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 117 c § 3. momentti)

Ilmankosteudelle asettaa raja-arvoja teollisuuden sähkötiloissa tiloihin asennettavat sähkökaapit komponentteineen ja automaatiotilassa käytettävä tietotekniikka. Ilmankosteus voi olla sähkö- tai tietoteknisissä komponenteissa oleville metalleille erittäin korroosioiva, jolloin riski toimintahäiriöille sähköjakeluverkossa kasvaa. Sähkö- ja automaatiolaitteille määritellyt ympäröivän ilmastion arvot löytyvät valmistajien tuotetiedotteista ja yleiset sähköasennuksiin liittyvät olosuhdevaatimukset myös standardeista.

Rakennuksen lämpötilan ylläpitäminen tietyssä arvossa tai tiettyjen arvojen rajoissa edellyttää rakenteiden ja niiden tiiveyden, ilmanvaihdon sekä lämmitys- ja jäähdytysenergiankäytön yhteistyötä. Sähkötiloissa sähkökeskuksissa muodostuu lämpöä, joka kuormittaa paitsi laitteistoja myös rakenteita. Lämpö syntyy sähkökojeistojen ottaessa oman sisäisen jäähdytysjärjestelmänsä kautta ympäröivää ilmaa ja kierrättäessä sen takaisin ympäröivään tilaan. Tämä ilma jäähdytetään rakennuksen omalla ilmastointijärjestelmällä takaisin lämpötilaan, jonka laitteisto vaatii toimiakseen.

### **3.7 Aukotus ja läpiviennit**

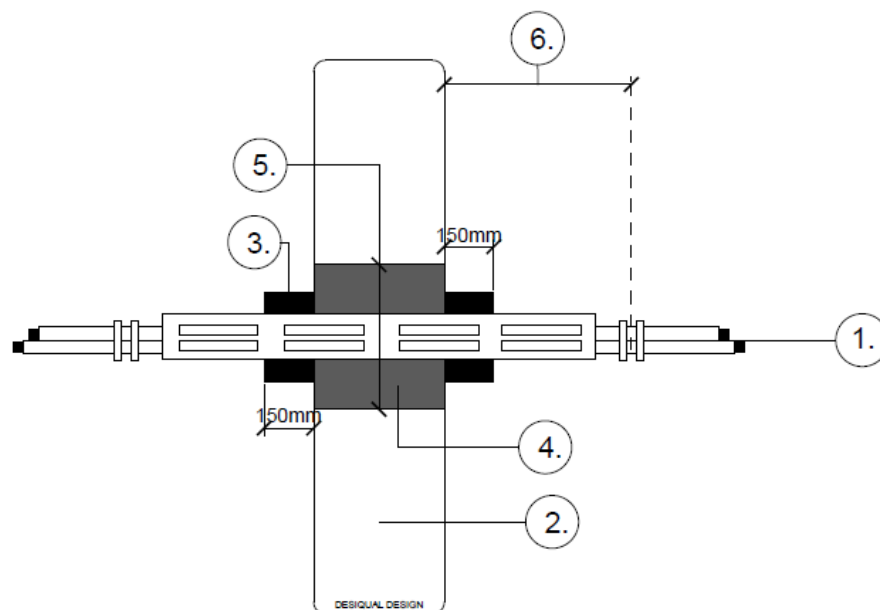
Rakennuksessa läpivientien on pääosin täytettävä samat vaatimukset kuin lävistettävän rakenteenkin. Nämä vaatimukset koskevat lähinnä palonkestoaikaa, sisäilmastoon vaikuttavia ilmavirtauksia ja rakennuksen turvallisuutta. Yleiset lainmukaiset vaatimukset tulee täyttää, mutta standardeissa annetaan sähkötiloille omia tarkentavia ohjeita. Nämä ohjeet saattavat osastoivuuden osalta olla lakisääteisiä tiukemmat.

Läpivientien palonkestosta todetaan, että ne eivät saa olennaisesti heikentää osastoivan rakennusosan osastoivuutta (Suomen säädöskokoelma 848/2017, 12). Tällä tarkoitetaan, että palon leviämisen estymisen tulee olla riittävällä tasolla varmennettu aukossa tai läpiviennissä osastoivan rakenteen kaltaiseksi. Tämä voidaan toteuttaa useilla erilaisilla vaihtoehdoilla ja materiaaleilla.

Useimmiten palokatkoourakoitsijat suunnittelevat ja toteuttavat suurehkoissa kohteissa koko rakennuksen palokatkot viranomaisten hyväksymällä tavalla, mutta suunnittelijan tulee vähintään varmentaa suunnitelmien sopivuus kohteeseen ja esittää palokatkojen kohdat pohjapiirroksissa. Jotkut kohdat voivat

vaatia erityissuunnittelua ja niiden suunnittelusta ja hyväksyttämistä paloviranomaisella vastaa rakennesuunnittelija.

Suunniteltaessa läpivientiä rakenteeseen on kiinnitettävä huomiota myös rakenteen kosteusteknisen toimivuuteen. Rakenteen täytyy säilyttää ilmatiiveytensä, ja läpivienti ei saa aiheuttaa rakennukselle riskiä johtamalla ilman mukana kosteutta rakenteen sisälle haitallisissa määrin. Läpivientien tiivistyksessä käytetään usein teippausta, kittausta tai vaahdotusta. Joissain tapauksissa voidaan käyttää myös teollisesti valmistettuja kooltaan standardisoituja läpivientikappaleita. Jos rakenne johon läpivienti aiotaan toteuttaa, on osastoiva, tulee läpiviennin olla myös yleisesti hyväksytty palokatko ja palokatkona käytettävien tuotteiden olla ETA-arvioituja. Tuotteen kuuluminen ETA-arvioinnin piiriin tulee näkyä joko detaljipiirroksessa (kuva 5) tai se tulee ilmoittaa työohjeissa.



Paloluokitus: EI 120

1. Kaapelinippu max. 80mm + kaapelihylly.
2. Betoniseinä min. 200mm.
3. Palokäärevarmistus 150mm, Joints Fire Wrap Pro+, ETA 14/0316.
4. 2K palovaahdotäyttö, Joints 2K Firefoam Pro+, syvyys=min. 200mm, tiivistys kaapelinipussa kauttaaltaan, ETA-11/0206.
5. Max. reikäkoko 270mm x270mm.
6. Kannakointi: rakenteen molemmin puolin, etäisyys rakenteesta=200mm.

Tekniikoiden välinen etäisyys=min. 200mm.

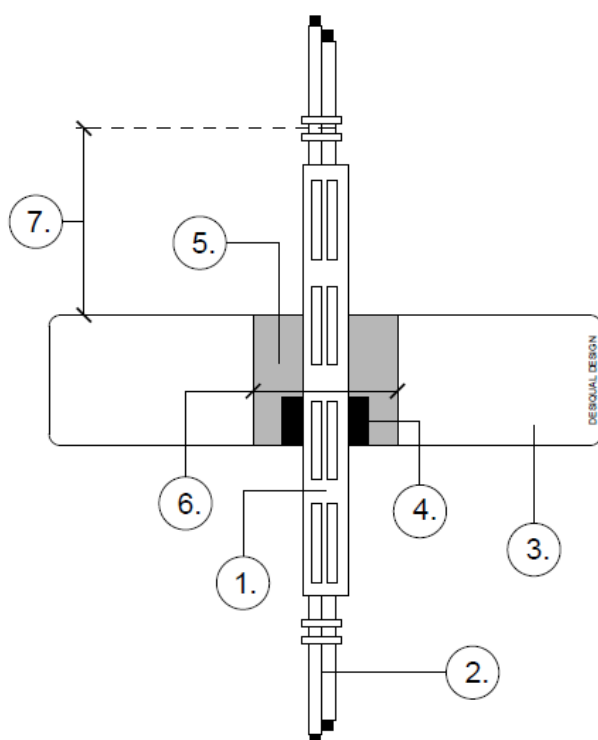
Palokatkon asennus tuotteiden ETA-hyväksynnän mukaan.

Asennuskuva ei mittakaavassa.

Kuva 5. Rakennedetaili palokatkosta betoniseinässä, Joints Oy tuotesarjalle Tulistop Pro+ (Joints Oy 2016, 9)

Läpivientejä teollisuuden sähkötiloissa tehdään kaapeleille, ilmastointiputkille ja kaapelihyllyille. Kaapeliniput voivat olla jopa 80 mm halkaisijaltaan (kuva 5). Tiiveyden ja palonkeston saavuttaminen erityisesti horisontaalisessa rakenteessa on haasteellista johtuen palokatkolta usein vaadittavasta kuormituksen kestosta. Kuvasta 5 voidaan havaita, että kaapelinipun läpivientiaukon on oltava jonkin verran suurempi kuin läpi vietävä kaapelinippu. Kuvassa 5 on myös ilmoitettu suurin sallittu reikäkoko, joka kyseisen valmistajan tekniikalla ja materiaaleilla voidaan toteuttaa. Suurin sallittu reikäkoko selviää aina myös tuotteen ETA-hyväksynnästä.

Palokatkomateriaali valitaan läpivietävän materiaalin ja läpiviennin koon perusteella. Palokatkomateriaalin valinnalla voidaan vaikuttaa suurimpaan saavutettavaan reikäkokoan osastoivuusvaatimuksissa. Kipsimassavaluna toteutettava palokatko lattiarakenteessa voi olla reikäkooltaan suuri ja silti täyttää osastoivuusvaatimukset (kuva 6). Läpiviennin sijainnilla on myös merkitystä osastoivuusluokitusvaatimuksen kannalta. Ylemmissä rakenteissa läpiviennin osastoivuusluokituksen täytyy olla sama kuin ympäröivän rakenteen. Lattiarakenteissa osastoivuusvaatimusten täyttyminen ei kaikissa tilanteissa ole ehdoton vaatimus. Tämä johtuu tulipalon fysikaalisista ominaisuuksista. (Suomen säädöskokoelma 848/2017, 22.)



Paloluokitus: EI 60

1. Kaapelihylly max. 500mm.
2. Kaapelinippu max. 80mm.
3. Betonilattia min. 150mm.
4. Palokääre, Joints Fire Wrap Pro+, ETA 14/0316.
5. Palokipsivalu, valusyvyyden min. 100mm, Joints Fire Compound Pro+, ETA 14/0033.
6. Max. reikäkoko 2400mm x 1200mm,  
min. reikäkoko: kaapelihyllyn halkaisija + 200mm.
7. Kannakointi: rakenteen molemmin puolin, etäisyys rakenteesta=250mm ja 400mm.

Tekniikoiden välinen etäisyys=min. 200mm.

Palokipsivalu tukiraudoitettava mikäli kuormankantokykyä vaaditaan. Kuormankantokyky raudoitukseen vahvistettuna max. 1,5kN/m<sup>2</sup>, kuormitusalan ollessa 0,09m<sup>2</sup>, 75mm valupaksuudella.

Palokatkon asennus tuotteiden ETA-hyväksynnän mukaan.

Kuva 6. Rakennedetalji palokatkosta betonivälipohjassa, Joints Oy tuotesarjalle Tulistop Pro+ (Joints Oy 2016, 10)

Kuvasta 6 voidaan lukea kipsivalulla toteutettavan palokatkon kestävän jonkin verran kuormitusta tukirauidoitettuna. Tämä on erittäin tärkeä ominaisuus tilanteessa, jossa aukkovaraukset tehdään kantavaan rakenteeseen asennusvaiheessa. Muuntamorakennuksien sähkötiloissa kojeistojen asentamisaikataulu saattaa venyä pitkäksikin, mutta lattiarakenteen täytyy silti olla paloluokiteltu ja rakennus vastaanotettu hyvissä ajoin ennen kojeistojen asentamista. Läpivientien toteutuksessa on monia vaihtoehtoja. Eri valmistajilla on omat tuoteperheensä, joilla läpivientien tiiveys ja palonkesto aika ovat standardisoitujen menetelmien mukaan testattuja, CE-merkittyjä tai tyyppihyväksytyjä. Koska rakennustuotteilla ei ole aina mahdollista toteuttaa harmonisoitua standardia, käytetään myös ETA-arviointeja tuotteiden hyväksyttämiseksi CE-merkityiksi. (CE-merkintä 2021.)

Sähkölaitteita sisältävän tilan seinärakenteeseen tarvitaan aina paineenpoistoaukko. Sen kautta valokaaren aiheuttama paineaalto purkautuu ulkotilaan rikkomatta sähkökaapin rakenteita. Valokaaren aiheuttama paineaalto syntyy ilman äkillisen lämpenemisen takia ja polttava ilmassa on johdettava pois kojeiston sisältä. Paineenpoistoaukon sijoittamisesta todetaan, että valokaaren ilmaantuessa henkilöturvallisuus ei saa vaarantua, ja omaisuudelle aiheutuvien vahinkojen tulee jäädä mahdollisimman vähäisiksi (SFS 6001:2018, 55). Tämä tarkoittaa sitä, että paineen purkautuessa ulos rakennuksesta se ei saa vahingoittaa ihmisiä, rakennuksia eikä muutakaan omaisuutta. Käytännössä paineenpoistoaukkoja sijoitetaan näiden vaatimuksien takia seinien keskilinjojen yläpuolelle (kuva 7).



Kuva 7. Paineenpoistoaukkoja betonielementtirakenteisessa muuntamorakennuksessa (Nieminen 2019)

Osastoivassa rakennusosassa olevan oven tai pienehkön ikkunan palonkestävyysajan on oltava vähintään puolet rakennusosalta vaaditusta palonkestoaajasta (Suomen Säädöskokoelma 848/2017, 11). Ikkunat tulee sijoittaa niin, että sivullisten sisäänpääsy niiden kautta on hankalaa. Tämä voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla:

- Ikkunat tehdään särkymättömästä materiaalista
- Ikkunat suojataan
- Ikkunoiden alempi reuna on vähintään 1,8 m korkeudella luokse päästävältä pinnasta
- Rakennus ympäröidään vähintään 2,0 m korkealla aidalla

(SFS 6001:2018, 55).

