

Antti Hannula

Sähkö- ja automaatiotilojen rakennevaatimukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennetekniikka

Insinöörityö

26.4.2019

Tekijä Otsikko	Antti Hannula Sähkö- ja automaatiotilojen rakennevaatimukset
Sivumäärä Aika	62 sivua + 1 liite 26.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jouni Kalliomäki Osastopäällikkö Tuomo Tuomi Projekti- insinööri Kimmo Ylinen
<p>Insinööritö toteutettiin Pöyry Oy:n toimeksiannosta sen teollisuuden rakennesuunnittelun osastolle. Pöyry on konsultointi- ja suunnitteluyhtiö, joka on keskittynyt energian, teollisuuden ja infran toimialoille.</p> <p>Teollisuuslaitosten alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelussa käytetyistä lähtötietokuormista ja muista rakenteellisista vaatimuksista ei ole olemassa yhtä yhtenäistä ohjetta tai käytäntöä. Lisäksi suunnittelutyön tiedonkulussa on haasteita, sillä tieto ei aina välity prosessin sisällä oikealla tavalla projektin osapuolten välillä.</p> <p>Työn tavoitteena oli määrittää teollisuuslaitosten alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelussa tarvittavat lähtötietokuormat ja muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet. Lisäksi tavoite oli koota eri standardeista ja ohjeista yhteen tilojen yleiset rakennevaatimukset sekä selkeyttää tilojen suunnittelutyön tiedonkulkua.</p> <p>Työ toteutettiin tutkimalla sähkö- ja automaatiotiloista ja rakennesuunnittelusta ohjeistavia standardeja, ohjeita ja tilaajayrityksen aineistoja sekä perehtymällä aiheeseen liittyviin toteutuneisiin kohteisiin, joissa tilaajayritys oli ollut mukana. Lisäksi apua saatiin tilaajayrityksen asiantuntijoilta insinööritöyön ohjaustapaamisissa.</p> <p>Tuloksena alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloille määritettiin tyypilliset lähtötietokuormat ja yhdistelykertoimet, yleiset rakennevaatimukset koottiin yhteen sekä selkeytettiin suunnittelutyön tiedonkulun prosessia. Lähtötietokuormista ja yhdistelykertoimista tehtiin tämän raportin liitteeksi ohjekortti, josta on tulevaisuudessa hyötyä sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelussa.</p>	
Avainsanat	Alle 1000 V Sähkö- ja automaatiotila, teollisuuslaitos, rakennevaatimus, tiedonkulku, lähtötietokuormat, yhdistelykertoimet.

Author Title	Antti Hannula Structural Requirements of Electrical and Automation Rooms
Number of Pages Date	62 pages + 1 appendix 26th April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Jouni Kalliomäki, Principal Lecturer Tuomo Tuomi, Department Manager Kimmo Ylinen, Project Engineer
<p>This thesis was commissioned by Pöyry Oy for its department of industrial civil engineering. Pöyry is a consulting and engineering company focusing on energy, industry and infrastructure.</p> <p>There is no coherent specification or practice as to how to define the initial loads for low voltage electrical and automation rooms in industrial facilities. Furthermore, the general structural requirements for these rooms are scattered between different standards and there are challenges in the flow of information within the structural design process. The information is not always transmitted correctly between the parties involved in the process.</p> <p>The goal of this thesis was to define the initial loads and the combination factors of variable actions for the electrical and automation rooms. In addition, the goal was to gather the general structural requirements for the rooms from the various standards and to clarify the flow of information within the structural design process.</p> <p>The goals were achieved by researching standards and specifications on structural design and electrical and automation rooms, investigating completed projects related to the subject. In addition, guidance meetings with the instructors were arranged.</p> <p>As the result the initial loads and the combination factors were defined, the general structural requirements of electrical and automation rooms were gathered together and the flow of information of the structural design process was clarified. An instruction card was drafted regarding the initial loads and the combination factors. In the future the instruction card will be useful in the structural design process of low voltage electrical and automation rooms.</p>	
Keywords	Low voltage electrical and automation room, industrial facility, structural requirements, flow of information, initial loads, combination factors.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoite ja rajaus	1
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
2	Sähkö- ja automaatiotilat	3
2.1	Sähkö- ja automaatiotila	3
2.2	Tilojen rakenne	4
2.2.1	Kojeistotila	4
2.2.2	Kaapelitila	7
2.2.3	Kaapelihyllyt	9
2.3	Laitteet	10
2.3.1	Sähkökeskus	10
2.3.2	Taajuusmuuttaja	11
2.4	Laitteiden sijoittelu kojeistotiloissa	11
3	Rakenteelliset vaatimukset sähkö- ja automaatiotiloille	13
3.1	Palotekniset vaatimukset, sammutusvedet ja savunpoisto	13
3.2	Tilojen seinät, katto, lattia ja ikkunat	15
3.3	Ilmanvaihto	15
3.4	Suojaus pölyä ja vettä vastaan	16
3.5	Valokaarioikosulku	16
4	Rakenteiden kuormien luokittelu	19
4.1	Pysyvät kuormat	19
4.2	Muuttuvat kuormat ja hyötykuormat	19
4.3	Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet	20
5	Standardit	21
5.1	Eurokoodit	21
5.1.1	SFS-EN 1990	22
5.1.2	SFS-EN 1991	22

5.2	Suomen rakentamismääräyskokoelma	23
5.3	PSK-standardit	23
6	Teollisuusrakennusten ohjeistusten puute	24
6.1	Eurokoodit ja Suomen kansalliset liitteet	24
6.2	PSK 2002 - Sähkötilat enintään 1000 V	26
7	Toteutuneet kohteet	27
7.1	Voimalaitos	27
7.1.1	Pohjapiirustus	27
7.1.2	Kojeistojen mitat ja massat	28
7.2	Paperitehdas	29
7.2.1	Pohjapiirustus	29
7.2.2	Kojeistojen mitat ja massat	31
7.3	Sellutehdas	32
8	Tyypillinen teollisuuslaitoksen sähkö- ja automaatiotila	34
8.1	Kojeistojen massat ja syvyydet	34
8.2	Pohjaratkaisut	34
8.3	Tyypillinen pohjaratkaisu	34
9	Lähtötietokuormat sähkö- ja automaatiotiloille	36
9.1	Kojeistojen enimmäispaino PSK 2002 -standardin perusteella	36
9.2	Kojeistojen enimmäispaino eri kuormamerkintöjen perusteella	38
9.3	Lähtötietokuormien merkitseminen rakennustehtäväpiirustukseen	39
9.4	Asennustilanne	41
9.5	Normaalitilanne	43
9.6	Huoltotilanne	43
9.7	Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet	44
9.7.1	Yhdistelykertoimet	44
9.7.2	Kaikki kuormat muuttuvia	45
9.7.3	Hyötykuormat muuttuvia ja kojeistojen painot pysyviä kuormia	46
9.8	Pistekuormakestävyys kojeistotiloissa	47
9.9	Kaapelihyllyjen aiheuttamat kuormat	48
10	Tiedonkulku sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelussa	50
10.1	Rakennustehtäväpiirustukset	50
10.2	Tiedonsiirto	51

10.3	Alustava ja lopullinen tieto	51
10.4	Aikataulu	52
11	Tiedonkulun prosessin selkeyttäminen	53
11.1	Rakennustehtäväpiirustukset	53
11.1.1	Yleiset vaatimukset	53
11.1.2	Sisältö	54
11.1.3	Muutosten merkitseminen	56
11.2	Tiedonsiirto	58
11.3	Aikataulu	58
11.4	Alustava ja lopullinen tieto	59
12	Yhteenveto	61
12.1	Lopputulokset	61
	Lähteet	63
	Liitteet	
	Liite 1. Ohjekortti alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen lähtötietokuormista ja muuttuvien kuormien yhdistelykertoimista.	

Käsitteet ja termit

Hyötykuorma	Rakennuksen käytön aikainen kuorma, esimerkiksi ihmisten aiheuttama kuorma.
Laite, kojeisto, sähkökeskus, kenttä	Sähkö- ja automaatiotilassa sijaitseva laite.
Lähtötietokuorma	Tässä työssä: Rakennesuunnittelulle annettava alustava arvio sähkö- ja automaatiotilojen kuormista.
Muuttuva kuorma	Kuorma, jonka suuruus vaihtelee merkittävästi ajan myötä, esimerkiksi lumikuorma.
Pysyvä kuorma	Kuorma, jonka suuruus ja suunta säilyvät samana ajan kulusta riippumatta, esimerkiksi kiinteän laitteen kuorma.
Rakennustehtäväpiirustus	Mitoitettu piirustus, jota käytetään sekä rakennesuunnittelussa että työmaalla sijaintipiirustuksena.
Rakennesuunnittelutyön tiedonkulku	Prosessi, johon kuuluvat rakennustehtäväpiirustusten laatiminen ja niiden käyttäminen tehokkaasti hyväksi, tiedonsiirto sekä lähtötiedot ja niiden luovutusaikataulut.
Sähkö- ja automaatiotila	Rakennuksen toiminnan hallinnointiin tarkoitettu tila, joka sisältää sähkö- ja automaatiojärjestelmään kuuluvia laitteita ja kaapeleita.

Latinalaiset kirjaimet:

<i>A</i>	Pinta-ala (m ²).
<i>g</i>	Painovoiman kiihtyvyys 9,81 m/s ² .

G_k	Pysyvän piste- tai kokonaiskuorman ominaisarvo.
g_k	Pysyvän jakautuneen kuorman ominaisarvo.
k	Syvyys (m).
l	Pituus (m tai mm).
m_k	Massan ominaisarvo (kg tai kg/m).
Q_k	Muuttuvan piste- tai kokonaiskuorman ominaisarvo.
q_k	Muuttuvan jakautuneen kuorman ominaisarvo.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehdään Pöyry Oyj:n toimeksiannosta sen teollisuuden rakennesuunnittelun osastolle. Pöyry Oyj on suomalainen vuonna 1958 perustettu konsultointi- ja suunnitteluyhtiö, joka on keskittynyt energian, teollisuuden ja infran toimialoille. Yhtiö tarjoaa asiakkailleen esimerkiksi metsäteollisuuteen, biojalostukseen ja kaivos- ja metalliteollisuuteen liittyviä palveluita. Pöyry on kansainvälinen yhtiö ja sillä on toimintaa ympäri maailmaa. Sen palveluksessa on 5500 asiantuntijaa ja sillä on 115 toimistoa 40 maassa. Pöyryn liikevaihto vuonna 2017 oli 522 miljoonaa euroa, ja yhtiö on listautuneena Helsingin pörssissä. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Vantaan Martinlaaksossa ja sen toimitusjohtajana toimii sveitsiläinen Martin Á Porta. [1.]

1.1 Tausta

Lähtökohtana tälle työlle on teollisuuslaitosten alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelussa käytettyjen lähtötietokuormien ja yleisten rakenteellisten vaatimusten yhtenevän ohjeistuksen puute sekä suunnittelutyön tiedonkulun prosessissa esiintyvät haasteet. Ne voivat teoriassa johtaa rakenteiden ali- tai ylirajoitukseen sekä muutoksiin suunnitelmissa kesken projektien. Tämä vaikuttaa suoraan suunnittelu- ja rakennustyön kustannustehokkuuteen.

1.2 Tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena on määrittää teollisuuslaitosten alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloille rakennesuunnittelussa käytettävät lähtötietokuormat ja muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet ja laatia niistä ohjeistus. Lisäksi tavoite on koota eri standardeista ja ohjeista yhteen alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen yleiset rakenteelliset vaatimukset sekä selkeyttää suunnittelutyön tiedonkulun prosessia ja varmistaa sen oikeellisuus. Näistä kolmesta teemasta muodostuu työn runko.

Työn tärkein ydin tulee olemaan lähtötietokuormiin liittyvä osuus. Sen perusteella laadittavan ohjeistuksen avulla pystytään yhtenäistämään ja systematisoimaan lähtötietokuormien merkintätapaa ja määrittämistä. Tämän ansiosta rakennesuunnittelijan työtä saadaan helpotettua. Lisäksi lähtötietojen tarkkuus ja seurattavuus paranevat ja pysty-

tään varmistamaan, ettei rakenteita ylimitoiteta turhaan, eikä teoriassa mahdollista alimitoitusta pääse tapahtumaan.

Tärkeimmät selvitettävät asiat tavoitteiden toteuttamiseksi ovat sähkö- ja automaatiotilojen yleiset rakennevaatimukset, tyypilliset pohjaratkaisut ja laitteet, rakennesuunnittelua ohjaavien standardien ohjeistus sekä suunnittelutyön tiedonkulun prosessin sisältö. Työ laaditaan rakennesuunnittelun näkökulmasta. Rajauksena on betoni- ja teräsrakenteisten teollisuuslaitosten alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen lähtötietoina annettujen kuormien sekä muuttuvien kuormien yhdistelykertoimien määrittäminen, yleisten rakennevaatimusten kerääminen ja suunnittelutyön tiedonkulun prosessin selkeyttäminen. Puhuttaessa sähkö- ja automaatiotiloista tässä työssä, tarkoitetaan sillä nimenomaan alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloja.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tietoja luvussa 1.2 mainittujen tavoitteiden saavuttamiseksi saadaan pääosin tarkastelemalla toteutuneita projekteja sekä tutkimalla aiheeseen liittyviä standardeja, julkaisuja ja Pöyryn sisäisiä aineistoja. Näiden lisäksi tietoja saadaan ohjaustapaamisissa insinöörityön ohjaajilta ja Pöyryn sähkö- ja automaatiotilojen suunnittelijoilta. Ohjaustapaamisissa käydään läpi työn aiheita ja tavoitteita ja pyritään ohjaajien avustuksella saamaan vastauksia työn sisältöön.

2 Sähkö- ja automaatiotilat

Tässä luvussa esitetään yleiskatsaus sähkö- ja automaatiotiloista, niiden rakenteesta, laitteista ja laitteiden sijoittelusta.

2.1 Sähkö- ja automaatiotila

Sähkö- ja automaatiotila on rakennuksen toiminnan hallinnointiin tarkoitettu tila, joka sisältää sähkö- ja automaatiojärjestelmiin kuuluvia laitteita ja niiden kaapeleita. Sen kautta ohjataan rakennuksen käyttötoimintoja. Sähkö- ja automaatiotilaan on pääsy ainoastaan kulkuluvan omaavilla sähköalan ammattilaisilla tai sähkötöihin opastetuilla henkilöillä. Tilat tulee merkitä selkeästi ja näkyvästi kilvillä (kuva 1), jotka osoittavat, mikä tila on kyseessä. Sähkö- ja automaatiotilat jaetaan karkeasti kahteen kategoriaan, alle 1000 V tilat ja yli 1000 V tilat. Näille käytetään myös nimityksiä pienjännite- ja keskijännitetila. [2.] [3.] [4.]