Ikkunapinta-alan vähimmäisneliömäärä vaatimus ei koske teollisuus- ja varastorakennuksia. Teollisuussähkötiloissa ei työskennellä vakituisesti, ja ikkunapinnat ovat lisäksi turvallisuusriski sivullisille, joten niiden sijoittamista näihin tiloihin vältetään. Kuvassa 8 voidaan nähdä tyypillinen muuntamorakennuksen aukotus. Ikkunoita ei turvallisuussyistä käytetä, ja paineenpoistoaukot on sijoitettu rakennuksen yläosaan.



Kuva 8. Betonielementtirakenteinen muuntamorakennus (Nieminen 2019)

Ovien täytyy täyttää poistumisturvallisuusvaatimukset, jotka on säädetty ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta. Ovien vähimmäisleveyden määrittää tässä tapauksessa poistuvien ihmisten määrä. Teollisuuden sähkötiloissa ei työskennellä vakituisesti, joten rakennuksen henkilömäärän voidaan olettaa olevan aina alle 60. Jos uloskäytävän kautta poistuu alle 60 hlöä, sen vähimmäisleveys on 1200 mm ja vähimmäiskorkeus 2100 mm. (Suomen säädöskokoelma 848/2017, 20.)

Ovien kohdalla on noudatettava kuitenkin standardeissa annettuja ohjeita koskien suunnittelun kohteena olevaa tilaa, jos se poikkeaa asunto- ja toimitilarakentamisesta. Sähkötiloissa on omia erityispiirteitään, kuten sähkökeskukset. Sähkötiloihin tuodaan sisälle suurehkoja keskuskaappeja, joten ovien täytyy olla sen kokoisia, että kaappien kuljettaminen niiden kautta onnistuu rakenteita rikkomatta. Tämä vaatimus koskee luonnollisesti myös muuntamorakennuksen muiden tilojen oviaukotusta.



#### 4 RAKENNUSTEKNISEN SPESIFIKAATION LAADINTA

Suunnittelijan on aloittaessaan suunnittelutyötä selvitettävä mikä määrittelee kyseisen rakennuksen tilojen ja rakenneosien vähimmäisvaatimukset, jotta rakennus olisi lainmukainen. Suomessa rakentamista ohjaavat eurokoodit, ympäristöministeriön ja tieliikenneministeriön säädökset yhdessä, mutta rakennuksen käyttäjällä on tiloille usein enemmän vaatimuksia kuin viranomaisilla. Spesifikaation laadinnassa menetelmällisesti kerrytetty tieto toimivista käytännön ratkaisuista on suuressa osassa. Tämä käytännössä kerätty tieto erottaa spesifikaation luonteeltaan standardista. Spesifikaatio vie asiakirjan sisällöllisesti turvallisuuden vähimmäisvaatimuksista sopivimman lopputuloksen saavuttamiseksi asetettaviin vähimmäisvaatimuksiin.

Maankäyttö- ja rakentamislain pykälässä 117 kaikki teollisuusrakennukset on laitettu kategoriaan teollisuus- ja varastorakennukset. Niitä koskevia asetuksia on noudatettava niiltä kohdin, kun ne suunniteltavaan kohteeseen sopivat. Maankäyttö- ja rakennuslakia tulkittaessa täytyy ottaa huomioon viittaukset eurokoodeihin ja niitä tulee myös noudattaa. Lisäksi tässä opinnäytetyössä on tutkittu seuraavia muuntamorakennuksiin sopivia standardeja lähdeluettelossa mainittujen lisäksi. Standardit suositellaan otettavaksi huomioon teollisuuden rakennuksia suunniteltaessa ja toteutettaessa.

- SFS 6000–1:2017 Pienjännitesähköasennukset Osa 1: Peruseriaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja menetelmät
- SFS 3353:2019 Palavien kemikaalien tuotantolaitos
- SFS 5702:2017 PEX-eristeiset 64/110 kV voimakaapelit ja niiden varusteet. Rakenne ja testaus
- SFS-EN ISO 12994–5:2019 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 5. Suojamaaliyhdistelmät
- SFS-EN ISO 12994–3:2017 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 3. Rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia
- SFS-EN IEC Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2. Paikalliset
- SFS 6002:2015 A1:2018 Sähkötyöturvallisuus
- PSK 2001 Teollisuusmuuntajatala
- PSK 1801 Prosessiteollisuuden jakokeskus
- RT 103064 Pelastuslaki
- RT 92–11216 Akkuhuoneet ja varaamotilat

Teollisuuden muuntamorakennuksia tarvitaan teollisuusalueilla muuntamaan voimajohdoilla siirrettävää sähköä eri prosesseille. Erilaiset prosessit tarvitsevat erilaisia jännitteitä, ja muuntajien koot riippuvat pitkälti jaettavan jännitteen suuruudesta. Kuvassa 9 näkyvät suurjännitemuuntajien bunkkerit.



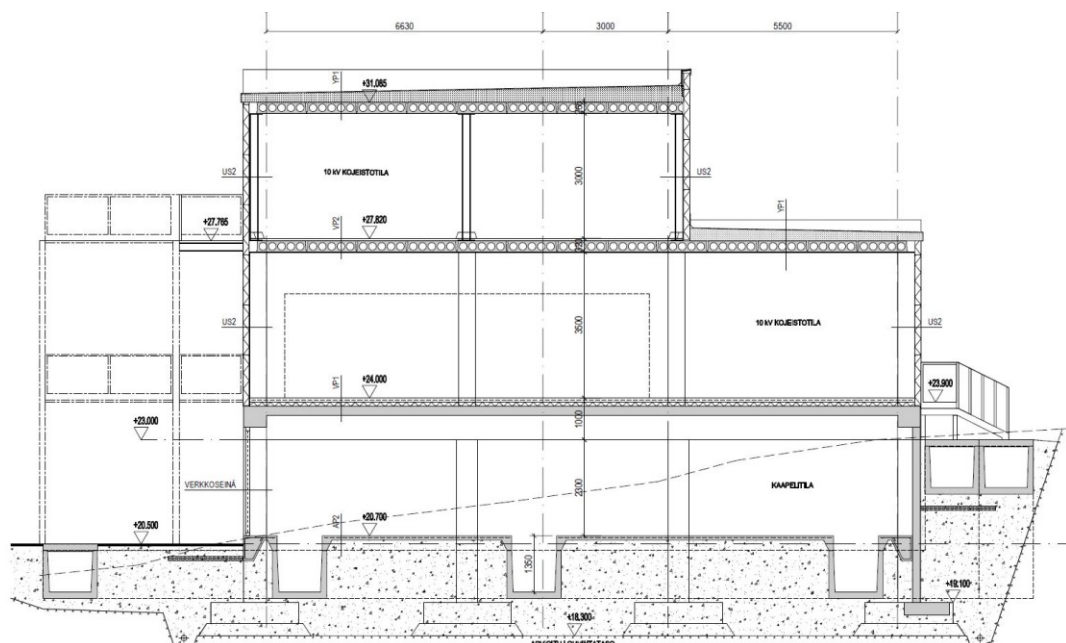
Kuva 9. Suurjännitemuuntajien bunkkerit (Nieminen 2019)

Kuvassa 10 on nähtävissä muuntamorakennus valmiina. Alimpana sijaitsevat kaapelitilat, joiden yläpuolella ovat sähkötilat. Jännitteen muuntajat ovat sijoitettuina omiin palomuuriluokitellulla seinärakenteella ympäröityihin bunkkereihin.



Kuva 10. Teollisuuden muuntamorakennus. Betoniset muuntajabunkkerit etualalla (Nieminen 2015)

Prosessien käyttämät jännitteet ja muuntajat jaetaan karkeasti kolmeen kategoriaan; suurjännite (110 kV), keskijännite (10 kV) ja pienjännite (690 V & 400 V). Rakennuksien jäähdytystarpeeseen vaikuttaa jännitteen suuruus. Mitä pienemmäksi jännite muunnetaan, sitä suuremmat lämpökuormat sähkökojeistoista tulee. Koska muuntamorakennuksiin sijoitetaan usein kaapelitila sähkötilojen alapuolelle, rakennukset voidaan toteuttaa monikerroksisina, kuten kuvassa 11.



Kuva 11. Havainnekuva muuntamorakennuksen poikkileikkauksesta (Nieminen 2013)

Teollisuuden muuntokeskuksessa olevilla tiloilla on niiden sisältämistä toiminnoista riippuvia rakennusteknisiä erityispiirteitä. Nämä erityispiirteet otetaan huomioon tilojen keskinäisessä sijoittelussa, toimintojen sijoittelussa tilojen sisällä, ilmastoinnin ja jäähdytystarpeen sekä poistumisreittien suunnittelussa. Tiloilla on edellä mainittujen vaatimusten lisäksi myös rakenneosia koskevia vaatimuksia. Nämä vaatimukset liittyvät pitkälti rakenneosien kestävyys, sähkönjohtavuuteen ja osastoivuuteen. Kaikki muuntamorakennuksessa olevat tilat pyrkivät takaamaan sähkönjakelun keskeytyksettömän toiminnan. Sähkökeskustila on tärkein ja sähkökomponenttien määrän vuoksi myös herkin olosuhteille. Muuntajatilat ovat voimajohdoilta tulevan virran muuntajille tarkoitettuja. Muuntajilta sähkö siirretään kiskosilta pitkin sähkökojeistoille. Akkutiloissa varataan ja säädellään jännitteitä. Automaatio ja DC-tilassa voidaan

säätää ja ohjalla sähkövirtoja sekä muuta rakennukseen liittyvää automatiikkaa. Kompensaatiotilassa hävitetään sähköverkossa ilmaantuvaa loistehoa. LVI-tilassa sijaitsevat tilojen jäähtymyksessä ja ilmansuodatuksessa tarvittavat järjestelmät. Kaapelitilassa kulkevat tulevan ja lähtevän sähkön kaapeloinnit, jotka yhtyvät tämän tilan kautta maanalaisiin kaapelikanaviin tai kaivantoihin. Koska automaatio- ja DC-tilaa koskevat lähes samat tilakohtaiset vaatimukset kuin sähkötilaa, niitä ei tässä opinnäytetyössä käsitellä erikseen.

#### **4.1 Kaapelitila**

Kaapelitila teollisuuden sähkömuuntamorakennuksessa on tavallisesti sijoitettuna suoraan sähkötilojen alapuolelle, jotta vältetään ylimääräiseltä kaapelien taivuttelulta. Kaapelit tulevat tilaan maanalaisia kanaaleja pitkin tai kaapelihyllyillä. Kaapeleiden liittymisessä kanaalista tilaan on otettava huomioon maaperän ominaisuudet ja tärinät. Kaapelit eivät saa päästä vaurioitumaan maaperän mekaanisen liikkeen takia. (SFS 6001:2018, 45.)

Henkilöturvallisuuden nimissä muuntokeskuksen toiminnot on eristettävä ympäristöstä ja asiaankuulumattomilta henkilöiltä riittävän suojauksen antavilla seinä- tai aitarakenteilla. Jos rakennus aidataan, sen tulee olla riittävän korkea kiipeämisen estämiseksi. Myös aidan alitse kaivautuminen on otettava huomioon joissain tapauksissa. (SFS 6001:2018, 51.)

Tilanteissa, joissa kaapelitila on rakennuksen alapuolella vapaassa ilmatilassa, käytetään alumiinista verkkoaitaa erottamaan se muusta ympäristöstä. Verkkoaidan silmäkoko voi suurimmillaan olla 40 mm ja langan halkaisija ohuimmillaan 3 mm. Tällä estetään myös teollisuusalueilla mahdollisesti olevien keskisuurien nisäkkäiden pääsy kaapelitilaan (Nieminen 2021). Kaapelitilan verkkoaita tulee varustaa vähintään kahdella kulkuovella, jotka avautuvat poistumissuuntaan poistumisturvallisuuden takaamiseksi. Kulkuovet tulee varustaa avaimellisilla lukoilla. (SFS 6001:2018, 56.) Tämä lukitus ei saa olla sellainen, jonka voi ilman avainta saada takalukkoon (Nieminen 2021).

Kaapeleiden kääntymiseen tarvitsema tila riippuu kaapelin kuoren paksuudesta ja materiaalista. Yksittäisten kaapeleiden ja kaapeliniippujen kääntymi-

seen tarvitsema tila on otettava huomioon tilojen suunnittelussa ja muokattavuudessa. Kaapelireitit tulee suunnitella mahdollisimman suoriksi, eikä niiden tiellä saa olla rakenteita, jotka lisäävät ylimääräisiä taivutustilanteita.

Kaapelien pienimmät taivutussäteet riippuvat kaapelin halkaisijasta (taulukko 5) ja kaapeli on mitoitettu niin, että se ei vaurioidu, jos taivutussäde vaatimuksia ei ylitetä.

Taulukko 5. Standardien mukainen taivutussäteen pienin sallittu arvo, valmistajilla tarkat arvot

PIENIN ASENNUKSEN AIKAINEN TAIVUTUSSÄDE (r)		
	PEX eristeiset suurjännitekaapelit (64/110 kV)	PEX eristeiset ja PVC vaippaiset kaapelit (Al/Cu, 0,6/1 kV)
Yksijohdinkaapeli	20 x d	15 x d
Monijohdinkaapeli	-	12 x d
Lopullisessa asennuksessa sallittu alitus	30 %	30 %

Asennuksen aikainen taivutus tarkoittaa toistuvia eri suuntaan tapahtuvia taivutuksia, kun taas lopullinen asennustaivutus on huolellinen yhteen suuntaan tapahtuva kertataivutus (SFS 4879:2018, 41). Tämän lopullisen taivutuksen jälkeen kaapelia ei yleensä enää suoristeta ja aloiteta taivuttelua uudestaan. Kaapelireittien suunnittelu sähkökeskusten sijoittamisen mukaan määrittelee kaapelien taivuttamiseen tarvittavan tilan.

Kaapelireittien vetämistä asennuslattian alle tulee välttää, mutta jos se on välttämätöntä esimerkiksi IT-tiloissa, on kiinnitettävä palosuojaukseen erityistä huomiota ja se on suunniteltava paloviranomaisten ja vakuutuslaitoksen ohjeiden mukaan (PSK 2005, 4). Vaikka PSK 2005 -standardissa ohjeistetaan asentamaan automaattinen sammutusjärjestelmä kaapelikanavaan, on se tämän rakennuksen kohdalla tarpeeton toimenpide. Kaapelikanavat asennetaan ulos maan alle, ja henkilöiden pääsy niihin on estetty. Standardissa todennäköisesti tarkoitetaan rakennuksen sisällä sijaitsevaa käytävämäistä tilaa, jota kutsutaan myös kaapelikanavaksi. Tällaisetkin kaapelikanavat ovat teollisuudessa yleisiä. Kaapelikanavien palosuojaus voidaan hoitaa asentamalla niihin esimerkiksi itsestään sammuvia kaapeleita, jotta vältetään kohtuuton taloudellinen haitta tulipalotilanteessa.

Jos kaapelikanavalla tarkoitetaan rakennuksen sisätiloissa olevaa erillistä tilaa, jossa kaapelit kuljetetaan, voidaan noudattaa PSK 2005 neuvoa kaapeleiden asentamisesta kanavassa hyllyille. Asennettaessa kaapeleita maanalaisiin kaapelikanavaelementteihin, ei kaapeleiden hyllyttämisestä ole hyötyä turvallisuuden eikä käytettävyyden kannalta, joten myös tämän ohjeen voi jättää huomiotta. Myöskään kaapelikanavien viemäröinti maanalaisissa asennuksissa ei ole järkevää, koska elementtirakenne sallii pienten kallistusten hyödyntämisen valumien poistoon kohti elementtien saumoja.

Asennettaessa kaapeleita maakaapeliojaan, on sen normaali asennussyvyys vähintään 700 mm (SFS 6001:2018, 140). Jos asennussyvyys ei täyty, kaapeleiden suojaaminen on mietittävä muilla tavoin, esimerkiksi asentamalla ne betoniseen kaapelikanavaan. 110kV kaapeleilla käytetään mekaanisena suojauksena lisäksi betonilaattaa, jos niitä asennetaan maakaapelointina (PSK 2005, 5). Teollisuusalueilla kaapelit kuljetetaan maavedoissa lähes aina betonisissa kaapelikanavissa, jotka sijaitsevat lähellä maanpintaa. Tämä helpottaa kaapeleiden mahdollista uusimista tai vaihtamista eri siirtokyvyn kaapeleihin. Muuntamorakennuksen alla kaapelitilassa olevat kaapelikanavat voidaan täyttää hiekalla kanavan yläpintaan asti kaapelien asentamisen jälkeen. Jos kanavien päälle tulee kulkureitti, voidaan asentaa kanavan päälle betonilaatta tai teräslevy. Teräslevyä käytettäessä tulee kiinnittää huomiota sen käyttöturvallisuuteen kaikkina vuoden aikoina ja erilaisissa sääolosuhteissa (Nieminen 2021).

Kaapelitilan vapaaksi korkeudeksi suositellaan 2100 mm standardin PSK 2005 (2004, 4) mukaan ja rakennettaessa kaapelitilalle rakennuksen kerrokseksi luokiteltava tila, vähimmäiskorkeussuositus on 2000 mm (PSK 2002, 3). Vähimmäisleveyssuositus kulkureitille on 800 mm. Kaapelitilan tulee olla betonia tai vastaavaa ja pölyämätön, jos kaapelitila sijaitsee sisätiloissa. (PSK 2005, 4.)

Kaapelitilan korkeuden suunnittelussa otetaan huomioon kantavien rakenteiden vaikutus vapaaseen korkeuteen. Palkiston vaatimaa tilaa ei voi vähentää vapaasta korkeudesta käytettävyyden heikentymisen vuoksi. Koska tilojen toimintojen tuoma rakenteellinen kuormitus saattaa kasvaa tulevaisuudessa, on

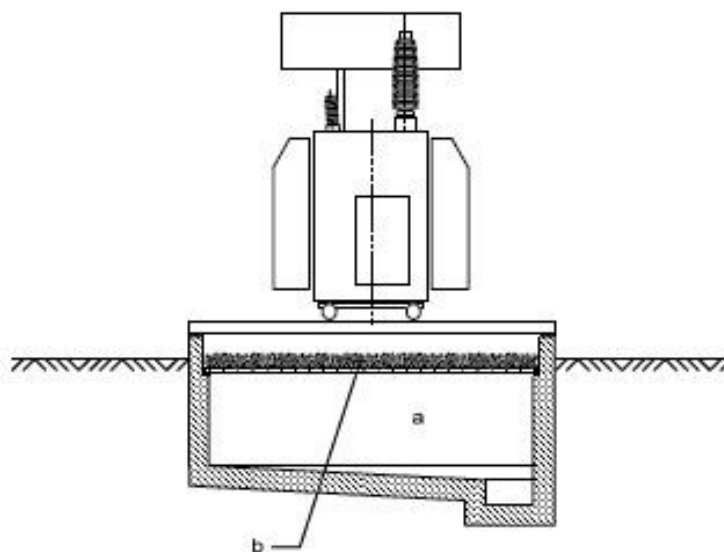
mahdollisten kantavien rakenteiden lisääminen otettava huomioon korkeutta määriteltäessä. (Nieminen 2021.)

## 4.2 Muuntajatilat ja kompensatiotilat

Muuntajatilat sijoitetaan mahdollisimman lähelle sähkökeskustilaa siirtohäviöiden ja kaapeloimiskustannusten vähentämiseksi (PSK 2002, 2). Kaapelointitilan jäädessä maavaraisen betonilaatan tasossa olevaksi kerrokseksi, tarkoittaa tämä sijoittamista betonirakenteiselle välipohjalle samaan tasoon sähkökeskustilan kanssa.

Kohteessa käytettävät muuntajat ovat öljyeristeisiä ja nestemäärältään ne ovat väliltä 2000...20 000 dm<sup>3</sup>, riippuen kohteesta ja muuntokohteen prosessissa tarvittavasta jännitteestä. Tämän kokoluokan muuntajien turvaetäisyys toisista muuntajista tai syttyivistä rakenteista on 5 metriä vaakasuunnassa ja 10 metriä pystysuunnassa. Jos tätä etäisyyttä ei pystytä täyttämään on käytettävä luokan EI 120 osastoivaa seinää muuntajabunkkerissa tai lähellä olevassa rakennuksessa. Rakentamismääräyksissä ilmoitettuja etäisyyksiä ei kuitenkaan saa alittaa ja standardissa myös viitataan noudattamaan rakentamismääräyskokoelmaa, jonka mukaan alin sallittu etäisyys rakennusten välillä palon leviämisen estämiseksi on 8 metriä. (SFS 6001:2018, 70.) Tässä tilanteessa jää suunnittelijan vastuulle valita oma riskienhallintatapansa palon leviämisen estämiseksi.

Muuntaja asennetaan keruualtaan yläpuolelle niin, että mahdollisessa vuototapauksessa muuntajan öljy pääsee valumaan kokonaisuudessaan keruualtaaseen (kuva 7), eikä aiheuta palonleviämistä palavan nesteen välityksellä. Keruualtaasta öljy tulee voida poistaa joko valuttamalla keräilykaivoon tai ime-mällä imuputkella. (SFS 6001:2018, 73.)



Kuva 7. Muuntajan keruallas (SFS 6001:2018, 79)

Kuvasta voi todeta, että muuntajan alapuolelle on asennettu teräsritilä jonka päälle on asetettu katemateriaali (kuvassa selite b). Sen tehtävänä on eristää muuntaja mahdollisesta öljypalosta sallien samalla öljyn valumisen kerroksen läpi keruualtaaseen (kuvassa selite a).

Öljytäytteiset muuntajat asennetaan ulkotiloihin erillisiksi rakennettuihin bunkkereihin, mutta kuitenkin rakennuksen yhteyteen. Muuntajatila tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle kojeistotilaa, koska muuntajatilan ja kojeistotilan välille asennetaan kiskosilta. Kiskosilta suositellaan eristettäväksi kauttaaltaan turvallisuuden vuoksi ja tämä eristys on otettava huomioon aukon kokoa määriteltäessä. Muuntajat erotetaan toisistaan ja rakennuksesta REI120 osastovallalla seinällä, jonka paksuuden tulee olla vähintään 200 mm riittävän suojabetonipinnan toteutumiseksi. (Nieminen 2021.)

Jos muuntamokeskukseen rakennetaan kompensatiotila, tulee se sijoittaa muuntajien läheisyyteen. Kompensatiotila voi olla ulkotila, jonka ympäröivien rakenteiden tarkoitus on pitää sadevesi ja lumi poissa säätäjistä ja kontakteista. Tällöin laitteisto on sijoitettuna omiin kaappeihinsa, joissa on kuivattava lämmitysjärjestelmä. Kompensatiotila voi olla myös puolilämmin tila. Tällöin erillistä kuivaavaa lämmitystä ei tarvita ja kaikki laitteet voidaan sijoittaa sa-



maan suojakaappiin. Tiloissa on oltava vähintään tehokas luonnollinen tuuletus, jota tarvittaessa voidaan tehostaa poistoilmahuualluksella. (Nieminen 2021.)

### **4.3 Sähkökeskustila**

Muuntamorakennuksen alapohja- tai välipohjarakenne on usein paikalla valettu massiivinen betonilaatta, joka sijaitsee kaapelitilan ja sähkökeskustilan välissä. Tähän rakenneosaan porataan reiät läpivienneille kaapelitilan ja sähkökeskusten tulokaappien välille. Betonin tulee tällöin olla lujuusluokaltaan vähintään C30/37. Laatuvaatimusluokka on BLY7/by45 betonilattioiden luokitusohjeen mukaan B-3-II tai B-2-II riippuen tilasta ja lattian päällystystarpeesta (taulukko 6).

Taulukko 6. Laatutekijät tavanomaisella vaatimustasolla (Lattiatoimikunta NT-118 2013, 15)

Kohde	Laatuluokka		
	Suoruus	Kulutuskestävyys	Halkeilu
<b>Teollisuyslattiat</b>			
-Tasaisuus tärkeä laatutekijä, kuten korkeat varastot (esim. trukkilii-kenne)	A <sub>0</sub> (A)	2	II (I)
-Kulutuskestävyys tärkeä laatutekijä (esim. suuret lii-kennekuormat, vil-kas liikenne, pie-net ja kovat trukin pyörät)	B	1 (2)	II (I)
Teollisuyslattiat yleensä (esim. pienteollisuustalot, kevyt teollisuus)	C	2	II
<b>Asunnot ja toimistot</b>			
Päällystettävät lat-tiat, sisätilat	A	3	III

Taulukossa 6 esitettyä suoruusvaatimusta voidaan käyttää teollisuustiloissa myös lattiapinnan epätasaisuuksien arvioinnissa, kun kahden mittauspisteen välinen matka on 200 mm tai 700 mm. Erillistä tasaisuusvaatimusta ei tarvitse esittää. (Lattiatoimikunta NT-118 2013, 17.)

Taulukon perusteella valitut laatuvaatimukset ovat seuraavat:

- B Suurin sallittu poikkeama tasaisuudessa ja suoruudessa 200 mm matkalla enintään 3 mm ja 700 mm matkalla enintään 6 mm

- 3(2) Sallittu kuluminen 3kk ikäisen lattian pinnasta teräspyöräkeessä laatuluokassa 3 on 6 mm/800 kierrosta. Laatuluokassa 2 kulumista saa tapahtua 3 mm/2000 kierrosta.
- II Halkeamanleveysluokituksena normaali, sallittu halkeaman leveys on 1,0 mm.

Sähkötilan lattiarakenteiden betonin suunnitelluksi käyttöiäksi asetetaan vähintään 50 vuotta. Kloridien läsnäolo ympäröivässä ilmastossa on otettava huomioon asetettaessa betonimassalle suurinta sallittua vesi-sementtisuhdetta rasitusluokan mukaan. Betonirakenteiden säilyvyysohjeistus löytyy standardista SFS 206 ja siinä käytettävät kansalliset sovellusohjeet standardista SFS 7022. On suositeltavaa kuitenkin konsultoida betonin valmistajia kyseiseen ilmastoon ja kohteeseen sopivasta massasta. Betoniasemilla on betonimassasta ja omista betoniperheistään paras tietämys.

Sähkötilan lattiapäällysteen tulee nousta seinärakenteeseen 100 mm matkalle ja muodostaa ilmatiivis rakenne yhdessä lattiapäällysteen kanssa. Suositeltavin kiinnitystapa on liimaus. Lattiapäällysteen eristävyys tulee täyttää vaatimukset, jotka on eritelty standardissa SFS-EN 61340-5-1:2016. Sähkötila on luettavissa EPA-alueeksi, koska siellä on ESD-herkkiä komponentteja. Tämän vuoksi on käytettävä yhtä tai useampaa ESD-hallintamenetelmää, joita taulukossa 7 esitetään.

Taulukko 7. EPA-aluetta koskevat vaatimukset (SFS-EN 61340–5–1:2016, 18)

EPA-aluetta koskevat vaatimukset	ESD-hallintatarvike	Tuotehyväksyntä <sup>a</sup>		Kelpoisuuden todentaminen <sup>b</sup>	
		Testausmenetelmä	Raja-arvot <sup>c</sup>	Perustana oleva testausmenetelmä	Raja-arvot <sup>c</sup>
	Työtasot, säilytystelineet ja työntövaunut <sup>g</sup>	IEC 61340-2-3	$R_{gp} < 1 \cdot 10^9 \Omega$ $R_{p-p} < 1 \cdot 10^9 \Omega^f$	IEC 61340-2-3	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
	Rannekkeen liitoskohta				$R_g < 5 \times 10^6 \Omega$
	Lattiapinnoite	IEC 61340-4-1 <sup>d,e</sup>	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-4-1	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
	Ionisointi	IEC 61340-4-7	Purkautuminen (1 000 V:sta 100 V:iin ja — 1 000 V:sta — 100 V:iin) < 20 s Jäännösjännite < ± 35 V	IEC 61340-4-7	Purkautuminen (1 000 V:sta 100 V:iin ja — 1 000 V:sta — 100 V:iin) < 20 s tai käyttäjän määrittämä Jäännösjännite < ± 35 V
	Istuimet	IEC 61340-2-3 (resistanssia maadoituspisteeseen koskevat mittaukset)	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-2-3 (resistanssia maahan koskevat mittaukset)	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
	Staattisen sähkön hallinta vaatteet	IEC 61340-4-9 tai käyttäjän määrittämä menetelmä	$R_{p-p} < 1 \times 10^{11} \Omega$ tai käyttäjän määrittämä arvo	IEC 61340-4-9 tai käyttäjän määrittämä menetelmä	$R_{p-p} < 1 \times 10^{11} \Omega$ tai käyttäjän määrittämä arvo
	Maadoitettavat staattisen sähkön hallinta vaatteet	IEC 61340-4-9	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-4-9	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$

<sup>a</sup> Tuotehyväksyntää varten testaamisympäristön suhteellisen kosteuden olisi oltava (12 % ± 3) % RH ja lämpötilan olisi oltava 23 °C ± 2 °C. Jos viiteasiakirjana olevassa IEC:n standardissa ei ole määritelty vähimmäiskestoja tuotehyväksynnässä käytettävälle ympäristöolosuhteille altistamiselle, ajan olisi oltava 48 tuntia.