Sähkö- ja automaatiotila koostuu kahdesta erillisestä tilasta: kojeistotilasta ja kaapelitilasta. Kojestotilassa sijaitsevat kaikki tilassa olevat laitteet, eli kojeistot, ja kaapelitilassa kulkevat kojeistotilan laitteille vedetyt kaapelit. Myös kojeistotila saatetaan jakaa useampaan eri osastoon riippuen sen koosta, laitteiden määrästä ja niiden käyttötarkoituksesta. Sähkö- ja automaatiotilan laitteita ovat rakennuksen sähköpääkeskukset, sähkökeskukset, taajuusmuuttajat sekä automaatiojärjestelmän päätelaitteet ja tietokoneet. Kaapelitila on kojeistotilasta eristetty tila, joka sijaitsee yleensä kojeistotilan alapuolella. Sijoittamalla kaapelitila kojeistotilan alapuolelle kaapelien vetäminen ja asennus on huomattavasti helpompaa ja mahdollisten korjaus- ja muutostöiden tekeminen onnistuu vaivattomammin kuin silloin, jos kaapelitila olisi kojeistotilan yläpuolella. [2.] [3.] [4.]



Kuva 1. Sähkötilan osoittava varoituskilpi. [5.]

2.2 Tilojen rakenne

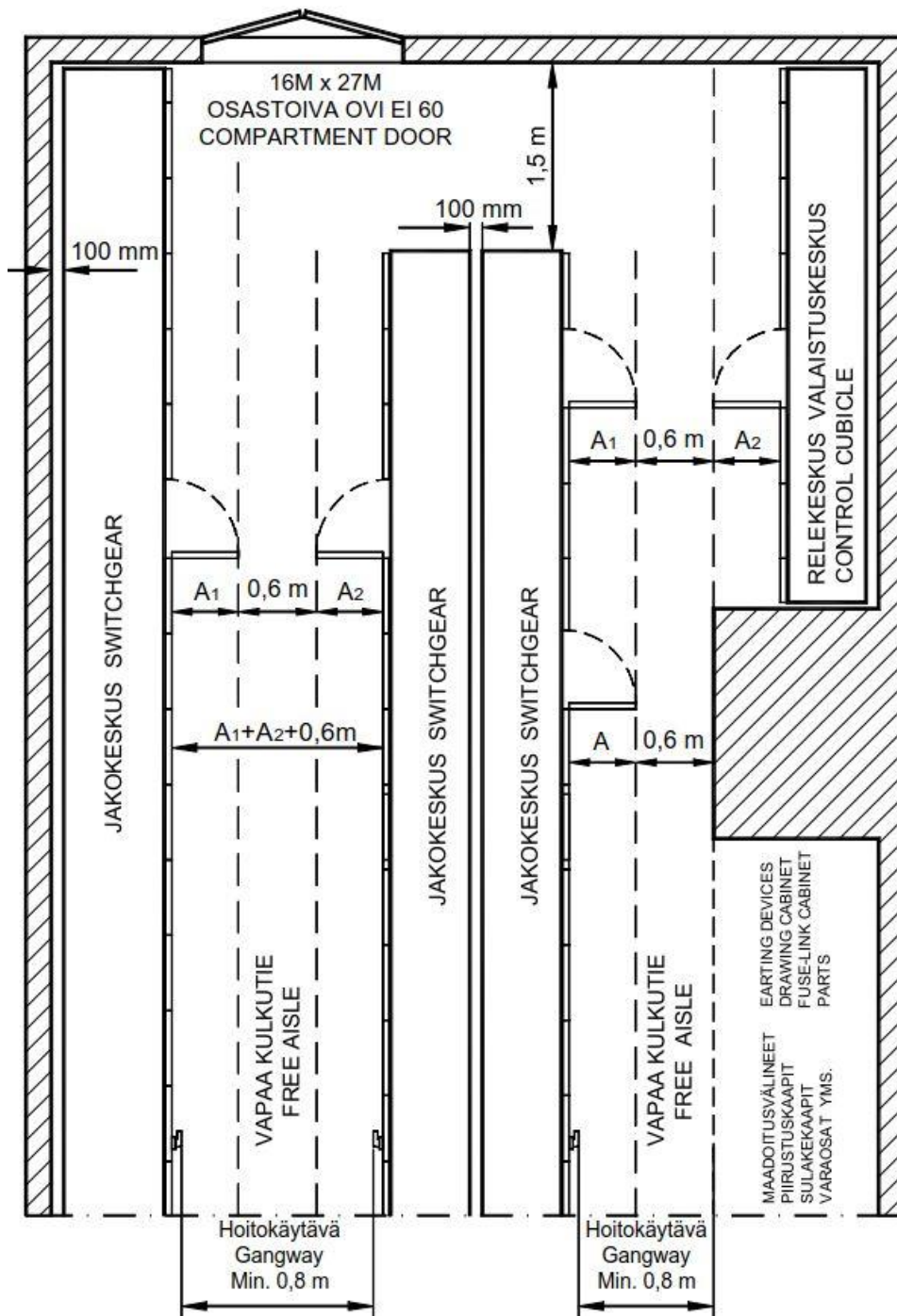
Kojeisto- ja kaapelitiloille on yhteisiä ja omia vaatimuksia, joiden mukaan tilat tulee toteuttaa, jotta ne ovat turvallisia ja käytännöllisiä. Yleinen vaatimus on, että sähkö- ja automaatio-tila suunnitellaan niin, että asennus-, käyttö- ja huoltotoimenpiteet sekä laajennukset ja korjaustyöt ovat helposti tehtävissä. Kosteuden pääsy tiloihin on estettävä, eikä tiloihin saa asentaa putkia ja kanavia, jotka kuuluvat muihin järjestelmiin, ellei niiden asentaminen ole täysin välttämätöntä. Tilat on suunniteltava siten, että niihin on kuljetuksen, käytön ja paloturvallisuuden näkökulmasta helppo päästä. Tiloista on myös päästävä ulos ilman avaimia tai työkaluja ja ulko-ovien on avauduttava ulospäin. Näin varmistetaan mahdollisimman helppo ulospääsy hätätilanteessa. Poistumisreitit on suunniteltava siten, että ihmisen kuljettaminen paareilla on mahdollista. Tiloihin on myös suunniteltava sellaiset haalausreitit, joita pitkin laitteiden ja varusteiden tuominen tiloihin on mahdollisimman vaivatonta. [2.] [3.] [4.] [6.]

2.2.1 Kojeistotila

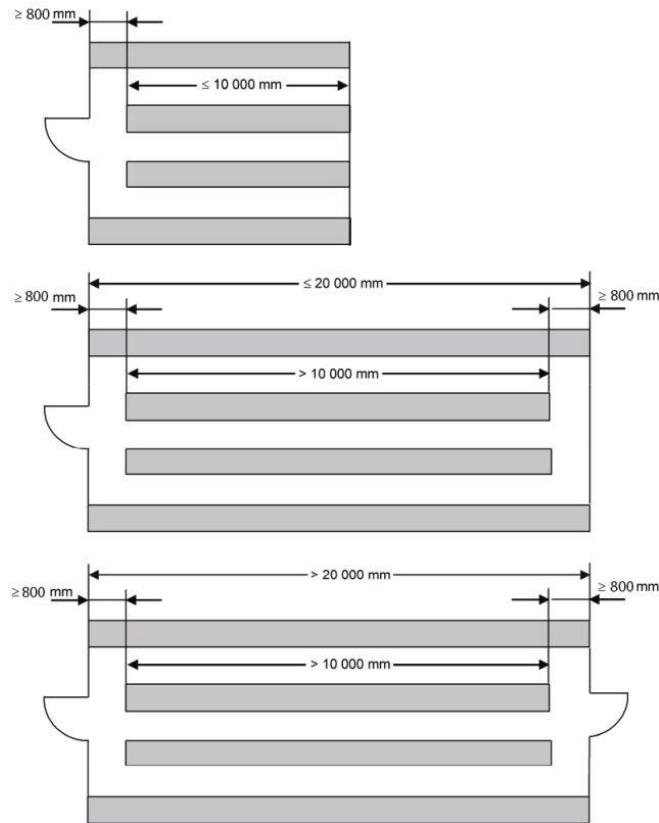
Kojeistotilaan sijoitetaan kaikki sähkö- ja automaatiojärjestelmän laitteet eli kojeistot. Laitteiden on oltava standardien mukaisia ja viranomaisten hyväksymiä. Automaatiojärjestelmän laitteet voidaan kojeistotilassa osastoida omaan erillistilaansa, koska järjestelmän tietokoneiden ja päätteiden käyttöä varten niille sijoitetaan yleensä oma toimistopöytä tai -pöytiä tilaan. Lisäksi automaatiojärjestelmän laitteiden palokuormat ovat pienempiä kuin muiden kojeistotilan laitteiden. [2.]

Kojeistotilojen kulkureiteille on selkeät vaatimukset. Kulkureittien vähimmäismittoja esitetään kuvissa 2 ja 3. Kuvan 2 mukaisesti laitteiden väliin on kaikissa tilanteissa jätävä vähintään 0,6 metriä leveä vapaa kulkutie. Kulkutien suunnittelussa on otettava huomioon laitteista aukeavien ovien ja luukkujen leveydet (kuvassa 2 mitat A1, A2 ja A). Ne eivät saa kaventaa mainittua 0,6 metriä leveää kulkutietä. Ovien leveyksistä huolimatta koko käytävän leveys on oltava vähintään 0,8 metriä. Kojeistorivin päädyssä uloskäynnille johtava vapaa kulkutie on oltava vähintään 1,5 metriä leveä (kuva 2). Jos kojeistotilan pituus ylittää 10 metriä, sen käytävien on oltava kuljettavissa molemmista päistä. Mikäli kojeistotilan pituus on yli 20 metriä, sen molemmat päät on varustettava poistumisteillä (kuva 3). Suositus kuitenkin on, että jo yli kuuden metrin pituisiin tiloihin järjestettäisiin kulkumahdollisuus molempiin päihin. Kuvan mukaisesti taustapuolet vastakkain asetettujen laitteiden välissä on oltava vähintään 100 millimetrin rako. Sama rako tulee jättää myös seinän ja laitteen väliin, kun laite asetetaan seinää vasten. [2.] [3.] [4.] [6.]

Seuraavissa, kojeistotilan vähimmäismittoja ja poistumisreittejä esittävässä kuvissa 2 ja 3, esiintyy yksi ristiriita. Ensimmäisessä kuvassa kojeistojen päätyyn jätetään tilaa 1,5 metriä, ja toisessa kuvassa samaksi mitaksi esitetään 0,8 metriä. Ensimmäinen kuva on PSK 2002 -standardista ja toinen kuva standardista SFS 6000-7-29. Yleisimmin käytössä on PSK 2002 -standardin mukainen 1,5 metriä, sillä silloin kojeistojen päätyyn jää varmasti tarpeeksi tilaa [7.]. [3.] [6.] [7.]



Kuva 2. Kojeistotilan vähimmäismittoja. [6.]



Kuva 3. Kojeistotilan poistumisreittien määrittäminen. [3.]

2.2.2 Kaapelitila

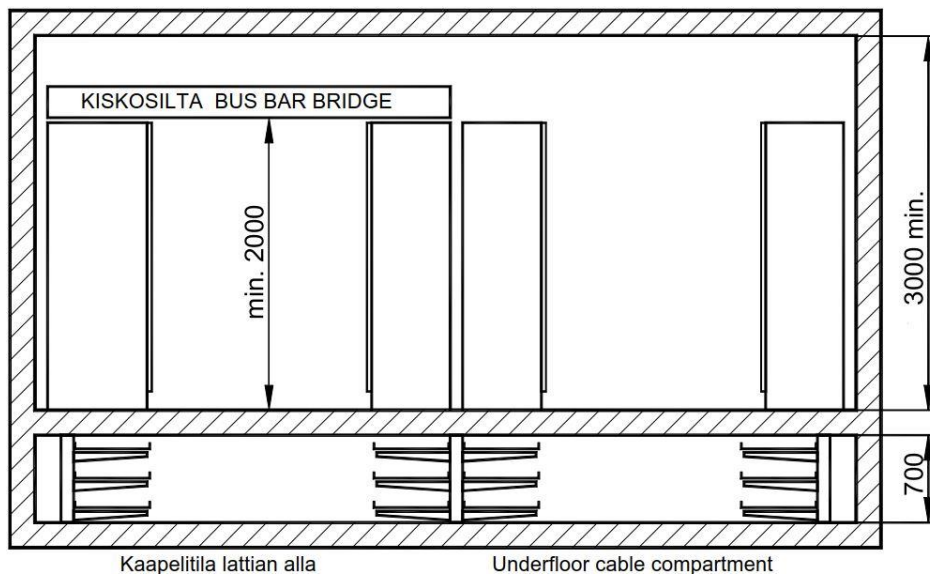
Kaapelitilassa sähkö- ja automaatiojärjestelmään kuuluvat kaapelit kulkevat kaapelihyllyjen päällä. Kaapelitila tulisi sijoittaa erilliseen tilaan kojeistotilan alapuolelle. Jos tämä ei ole mahdollista, voidaan kaapelit sijoittaa myös kojeistotilan yläpuolelle. Kojeistotilan alapuolinen kaapelitila on helpompi tehdä omaksi palo-osastokseen kuin kaapelitila, joka on kojeistotilan yläpuolella. [2.]

Kaapelitilaa ei suositella sijoitettavan myöskään asennuslattian (kuva 4) alle. Poikkeuksena on se osa kojeistotilasta, johon on sijoitettu automaatiojärjestelmä, mikäli se on osastoitu omaksi palo-osastoksi. Tällöinkin lattia on suunniteltava tarkkaan paloviranomaisten ja vakuutuslaitoksen ohjeiden mukaan. Asennuslattialla tarkoitetaan tässä lattiaa, jolla tehdään kojeistotilaan korotettu lattia, jonka sisään kaapelit asennetaan. Asennuslattiasa on runko, ja lattialevyt, jotka nostellaan rungon päälle. Näin saadaan luotua tyhjä tila lattian alle, jonne kaapelitila voidaan tehdä. Asennuslattian ongelmana on sen palonkesto. Se ei kestä paloa läheskään niin hyvin, kuin tilojen välissä oleva

betonirakenne (kuva 5). Lisäksi asennuslattialla tehtäviin kaapelitiloihin on hankalampi luoda tarpeeksi tilaa, jotta huolto-, korjaus- ja muutostyöt olisi helppo suorittaa. Automaatiojärjestelmän ja sen tarvitsemien kaapeleiden palokuormat ovat kuitenkin pienempiä kuin muiden kojeistotilan laitteiden ja tästä syystä asennuslattiaa voidaan käyttää tilassa, johon automaatiotekniikka on sijoitettu. [2.] [3.] [4.] [6.] [8.]



Kuva 4. Korotettu asennuslattia kojeistotilassa. [9.]

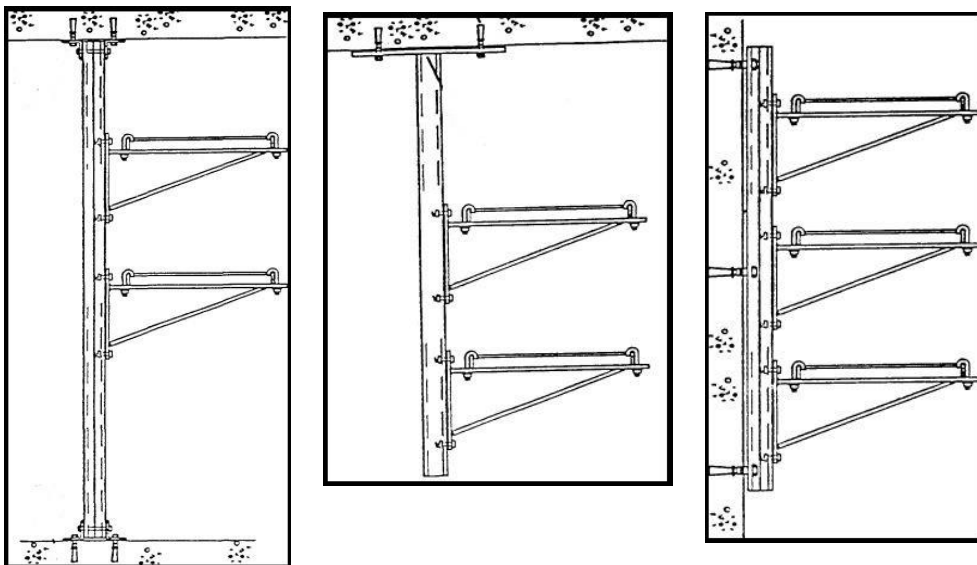


Kuva 5. Kaapelitila kojeistotilan alla omassa tilassaan. [6.]

2.2.3 Kaapelihyllyt

Kaapelihyllyinä käytetään kuhunkin tilaan ja kuormitusolosuhteisiin sopivia tehdasvalmisteisia hyllyrakenteita. Hyllyjen kannakkeiden kiinnitys rakenteeseen on selvitettävä rakentajien ja suunnittelijoiden kanssa. Hyllyjä ei saa viedä osastoivien seinien tai lattian läpi, vaan ne tulee katkaista läpiviennin kohdalta molemmin puolin. Hyllyihin on varattava varatilaa kaapeleille 30 %. Hyllyjen väli korkeussuunnassa on oltava vähintään 300 mm. Mikäli hyllyille tulee voimakaapeleita, tulee ne sijoittaa ylimmille hyllyille ja asentaa hyllylle väljästi, 70 % täytöksellä, yhteen kerrokseen. [8.]

Kaapeleiden rakenteille aiheuttamat kuormat riippuvat siitä, miten kaapelihyllyt on asennettu. Kaapelihyllyt välittävät kaapeleiden kuormat lähes aina pistekuormina rakenteelle. Mikäli kaapelihyllyt esimerkiksi ripustetaan kaapelitilan katosta, eli kojeistotilan lattiasta, tulee rakenteen suunnittelussa ottaa laitteiden painon lisäksi huomioon kaapeleiden paino. Kaapelihyllyjen välittämiin kuormiin palataan myöhemmin tässä työssä, luvussa 9.9. Kuvassa 6 esitetään muutama erilainen tapa asentaa kaapelihylly. [8.] [10.]



Kuva 6. Esimerkkejä erilaisista kaapelihyllyjen asennustavoista: Kiinnitys sekä kaapelitilan kattoon että lattiaan, pelkästään kattoon tai pelkästään seinään. [11.]

2.3 Laitteet

Sähkö- ja automaatiotilojen keskeisimmät laitteet, eli kojeistot, ovat sähkökeskuksia, taajuusmuuttajia sekä automaatiojärjestelmien päätteitä ja tietokoneita. Automaatiojärjestelmän laitteiden läheisyyteen on usein sijoitettu toimistopöytä tai -pöytiä, jotta järjestelmän laitteita on helppo tarvittaessa operoida. Automaatioon liittyvät laitteet eivät aiheuta tilaan läheskään niin suuria rakenteellisia kuormituksia kuin sähköjärjestelmiin liittyvät laitteet.

2.3.1 Sähkökeskus

Sähkökeskus (esimerkki kuvassa 7) on erilaisista sähkökomponenteista koostuva kokonaisuus, jonka käyttötarkoitus vaihtelee sen sisältämien komponenttien mukaan. Sähkökeskus on yleisnimitys, ja esimerkiksi välimuuntajat, ohjauskeskukset, jakokeskukset ja relekeskukset ovat sähkökeskuksia. Niitä käytetään esimerkiksi muuntajien, sähkömoottoreiden ja generaattoreiden sähkövirtojen hallintaan ja ohjaamiseen. Teollisuudessa sähkökeskusten tehtävänä on yleensä teollisuuslaitoksen prosessien virranhallinta. Sähkökeskus voi sisältää esimerkiksi sulakkeita, virrankatkaisijoita ja hallintapaneeleita. Keskus toimii automaattisesti, mutta automaattisen toiminnan häiriöiden varalta siinä on aina oltava mahdollisuus myös manuaaliseen käyttöön. Lisäksi sähkökeskuksella on aina jonkinlainen runkorakenne, johon kaikki komponentit kiinnitetään. Sähkökeskusjärjestelmä on suoraan liitoksissa rakennuksen sähkönsyöttöön. [12.] [13.] [14.] [15.]



Kuva 7. Esimerkki sähkökeskuksesta. Siemens SIVACON S8- sarjan sähkökeskus. [16.]

2.3.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on tehoelektroniikkalaite, jolla säädellään sähkömoottorin nopeutta muuttamalla sen syöttöjännitteen taajuutta. Taajuusmuuttajilla (kuva 8) mahdollistetaan sähkömoottorien käyttö erilaisissa tuotanto- ja prosessiautomaatiojärjestelmissä. Niitä käytetään tyypillisimmin erilaisissa sähköpumpuissa ja -puhaltimissa. Muita käyttökohteita niille ovat esimerkiksi hissit, paperikoneet ja nosturit. Taajuusmuuttajat ovat tavallisesti pienikokoisia verrattuna sähkökeskuksiin, joten ne muodostavat yleensä pienemmän osan sähkö- ja automaatiotilan kuormituksista. [17.] [18.]



Kuva 8. Taajuusmuuttajia. [18.]

2.4 Laitteiden sijoittelu kojeistotiloissa

Sähkö- ja automaatiotiloissa kojeistotilojen laitteet aiheuttavat suurimmat rakenteelliset kuormat. Tämän takia laitteiden sijoittelun tarkasteleminen on tärkeää. Kun tiedetään, millä tavalla ja mihin järjestykseen laitteet tyypillisesti sijoitellaan, voidaan sen perusteella määrittää niiden aiheuttamien kuormien jakaantuminen tilan rakenteille. [2.]

Luvussa 2.2.1 esitetyistä kuvista 2 ja 3 huomataan, että laitteet on esitetty selkeissä riveissä. Juuri kuvien osoittamalla tavalla laitteet tyypillisesti sijoitetaan kojeistotilaan. Laitteita on seinien vierillä, ja jos tila on tarpeeksi iso, voidaan tilan keskelle sijoittaa laiterivejä joko yksittäin tai taustapuolelta vastakkain. Laitteiden väliin jätetään tyhjiä kulureittejä, joilla ei rakennuksen normaalikäytössä käytännössä ole kuormia ollenkaan satunnaista huoltotyöntekijää lukuun ottamatta. [2.]

Laitteiden sijoittelulla on vaikutusta myös tilan turvallisuuteen. Mitä selkeämmin laitteet on sijoitettu ja kulkureitit näkyvillä, sitä turvallisempi tila on. Laitteet tulisi mahdollisuuksien mukaan sijoittaa niin, että niiden ovet ja luukut sulkeutuvat kojeistotilan poistumis-suuntaan päin. Näin hätätapauksessa tilasta poistuva henkilö ei törmää oveen tai luukkuun, joka ei sulkeudukaan hänen kulkusuuntaansa kohti. Kuvassa 9 esitetään esimerkki kojeistotilasta, jossa nähdään kaksi laiteriviä ja niiden välinen käytävä. [2.]



Kuva 9. Osa kojeistotilaa, jossa sähkökeskuksia. [19.]

3 Rakenteelliset vaatimukset sähkö- ja automaatiotiloille

Sähkö- ja automaatiotilojen yleisten rakenteellisten vaatimusten kokoaminen yhteen eri standardeista ja ohjeista on yksi tämän työn tavoitteista. Tässä luvussa esitetään nämä vaatimukset. Sähkö- ja automaatiotilojen erilaisten rakenteellisten vaatimusten toteuttaminen on tärkeää tilojen turvallisen käytön kannalta. Yleinen vaatimus tiloille on, että kojeistoasennusten alkaessa kaikki tilojen rakennustekniset työt on saatu tehtyä ja tilat pystytään lukitsemaan. [6.]

3.1 Palotekniset vaatimukset, sammutusvedet ja savunpoisto

Tässä esitetyt vaatimukset tulevat suurilta osin PSK 2002 Sähkötilat enintään 1000 V -standardista. Rakenteiden palonkestovaatimukset ovat osin yhteisiä ja osin erilaisia kojeisto- ja kaapelitiloille. Yhteistä on, että tilat tulee sijoittaa ja osastoida siten, että palo ei pääse leviämään, eikä savu aiheuttamaan kohtuuttomia vahinkoja. Tiloihin ei myöskään tulisi sijoittaa ikkunoita. Tiloissa on aina oltava mahdollisuus tulipalon sammutukseen ja suuret sähkö- ja automaatiotilat suositellaan varustettaviksi savunilmaisimilla. Rakenteet on tehtävä A1- tai A2- luokan palamattomista rakennustarvikkeista. Luokan A1 rakennustarvike ei osallistu paloon lainkaan ja luokan A2 tarvikkeen osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu. Kaikki pintaverhoukset tehdään vaikeasti syttyvistä ja paloa levittämättömistä rakennustarvikkeista, jotka täyttävät luokan B s1, d0 vaatimukset. Tämä tarkoittaa, että tarvikkeen osallistuminen paloon on hyvin rajoitettua (B), sen savunmuodostus on erittäin vähäistä (s1) ja siitä ei irtoa palavia pisaroita tai osia (d0). [4.] [6.] [20.] [21.]

PSK 2002 -standardin mukaan kojeistotilojen rakenteiden palonkeston vähimmäisedellytys on EI-M 90, eli rakenteiden tulee kestää paloa 90 minuuttia osastoivuuden (E) ja eristävyuden (I) osalta sekä olla iskukuorman kestäviä (M). Ovien ja luukkujen palonkeston tulee olla vähintään EI-M 60. Käytännössä M-luokkia käytetään rakenteissa kuitenkin vain kattilalaitoksissa suojaamaan sähkö- ja automaatiotilan rakenteita kattiloiden räjähdykseltä. Tavallisesti sähkö- ja automaatiotilojen rakenteet ovat normaaleja elementtirakenteita ja kuorilaattoja pintavalulla, ilman M-luokitusta. M-luokitus tarvitsee ottaa huomioon vain silloin, kun on vaara, että rakenteisiin kohdistuu suuria iskuvoimia. [6.] [7.]

Palo-osastointi tehdään rakennuksen seiniin, kattoon ja lattiaan. Läpivientien palosuojaukset on tehtävä, ja siihen käytettävät materiaalit on valittava, siten, etteivät paloläpiviennit huononna palo-osastointia. Kuvan 2 mukaisesti myös ulko-oven on oltava osastoiva ovi EI 60. Kojeistotilan palotuuletus voidaan hoitaa viereisten sisätilojen kautta ulos, mikäli kojeistotilassa ei ole suuria kaapeliasennuksia. Tuuletusta ei kuitenkaan saa järjestää käyttäen ilman reittinä osastoitua uloskäytävää tai osastoitua sammutusreittiä. [6.] [20.] [21.]

Kojeistotilojen automaattiseksi sammutuslaitteistoksi voidaan PSK:n mukaan valita joko hiilidioksidi- ja inerttikaasuja tai vesisprinkleri. Vesisprinkleri kojeistotilan sammutuslaitteena ei tästä huolimatta ole lainkaan suositeltava, eikä tavanomainen, sillä vesi aiheuttaa herkille sähkökojeille suuria vahinkoja [7]. Jos sammutuslaitteistona käytetään vesisprinklereitä, on suunnittelussa huomioitava sammutusvesien johtaminen pois tilasta. Tämä tapahtuu lattiaan tehtävillä kaadoilla ja lattiakaivoilla. Lattia tulee myös tässä tapauksessa vesieristää. Sammutuslaitteiston on käynnistyessään pysäytettävä ilmastointi. [4.] [6.] [20.]

Kaapelitilan palokuorma on kaapelien materiaalien takia yleensä hyvin suuri. Tästä syystä standardin PSK 2005 kohdan 5.3 mukaan kaapelitila on tiiveyden osalta rakennettava paloluokkaan E 120. Myös kojeistotilan ja kaapelitilan välinen rakenne on rakennettava tähän samaan paloluokkaan. Muuten kuin tiiveyden osalta kaapelitilan rakenteet voivat olla samaa paloluokkaa kuin kojeistotiloissa. Kaapelitilan lattia on oltava betonia tai vastaavaa materiaalia ja pölyämätön. Näin se on helppo puhdistaa palavas-ta jätteestä. Kaapelitilaan tulee asentaa sprinklerijärjestelmä, jotta palotilanteessa sammutus on mahdollisimman tehokasta. Myös kaapelitiloissa sammutusvesien poisto tulee huomioida suunnittelussa vesieristyksin ja tarvittavin lattiakaadoin ja -kaivoin. Kaapelitilojen läheisyyteen on sijoitettava pikapalopostit, joilla ulotutaan kaapelitilaan. Kaikkiin kaapelitiloihin on lisäksi oltava mahdollisuus tehdä sammutushyökkäys sen viereisiin tiloihin johtavista ovista tai luukuista. Ne on sijoitettava niin, että etäisyys ovelta tai luukulta ei mihinkään kaapelitilan osaan ole yli 15 metriä. Kaapelitilojen palotuuletus tulee ensisijaisesti järjestää suoraan ulkoilmaan. [6.] [8.] [20.]