<sup>b</sup> Kelpoisuuden todentamissarakkeessa mainitut testausmenetelmät koskevat vain perusmittausta. Koko testausmenettelyn toteuttaminen ei ole välttämätöntä.

<sup>c</sup> Tässä taulukossa käytetyt symbolit:  $R_{p-p}$  viittaa pisteiden väliseen resistanssiin.  $R_g$  viittaa resistanssiin maahan ja  $R_{gp}$  viittaa resistanssiin maadoituspisteeseen.

<sup>d</sup> Suurin sallittu testausjännite ESD-lattiapinnoitteen mittaamiseen tämän standardin mukaisessa ESD-ohjelmassa on 100 V.

<sup>e</sup> Jos lattiapinnoitetta käytetään ESD-herkkiä osia käsittelevien henkilöiden maadoittamiseen, katso vaatimukset taulukosta 2.

<sup>f</sup> Mikäli CDM-mallin (varautuneesta komponentista tapahtuvan purkauksen mallin) mukaiset vauriot ovat mahdollisia, on suositeltavaa käyttää pisteiden välisen resistanssin vähimmäisraja-arvoa  $1 \times 10^4 \Omega$ .

<sup>g</sup> Työtasoksi määritellään mikä tahansa taso, jolle suojaamaton ESD-herkkä osa asetetaan.

Lattiapäällysteiden ja lattiapinnoitteiden eristävyyslukemat selviävät valmistajan tuotekorteista. Tuotteiden sähköiset ominaisuudet on tarkistettava tuotekortista aina ennen asentamista. Tarvittaessa voidaan pyytää maadoitus-, henkilö- tai yhdistelmäresistanssin mittauksesta asentamisen jälkeen tarkastusasiakirja. Mittausten tulee olla standardin SFS-EN 61340–4–5 mukaiset.

Kantavina alapohjarakenteina tai välipohjarakenteina voidaan muuntamora-kennuksissa myös käyttää massiivilaattaelementtejä, ontelolaattoja tai paikallavalun, kuorilaattaelementtien ja ontelolaattojen yhdistelmää. Tämä vaatii

suunnittelijalta näkemystä kojeistojen sijoittelusta ja mahdollisesta tilan laajentamistarpeesta enemmän kuin massiivisesti valetun välipohjalaatan tapauksessa. On kuitenkin loogisesti pääteltävissä massiivisen valetun välipohjalaatan muotittamisen, raudoittamisen, valamisen, jälkihoidon, kuivumisen, päällystämisen ja läpiporauksen olevan aikaa vaativia toimenpiteitä. Elementtien käyttö poistaisi erillisen muotittamisen ja raudoittamisen tarpeen ja nopeuttaisi työtä siinäkin tapauksessa, että kuorielementtien päälle valettaisiin pintalaatta. Läpiporauksen voi korvata aukkovarauksilla, joihin on huolella suunniteltu kojeistojen sisään tuomisen ajaksi palokatko ja palokatkoa suojaava kantava tilapäinen rakenne. Tällä hetkellä rakenteen toteutuksessa tuottaa haasteita suunnittelun päällekkäisyys ja sähkösuunnittelun myöhäinen valmistuminen rakennesuunnitteluun verrattuna. Teollisuuden muuntamorakennuksessa välipohjarakenne sähkötilan ja kaapelitilan välissä on haasteellinen, mutta huolellisella aikataulutuksella sähkösuunnittelu ja rakennesuunnittelu voidaan saada toimimaan paremmin. Näin läpivientien suunnittelu voidaan suorittaa aikaisemmassa vaiheessa projektia nopeuttaen rakennuksen käyttöönottoa ja parantaen sen muunneltavuutta tulevaisuutta ajatellen.

Eri rakenneosissa sijaitsevat läpiviennit tulee suunnitella niin, että läpiviennille tehty aukko on mahdollista tiivistää rakennetta vastaavalle tasolle ääntä, paloa, kosteutta ja painetta vastaan. Liian pieni aukko on vaikea tiivistää todennettavasti ja liian suuri taas vaatii paljon lisätyötä ja materiaalia, eikä välttämättä täytä palonkestovaatimuksia. (LVI 12–10217 1994, 1.)

Vietäessä putkea tai kiskosiltaa ulkoseinärakenteen läpi tarvitsee ottaa huomioon mahdollisten teräskehysten viemä tila ja myös ulkopuolisten suojaavien rakenteiden vaatimukset, kuten asennettavuus. Taulukossa 8 on esitetty ulkoseinärakenteen aukon kokoja betoni- ja tiiliseinissä. Tehtävän aukon koko on suhteutettu läpivietävän kappaleen mittoihin.

Taulukko 8. Aukon mitat käytettäessä kehystä (RT 80–10238 1984, 1)

Putken tai eristyksen ulkohalkaisija $d_e$	Aukko tiiliseinässä a x b	Aukko betoniseinässä a x b
$80 < d_e \leq 250$	430 x 465	600 x 600
$250 < d_e \leq 400$	720 x 735	800 x 800
$400 < d_e \leq 600$	860 x 915	900 x 900
$600 < d_e \leq 700$	1010 x 1005	1000 x 1000
$700 < d_e \leq 900$	1150 x 1185	1200 x 1200
$900 < d_e \leq 1000$	1290 x 1275	1200 x 1200

Läpivienneille tarvittavien aukkojen pinta-ala voi olla jopa 1,44 m<sup>2</sup> (taulukko 8). Tehtäessä läpivientä kantavaan rakenteeseen täytyy hyväksyttää suunnitelma rakennesuunnittelijalla, joka laatii reikäpiirrokset. Näin suuren läpivientiaukon tiivistämisessä käytettävät tuotteet on valittava huolella ja niiden vaikutus rakenteeseen selvitettävä ja todennettava erikseen. (LVI 12–10217 1994, 4.)

Sähkötilassa kojeistojen tilantarve määrittelee sisätilan pinta-alan ja tilan muodon. Keskusten yleisimmät syvyydet ovat 400–1000 mm ja korkeudet 1900–2300 mm. Kiskosiltaliityntä sähkötilaan muuntajalta lisää vertikaalista tilantarvetta noin 200–300 mm (PSK 2002, 2). Kojeistojen todellinen tilantarve tulee kuitenkin varmistaa valmistajalta ja kiskosillan eristämiseen tarvittava tila on muistettava ottaa huomioon. Sähkötilat tulee pyrkiä sijoittamaan mieluiten välittömästi muuntajatilaa viereen häviö- ja kaapelointikustannusten minimoimiseksi (PSK 2002, 2).

Kiskosillan ja lattiapinnan välisen etäisyyden on oltava aina vähintään 2000 mm ja huonekorkeuden 3000 mm, jos tilassa ei ole kaapelihyllyjä. Kaapelointien kulkiessa kojeistojen yläpuolella kaapelihyllyillä on huonekorkeuden oltava vähintään 3500 mm. (PSK 2002, 11.)

Kaapelihyllyinä käytetään tehdasvalmisteisia hyllyrakenteita. Materiaalit valitaan tilojen turvallisuus ja ympäristöolosuhteet huomioon ottaen. Sähkötiloissa

suositeltava hyllymateriaalit ovat teräs ja alumiini, riippuen kaapeleiden paloluokituksesta. Palonkestävät kaapelit tulee kuljettaa joko erillisellä kaapelihyllyllä tai omassa palokoteloinnissaan, jotta kaapelien palosuojaus toimisi oikein ja varmistaisi sähkönsyötön katkeamattomuuden ennalta määrätyn ajan.

Kaapelihyllyt tulee sijoittaa rakennukseen niin, että niiden kannakointi voidaan tehdä sopivista rakenteista. Niiden sijoitus ei saa estää koneiden vaihtoa tai huoltoa ja niiden suojaukseen on kulkureittien yläpuolella kiinnitettävä erityistä huomiota. Kaapeleille on varattava hyllyihin 30 % lisätilaa ja voimakaapelit asennetaan hyllyyn lisäksi 70 % täyttöasteella. Voima-, ohjaus- ja instrumentti-kaapelit asennetaan omina ryhminään omille hyllyilleen, ja hyllyjen väliin jätetään vähintään 300 mm väli. (PSK 2005, 3.) Kaapelihyllyjen määrä riippuu suoraan sähkökojeistojen määrästä, ja tämä vaikuttaa sähkötilan sisätilan korkeuden vaatimukseen. Sähkökeskusten määrä tuleekin selvittää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tai suunnitella sisätilan korkeus riittävällä varauksella varustettuna (Nieminen 2021).

Sähkökeskusten huoltamisessa käytettävän käytävän tulee olla vähintään 800 mm leveä. Kuitenkin palotilanteessa käytävän toimiessa poistumisreitinä sen vapaan leveyden on oltava vähintään 500 mm, silloinkin kun kojeistojen ovet ovat auki. (SFS 6001:2018, 55.) Käytävän leveyden määrittelee täten lopulta kojeistojen ovien koko ja poistumisreitien leveys. Kojestojen ovien koot määräytyvät kojeistojen leveyden mukaan, ja kojeistojen leveyteen vaikuttaa muunnettava virta. Standardi PSK 2002 suosittelee poistumisreitien vähimmäisleveydeksi 600 mm standardista SFS 6001 poiketen. Kojestojen ovien tulisi sulkeutua poistumissuuntaan, jotta vältytään poistumisen aikaiselta kulkemisen estymiseltä. Poistumisreitien pituus ei sähkötiloissa saa ylittää kokonaisjännitteen ollessa suurempi kuin 52 kV 40 metriä ja kokonaisjännitteen ollessa pienempi kuin 52 kV 20 metriä. (SFS 6001:2018, 55.) Sähkötilan pituuden ylittäessä 10 metriä, tulee se varustaa poistumistiellä molemmista päistään (PSK 2002, 2). Jos sähkökeskusten kaapelointi suoritetaan niiden takaosasta, tulee tämänkin käytävän täyttää aiemmin esitetyt vaatimukset poistumisteiden vapaantilan leveyksistä, koska laitteiden tulee olla huollettavissa jokaisen liittymän ja kaapeloinnin kohdalta (Nieminen 2021).

Sähkötilaan johtavien ovien dimensioissa tulee ottaa huomioon tilaan asennettävien sähkökojeistojen vaatima kuljetustilan tarve, hätäuloskäyntien vaatimukset ja käyttäjiltä tullut tieto. Käyttäjien kokemusten mukaan matala ja suora kynnyks on sähkökojeistoja sisään tuotaessa hyödyksi, mutta muuten käytön aikana se aiheuttaa ylimääräisiä huoltotoimenpiteitä. Matala ja suora kynnyks kerää kohdalleen hiekkaa ja kosteutta, joka haittaa oven normaalia toimintaa. Oven normaalin toiminnan häiriintyessä myös tiloissa ylläpidettävä ylipaineistus vaatii enemmän energiaa. Ovien tulee avautua tiloista ulospäin ja niiden tulee avautua hätäsalvalla sisäpuolelta, vaikka ne olisivat muuten lukituina. Vapaan korkeuden tulee aukossa olla vähintään 2000 mm ja vapaan leveyden 750 mm. Niiden tulee olla materiaaliltaan vaikeasti syttyviä. (SFS 6001:2018, 56.) Ovien korkeudeksi suositellaan kuitenkin vähintään 2700 mm, jotta sähkökojeistojen kuljettaminen tilaan ja sieltä pois olisi mahdollista myös tavarankuljetuskärryjen avulla (PSK 2002, 2). Kallistaminen ei välttämättä ole mahdollista jokaisen kojeiston kohdalla, joten muunlaisten siirtolaitteiden käytön mahdollisuus tulee ottaa aukon koossa huomioon. Kynnyksien kohdalle asennetaan tavallisesti levyt siirtämisen helpottamiseksi. Niiden tarvitsema lisätila tulee myös ottaa huomioon mietittäessä oviaukkojen kokoa.

Sähkötiloissa pidetään ilmastoinnin avulla yllä ylipainetta, jolla pyritään estämään pölyn ja muiden epäpuhtauksien pääsy sähkötilaan. Sopiva ylipaine on 20–40 Pa verrattuna muihin ympäröiviin tiloihin (PSK 2002, 5).

Sähkötiloja tulee suojata ilmassa olevilta syövyttäviltä aineilta, koska ne voivat aiheuttaa sähkökeskuksien metallisissa osissa ja johtimissa korroosiota. Tämä korroosio taas voi johtaa sähkökeskuksen toimintahäiriöön tai pahimmassa tapauksessa keskuksen vaurioitumiseen käyttökelvottomaksi. Tämä aiheuttaa lisäkustannuksia paitsi sähkönjakeluverkon ylläpidossa, mutta aiheuttaa myös kohtuuttoman suurta haittaa teollisuusalueella sijaitseville prosessiteollisuuslaitoksille.

Ilmaston korroosioivuus on suurimmillaan kosteassa ja lämpimässä ilmassa, sekä meri-ilmastossa. Pienimmillään se on kylmässä ja kuivassa ilmassa. (SFS-EN ISO 12944-2:2017, 12.) Ilmastotyypin ja alueluokittelun perusteella korroosioivuudesta voidaan kuitenkin tehdä vain suuntaa antavia ar-



vioita. Todelliset korroosioivuuden arvot selvitetään mittaamalla ne paikkakohtaisesti käyttäen standardoitua kupariliuskatestiä tai elektronista jatkuvaa mitausta.