3.2 Tilojen seinät, katto, lattia ja ikkunat

Kuten kaikissa rakennuksissa, myös sähkö- ja automaatiotiloissa seinien, lattioiden ja kattojen mekaaninen lujuus tulee olla sellainen, että rakenteet kestävät kaikki normaali-ikäisessä käytössä niille aiheutuvat staattiset ja dynaamiset kuormat sekä mahdolliset paineen nousut. Mitkään läpiviennit seinien, lattioiden tai kattojen läpi eivät saa heikentää rakenteiden kestävyyttä. [6.]

Lattioiden tulee olla riittävän tasaisia, epätasaisuus saa olla enintään ± 5 mm/m. Kojeistotilojen lattian pinnoite tulee olla sähköä eristävää materiaalia ja automaatiolaitteita sisältävän tilan lattia staattista sähköä poistavaa materiaalia. Sähköä eristävän materiaalin pintaresistanssi on oltava suurempi kuin $100 \text{ G}\Omega$ ja staattista sähköä poistavan materiaalin pintaresistanssi välillä $100 \text{ k}\Omega - 100 \text{ G}\Omega$. Tällaista materiaalia ovat esimerkiksi ESD-lattiat (Electrostatical Discharge), jotka valmistetaan esimerkiksi vinyylistä, linoleumista tai epoksista. Niistä käytetään puhekielessä myös nimityksiä ”johtava” tai ”puolijohtava”. Ne kuitenkin ovat sähköä eristäviä lattioita, kun niiden resistanssi maahan on suurempi kuin $50 \text{ k}\Omega$. [4.] [6.] [22.] [23.] [24.]

Kuten luvussa 3.1 mainitaan, sähkö- ja automaatiotiloihin sijoitettavia ikkunoita tulee ehdottomasti välttää. Jos ikkunoita kuitenkin tiloihin sijoitetaan, niiden tulee olla särky-mätöntä materiaalia ja ne tulee suojata esimerkiksi metalliverkolla. Ikkunat tulee sijoittaa niin, että niiden alareuna on vähintään 1,8 metriä luokse päästävän tason yläpuolella. [21.]

3.3 Ilmanvaihto

Sekä kojeisto- että kaapelitilat on varustettava riittävällä ilmanvaihdolla, jotta laitteiden ja kaapeleiden häviölämpö saadaan poistettua. Lisäksi kojeisto- ja kaapelitilan ilmanvaihto tulee erottaa toisistaan, eikä ilmastointilaitteita saa sijoittaa tiloihin. Riittävällä ilmanvaihdolla tarkoitetaan sitä, että tilojen lämpötila pysyy vuorokaudessa keskimäärin $+30 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa. Lämpötilan muutosraja on $+10 \dots +35 \text{ }^\circ\text{C}$. Kojeistotilan ilmanvaihto tulee toteuttaa niin, että tilassa vallitsee $20-40 \text{ Pa}$ ylipaine verrattuna kaapeli- ja ympäröiviin tiloihin. Ylipaineella varmistetaan se, ettei mahdollinen pöly ympäröivistä tiloista pääse kojeistotilaan. Tiloihin sisään tuleva ilma tulee suodattaa aina mekaanisesti, ympäristö-

olosuhteista riippuen mahdollisesti lisäksi kemiallisesti. Tuloilman tulee olla hyväksyttävästi vapaa pölystä ja syövyttävistä kaasuista. [6.]

3.4 Suojaus pölyä ja vettä vastaan

Sekä kojeisto- että kaapelitilojen pinnat on käsiteltävä pölyämättömiksi. Liiallinen pöly tiloissa saattaa aiheuttaa herkissä sähkölaitteissa vaarallisia toimintahäiriöitä. Lisäksi tilat tulee suojata pinta- ja pohjavettä sekä tiivistyvää kosteutta vastaan. Sadevedet ja maasta nouseva vesi tulee siis normaaliin tapaan pitää myös sähkö- ja automaatiotilojen ulkopuolella. [6.]

3.5 Valokaarioikosulku

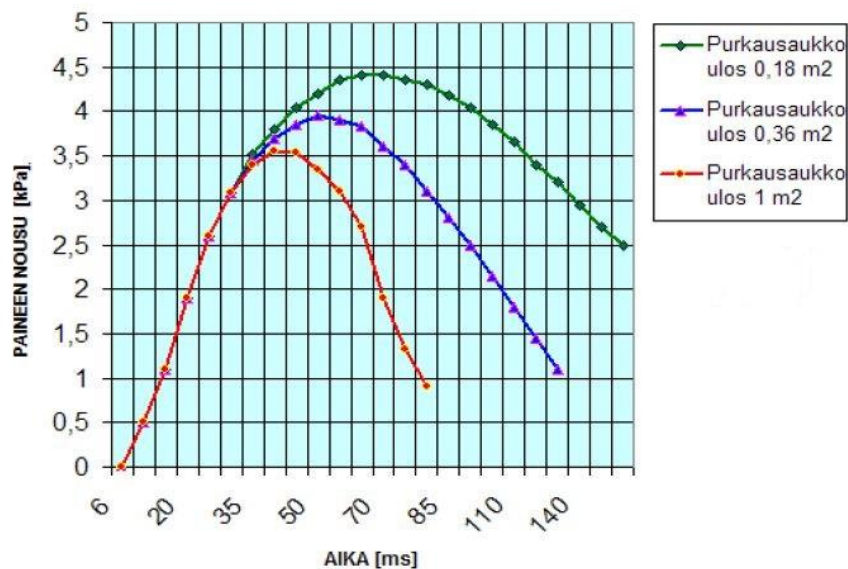
Valokaaret ovat yksi huomattavimmista sähkön vaaroista. Valokaari syntyy, kun kaksi erijännitteistä osaa tuodaan tarpeeksi lähelle toisiaan. Tällöin osien välissä oleva ilma ei pysty enää eristämään sähköä vaan osien välille syntyy oikosulku ja sen aiheuttama valokaari. Mitä suurempi osien välinen jännite-ero on, sitä pidempi valokaari voi syntyä. [25.]



Kuva 10. Pienjännitekeskus, jossa on tapahtunut valokaarioikosulku. [4.]

Valokaarioikosulku on vakava ilmiö etenkin tehosähkötiloissa. Kuvasta 10 nähdään, minkälaisista tuhoista valokaari saattaa aiheuttaa sähkökeskuksessa. Valokaari saa ympäröivän ilman lämpenemään voimakkaasti, joka taas aiheuttaa nopean paineen kasvamisen tilassa. Tämä paineen nousu tulee tarpeen mukaan huomioida sähkökeskusten ja sähkötilojen rakenteissa. [21.]

Valokaaren sattuessa sähkötilan ovet eivät saa avautua tai mahdolliset ikkunat särkyä ylipaineen takia. Sähkökeskusten ovet eivät myöskään saisi avautua, vaan paine tulee ohjautua keskuksen yläosasta ulos. Kojeistotila voidaan tarvittaessa varustaa erityisillä paineenpurkauskanavilla. Niiden kautta valokaarioikosulun aiheuttama ylipaine saadaan purettua tilasta hallitusti niin, ettei se vahingoita tilan muita laitteita tai rakenteita. Paineenpurkauskanavat johtavat ylipaineen tilasta ulos purkausaukkojen kautta. Purkausaukko tai -aukot on sijoitettava niin, ettei paine vapautuessaan tilasta ulos aiheuta vaaraa ihmisille tai omaisuudelle. Paineenpurkauskanavien sijasta on myös mahdollista käyttää avautuvia tai irtoavia seinärakenteita, joiden avulla valokaaren aiheuttama ylipaine ohjataan vähiten vaaralliseen suuntaan. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi irtoaviksi suunnitellut seinäelementit, jotka paineen vaikutuksesta lähtevät irti kiinnikkeistään. [4.] [21.] [7.]



Kuva 11. Valokaarioikosulun aiheuttama paineen nousu, SENER Verkkosuositus RM 7:98, kuva 1. [4.]

Kuvassa 11 esitetään esimerkkitapaus valokaarioikosulun aiheuttamasta paineen noususta tilavuudeltaan 30 kuutiometrin sähkötilassa erikokoisilla paineenpurkausaukoilla

6-180 millisekuntia oikosulun jälkeen. Siitä nähdään, että 0,18 neliömetrin kokoisella purkausaukolla ylipaine kasvaa vajaan 4,5 kilopascaliin. [4.] [21.]

Kuvan 11 tapaus on viitteellinen ja sen tarkoitus on antaa kuva valokaarioikosulun vakavuudesta. Todelliseen paineen nousuun vaikuttaa tilan ja purkausaukkojen koon lisäksi myös esimerkiksi laitteissa kulkeva sähkövirta. Arvion paineenpurkauskanavien ja avautuvien tai irtoavien rakenteiden tarpeellisuudesta tekee rakennesuunnittelija sähköjärjestelmien suunnittelijan avustuksella.

4 Rakenteiden kuormien luokittelu

Kuten ensimmäisessä luvussa mainitaan, yksi tämän insinööriyön aiheen taustatekijöistä on teollisuuden sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelun lähtötietokuormien määritysohjeen ja -käytännön puute. Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi teoriaa kuormien luokittelusta rakennesuunnittelussa. Luvussa 9 käsitellään tarkemmin alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen pysyviä ja muuttuvia kuormia sekä muuttuvien kuormien yhdistelykertoimia.

Rakennusten ja rakenteiden kuormat jaetaan pysyviin kuormiin, muuttuviin kuormiin sekä onnettomuuskuormiin. Pysyviä kuormia merkitään G - kirjaimella, muuttuvia kuormia Q - kirjaimella ja onnettomuuskuormia A - kirjaimella. Lisäksi kuormille on määritetty laskelmissa käytettäviä yhdistelykertoimia. [26.] [27.]

4.1 Pysyvät kuormat

Pysyvä kuorma (G) on kuormaa, jonka suuruus ja suunta pysyvät muuttumattomana koko rakennuksen käyttöiän, tai jonka muutos tapahtuu aina samaan suuntaan. Pysyväksi kuormaksi luetaan kiinteiden rakennusosien omapaino ja muu rakenteeseen vaikuttava muuttumaton kuorma, esimerkiksi vesikatolla olevan maakerroksen kuorma tai kiinteiden laitteiden aiheuttama kuorma. Pysyvän kuorman ominaisarvoksi tulee valita joko G_k , $G_{k,sup}$ tai $G_{k,inf}$. Nämä määritetään tarkemmin standardissa EN 1990. [26.] [27.] [28 s.44.]

4.2 Muuttuvat kuormat ja hyötykuormat

Muuttuva kuorma (Q) on kuormaa, jonka suuruus vaihtelee merkittävästi ajan myötä, ja vaihtelua tapahtuu sekä suuremmaksi että pienemmäksi. Muuttuvaa kuormaa ovat esimerkiksi hyötykuormat, tuulikuormat sekä lumikuormat. Standardin EN 1990 mukaan muuttuvan kuorman ominaisarvon Q_k tulee olla joko yläraja-arvo, alaraja-arvo tai nimellisarvo. Tarkempi määrittely löytyy kyseisestä standardista. [26.] [27.] [28 s.45.]

Hyötykuormalla tarkoitetaan kuormia, jotka vaikuttavat silloin, kun rakennus on käytössä. Näitä kuormia ovat esimerkiksi ihmisten aiheuttamat kuormat. Rakennusten väli-

pohjien, parvekkeiden ja portaiden hyötykuormien lukuarvoja esitetään standardissa EN 1991-1-1 taulukossa 6.2 sekä kansallisessa liitteessä Rakenteiden lujuus ja vakaus: Rakenteiden kuormat taulukossa 1. [26.] [29.] [30.]

4.3 Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet

Rakennuksissa vaikuttaa lähestulkoon aina monia kuormia samanaikaisesti. Tämän takia näitä erilaisia kuormia tulee laskelmissa yhdistää. Kuormayhdistelyissä muuttuville kuormille on käytössä kolme eri yhdistelykerrointa, ψ_0 , ψ_1 ja ψ_2 (kuva 13). Näiden kertoimien määritelmät ja suositusarvot rakennuksille esitetään standardissa EN 1990 sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa Rakenteiden lujuus ja vakaus: Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. [27.] [28 s.47–49.] [31.]

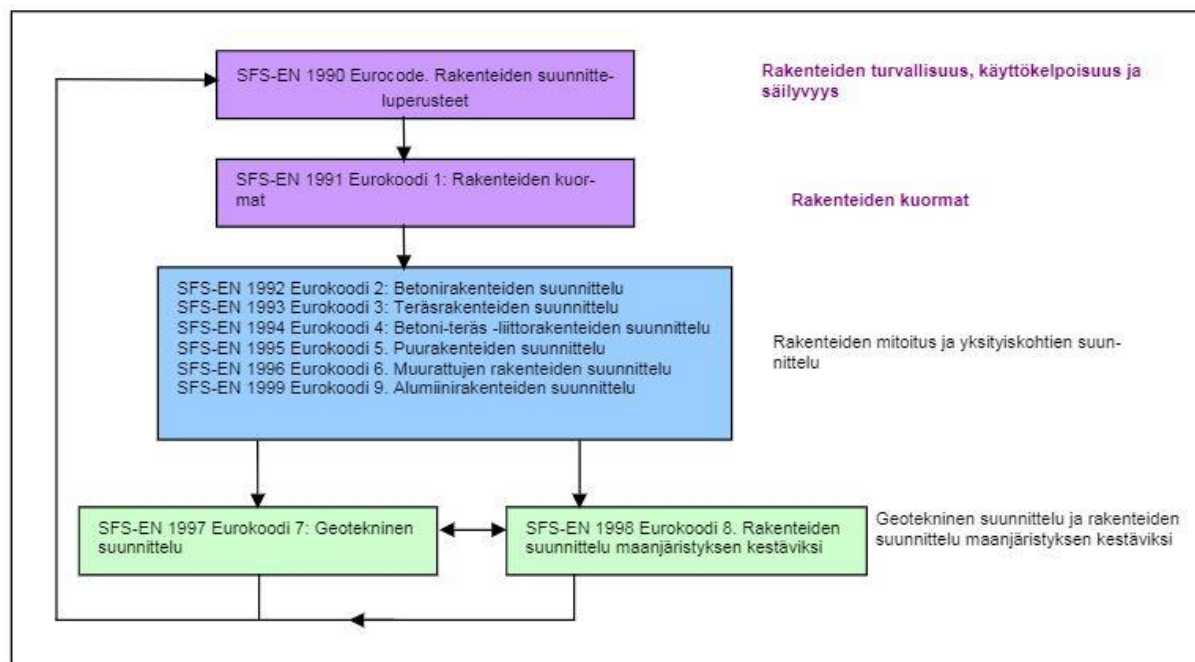
5 Standardit

Rakentamisessa tärkeässä osassa ovat erilaiset standardit, määräykset ja ohjeet. Niiden avulla pyritään yhtenäistämään rakentamistapoja, tekemään rakentamisesta turvallista ja laadukasta sekä mahdollisimman tehokasta. Tässä luvussa esitellään rakennesuunnittelun ja tämän insinööriyön aiheen kannalta tärkeimpiä standardeja, joiden avulla rakenteiden perussuunnittelua yleensä tehdään. Tarkoituksena on lyhyesti tuoda esille, kuinka näissä standardeissa on huomioitu eri näkökulmia ja asioita hyvin kattavasti ja siitä huolimatta teollisuusrakennusten suunnitteluun ei juuri löydy ohjeita. Luvussa 6 käsitellään tarkemmin teollisuusrakennusten suunnittelun ohjeistuksen puutteellisuutta. Näitä olemassa olevia ohjeita ja standardeja pystytään jossain määrin kuitenkin käyttämään hyödyksi, kun myöhemmin luvussa 9 määritetään lähtötietokuormia sähkö- ja automaatiotiloille.

5.1 Eurokoodit

Rakenteiden suunnittelua Suomessa tehdään tällä hetkellä käytännössä ainoastaan eurokoodi-normiston perusteella. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia suunnittelustandardeja. Pääosia eurokoodisarjassa on kymmenen ja ne on numeroitu nollassa yhdeksään (0-9) ja nimetty EN 1990...EN 1999. Eurokoodien soveltaminen eri maissa vaatii kansallisen liitteen laatimista. Kansallinen liite sisältää tietoa parametreista, jotka on jätetty eurokoodissa auki kansallista valintaa varten. Suomessa kansallisten liitteiden laatimisesta vastaa ympäristöministeriö talonrakentamisen osalta. Suomen Standardoimisliitto SFS ry huolehtii siitä, että Suomeen luodaan eurokoodien suomenkieliset käännökset ja niiden kansalliset liitteet. [32.] [33.] [34.]

Eurokoodit kattavat rakenteiden varmuuden määrittämisperiaatteet sekä erilaiset kuormat kuten hyöty-, lumi-, tuuli-, lämpö-, onnettomuus-, ja nosturikuormat. Eurokodeissa on myös rakennusmateriaaleille omat yksityiskohtaiset suunnitteluohjeensa. Eurokoodien pääosat ovat Rakenteiden suunnitteluperusteet, Rakenteiden kuormat, Betonirakenteiden suunnittelu, Teräsrakenteiden suunnittelu, Betoni-teräs liittorakenteiden suunnittelu, Puurakenteiden suunnittelu, Muurattujen rakenteiden suunnittelu, Geotekninen suunnittelu, Maanjäristysmitoitus sekä Alumiinirakenteiden suunnittelu. Kuvassa 12 nähdään kaavio eurokoodien keskinäisestä suhteesta. [27.] [32.] [33.] [34.] [35.]



Kuva 12. Eurokoodien keskinäiset suhteet. [36.]

5.1.1 SFS-EN 1990

SFS-EN 1990 on Suomen Standardoimisjärjestön julkaisema eurokoodistandardin 0, EN 1990, Suomen kansallinen standardi. Siinä esitetään rakenteiden käyttökelpoisuutta, säilyvyyttä ja varmuutta koskevat periaatteet ja vaatimukset. Lisäksi se sisältää perusteet suunnitteluun ja rakenteiden vaatimustenmukaisuuteen ja antaa ohjeita liittyen rakenteiden luotettavuuteen. [27.]

5.1.2 SFS-EN 1991

SFS-EN 1991 on Suomen Standardoimisjärjestön julkaisema eurokoodistandardin 1, EN 1991, Suomen kansallinen standardi. Standardissa esitetään mitoitusohjeita ja mitoituskuormia erilaisille materiaaleille, tuotteille, koneille ja hyötykuormille. Lisäksi standardi sisältää periaatteita ja yleisiä sääntöjä huomioon otettavien kuormien määrittämiseksi. [37.]

5.2 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Suomen rakentamismääräyskokoelma eli RakMK on Ympäristöministeriön julkaisema kokoelma säännöksiä ja ohjeita, jotka tarkentavat Maankäyttö- ja rakennuslaissa esitettyjä vaatimuksia. RakMK koostuu yhteensä kymmenestä eri osasta. Rakennesuunnittelun kannalta tärkein RakMK:n osa on Rakenteiden lujuus ja vakaus. Se sisältää kaikki Suomen kansalliset liitteet eurokoodeihin EN 1990...EN 1999. Se koostuu kymmenestä eri osasta, joista tämän insinööriyön kannalta oleellisimmat ovat ensimmäinen osa Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet sekä toinen osa Rakenteiden kuormat. [38.] [39.]

5.3 PSK-standardit

PSK Standardisointi on suomalainen teollisuuden ja teollisuutta palvelevien yritysten kehitysyksikkö, joka tukee jäsentensä kotimaista ja kansainvälistä toimintaa standardisoinnilla ja koulutuksilla. PSK on riippumaton ja valmistelelee standardinsa ainoastaan jäsentensä aloitteesta. [40.]

Sähkö- ja automaatiotiloihin liittyviä standardeja PSK:lla on tällä hetkellä olemassa kolme. Ne ovat PSK 2001 - Teollisuusmuuntajajärjestelmä, PSK 2002 - Sähkötilat enintään 1000 V sekä PSK 2005 - Kaapelireittien suunnittelu. Ne sisältävät ohjeita sähkö- ja automaatiotilojen suunnitteluun, mitoittamiseen sekä rakennusteknisiin kysymyksiin. [6.] [8.] [41.] [42.]

6 Teollisuusrakennusten ohjeistusten puute

Ohjeistuksen puute teollisuusrakennusten rakennesuunnitteluun on yksi tämän insinöörityön taustatekijöistä. Tässä luvussa käydään läpi standardien EN 1990, EN 1991 sekä PSK-2002:n kohtia, joissa teollisuustiloja muiden tilojen ohella oletettaisiin käsiteltävän, tai joissa on jonkinlainen viittaus sähkötiloihin ja sen kuormiin.

6.1 Eurokoodit ja Suomen kansalliset liitteet

Eurokoodeissa EN 1990 ja EN 1991 ja niitä vastaavissa Suomen kansallisissa liitteissä ei käsitellä tai mainita teollisuusrakennuksia juuri lainkaan. Ne eivät ota kantaa erikseen teollisuuden rakennesuunnitteluun tai hyötykuormiin. Kyseiset standardit kuitenkin ottavat kantaa asuin-, toimisto-, kokoontumis-, myymälä- ja varastotiloihin, liikennöitäviin tiloihin, vesikattoihin, lumikuormiin, tuulikuormiin sekä lämpötilakuormiin. Ne siis kattavat lähestulkoon kaiken muun paitsi teollisuusrakennukset. [27.] [29.] [30.] [31.]

Standardissa EN 1990 esitetään muuttuvien kuormien yhdistelykertoimien ψ_0 , ψ_1 ja ψ_2 arvoja taulukossa A1.2.2. Siinä otetaan huomioon kaikki yllämainitut tilat, mutta ei teollisuustiloja. Sama taulukko (kuva 13) Suomen olosuhteisiin hieman muokattuna löytyy Suomen kansallisesta liitteestä Rakenteiden lujuus ja vakaus: Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. Kuten kuvasta 13 huomataan, ei siinäkään mainita teollisuustiloja. Kyseinen taulukko on kuitenkin tarpeellinen tässä työssä, kun määritetään yhdistelykertoimet alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloille. Tähän palataan luvussa 9.7. [27.] [31.]

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6**)
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3**)
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3)*) kun			
$s_k < 2,75$ kN/m ²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ***)	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
*) Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huomautus: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. **) Ajokäytävillä $\psi_2 = 0$ ***) Koskee huurtumisesta, jäätävästä sateesta ja räntäsateesta aiheutuvia jääkuormia			

Kuva 13. Kertoimien ψ arvot rakennuksille. [31.]

Yllä olevassa kuvassa esitetyn taulukon lisäksi standardista EN 1991-1-1 ja Suomen kansallisesta liitteestä Rakenteiden lujuus ja vakaus: Rakenteiden kuormat löytyy taulukko, jossa esitetään rakennusten välipohjien, parvekkeiden ja portaiden hyötykuormia. Taulukossa kuormitettavat tilat on jaettu neljään kategoriaan: A, B, C ja D, jotka vastaavat järjestyksessä asunto-, majoitus-, toimisto-, kokoontumis- ja myymälätiloja. Teollisuustiloista ei siinäkään ole mainintaa. [29.] [30.]

Ainoa kohta edellä mainituissa eurokoodeissa, joka viittaa teollisuuteen, on standardin EN 1991-1-1 luvun 6.3.2 ”Varasto- ja tuotantotilat” kohdassa 6.3.2.2 ”Kuormien arvot” kohta 6: ”Tuotantotilojen kuormat arvioidaan ottamalla huomioon käyttötarkoitus ja asennettavat laitteet. Jos asennettavaksi tulee nostureita, liikkuvia koneita yms., niiden vaikutukset rakenteeseen määritetään standardin osan EN 1991-3 mukaisesti”. Toisin sanoen eurokoodien mukaan kaikki tuotantotilojen kuormat on arvioitava kohdekohtaisesti. [29.]

6.2 PSK 2002 - Sähkötilat enintään 1000 V

PSK 2002 standardissa annetaan ohjeita liittyen prosessiteollisuuden enintään 1000 V sähkötilojen suunnitteluun, mitoitukseen ja rakennusteknisiin kysymyksiin. Standardin luvun 7 ”Muut huomioon otavat seikat” kohdassa 7.2.5 ”Muut rakennussuunnittelutiedot” ohjeistetaan seuraavasti: ”Rakennussuunnittelua varten pitää antaa ainakin seuraavat tiedot: sähkötilan mitoitus vapaina mittoina, tasokuormitus (5 kN/m^2), aukkojen koko- ja sijoitusmitat ja valokaaripaineen aiheuttamat mahdolliset rakenne- ja purkausvaatimustiedot”. Tasokuormitusta tai sen suluissa ilmoitettua lukuarvoa ei standardissa käsitellä, selitetä tai avata sen enempää. Lisäksi se on sijoitettu ohjeistuksen loppuun ikään kuin huomautuksena, joten sen merkitys jää epämääräiseksi. Tämän maininnan lisäksi tässä, tai muissa PSK:n standardeissa, ei oteta kantaa sähkötilojen rakenteiden kuormiin.

[6.]

7 Toteutuneet kohteet

Yksi tämän työn tavoitteista on määrittää lähtötietokuormat ja muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet tyypilliselle teollisuuslaitoksen alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloille. Jotta se pystytään tekemään, on ensin määritettävä tyypillinen sähkö- ja automaatiotila. Tyypillisen sähkö- ja automaatiotilan määrittämiseksi on aihetta koskevien standardien ja ohjeiden lisäksi tarkasteltava toteutuneiden kohteiden pohjapiirustuksia sekä tiloihin asennettujen laitteiden painoja ja mittoja.

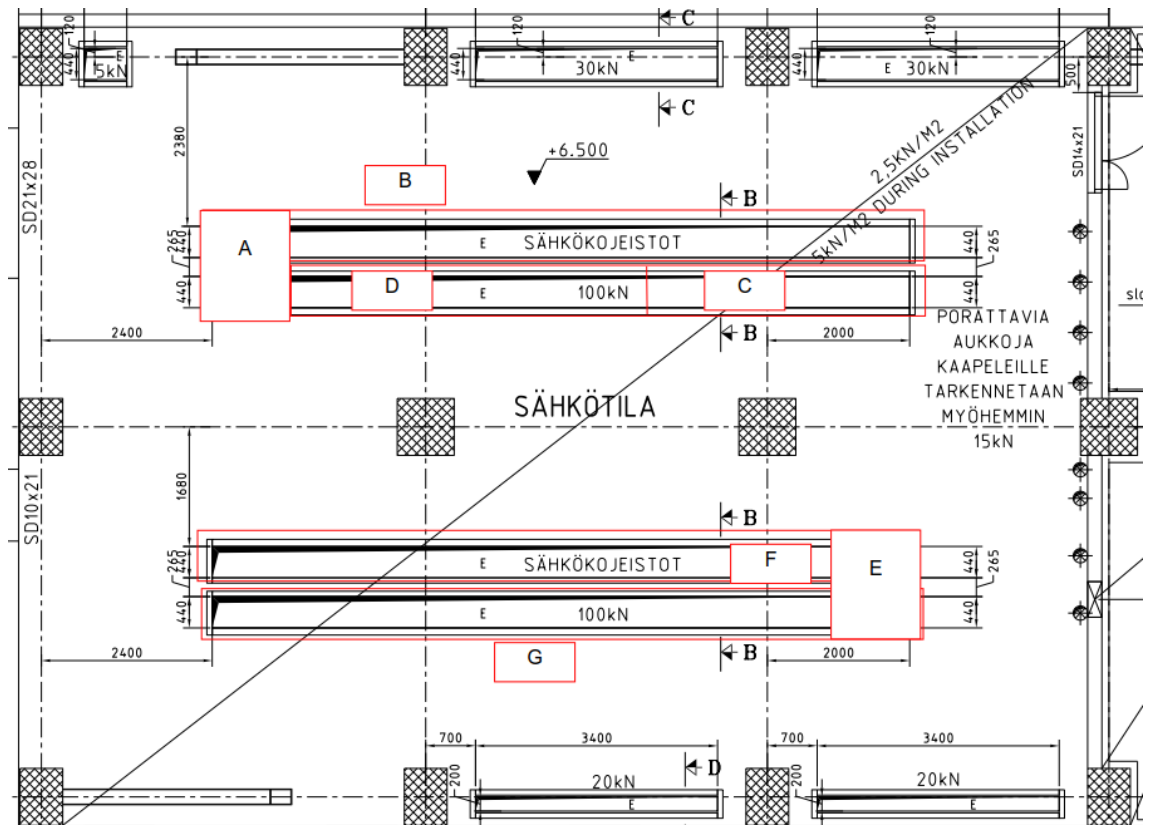
Tässä luvussa esitetään sähkö- ja automaatiotilojen pohjapiirustuksia sekä niihin sijoitettuja laitteita muutamasta toteutuneesta projektista. Kaikki esitetyt kojeistojen painot tai massat ja piirustuksiin merkityt lähtötietokuormat ovat ominaisarvoja. Esitetyt piirustukset ja tiedot eri projekteista on saatu käyttöön tilaajayrityksen projektiarkistosta. Projektien tarkemmat tiedot pidetään salassa. Sähkö- ja automaatiotilojen rakenteina käytetään tyypillisesti normaaleja betonielementtejä, sandwich- elementtejä sekä kuorilaattoja pintavalulla. Myös toteutuneissa kohteissa on käytetty tällaisia rakenteita.