Standardissa ISA-S71.04–1985 Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants, ilmaston korroosioivuus on luokiteltu rikkijyhdisteen ilmaantuvuudella kuparissa. Tämä rikkijyhdisteiden kokonaispaksuus ajan yksikköä kohden on määritelty kupariliuskakeella. Testissä käsiteltävä yksikkö on Angstromia/kuukausi ( $1 \cdot 10^{-10}$  m/30 d).

Sähkölaitteiden kannalta ongelmallisiksi luokiteltavia kaasuja ovat erityisesti:

- Rikkivety  $H_2S$
- Rikkidioksidit  $SO_2$  ja  $SO_3$
- Fluorivety
- Ammoniakki  $NH_3$
- Otsoni  $O_3$
- Kloori  $Cl_2$
- Typen eri oksidit

(ISA-S71.04–1985, 12–13).

Standardista ISA-S71.04–1985 ja standardista ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation on johdettu Suomen standardoimisliiton standardiin SFS-EN ISO 12944–2:2017 ja standardiin PSK 2002 suuntaa antavia ohjeita. Nämä suuntaa antavat ohjeet koskevat erityisesti ympäristöolosuhteiden vihamielisyyden arviointia ilmasto-olosuhteiden osalta. Tätä vihamielisyyttä arvioidaan suurentuneiden materiaalihäviöiden perusteella käyttäen yksikköinä pituutta ja painoa jaettuna pinta-alalle (taulukko 9).

Taulukko 9. Ilmastokorroosiovaikutusluokat ja esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä. (SFS-EN ISO 12944–2:2017, 10)

Korroosio- vaikutus- luokka	Painohäviö pinta-alayksikköä kohden/paksuushäviö (ensimmäisen altistusvuoden jälkeen)				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä (vain opastava)	
	Matalahiilinen teräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	Paino- häviö g/m <sup>2</sup>	Paksuus- häviö µm	Paino- häviö g/m <sup>2</sup>	Paksuus- häviö µm		
C1 hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit
C2 lievä	> 10...200	> 1,3...25	> 0,7...5	> 0,1...0,7	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä alhainen: enimmäkseen maaseutualueita	Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit
C3 kohtalainen	> 200...400	> 25...50	> 5...15	> 0,7...2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus, rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus	Tuotantotilat, joissa on korkea kosteus ja hieman epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit
C4 ankara	> 400...650	> 50...80	> 15...30	> 2,1...4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen	Kemialliset tehtaat, uima-altaat, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneveistämöt
C5 hyvin ankara	> 650... 1 500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus korkea ja ilmatila syövyttävä sekä rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus korkea	Rakennukset tai alueet, joilla lähes jatkuvaa kondensoitumista ja saasteiden määrä korkea
CX äärimmäinen	> 1 500... 5 500	> 200... 700	> 60...180	> 8,4...25	Offshore-alueet, joilla suolapitoisuus korkea ja teollisuusalueet, joilla kosteus on äärimmäinen ja ilmatila syövyttävä sekä subtrooppiset ja trooppiset ilmastot	Teollisuusalueet, joilla kosteus äärimmäinen ja ilmatila syövyttävä

HUOM. Korroosiovaikutusluokissa käytetyt häviöarvot ovat yhtäpitävät standardin ISO 9223 arvojen kanssa.

Tämä taulukko on yhtäpitävä molempien edellisessä kappaleessa mainittujen standardien kanssa. Taulukko kuvailee erityyppisten ilmastoympäristöjen vaikutuksia matalahiilisen teräksen ja teräksen suojauksessa käytettävän sinkin syöpymisessä ja painohäviöissä. Sitä käytetään arvioidessa teräsrakenteiden suojaustarvetta erilaisissa korroosioivissa ympäristöissä. Tätä taulukkoa ei käytetä mitoitettaessa ilmastointia tai arvioidessa tuloilman kemiallisen suodatuksen tarvetta, vaan siihen käytetään taulukon 10 ja taulukon 11 antamia arvoja. Taulukkoa 10 varten tulee olla suoritettuna kupariliuskatesti, jonka avulla selviää rikkiyhdisteiden ilmaantuvuus angstromeina. Sen jälkeen voidaan noudattaa taulukossa 11 annettuja ohjeita tai mitoitetaan ilmastointi muulla las-kennallisella ja varmennettavalla tavalla.

Taulukko 10. Ympäristöolosuhteiden ankaruusluokitus (ISA-S71.04–1985, 14)

Luokka G1	Suopea	<300 Angstromia/ uukausi	Ei aiheuta ongelmia sähkölaitteille tai elektroniikan toiminnalle
Luokka G2	Kohtalainen	300–1000 Angstromia/ uukausi	Korroosioivuuden vaikutuksia voidaan ha- vaita ja se vaikuttaa laitteiden luotettavuus- teen
Luokka G3	Ankara	1000–2000 Angstromia/ uukausi	Korroosioivuuden haittavaikutukset erittäin todennäköisiä. Ilmastoympäristön vaikutus otettava huomioon laitteiston suojauksessa.
Luokka GX	Erittäin an- kara	>2000 Angstromia/ uukausi	Vain erityistoimenpitein suojatut laitteistot pysyvät toimintakykyisinä. Laitteiden suo- jauksesta tulee sopia yhdessä käyttäjän ja omistajan kanssa

Näiden standardien antamien ohjeiden perusteella suositeltavat ilmastointi- ja suodatusjärjestelmät eri ympäristöluokille on standardin PSK 2002 mukaan esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Ilmastoinnin ohjeellinen suunnittelu (PSK 2002, 8)

Luokka G1	Koneellinen ilmastointi/ilmanvaihto tai tuuletus. Hiukkassuodatus käyttövarmuusvaatimusten mukaisesti. Ei kemiallista-suodatusta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Painovoimainen ilmanvaihto</li> <li>• Koneellinen tuuletus</li> <li>• Ylipainejärjestelmä</li> <li>• Kierrätysilmajäähdytys</li> <li>• Tilaan sijoitettu erillinen jäähdytys</li> </ul>
Luokka G2	Koneellinen ilmastointi/ilmanvaihto. Hiukkassuodatus ja harkinnanvaraisesti kemiallinen suodatus tai varautuminen siihen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koneellinen tuuletus</li> <li>• Ylipainejärjestelmä</li> <li>• Kierrätysilmajäähdytys</li> <li>• Tilaan sijoitettu erillinen jäähdytys</li> </ul>
Luokka G3	Koneellinen ilmastointi/ilmanvaihto. Hiukkassuodatus ja kemiallinen suodatus.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ylipainejärjestelmä</li> <li>• Kierrätysilmajäähdytys</li> <li>• Tilaan sijoitettu erillinen jäähdytys</li> </ul>
Luokka GX	Koneellinen ilmastointi. Hiukkassuodatus ja kemiallinen suodatus, suosittelaa sekä ylipainetta että kierrätysilmaa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kierrätysilmajäähdytys</li> <li>• Tilaan sijoitettu erillinen jäähdytys</li> </ul>

Edellä olevan taulukon viimeisessä sarakkeessa on annettu esimerkinomaisesti erilaisia vaihtoehtoja riittäviksi toiminnoiksi suotuisten ilmasto-olosuhteiden luomiseksi. Taulukosta 11 huomataan, että vaativimmat olosuhteet vähentävät käytettävissä olevia vaihtoehtoja. Luokassa GX ei esimerkiksi voida käyttää painovoimaista ilmanvaihtoa tilojen jäähdytykseen vaan on otettava käyttöön raskaammat järjestelmät kuten tilakohtainen jäähdytys tai tilan omaa käytettyä ilmaa kierrättävä kierrätysilmajäähdytysjärjestelmä. Tästä voi päätellä myös toteutuskustannusten kasvun olevan kääntäen verrannollinen toteutustapojen määrään nähden.

Sähkötiloissa mahdollisesti syttyvät tulipalot tai valokaarioikosulun aiheuttamat paineaallot laukaisevat tilassa käytössä olevan sammutuslaitteiston. Koska tiloissa käytetään herkästi vaurioituvia komponentteja, on suotavaa käyttää sammutusjärjestelmää, joka suojelee muuta laitteistoa sammuttaen alkavan

palon ja estävän sen uudelleen syttymisen. Sähkönjakelun kannalta kriittisimmissä sähkötiloissa on lähestulkoon aina käytössä jonkinlainen kaasusammutusjärjestelmä, joka perustuu inertin kaasuseoksen tukahduttavaan vaikutukseen. Lauetessaan järjestelmä vapauttaa tilaan kaasuseoksen, joka syrjäyttää hapen ja pysyy tietyssä pitoisuudessa, kunnes uudelleen syttymisen vaara on ohitse. Sammutekaasun määrä ja seos valitaan tilan palokuorman ja tilavuuden mukaan. (RT 63–11096, 7.)

Erittäin tärkeä toimenpide tällaisen sammutusjärjestelmän toiminnan varmistamiseksi on tilojen rakentamisen jälkeinen tiiveysmittaus. Tiiveysmittauksesta saatavan ilmanvuotoluvun avulla pystytään mitoittamaan tilaan tarvittava kaasumäärä, ottaen huomioon kaasun pitoisuuden laskeminen ilmanvuotoluvun mukaisesti. Tämä otetaan huomioon sammutusjärjestelmän inerttikaasuseoksen kokonaismäärässä. (Tarvainen 2021.)

Sähkötilojen seinärakenteiden tulee kestää kaikki ympäristöolosuhteet vakavasti vaurioitumatta. Tämä vaatimus koskee luonnollisesti myös kaikkien muiden tilojen seiniä. Erityisesti sisäpuoliset ilmastolliset kuormat on otettava sähkötilassa huomioon. Lämpökuorma kojeistotilassa on merkittävä ja sen sisältämä ilmankosteus tulee ohjata ulos sellaista reittiä pitkin, joka ei aiheuta rakenteille tai muille toiminnoille vaurioitumisen vaaraa. (Nieminen 2021.) Teollisuudessa käytetään usein teräskuorisia kivivillaa sisältäviä elementtejä kantavan runkorakenteen päällä rakennuksen vaippana. Tällaisessa rakenteessa elementtien välisiä saumoja tulee määrällisesti paljon, joten tiivistämisen, detaljien ja työmaavalvonnan merkitys korostuu entisestään. Päästessään tällaisen seinärakenteen sisälle kosteus lisää korroosionopeutta, ja rakennuksen tavoiteltu käyttöikä voi jäädä odotettua lyhyemmäksi. Ylimääräiset vaipparakenteen huoltotoimenpiteet tai vaihdot lisäävät käyttöikäkuluja. Vaikka näillä elementeillä voidaan säästää asennus- ja hankintakuluissa, saattavat elinkaaren aikaiset kustannukset nousta kaikkia muita toteutustapoja korkeammaksi, jos rakenne ei ole tiivis.

#### **4.4 LVI-tila**

LVI-tilan suunnittelu tehdään LVI-suunnittelijan laitesijoituspiirroksien mukaisesti, ja laitteistot asennetaan reunakiven verran korotetulle betonialustalle.

Kuormituskaavio laaditaan koneistojen painojen mukaan neliökuormana, ja suurten koneistojen kohdalla lisäkuorma otetaan huomioon välipohjan kantavuuden varmistamisessa. (Nieminen 2021.) LVI-tilaa ympäröivät seinät tulee suunnitella niin, että ne kestävät kaikki staattiset ja dynaamiset kuormat joita sen laitteiston käytöstä aiheutuu. Putkistojen, kiskojen tai kaapelien läpiviennit tai aukotukset eivät saa heikentää seinärakenteiden mekaanista lujuutta. Dynaamisia kuormia ovat esimerkiksi laitteiston kuljetuksesta, huollosta ja käytöstä aiheutuvat värinät. (SFS 6001:2018, 54.) Erityisesti LVI-laitteistojen käynnistä johtuvat värinät täytyy ottaa huomioon, jos ne voivat ympäristöstä tulevien muiden värinöiden kanssa resonoida haitallisesti. Rakennuksen lähellä tapahtuva rakentaminen, louhinta tai voimakas teollisuusprosessi voi aiheuttaa rakennuksen rungolle lisärasitusta värinällä.

Muuntamorakennuksissa lisäkuormaa aiheuttavat LVI-tilassa erityisesti kemiallinen suodatin ja jäähdytysverkoston tasausvesisäiliö. Tasausvesisäiliön koko vaihtelee kohteesta ja rakennuksen tilavuudesta riippuen 1000–2000 litran välillä. Molemmille laitteistoille voidaan suunnitella välipohjarakenne, joka kestää  $2,5 \text{ kN/m}^2$  lisäkuorman. Halutessaan jäähdytysverkoston tasausvesisäiliölle voidaan käyttää alhaisempaa kuormituksen arvoa  $2,0 \text{ kN/m}^2$ . Kemiallisen suodattimen vaatima lisätila riippuu ilmaston korroosioivuudesta ja myös rakennuksen ilmatilavuudesta. Suodattimen pituus on lähes aina 2,5 m, koska suodatinlaitteiston osat valmistetaan tehtaalla modulaariseen mittaan ja kootaan näistä modulaarisista osista. Suurempi suodatuksen tarve vaikuttaa kojeiston tilantarpeeseen leveyssuunnassa. Ilmaston epäpuhtauksien pitoisuuden ollessa suuri tarvitaan suodattavaa pinta-alaa ja erilaisia suodatuslamelleja lisää. (Tarvainen 2021.)

LVI-järjestelmään liittyvät olennaisesti ilmalauhdutteiset vedenjäähdyttimet, koska sähkötiloja tulee jäähdyttää sisäisen lämpökuorman vuoksi jatkuvasti. Nämä laitteet voidaan sijoittaa lähes mihin vain rakennuksen läheisyyteen, mutta putkimäärien, läpivientien ja lauhdutetun veden lämpiämisen vuoksi ne kannattaa sijoittaa mahdollisimman lähelle LVI-tilaa. Vedenjäähdyttimet sijoitetaan aina suoraan ulkotiloihin katoksen alle. Katoksen alapinnan ja laitteiston välille on jätettävä vähintään yksi metri vapaata tilaa, koska laitteisto ottaa viilentävän ilman sivuilta ja poistaa käytettynä päältä. Sijoittelussa on tärkeää,

että lopullinen laitteiston paikka ei ole voimakkaasti pölyävän materiaalin välittömässä läheisyydessä. Jos laitteisto sijoitetaan LVI-tilojen kanssa samaan tasoon, rakennetaan vedenjäähdyttimille teräsrilästä tasot. Tasojen tulee olla tarpeeksi suuret laitteiston huoltamiseen vaadittaville toiminnoille. (Tarvainen 2021.)

Muuntamorakennuksen LVI-laitteisto sijoitetaan pääsääntöisesti rakennuksen ylimpään kerrokseen kojeistojen kanssa samaan kerrokseen tai vesikatolle. LVI-laitteistojen säätöohjaimille tulee päästä helposti, ja huoltotoimenpiteille on varattava tilaa. Kojeeistoissa on paljon vaihdettavia osia kuten suodattimia, jotka vaativat jonkin verran ulosvetotilaa. Ilmastointilaitteistot saatetaan joissain tapauksissa haalata sisälle. Tämä tulee ottaa huomioon suunniteltaessa ovien tai haalausaukkojen kokoja. LVI-tilojen lisäksi ilmastointikanavien vaatima tilantarve tulee ottaa huomioon kaikissa niissä tiloissa, joissa ilmanvaihtoa ylläpidetään. Kanavien risteämät ja kanavien ja sähkökaapeleiden tai muiden laitteistojen päällekkäisyys saattavat kasvattaa sisätilantarvetta huomattavasti. (RT50–10425 1990, 2.)

Läpiviennit, jotka johtavat välipohjan läpi sähkökojeistotilasta LVI-tilaan varustetaan aina jonkinlaisella reunuksella. Reunuksen tarkoituksena on estää läpivietävän kappaleen kuluminen tai murtuminen yläpuolisen lattiapinnan tason kohdalta. Reunus voi olla holkki, jonka kannakkeet valetaan piiloon pintavalun alle, tai betoninen korotusvalu pintavalun päällä. Lattian ollessa ritilätaso on reunukset yleensä hitsattu kiinni ritilätasoon ennen sen asennusta. (RT80–10238 1984, 4.)

Vesikatolle asennettava valmis LVI-tila nopeuttaa rakentamista ja käyttöönottoprosessia. Kyseessä on tilaelementti, johon on valmiiksi asennettu tarvittavat ilmanvaihtokoneistot. Tilaelementin nostoon tarvitaan aina nosturia. Joskus LVI-elementin käytön esteenä voi olla nostotyössä tarvittavaan nosturin tilantarve tai maapohjan kantavuus ahtaissa teollisuusalue kohteissa. Vesikatolle asennettaville LVI-elementeille suoritetaan lujuuslaskelmat, joissa otetaan huomioon koneistojen painot, henkilö-, lumi- ja tuulikuormat. (Sandberg 2014, 194.) Käytettäessä tilaelementtinä toimitettavaa LVI-tilaa tulee sen seinärakenteen kestävyys varmistaa kuljetuksen ja nostojen osalta.

## 4.5 Akkutila

Akkutilat ovat ATEX-lainsäädännön mukaisesti luokiteltuja Ex-tiloja. Tämä tarkoittaa luokittelua räjähdysvaaralliseksi tilaksi Euroopan yhteisön direktiivien 94/9/EY ja 1999/92/EY mukaan. ATEX-työolosuhdesäädökset koskevat näitä tiloja suunnittelevia tahoja, koska tilat on suunniteltava suojaamaan niissä työskenteleviä ihmisiä pölystä ja syttyivistä kaasuista tai nesteistä aiheutuvalta räjähdysvaaralle altistumiselta. (ATEX Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 5.) Tilojen suojaustason määrittelyyn käytetään taulukkoa 12, jonka mukaan tilat voidaan jaotella räjähdysalttiiden ilmaseosten ilmaantuvuuden todennäköisyyden perusteella eri tilaluokkiin.

Taulukko 12. Ex-tilojen tilaluokitukset räjähdyskelpoisten olosuhteiden esiintymistodennäköisyyden mukaan (ATEX Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 11)

Tilaluokka 0	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein
Tilaluokka 20	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein
Tilaluokka 1	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa oleva palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti
Tilaluokka 21	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti
Tilaluokka 2	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa oleva palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa epätodennäköisesti ja kestää esiintyessään vain lyhyen aikaa
Tilaluokka 22	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa epätodennäköisesti ja kestää esiintyessään vain lyhyen aikaa

Muuntamorakennuksen akkutiloissa kyseeseen tulee räjähdysaltis ilmaseos, joka esiintyy kaasun, höyryn tai sumun muodossa. Akustossa tapahtuu varauksen, kestovarauksen ja ylivarauksen aikana varausvirran aiheuttamaa elektrolyysiä vedessä. Tämän elektrolyysin tuloksena syntyy vetyä ja happea, joista erityisesti vedyn konsentraation noustessa ilmaseoksessa aiheutuu



mahdollinen räjähdysvaara kaasun päästessä tilaan. Akkukennoston saavuttaessa täysin varautuneen tilan elektrolyysi tapahtuu Faradayn lain mukaisesti, ja tästä on siten laskettavissa veden hajoaminen alkuaineisiinsa. Tästä on edelleen laskettavissa tilaan muodostuvien kaasujen konsentraatio ja kaasun muodostuksen mukaan mitoitetaan ilmastointi. Varaavan toiminnan loppuessa kennostossa varausvirran poiskytkennän takia kaasua kehittyy vielä noin yhden tunnin ajan. (SFS-EN IEC 62485–2:2018, 20.)

Käytettäessä avokennoja on lattian oltava elektrolyyttiä läpäisemätöntä ja elektrolyytin kemiallisia vaikutuksia kestävä materiaalia. Vaihtoehtoisesti akkukennostot tulee sijoittaa erilliselle akkutelineelle. Sillä etäisyydellä, jossa ihmisen on mahdollista koskettaa akustoa tulee lattian pinnan olla staattista sähköä johtava, jotta ihmisen ja akuston väliin ei pääse syntymään jänniteeroa. Akusto saattaa kerätä itseensä staattista jännitystä, joka voi purkautua kosketuskipinä aiheuttaen räjähdyskelpoisen ilmaseoksen kanssa reagoidessaan räjähdysvaaran. Resistanssin maadoituspisteeseen tulee olla vähemmän kuin  $10 \Omega$  standardin SFS-EN IEC 61340–4–1 määrittelemien mittaus tapojen mukaisesti mitattuna (SFS-EN IEC 62485–2:2018, 26). Eri ESD-hallintatarvikkeiden mitattavia raja-arvoja käsitellään kohdassa 4.3 Sähkökeskustila taulukossa 7. Käytännössä toimivaksi on todettu akkutilan lattia, joka on asennettu koko huoneen alan kattavana pinnoituksena ja joka kestää kemiallisia vaikutuksia, sekä on puolijohtava tai johtava (Nieminen 2021). Pinnoitus tulee nostaa seinälle 200 mm korkeuteen lattiatasosta. Akkutilan lattiamateriaalin tulee kestää akustojen paino. Se voi akun laadusta ja akustotelineen akkujen määrästä riippuen olla huomattavan suuri ja kohdistua lattiaan pistemäisesti.

Yleisesti tunnettu hyvän kemiallisen rasituksen kestävä pinnoite on kaksikomponenttinen epoksimassapinnoite. Sitä valmistetaan sekä ESD-massana, että eristävänä massana usean valmistajan toimesta. Koska epoksihartseja ja kovetteita on tarjolla kemiallisilta ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia, voidaan niitä vaihtelemalla saada aikaiseksi hyvin erilaisia lopputuotteita. Yleensä betonin päällystämässä käytetään nestemäisiä hartseja, joiden viskositeettia alennetaan käyttämällä liuottimia. Nykyään on tarjolla myös viskositeetiltaan alhaisia hartseja kuten bisfenoli-A-pohjaisia, bisfenoli-F-pohjaisia ja novolac-hartseja. Novolac-hartsilla ja bisfenoli-F-pohjaisella hartsilla on bisfenoli-A-

pohjaista hartsia parempi haponkestokyky ja alhaisempi viskositeetti. (Häkkinen & Rönholm & Haimala 1999, 7–9.)

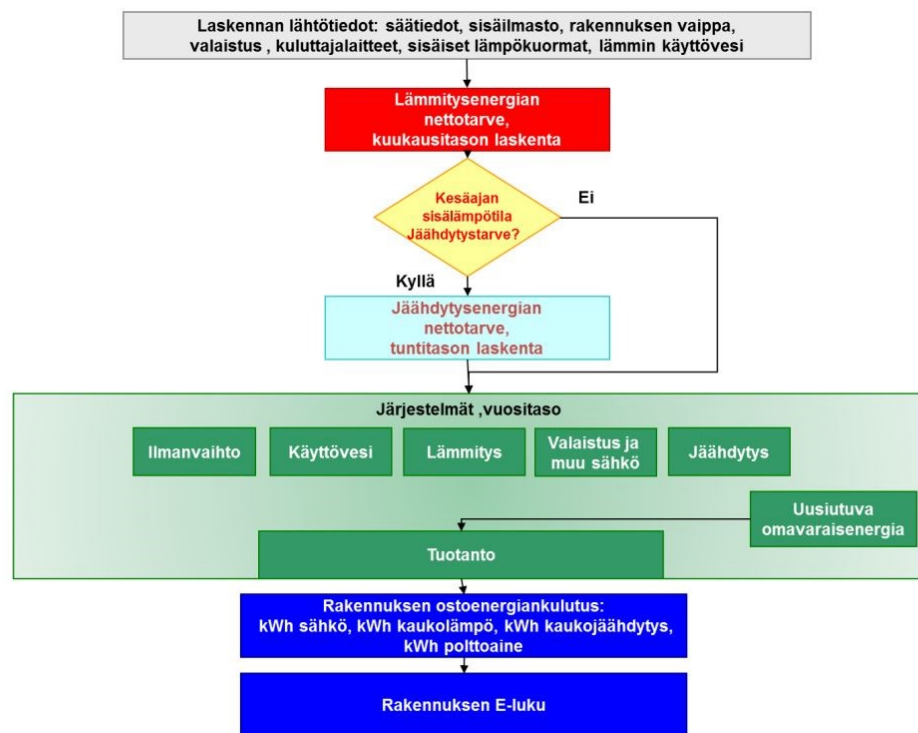
Akkuhuoneet ja tilat tulee merkitä Ex-varoitusmerkillä sisäänkäynnin yhteydessä. Jos alue on toisen tilan sisällä, alueen rajat tulee merkitä selkeästi ja varoitusmerkki sijoittaa näkyvälle paikalle. (ATEX Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 16.) Käytännössä akkutila voi olla toisen tilan sisällä vain siinä tapauksessa, että käytetään suljettua akkukennostoa. ATEX-olosuhteiden mukaan toteutettujen tilojen määräystenmukaisuutta valvoo paikallinen paloviranomainen.

Poistumisreittien ovien tulee avautua poistumissuuntaan. Akkutilojen lisäksi myös sähkötilassa poistumisen tulee tapahtua hyvin nopeasti mahdollisen tulipalon tai muun syyn ilmaantuessa, joten tilojen oviin vaaditaan paniikkipoistumislaitteet. Paniikkipoistumislaitteella tarkoitetaan lukitun oven sisäpuolelta avaavaa puomia. Muissa tiloissa poistumisen voi olettaa tapahtuvan rauhallisesti, ja käyttäjien tuntevan tilat kohtalaisesti. Tällaisissa tiloissa riittää hätäpoistumislaitte. Tällä tarkoitetaan painiketta tai vastaavaa, jolla voidaan ovi avata sisäpuolelta, vaikka se olisi lukittuna. (Turvalliset avausratkaisut poistumisreiteillä, 15–16.) Muuntamorakennuksissa käytettävät ovet tulee erillisesti hyväksyttävä paikallisella paloviranomaisella ennen asentamista. Ex-tilojen ovien oletetaan noudattavan ATEX-olosuhteiden asettamia vaatimuksia.

#### **4.6 U-arvo, tiiveys ja energiatehokkuus**

Energiatehokkuutta määriteltäessä kannattaa lämpökuormien määrä laskea ja hyödyntää ostoenergian vähennyksenä sisätiloissa, joissa lämmitystä tarvitaan. Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeessa Energiatehokkuus annetaan rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskentaan hyväksyttävät laskentamenetelmät useaan laskentatapaukseen. Teollisuuden muuntokeskusten osalta kannattaa keskittyä mahdolliseen lämpökuorman hyödyntämiseen ostoenergian vähennyksessä ja vuotoilman jäähtymiseen käytetyn energiamäärän määrittelyyn. Tällä tavalla voidaan karkeasti arvioida vuotoilman ja lämpökuorman vaikutusta ylläpitokustannuksiin. Vaikka energiatehokkuuden vaatimus ei koske teollisuus- ja korjaamorakennuksia, on energi-

ankulutuksen optimoinnista tuleva säästö kannustin suorittaa laskentaa. Kuvassa 8 on esitetty energialaskentaan tarvittavia tietoja ja laskennan eteneminen päättyen rakennukselle saatuun laskennalliseen E-lukuun. E-luku on tärkeä rakennuksien energiatehokkuuden todistamisessa. Teollisuusrakennuksilla tärkein vaihe saavutetaan kuitenkin ennen E-lukua eikä energiatodistusta kannata tässä tapauksessa laatia, koska teollisuusrakennuksilta ei sellaista vaadita. Laskentaa voidaan suorittaa pelkästään sähkötiloihin tarvittavan jäähdytyksen kannalta. Se on muuntamorakennusten ylläpitokuluissa ehdottomasti suurin kuluerä.