7.1 Voimalaitos

Ensimmäisenä otetaan tarkasteluun eräs Suomessa toteutettu voimalaitosprojekti.

7.1.1 Pohjapiirustus

Kuvassa 14 on nähtävissä pohjapiirustus voimalaitoksen yhden alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilan kojeistotilasta. Kuten piirustuksesta huomataan, sähkökojeistot on sijoitettu tilaan keskeisesti niille varattujen 440 mm leveiden aukkojen kohdille. Kojeistoja on yhteensä neljässä rivissä. Kojeistojen on lähtötietona ilmoitettu painavan 50 kN per rivi. Lisäksi tilan reunoilla on pienempiä aukkoja, joiden kohdille sijoitetaan pääasiassa kevyempiä ja pienempiä kojeita, lähinnä taajuusmuuttajia. Niiden yhteispainoksi aukon kohdalla on oletettu 20 kN tai 30 kN. Tilan lattiarakenteelle aiheutuu kojeiden lisäksi normaalissa käytössä piirustuksen mukaan enintään $2,5 \text{ kN/m}^2$ hyötykuorma, asennustilanteessa 5 kN/m^2 kuorma. Kojeistojen ja hyötykuorman arvojen merkitseminen piirustukseen erikseen kyseisellä tavalla tarkoittaa sitä, että kojeistojen kuormat huomioidaan pysyvinä kuormina ja hyötykuorma muuttuvana kuormana.



Kuva 14. Voimalaitoksen kojeistotilan pohjapiirustus

Automaatiolaitetila on tässä tapauksessa sijoitettu eri kerrokseen kuin kojeistotila. Automaatiolaitteita sisältävä tila on tapana suunnitella samalle kuormalle kuin sähkökojeistojen tila. Se vie koko sähkö- ja automaatiotilasta yleensä pienemmän osan ja automaatiolaitteet ovat kevyempiä. Kun automaatiolaitetila suunnitellaan muun sähkö- ja automaatiotilan kanssa samoilla kuormilla, ollaan rakenteiden kestävyys suhteen varmallalla puolella.

7.1.2 Kojestojen mitat ja massat

Kojeistotilan pohjapiirustuksesta nähdään aukot, joiden kohdille kojeistot tullaan sijoittamaan, sekä tilan keskelle asennettavat pääkojeistot hahmoteltuna punaisella viivalla. Eri kojeistoja on piirustuksessa merkitty tunnuksilla A-G. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa (taulukko 1) on nähtävillä kyseisten kojeistojen mitat ja massat.

Taulukko 1. Kojeistojen mitat ja massat.

Kojeisto	Syvyys mm	Pituus mm	Massa kg/m
A	1200	1000	1090
B	640	5060	395
C	640	3060	367
D	640	11260	358
E	1200	1000	1090
F	640	7660	355
G	640	5660	406

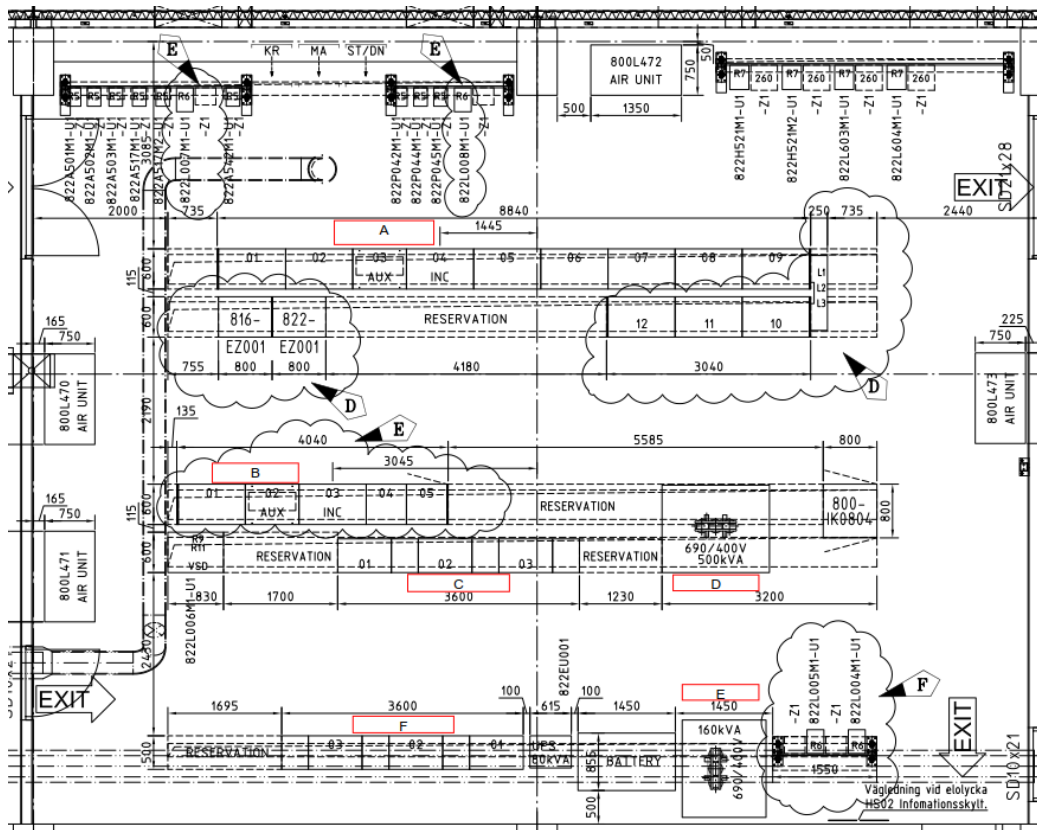
Reunoille lyhyempien aukkojen kohdille sijoitettavien taajuusmuuttajien mitat vaihtelevat pituuden osalta 155 millimetristä 1830 millimetriin ja painon osalta 46 -804 kg/m välillä. Taajuusmuuttajia asennetaan tilaan yhteensä 26 kappaletta, joista painavimmat sijoitetaan aukkojen kohdalle, joihin on merkitty 30 kN paino.

7.2 Paperitehdas

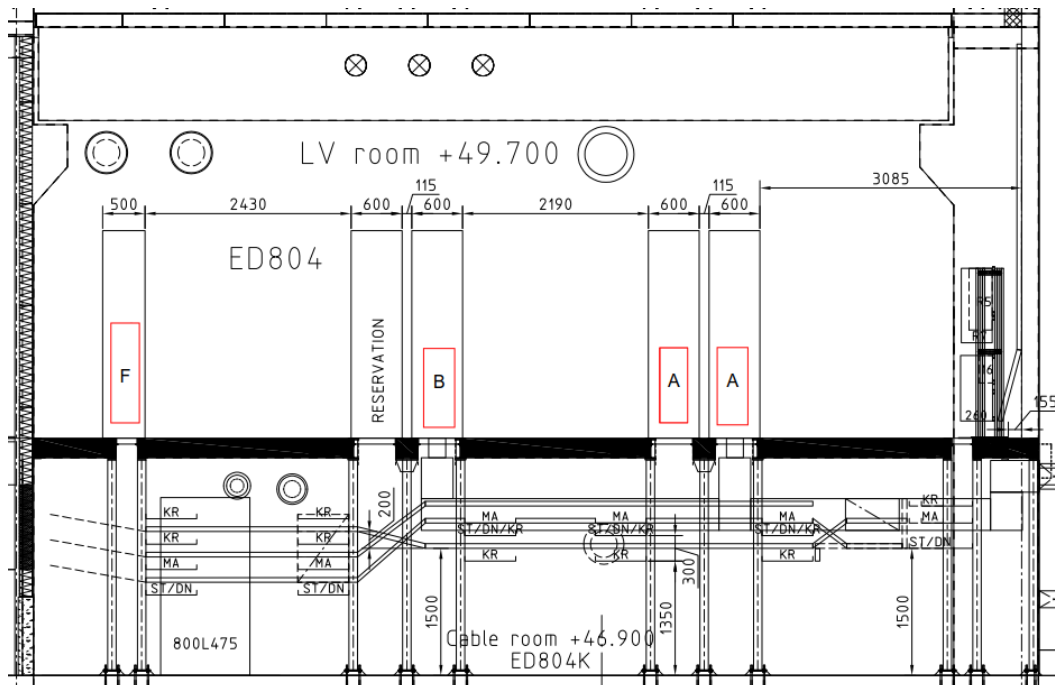
Toisena tarkasteltavaksi otetaan eräs Ruotsissa toteutettu paperitehdasprojekti.

7.2.1 Pohjapiirustus

Seuraavissa kuvissa (kuvat 15,16 ja 17) on esitetty piirustuksia projektin yhdestä alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilasta. Kojeistotilan pohjapiirustus on nähtävillä ensimmäisessä kuvassa (kuva 15). Kuvassa 16 esitetään leikkauskuva kyseisestä sähkö- ja automaatiotilasta (LV room +49.700). Kojeistoja on sijoitettu neljään eri riviin keskelle tilaa. Lisäksi tilan reunoille on sijoitettu pienempiä kojeistoja. Tilaan on myös varattu paikkoja kojeistojen lisäyksille "Reservation" merkinnällä varustettuihin kohtiin.



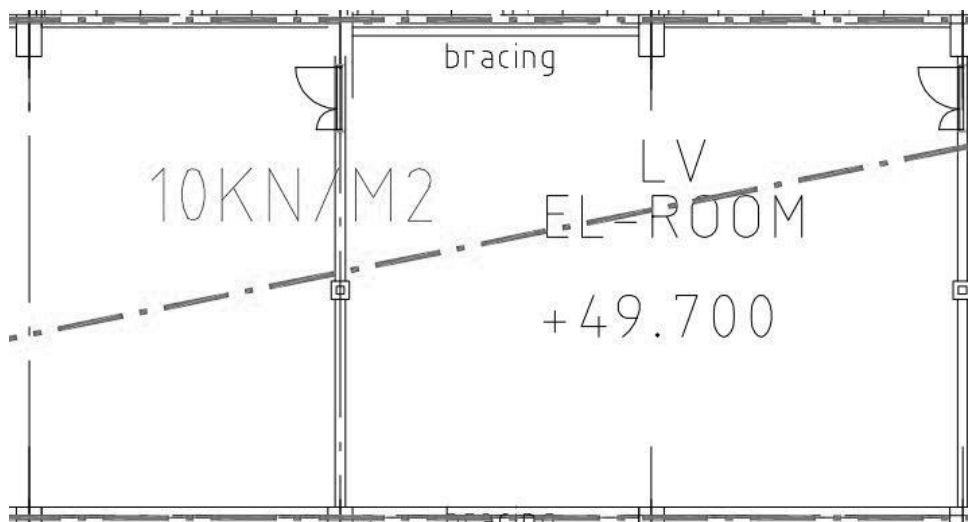
Kuva 15. Paperitehtaan kojeistotilan pohjapiirustus.



Kuva 16. Leikkauskuva paperitehtaan sähkö- ja automaatiotilasta.

Leikkauskuva kattaa myös kojeistotilan alapuolisen kaapelitilan (Cable room +46.900). Leikkauksesta nähdään, että kaapeleiden on suunniteltu kulkevan kaapelihyllyillä, jotka on tuettu pystysuunnassa kaapelitilan katon ja lattian väliin.

Kojeistotilan lähtötietokuormaksi on merkitty 10 kN/m^2 tasokuorma (kuva 17). Tämä sisältää sekä kojeistojen painon että kojeistotilan hyötykuorman. Kun kuorma merkitään piirustuksiin poikkiviivan päälle kirjoitetulla luvulla kuvan 17 osoittamalla tavalla, tarkoittaa se käytännössä sitä, että kaikki tilan kuormat huomioidaan muuttuvina kuormina. Tässä siis kojeistotilan 10 kN/m^2 muuttuvaan tasokuormaan on yhdistetty kojeistojen aiheuttamat kuormat ja kojeistotilan hyötykuorma. Kojestojen kuormat on mahdollista ottaa huomioon muuttuvina kuormina, koska vielä lähtötietokuormia annettaessa kojeistojen tarkkaa sijaintia, tarkkoja mittoja tai tarkkaa painoa ei välttämättä tiedetä. Lisäksi muuttuvalla kuormalla on mitoituskuormia määritettäessä suurempi osavarmuusluku, joten mitoittavat kuormat ovat tällöin varmalla puolella.



Kuva 17. Paperitehtaan kojeistotilan piirustukseen merkitty kuorma.

7.2.2 Kojestojen mitat ja massat

Kojeistotilaan on sijoitettu kolme pääkojeistoa. Ne on merkattu kuvaan 15 tunnuksilla A, B ja C. Tilan reunalle sijoitettu kojeisto F on pienempi ja kevyempi kuin pääkojeistot. Jokainen kojeisto on jaettu kenttiin, jotka on piirustuksessa numeroitu 01, 02, 03 ja niin edelleen. Yksi kenttä vastaa käytännössä yhtä sähkökeskusta. Kojeston A kenttä 04 ja kojeiston B kenttä 03, jotka on merkitty tunnuksella INC (incoming section), ovat kojeistojen syöttökenttiä. Huomioon otettavia kojeistoja edellä mainittujen lisäksi ovat kaksi

välimuuntajaa, jotka näkyvät piirustuksessa tunnuksilla D (690/400 V 500 kVA) ja E (690/400 V 160 kVA). Seuraavassa taulukossa (taulukko 2) on esitetty kojeistojen mitat ja massat. Kojestojen A, B, C ja F kenttien pituus on pääosin 1 m.

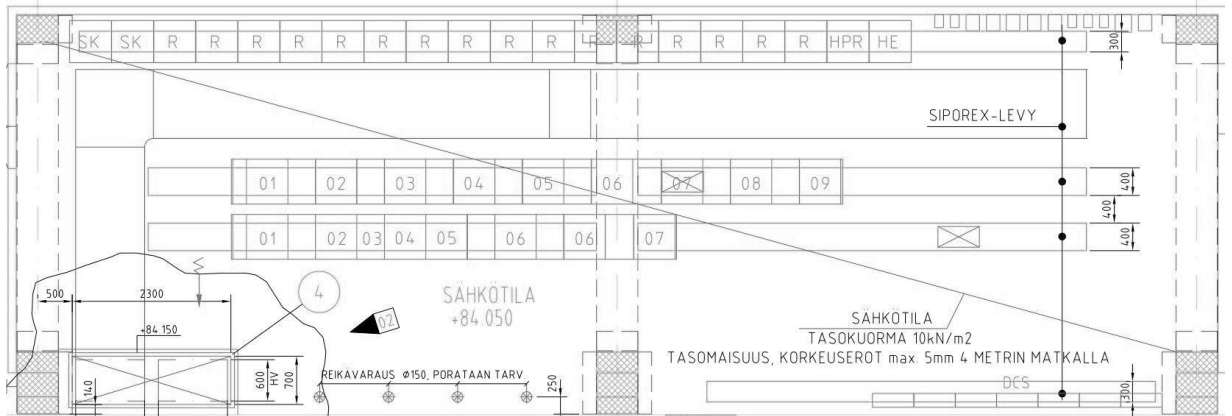
Taulukko 2. Kojestojen mitat ja massat.

Kojeisto	Syvyys mm	Pituus mm	Massa kg
A	600	-	650/kenttä INC- kenttä: 1050
B	600	-	650/kenttä INC- kenttä: 1050
C	600	-	650/kenttä
D	1600	1500	2050
E	1600	1200	1000
F	200	-	250/kenttä

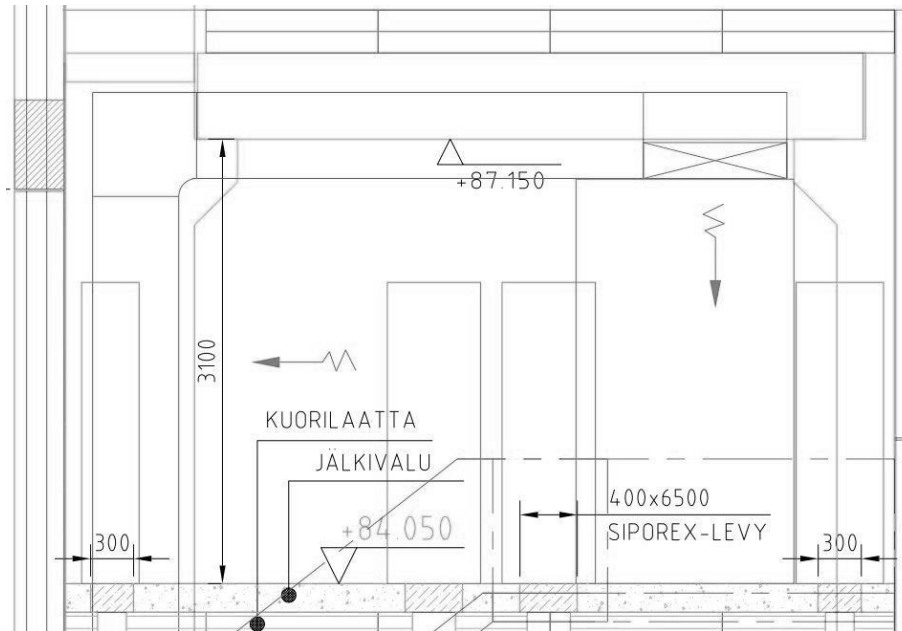
7.3 Sellutehdas

Seuraavalla sivulla olevissa kuvissa (kuvat 18 ja 19) nähdään sähkö- ja automaatiotilan kojeistotilan pohjapiirustus ja leikkauspiirustus eräästä Suomessa toteutuneesta sellutehdasprojektista. Kuvista huomataan, että kojeistojen sijoittelu on hyvin samanlainen kuin aiemmin esitetyissä piirustuksissa. Kojestojen sijoittelu on sijoitettu sekä keskelle tilaa että tilan reunoille. Keskellä kojeistoja on kahdessa rivissä seläkkäin. Tasokuormaksi tilan rakenteille on merkitty 10 kN/m^2 .

Kojestot on edellisessä luvussa esitelty paperitehtaan sähkö- ja automaatiotilan tavoin jaettu numeroituihin kenttiin. Kojestojen syvyys on 600 mm. Kyseisestä projektista ei ollut mahdollista saada tietoja tilaan asennettujen kojeistojen toteutuneista painoista.



Kuva 18. Sellutehtaan kojeistotilan pohjapiirustus.



Kuva 19. Leikkauskuva sellutehtaan kojeistotilasta.

8 Tyypillinen teollisuuslaitoksen sähkö- ja automaatiotila

Toteutuneiden kohteiden, työssä aiemmin esitettyjen vaatimusten ja asiantuntijoilta saatujen tietojen perusteella tässä luvussa määritetään teollisuuslaitoksessa sijaitsevan tyypillisen alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilan pohjapiirros sekä sinne sijoitettavien laitteiden mittoja ja massoja.

8.1 Kojeistojen massat ja syvyudet

Kaikista tyypillisin kojeiston massa alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloissa on 500 kg/m [43]. Esimerkeiksi otetuissa projekteissa kojeistojen massat vaihtelevat 355 kg/m ja 1050 kg/m välillä. Joukossa on myös muutama kevyempi kojeisto. Kojeistojen syvyys on tyypillisesti 600 mm.

Ominaiskuormien merkitsemisessä piirustuksiin käytetään pääosin kahta erilaista tapaa. Ensimmäinen tapa on merkitä tilalle yksi yhteinen muuttuvan tasokuorman arvo sekä kojeistoille että hyötykuormalle. Toinen tapa on merkitä kojeistojen painot omaksi pysyväksi kuormaksi joko kokonaispainona tai painona pituusmetriä kohti ja hyötykuorma omaksi muuttuvaksi tasokuormaksi.

8.2 Pohjaratkaisut

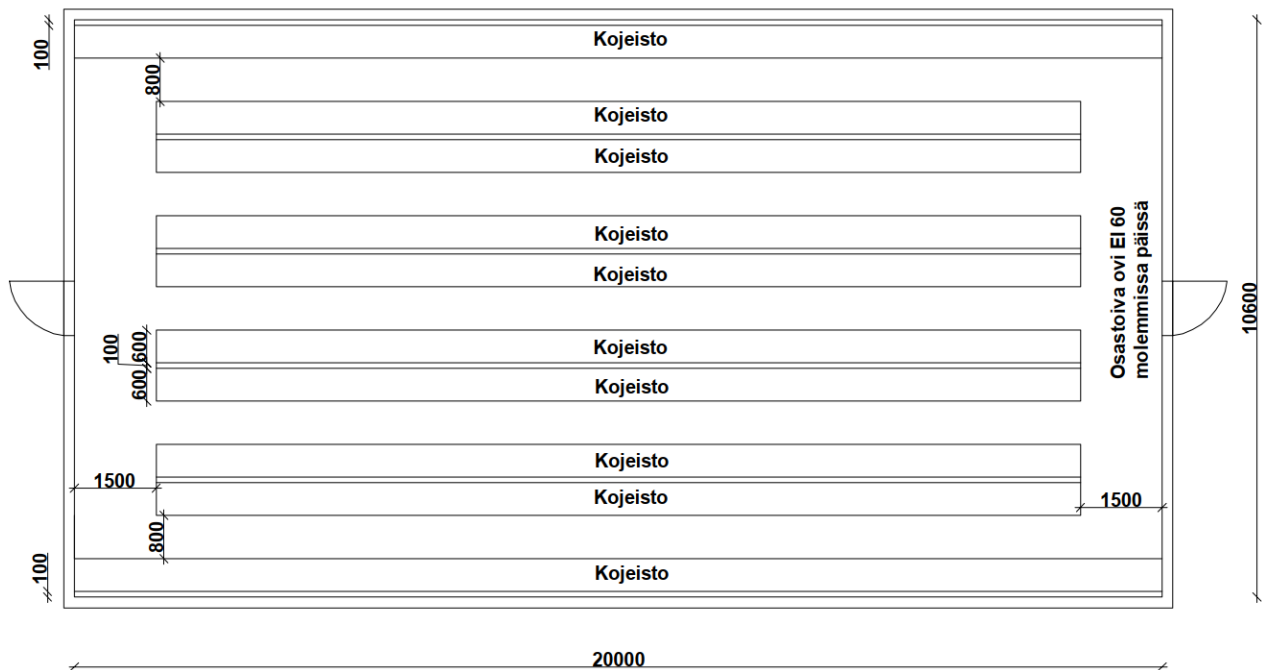
Luvussa 7 esitettyjen toteutuneiden kohteiden ja tilaajayrityksen asiantuntijoiden mukaan voidaan todeta, että sähkö- ja automaatiotilojen pohjaratkaisut ovat tyypillisesti hyvin samanlaisia. Tilan keskelle sijoitetaan kojeistoja yhteen tai useampaan riviin, joko täysin erikseen tai seläkkäin. Lisäksi kojeistoja sijoitetaan tilan reunoille. Kaapelitila on tyypillisesti sijoitettu kojeistotilan alle täysin omana tilanaan lukuun ottamatta automaatiolaitteiden tilaa, jossa saatetaan käyttää asennuslattiaa.

8.3 Tyypillinen pohjaratkaisu

Luvussa 2 on esitetty PSK:n ja Suomen Standardoimisliiton mukaisia vähimmäismittoja sähkö- ja automaatiotiloille. Käytetään tässä toteutuneista kohteista saatujen tietojen lisäksi hyväksi näitä mittavaatimuksia, jotta saadaan määritettyä tyypillinen sähkö- ja

automaatiotilan pohjaratkaisu. Vähimmäismittavaatimusten mukaan kojeistojen väliin jätettävien hoitokäytävien leveys on oltava vähintään 800 mm (kuva 2). Kojeistorivien päätyihin tulevien käytävien on oltava 1500 mm leveitä (kuva 2). Yli 10 m pitkässä tilassa on oltava 1500 mm leveä käytävä molemmissa päissä kojeistorivejä (kuva 3). Seläkkäin asennettujen kojeistojen väliin on jätettävä tilaa vähintään 100 mm. Saman verran tilaa on jätettävä myös seinän ja kojeiston väliin, mikäli kojeisto on asennettu tilan reunalle seinää vasten (kuva 2). Valitaan kojeistojen syvyydeksi toteutuneissa kohteissa tyypillinen 600 mm.

Määritetään edellä mainittujen vaatimusten ja kojeistojen syvyyden mukaan 20 m pitkän ja 10,6 m leveän sähkö- ja automaatiotilan pohjaratkaisu, jossa kojeistot on sijoitettu mahdollisimman tiiviisti. Tällä tavalla saadaan myöhemmin tässä työssä määritettyä kojeistojen enimmäispainot, jotka pätevät kaikkiin tilanteisiin. Tilan mitoilla 20 m ja 10,6 m ei ole varsinaista merkitystä, ne perustuvat likimääräisesti luvussa 7 esitettyjen toteutuneiden kohteiden tilojen mittoihin. Alla olevassa kuvassa (kuva 20) esitetään tyypillisen sähkö- ja automaatiotilan pohjaratkaisu.



Kuva 20. Tyypillisen kojeistotilan pohjaratkaisu ja laitteiden sijoittelu.

9 Lähtötietokuormat sähkö- ja automaatiotiloille

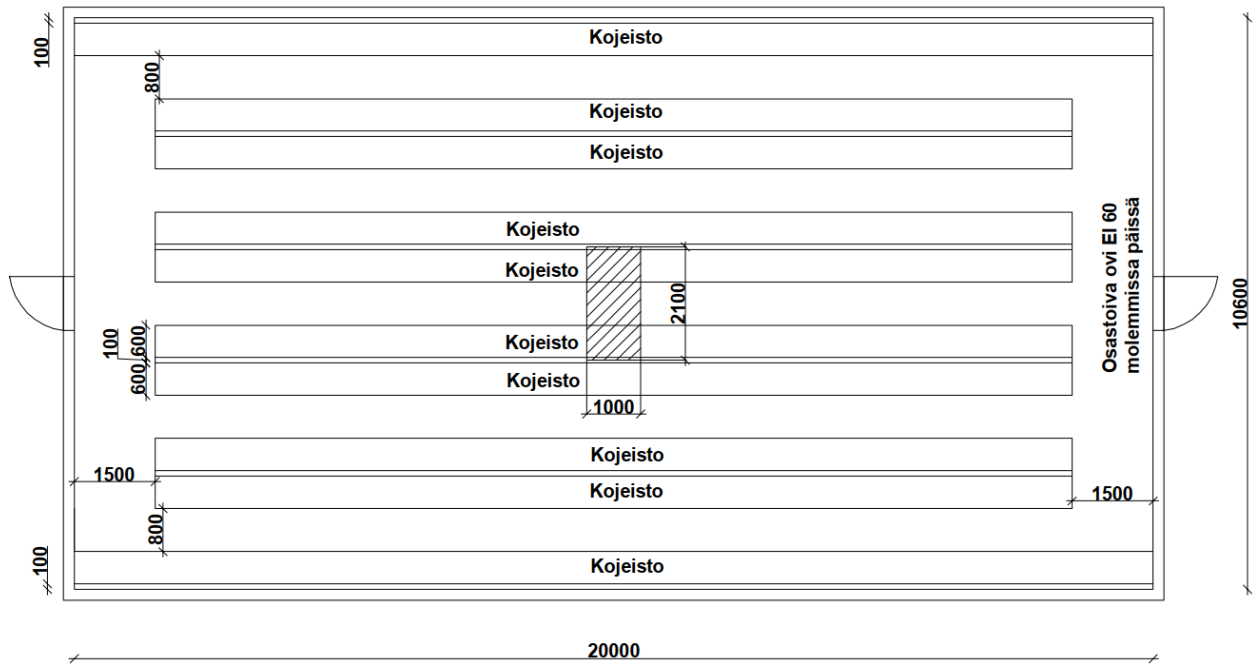
Tässä luvussa määritetään lähtötietokuormia ominaisarvoina luvussa 8 määritetyille tyypilliselle sähkö- ja automaatiotilalle. Näiden avulla rakennustehtäväpiirustusten laatijaa voidaan ohjeistaa esimerkiksi niin, että jos kojeisto painaa 490 kg/m, on tilan tasokuormitukseksi merkittävä rakennustehtäväpiirustukseen tällöin 5 kN/m². Lähtötietokuormien määrittelyssä otetaan huomioon tilassa vaikuttavat kuormat normaali-, asennus-, ja huoltotilanteessa.

Lähtötietokuormien lisäksi määritetään sähkö- ja automaatiotilojen kuormayhdistelyyn muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet. Lähtötietokuormista ja yhdistelykertoimista laaditaan tämän työn liitteeksi ohjekortti, jossa esitetään tässä luvussa määritetyt kuormat ja kertoimet alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloille. Ohjeistuksen avulla laitosuunnittelijaa tai laitetoimittajaa pystytään ohjaamaan kuormitusten määrittämisessä ja merkitsemisessä rakennustehtäväpiirustuksiin.

9.1 Kojestojen enimmäispaino PSK 2002 -standardin perusteella

Lähdettäessä määrittämään lähtötietokuormia lasketaan ensin, kuinka painavia laitteita sallitaan tyypillisessä sähkö- ja automaatiotilassa (kuva 20), kun tilan kuormaksi on piirustuksissa merkitty luvussa 6.2 mainittu PSK 2002 -standardin vaatima 5 kN/m² tasokuorma. Tämän perusteella voidaan todeta, onko kyseinen kuorma riittävä, jotta sitä voitaisiin yleisesti käyttää sähkö- ja automaatiotilojen kuormana. Periaatteessa sen pitäisi olla riittävä, sillä muita lähtötietokuormia ei ole standardissa esitetty. Laskennan tulosta voidaan verrata esimerkiksi luvussa 7 esitettyjen kojeistojen painoihin. PSK:n vaatima tasokuorma on samanluonteinen kuin esimerkiksi luvussa 7.2.1 kuvassa 15 esitetyn paperitehtaan kojeistotilan tasokuorma (kuva 17). Siinä kojeistojen kuorma ja hyötykuorma on ilmoitettu yhtenä samana muuttuvana tasokuormana.

Laskettaessa kojeistojen enimmäispainoa oletetaan, että kojeistojen paino jakautuu tasaisesti koko tilaan. Otetaan tarkasteluun metrin pituinen alue tilan keskeltä. Tällä tavalla saadaan laskettua sallittu kokonaiskuorma, joka pätee tilan joka kohdassa. Tarkastelualue näkyy seuraavassa kuvassa (kuva 21).



Kuva 21. Tarkasteltavan alueen määrittely.

Tarkastelualueen pinta-ala A on $2,1 \text{ m}^2$. Tasokuorma q_k alueella on edellä mainittu 5 kN/m^2 . Sallittu kokonaiskuorma alueella

$$Q_{k,s} = q_k \times A = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 2,1 \text{ m}^2 = 10,5 \text{ kN}. \quad (1)$$

Sallittu kokonaiskuorma sisältää kojeistojen enimmäispainon $G_{k,kojeisto}$ ja hyötykuorman $q_{k,hyöty}$. Sähkö- ja automaatiotilojen hyötykuormana käytetään tässä SFS EN 1991-1-6 taulukon 4.1 mukaista $1,0 \text{ kN/m}^2$. Kuorma on rakentamisen aikainen työntekijöiden ja käsityökalujen kuorma. Koska oleskelu sähkö- ja automaatiotiloissa on kielletty, ja tiloissa vierailaan ainoastaan huoltotarkoituksessa, voidaan tätä kuormaa käyttää hyötykuorman arvona. [44.]

Tarkastelualueella kojeistoja on yhteensä kahden metrin pituudelta. $0,8$ metriä leveää hoitokäytävää alueella on yhden metrin pituudelta. Kun sallitusta kokonaiskuormasta vähennetään hoitokäytävän alalla $A_k = 0,8 \text{ m}^2$ vaikuttava hyötykuorma, saadaan kojeistojen enimmäispaino $G_{k,kojeisto}$.

$$G_{k,kojeisto} = Q_{k,s} - (q_{k,hyöty} \times A_k) = 10,5 \text{ kN} - \left(1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,8 \text{ m}^2\right) = 9,7 \text{ kN}. \quad (2)$$

Kun kojeistojen enimmäispaino jaetaan kojeistojen pituudella $l = 2 \text{ m}$, saadaan kojeistojen sallituksi kokonaispainoksi metriä kohti

$$g_{k,kojeisto} = \frac{G_{k,kojeisto}}{l} = \frac{9,7 \text{ kN}}{2 \text{ m}} = 4,85 \frac{\text{kN}}{\text{m}}. \quad (3)$$

Kun edellä laskettu muutetaan kilogrammoin metriä kohti, saadaan

$$m_{k,kojeisto} = \frac{g_{k,kojeisto}}{g} = \frac{4850 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 494,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}}. \quad (4)$$

Tulokseksi saadaan, että jos kojeistotilan tasokuormaksi on merkitty 5 kN/m^2 , saa kojeistojen massa tällöin olla enintään likimäärin 495 kg/m . Kuten luvussa 8.1 todettiin, 500 kg/m on tyypillinen kojeistojen massa alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloissa. Vaikka PSK:n vaatimus käytännössä kattaa tämän, jää se silti periaatteessa vajaaksi. Lisäksi toteutuneissa kohteissa oli kojeistoja, jotka painoivat 1050 kg/m . PSK:n esittämä kuorma 5 kN/m^2 ei ole riittävä niin painaville kojeistoille, eikä sitä siis voida käyttää yleisesti sähkö- ja automaatiotilojen kuormana. Yllä olevan esimerkin tavoin voidaan laskea enimmäispainot kojeistoille millä tahansa tasokuormalla.

9.2 Kojeistojen enimmäispaino eri kuormamerkintöjen perusteella

Tyypillisimmät piirustuksiin merkityt tasokuormat sähkö- ja automaatiotiloille PSK:n esittämän vaatimuksen lisäksi ovat $7,5 \text{ kN/m}^2$ ja 10 kN/m^2 . Esimerkiksi luvussa 7.2 esitellylle paperitehtaan sähkö- ja automaatiotilalle oli piirustuksissa merkitty 10 kN/m^2 kuorma. Muita mahdollisia kuormia, joskin suuria, ovat $12,5 \text{ kN/m}^2$ ja 15 kN/m^2 . Tässä luvussa esitetään kojeistojen enimmäispainot laskettuna näiden neljän eri kuorman mukaan. Laskut on tehty saman sähkö- ja automaatiotilan tarkastelualueelle ja samoilla kaavoilla (kaavat 1, 2, 3 ja 4) kuin edellisen luvun lasku. Vain tasokuorma q_k muuttuu. Seuraavalla sivulla on esitetty taulukko (taulukko 3) edellä mainittujen kuormien mukaan lasketuista kojeistojen enimmäispainoista ja massoista.

Taulukko 3. Kojeistojen enimmäispainoja ja massoja eri tasokuormilla.

q_k kN/m ²	$g_{k,kojeisto}$ kN/m	$m_{k,kojeisto}$ kg/m
7,5	7,5	762
10	10,1	1029,6
12,5	12,7	1297,1
15	15,4	1564,7

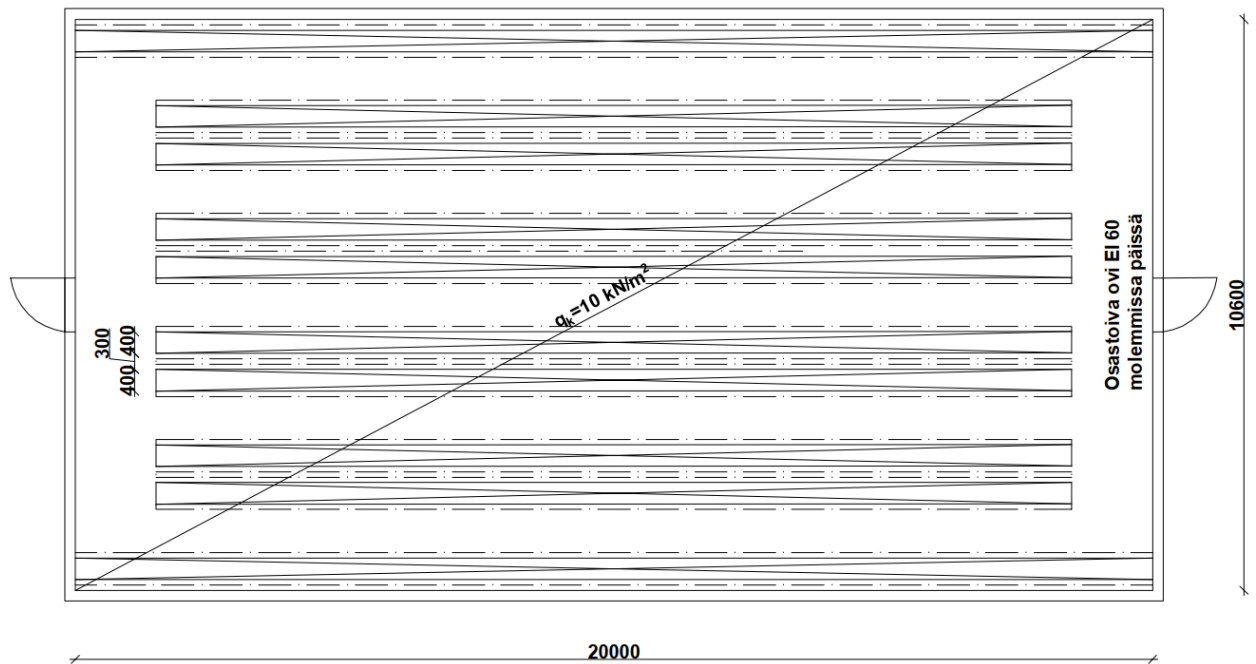
Tuloksista nähdään, että jos piirustukseen merkitty tasokuorma on 7,5 kN/m², saavat kojeistot painaa enintään noin 760 kg/m ja jos kuorma on 10 kN/m², kojeistojen enimmäispaino on likimäärin 1030 kg/m. 12,5 kN/m² kuormalla kojeistojen enimmäispaino on noin 1300 kg/m ja 15 kN/m² kuormalla noin 1560 kg/m. Mikäli näitä painavampia kojeistoja joskus esiintyy, ovat ne erikoistapauksia, jotka tulee ottaa huomioon erikseen tiloja suunniteltaessa. Kun tuloksia verrataan luvussa 7 esitettyihin toteutuneiden kohteiden kojeistojen painoihin, edellä lasketut enimmäispainot 1300 kg/m ja 1560 kg/m kattavat painavimmankin, 1050 kg/m, kojeiston painon.

9.3 Lähtötietokuormien merkitseminen rakennustehtäväpiirustukseen

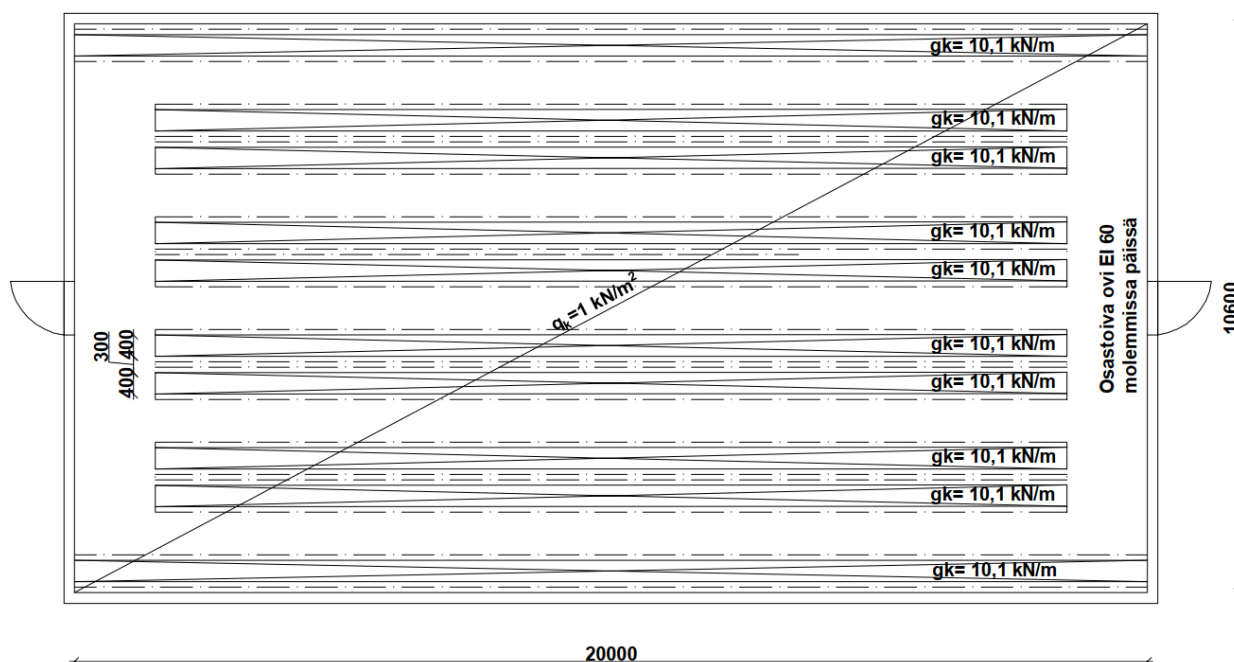
Kuten luvuissa 7 ja 8 on todettu, lähtötietokuormien merkitsemiseen rakennustehtäväpiirustuksiin on kaksi tyypillistä tapaa. Joko merkitään kaikki kuormat yhdeksi muuttuvaksi tasokuormaksi (tapaus 1) tai eritellään hyötykuorma omaksi muuttuvaksi kuormaksi ja kojeistojen painot pysyviksi kuormiksi (tapaus 2). Kuormat voidaan ilmoittaa tapauksen 1 mukaisesti rakennuksen perustusvaihetta suunniteltaessa, jolloin tarvitaan perustuksille tulevia kokonaiskuormia. Tapauksen 2 mukaisesti kuormat tulee ilmoittaa viimeistään sähkö- ja automaatiotilojen tasojen suunnitteluvaiheessa, kun on saatava tietää tarkemmin tasoille tulevat kuormat.

Seuraavissa kuvissa 22 ja 23 löytyvät esimerkit, miten sama kuormitustilanne voidaan esittää molemmilla edellä mainituista tavoista. Kuvissa esitetään sama tyypillinen kojeistotila kuin kuvissa 20 ja 21, mutta kojeistojen suunnitellut sijainnit esitetään