Kuva 8. Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 14)

Kuvassa 8 esitetyistä lähtötiedoista rakennusteknisesti tärkeimpiä ovat muuntamorakennuksissa sisäilmasto, sisäiset lämpökuormat ja rakennuksen vaippa. Tässä luvussa esitetyt kaavat ovat ympäristöministeriön rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaoppaasta Energiatehokkuus. Kylmäsiilojen vaikutus voidaan ottaa jäähdyttämiseen käytettävän ostoenergian kannalta positiivisena kuluvaikutuksena. Tässä tapauksessa sen voi jättää myös laskematta, ja ajatella lasketun energian nettotarpeen olevan lähinnä suuntaa antava tulos. Muuntamorakennuksen sähkötilojen jäähdyttä-

miseen tarvittava energiamäärä voidaan laskea tilojen lämmityksen nettotarpeen avulla. Rakennuksessa olevien tilojen lämmitys- tai jäähdytystarve yleisesti lasketaan kaavalla 3.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} + Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (3)$$

jossa	$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve	[kWh]
	$Q_{\text{tila}}$	tilojen lämmitysenergian tarve	[kWh]
	$Q_{\text{sis.lämpö}}$	lämmityksessä hyödynnettävät lämpökuormat	[kWh]

(Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 17).

Lämmitysenergian nettotarpeen laskemiseksi tulee laskea myös eri tilojen lämmitysenergian tarve ja lämmityksessä hyödynnettävät lämpökuormat. Tässä tapauksessa lämpökuormia ei voida suoraan käyttää hyödyksi kyseisten tilojen lämmityksessä, joten niiden vaikutus voidaan halutessaan ottaa huomioon negatiivisena. Koska tässä tapauksessa lasketaan jäähdyttämiseen käytettävää energiaa, otetaan tämä lämpökuormien vaikutus huomioon seuraavassa kaavassa tuloilman jäähdyttämiseen tarvittavana energiana. Tilojen lämmitys- tai jäähdytysenergian tarve lasketaan kaavalla 4.

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht.}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv,tuloilma}} + Q_{\text{iv,korvausilma}} \quad (4)$$

jossa	$Q_{\text{joht.}}$	johtumislämpöhäviöt rakennuksen vaipan läpi	[kWh]
	$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergiatarve	[kWh]
	$Q_{\text{iv,tuloilma}}$	tuloilman lämpenemiseen kuluva lämpöenergiatarve	[kWh]
	$Q_{\text{iv,korvausilma}}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergiatarve	[kWh]

(Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 17).

Kaavassa 4 esitetyistä arvoista korvausilma jätetään laskennasta pois. Tiloihin ei koskaan virtaa vapaasti korvausilmaa, vaan ylipaineiseen huoneeseen vir-

taava ilma on aina suodattimen läpi ajettavaa tuloilmaa. Tuloilman jäähdyttämiseen tarvittavan energiamäärän voi laskea termodynamiikan perussäännöillä, ilmasta poistettavana lämpöenergiana ja siihen tarvittavana työnä. Tätä kaavaa ei tässä esitetä tarkemmin. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt rakennusosittain lasketaan kaavalla 5.

$$Q_{joht} = Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpoh} + Q_{alapoh} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{muu} + Q_{kylmäsilta} \quad (5)$$

jossa	$Q_{ulkoseinä}$	johtumislämpöhäviöt rakennuksen vaipan läpi	[kWh]
	$Q_{yläpoh}$	johtumislämpöhäviöt rakennuksen yläpohjan läpi	[kWh]
	$Q_{alapoh}$	johtumislämpöhäviöt rakennuksen alapohjan läpi	[kWh]
	$Q_{ikkuna}$	johtumislämpöhäviöt rakennuksen ikkunoiden läpi	[kWh]
	$Q_{ovi}$	johtumislämpöhäviöt rakennuksen ovien läpi	[kWh]
	$Q_{muu}$	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta	[kWh]
	$Q_{kylmäsilta}$	johtumislämpöhäviöt rakennuksen kylmäsiltoja myöten	[kWh]

(Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 17–18).

Kaavaa käytettäessä täytyy tarkistaa sähkötilan sijoittuminen rakennuksen sisällä suhteessa muihin tiloihin ja käyttää sähkötilan kannalta katsottuna edellä mainittuja arvoja. Yllä olevassa kaavassa käytetyt johtumislämpöhäviöt lasketaan rakenneosien U-arvoja käyttäen kaavalla 6.

$$Q_{rak.osa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (6)$$

jossa	$Q_{rak,osa}$	johtumislämpöhäviöt rakenneosan läpi	[kWh]
	$U_i$	rakenneosan i lämmönläpäisykerroin	[W/m <sup>2</sup> /K]
	$A_i$	rakenneosan i pinta-ala	[m <sup>2</sup> ]

$T_s$	sisäilman lämpötila	[C°]
$T_u$	ulkoilman lämpötila	[C°]
$\Delta t$	ajanjakson pituus	[h]
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos Kilowattitunneiksi	[-]

(Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 18).

Kaavassa 4 tarvittava vuotoilmavirran tilavuus lasketaan kaavalla 7. Tämä on tärkeä arvo, kun vertaillaan eri tavalla toteutettujen tiivistämisten vaikutusta elinkaaren aikana kuluvaan energiaan. Tälle vuotoilman tilavuudelle saadaan laskettua jäähtymiseen tarvittava energiamäärä termodynamiikan perussäännöillä laskemalla ilmasta poistuva lämpöenergia.

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \cdot A_{vaippa} \quad (7)$$

jossa	$q_{50}$	rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku	[m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]
	$A_{vaippa}$	rakennusvaipan pinta-ala, alapohja mukaan luettuna	[m <sup>2</sup> ]
	$x$	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja neljäkerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeammille rakennuksille 15, kerroskorkeuden ollessa noin 3 m. Vain maanpinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon	[-]
	3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m <sup>3</sup> /h yksikköön m <sup>3</sup> /s	[-]

(Suomen säädöskokoelma 2018, 21)

Ympäristöministeriön ohjeessa annetaan tyypillisiä rakennuksissa testattuja ilmanvuotolukuja laskentaa varten, mutta ohjeessa ei käsitellä teollisuusrakennuksien ilmanvuotolukuja. Teollisuusrakennusten ilmanvuotoluku tulee tarkis-

taa tiiveysmittauksella rakennuksen vaipan ollessa valmis. Opinnäytetyön aiheena olevissa rakennuksissa ilmanvuotoluvun mittaaminen kuuluu LVI-urakoitsijan tekemiin lopputarkastuksiin ja siitä toimitetaan mittauspöytäkirja.

Teollisuusrakennusten viilentämiseen tarvittavan energian määrään vaikuttaa jossain määrin myös vaipparakenteen U-arvo. Koska haluttu lopputulos on viileämpi ja kuivempi sisäilma sekä tilojen ylipaine, U-arvon merkitys yhdessä ilmanvuotoluvun kanssa kannattaa tarkistaa tarkemmilla jatkotutkimuksilla. Asuinrakentamisessa on tällä hetkellä ajankohtaisena tutkimuksen aiheena vastaavanlainen tilanne, koska ilmasto lämpenee kesäisin lämpötiloihin, jotka edellyttävät sisätilojen tehokasta viilennystä. Vaipparakenteen toimivuuden arviointi tällaisessa tilanteessa edellyttää simulointia joko kokeilun kautta todellisissa rakennuskohteissa tai simulointiohjelmistoilla. U-arvon valitsemiseen muuntamorakennuksen tapauksessa vaikuttaa ulkoilman suuri kosteuspitoisuus, jonka ei haluta kondensoituvan rakennuksen ulkopintaan, kun sisätila on ulkoilmaa viileämpi. Eristyksen tulee siis olla sellainen, joka pitää vaipparakenteen ulkopinnan pintalämpötilan tasolla, jossa ilmassa oleva vesihöyry ei saavuta kastepistettään. Ulkoseinärakenteen pintaan kondensoituva vesihöyry kiihdyttää korroosiota ja tekee näin pinnasta erittäin haavoittuvan pienimpiäkin pintavaurioita vastaan.

Talvella suuri eristekerros vaipparakenteessa on haitallinen energiankulutuksellisesta näkökulmasta katsottuna. Talvella ulkoilman lämpötilaa ja pientä vesihöyrypitoisuutta voitaisiin käyttää sähkötiloissa optimaalisten olosuhteiden luomiseen. Tällä tavalla voitaisiin säästää viilennyksessä käytettävää energiaa. Ratkaiseva ajatusmalli voi löytyä yhdistelemällä massiivisempia rakenneosia kevyempiin ja optimoida niiden erilaisia kykyjä varata lämpöenergiaa itseensä. Oikeanlaisella rakennuksen sijoittelulla ja asemoinnilla yhdistettynä massiivisten ja keveiden rakenneosien optimoiduilla sijoituksilla saatetaan saavuttaa energiasäästöjä. Haittapuolena tällaisessa rakennustyyliässä on detaljien suuri merkitys ja vaativa suunnittelu. Liitoksien tulee toimia moitteettomasti, jotta rakennuksen tiiveys pysyy halutulla tasolla. Työohjeiden noudattaminen ja toisaalta myös niiden oikeaoppinen ja huolellinen laadinta ovat erittäin tärkeä laatutoimenpide.

## 5 TULOKSET JA POHDINTA

### 5.1 Opinnäytetyön tulokset

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvitettyä opinnäytetyötä koskevien rakennuksien suunnitteluun vaikuttavat standardit, lait ja säädökset. Näistä tiedoista on muodostettavissa spesifikaatiolle lainvoimainen tietopohja, jonka ympärille laaditaan asiakkaan ja teollisuusalueen muut vaatimukset, joita tässä työssä ei salassapidollisista syistä esitelty. Tämä on lisännyt ymmärrystä säädöksiä soveltamisesta teollisuusrakennuksissa ja tuonut suoraa hyötyä yleisesti rakennesuunnittelutyöhön sekä spesifikaation laadintaan.

Tätä työtä varten on tutkittu opinnäytetyötä koskevien rakennuksien suunnitteluun vaikuttavat standardit, lait ja säädökset. Säädösten tulkinnassa on pyydetty apua ympäristöministeriöstä suoraan heiltä ketkä säädökset ovat kirjoittaneet. Työhön liittyviä standardeja ja ohjeistuksia oli useita kymmeniä. Näihin on perehdytty ja tutkittu niihin viittaaminen lainsäädännössä. Tämän jälkeen on arvioitu niiden käytettävyys opinnäytetyössä sekä tietojen siirrettävyys spesifikaatioon. Yksilöiden välisen tulkinnan vähentyessä ja varmennetun tiedon lisääntyessä on mahdollista perustella tehdyt ratkaisut lain suomalla varmuudella.

Työ on selkeyttänyt lain, säädösten, standardien ja ohjeiden välistä hierarkiaa suunnittelutyössä ja mahdollistaa näin spesifikaatiossa esitettyjen valittujen vaikuttavien tekijöiden syvällisen perustelun. Standardisoinnin historiaa tutkittaessa on huomattu viittaustavan vakiintuminen suomalaisessa rakennuslainsäädännössä standardien lainvoimaisiksi nostamisessa. Myös standardien laatimisen ja harmonisointityön kompromissisen luonteen ymmärtäminen on lisännyt ymmärrystä suunnittelijan vastuusta riskien määrittelijänä ja hallintatavan valitsijana.

Tilojen käyttäjien kanssa tehty kenttätutkimus on antanut erittäin tärkeää tietoa koskien käyttöturvallisuutta ja tilojen helppokäyttöisyyttä. Valmiiden rakennusten tutkiminen on myös auttanut huomaamaan työmaavalvonnan merkityksen halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Ilman tätä tarkastelua oleellinen osa spesifikaation laadinnasta jäisi mahdollisesti vaillinaiseksi. Tulos on ollut myös suoraan otettavissa käyttöön muissa projekteissa. Opinnäytetyötä tehdessä



selvinneet käyttäjien havainnot ja kokemukset voidaan ottaa huomioon spesifikaatiota laadittaessa. Rakenteellisten ratkaisujen tekeminen on kuitenkin jätettävä rakennesuunnittelijan vastuulle.

Työtä tehdessä on keskusteltu muuntamorakennuksien suunnitteluun osallistuvien muiden asiantuntijoiden kanssa ja huomioitu heidän suunnitteluaan ohjaavat asiat ja erityispiirteet. Näiden asioiden vaikutus rakennesuunnitteluun otetaan huomioon spesifikaatiossa ja osaltaan tämä vähentää rakentamisvaiheessa ilmaantuvia yllättäviä muutostöitä. Muiden asiantuntijoiden kanssa tarkistetaan spesifikaatioiden väliset viittaukset asianmukaisiksi, koska eri asiantuntija-alojen spesifikaatiot on ajateltu toteutettavaksi toisiaan täydentävinä.

Opinnäytetyön antama arvo spesifikaation laadintaan tulee parhaiten ilmi opinnäytetyön laadintaan käytetyssä ajassa ja laajuudessa. Edellä mainittujen perustavanlaatuisen selvitysten lisäksi on erillisinä selvityksinä suoritettu kysely palokatkoista niiden myyjille ja valmistajille sekä tutkittu U-arvon, ilmanvuotoluvun ja IV-laitteiston vaikutusta rakennuksen elinkaarikustannuksiin tietomallipohjaisella simuloinnilla ja laskien.

Rakennusteknisen spesifikaation tehtävä on toimia rakennesuunnittelussa ohjaavana asiakirjana. Se ohjaa suunnittelijan olennaisen tiedon äärelle, antaen mahdollisuuden tehdä täsmällisempiä, perusteltuja valintoja koskien esimerkiksi kustannustehokkuutta ja rakenteellista toimivuutta. Siinä esitetään teknisiä vaatimuksia rakennukselle ottaen huomioon kokonaisvaltainen rakennusprojektin kustannustehokkuus. Tilaajalle spesifikaatio on huolella laadittu laadunhallintaväline suunnittelun ja rakentamisen ohjaukseen.

Selvitystyötä tehdessä havaittiin asiakkaalle sopivia uusia tapoja arvioida rakennuksen elinkaarikustannuksia. Erityisesti rakenneteknisten valintojen, IV-laitteistojen ja ilmanvuotoluvun avulla voitaisiin kohtuullisella vaivannäöllä tehdä luotettavia arvioita niiden vaikutuksista elinkaarikustannuksiin. Spesifikaatioon lisätään esimerkinomaisesti laskettuja arvioita ilmanvuotoluvun vaikutuksesta vuotuisen energiankulutukseen. Koska rakennuksen tiiveyden mittaaminen kuuluu jokaisen uuden muuntamorakennuksen käyttöönotto-tarkastuksiin, on käytettävissä useiden eri rakennusten ilmanvuotoluvut. Näiden

avulla on laadittavissa ennuste, jota voi tulosten varmentamiseksi verrata toteutuneisiin rakennus- ja elinkaarikustannuksiin. Huolellisella tiiveyden varmistamisella rakennusvaiheessa saatetaan pystyä vaikuttamaan käytön aikaisiin kuluihin. Tämä on myöhempien jatkotarkasteluiden arvoinen tutkimuskohde, koska tiloissa täytyy ylläpitää jatkuvaa jäähdytystä ja ylipainetta. Vuotava ilma vaikuttaa tässä tapauksessa sekä IV-laitteiston ylipaineen ylläpitämiseksi tarvitsemaan energiaan, että ilman jäähdytykseen tarvittavaan energiaan.

Toinen mahdollinen jatkotutkimuksen kohde on jo olemassa olevien muuntamorakennusten korjattavuuden arviointi tilanteessa, jossa niihin on tehtävä muutostöitä sähkökaappien vaihtuessa tai niiden määrän lisääntyessä. Lisätävät kojeistot vaativat paljon lisätilaa ja myös jäähdytystehoa vanhalta ilmastointilaitteistolta. Tällä hetkellä ei ole käytössä kustannuksia arvioivaa työkalua tai yhteneväistä menetelmää, jolla saavutettavan käyttöiän lisäyksen vaatimien korjaustöiden kustannuksia verrattaisiin uuden rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Jotta tällainen menetelmä tai työkalu saataisiin tuotettua, täytyy perehtyä korjausrakentamiseen ja elinkaarikustannusten arviointimenetelmiin.

## 5.2 Pohdinta

Opinnäytetyön aiheessa käytettävissä olevan tiedon määrä yllätti. Spesifikaation laadinnassa syvyystason määrittely nousi suurempaan rooliin kuin alun perin oli ajateltu. Tietotasolla spesifikaatiossa pystyttäisiin menemään teoreettisessa ajattelussa syvälle, mutta haluttuun laatuun tähdätessä on tehtävä rajauksia. Sopivuus on laadullisesti ajateltuna merkittävämpää kuin paremmuus tai laajuus. Aihe on laaja ja siinä olisi voinut perehtyä enemmänkin erityisesti toteutuneiden rakennusten tutkintaan. Aiheen kokonaiskuvan rajojen ymmärtäminen on haastavaa, mutta opinnäytetyötä tehdessä esille nousi erityisesti tiedonlähteiden tärkeys. Eteenpäin esitettävän tiedon tulee olla varmennettua, koska jokainen vastuuta kantava suunnittelija on kiinnostunut saamansa tiedon alkuperästä ja sen käytettävyydestä.

Opinnäytetyössä saatiin selvitettyä määräävät ja ohjaavat standardit ja viranomaismääräykset. Luvun 4 alussa on listattuna kaikki ne standardit, joita spesifikaation laadinnassa on hyödynnetty lähdeluettelossa mainittujen standardien lisäksi. Luvussa 3 käsitellään näihin tiloihin liittyvät aiheet, joita erityisesti

täytyy tarkastella rakennesuunnittelun näkökulmasta. Opinnäytetyössä oletetaan, että kantavuuden ja kestävyuden arviointi tehdään noudattaen säädöksiä ja eurokoodeja, vaikka sitä ei tässä työssä käsitellä syvällisesti.

Teollisuudessa on laajasti käytössä erilaisia spesifikaatioita ja niiden käyttö on yleistä niin prosessien kuin prosessiympäristöjen toteutuksen määrittelyssä. Tietoperusta spesifikaatioille poimitaan standardeista ja spesifikaatiot ovatkin eräänlaisia normittamisdokumentteja. Niin standardeissa kuin spesifikaatioisakin haasteena on niiden päivittäminen. Lainsäädäntöä päivitettäessä viitauksia standardeihin saatetaan lisätä tai poistaa. Standardit muuttuvat myös sisällöltään ajoittain, koska standardien pysyminen ajantasaisina on teollisuudelle elintärkeää. Nämä muutokset vaikuttavat niiden käyttöön määräävinä ohjeina ja näin ollen ne vaikuttavat osaltaan spesifikaatioihin. Päivittämistarpeen huomaaminen jää tilaajan vastuulle, mutta tilaajalla ei välttämättä ole käytössä rakentamisan ammattilaisia arvioimassa spesifikaation ajantasaisuutta. Tämä saattaa laskea yleistä luottamusta spesifikaatioita kohtaan ja osittain pakottaa suunnittelijan suorittamaan käytettävyyden arvioinnin aina saadessaan spesifikaation avukseen. Tämä puolestaan saattaa ymmärrettävästi johdattaa tilanteeseen, jossa riskienhallintatavaksi valitaan mielenrauhan takia ylimerittämisen.

Opinnäytetyössä dokumentoitiin seikkoja, jotka vaikuttavat teollisuusrakennuksien suunnitteluun ja tätä kautta elinkaarikustannuksiin ja rakentamiskuluihin. Vaikka nämä tulokset siirretään spesifikaatioon, on suunnittelijan vastuulla ottaa ne osaksi omaa suunnittelutyötä. Alalla yleisesti vallalla olevat asenteet ja ajatusmallit osaltaan laskevat uusien oivallusten muuttavaa voimaa, koska rakentavan kriittisyyden sijaan niihin suhtaudutaan usein jopa vihamielisen torjuvasti. Tämä laskee uskallusta implementoida uusia toimintatapoja, vaikka ne olisivat erittäin hyödyllisiä ja alaa kehittäviä.

Puhuttaessa laadusta ajatteleminen herkästi tapaa tuottaa tai toimia tasolla, joka jatkuvasti ylittää odotukset, koska laatuajatteluun liittyvät tavoitteet hyvin vahvasti. Hinta-laatusuhde tarkoittaa todellisuudessa kuitenkin sitä, että tuote tai palvelu täyttää sille asetetut vaatimukset, joita asiakkaalla on. Ei ole tarkoituksenmukaista tuottaa rakennusta, mikä ei kohdistukseltaan vastaa haluttua lopputulosta. Ajatellaan esimerkiksi varastorakennusta, joka kestää alueella

tapahtuvan suuren räjähdysten vaurioitumatta, mutta koko muu prosessi on tuhoutunut. Tällainen suunnittelu ei palvele alkuperäistä tavoitettaan vaan on ylittänyt laadulle asetetut rajat. Laatuvaatimusten rajojen ylittäminen ei palvele tilaajaa tai asiakasta hinta-laatusuhteeltaan, vaikka niin herkästi ajatellaan.

Huolellinen suunnittelutyö on hyödytöntä, jos toteutuksessa ei ole noudatettu suunnitelmia. Työmaavalvonnan rooli suunnittelun jälkeen korostuu tilanteissa, jossa halutaan varmistaa rakennuksen mahdollisimman pitkä käyttöikä ja alentaa käyttökustannuksia. Vaikka erilaisia yhteisvastuusopimuksia käytetään alalla melko vähän, olisi toivottavaa nähdä tulevaisuudessa muutos tavassa ajatella vastuuta ja hierarkiaa rakennusalalla. Kaikkien projektin osapuolten olisi kannattavaa muodostaa jonkinlainen kokonaiskuva tavoiteltavasta lopputuloksesta.

Tilanteissa, joissa suunnittelija arvioi spesifikaatioiden noudattamisen johtavan prosessin tai käyttäjien vaarantamiseen, tulee asiakirjasta tietenkin poiketa. Spesifikaatioista huolimatta suunnittelija on aina oman osaamisalansa ammattilainen, jonka riskienhallintakykyyn voi luottaa.

## LÄHTEET

ARFY. 2021. Viralliset WWW-sivut. Saatavissa: <https://afry.com/fi-fi/uutiset/uutinen/af-poyry-nyt-afry> [viitattu 18.1.2021].

ATEX Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus. 2015. Opas. Helsinki: Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.

CE-merkintä. 2013. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/ce-merkinta> [viitattu 24.4.2021].

Hassoun, M. N. & Al-Manaseer, A. 2015. Structural concrete: Theory and design. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 12.2.2021].

Häkkinen-Rönholm, E. Haimala, T. & Rautiainen, L. 1999. Teollisuuslattioiden pinnoitus. Raportti. Helsinki: VTT Rakennustekniikka

InnoSteel & HAMK. 2008. Teräsrakentaminen. Stålbyggnadsinstitutet. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu

ISA-S71.04–1985. 1986. Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants.

ISO publication on Good Standardization Practices. 2019. International Organization for Standardization. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100440.pdf> [viitattu 25.4.2021].

Jantunen, J. 2021. Rakennusneuvos. Sähköpostiviesti. 15.3.2021. Rakennetun ympäristön osasto. Ympäristöministeriö.

Joints Oy. 2016. Palokatko-ohjeistus. JOINTS TULISTOP PRO+. Tuote-esite. Saatavissa: <https://docplayer.fi/20024152-Pks-palokatkot-rakennuksessa.html> [viitattu 13.3.2021].

Kalliomäki, P. 2021. Rakennusneuvos. Sähköpostiviesti. 23.2.2021. Rakennetun ympäristön osasto. Ympäristöministeriö.

Lattiatöimikunta NT-118. 2013. by 45/BLY7. Betonilattiat 2014. Helsinki: Suomen betoniyhdistys & Suomen betonilattiyhdistys

LVI 12–10217. 1994. Putkien läpiviennit. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Mannonen, R. Mannonen, P. & Suikka, A. 2012. by 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. Helsinki: Suomen betoniyhdistys

Nieminen, J. 2021. Rakennesuunnittelija. Sarja keskusteluja. 7.1.2021–15.5.2021. AFRY Group Finland Oy.

Niininen, M. 2020. Energian hankinta ja kulutus 2019. Tilasto. Helsinki: Tilastokeskus.

Nykyri, P. 2020. by 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja: Osa 1—2013. Helsinki: Suomen betoniyhdistys

Nykyri, P. 2020. by 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja: Osa 2—2013. Helsinki: Suomen betoniyhdistys

Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiveysmittaus. Tampere: Suomen rakennusmedia Oy

Pellosniemi, J. & Kalamies, U. Teräsrakennetuotteet ja suositeltavat teräslajit. Artikkel. Saatavissa: <https://docplayer.fi/5923825-Terasrakennetuotteet-ja-suositeltavat-teraslajit-jouko-pellosniemi-diplomi-insinööri-insinööri-toimisto-pellosniemi-jouko-joukop-megabaud.html> [viitattu 25.2.2021].

PSK 2002. 2002. Sähkötilat enintään 1000 V.

PSK 2005. 2004. Kaapelireittien suunnittelu.

Ratu 0439. 2015. Palosuojaus. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

RT 103131. 2019. Rakennuksen paloluokan määrittäminen ja keskeiset palotekniset vaatimukset. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

RT 50-10425. 1990. LVI-laitteiden tilanvarausohjeita. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

RT 63-11096. 2012. Sammutuslaitteistot. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

RT 80-10238. 1984. Putkien läpiviennit seinissä ja välipohjissa. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

RT 82-10765. 2001. Asuin- ja toimistorakennusten teräsrakenteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

RT 92-11216. 2016. Akkuhuoneet ja varaamotilat. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

Sahatavaran lujuuslajittelu ja CE-merkintä. 2020. PuuINFO. WWW-dokumentti. 15.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-ja-losteet/sahatavaran-lujuuslajittelu-2/> [viitattu 20.2.2021].

Sandberg E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka Osa 1. Perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy

SFS 4879:2018. 2018. 0,6/1 kV voimakaapelit, PEX-eristeiset ja PVC-vaippaiset Al- ja Cu-johtimiset kaapelit. Rakenne, testaus ja käyttöohje.

SFS 6001:2018. 2018. Suurjännitesähköasennukset.

SFS-EN 1991–1–2+AC. 2003. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset.

SFS-EN 61340–5–1:2016. 2016. Staattinen sähkö. Osa 5–1: Elektronisten komponenttien suojaaminen staattiselta sähköltä. Yleiset vaatimukset.

SFS-EN IEC 62485–2:2018. 2018. Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2. Paikallisakut.

SFS-EN ISO 12944–2:2017. 2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korrosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2. Ympäristöolosuhteiden luokittelu.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2018. Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2016. Eurokoodien SFS-EN 1991 kansalliset liitteet. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2020. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen Säädöskokoelma. 2017. Perustelumuistio. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 28.11.2017/848.

Suomen Säädöskokoelma. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 12.12.2017/848

Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2021. Suomessa standardisointityö on jaettu eri toimialoja edustaville organisaatioille. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://sfs.fi/sfs-ry/meista/toimialayhteisot/> [viitattu 3.3.2021].

Tarvainen, K. 2021. LVI-suunnittelija. Keskustelu 6.5. AFRY Group Finland Oy

Teräs- ja metallihintaraportti. 2015. Teknologiateollisuus. Raportti. Saatavissa: [https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file\\_attachments/metallien\\_hintoja.pdf](https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/metallien_hintoja.pdf) [viitattu 25.2.2021].

Teräsrakenneyhdistys & Ramboll. 2019. Kantavien teräsrakenteiden oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu, pALOHAnke, Osatehtävä 2. Raportti. Saatavissa: [https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/918/98714d0/ALOHA\\_Osatehtava\\_A2\\_raportti.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/918/98714d0/ALOHA_Osatehtava_A2_raportti.pdf) [viitattu 3.2.2021].

Turvalliset avausratkaisut poistumisreiteillä. 2020. Opas. Helsinki: Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK.

Valmisbetonihinnasto. 2021. Rudus Etelä–Suomi. 1.3.2021. Tuote-esitys. Saatavissa: <https://www.rudus.fi/hinnasto-ja-esitteet/hinnastot/betonihinnasto> [viitattu: 25.2.2021].

Vänttilä, J. 2016. LUENTO 1 Rakennuksen runko, rungon rakenneosat ja runkojärjestelmät. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/48213041-Luento-1-rakennuksen-runko-rungon-rakenneosat-ja-runkojarjestelmat.html> [viitattu 15.1.2021].

Åberg, V. & Comment, A. 2014. Standardtisoiminen on nykyajan tunnussana. Suomen Standardoimisliitto SFS 1984—2014. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry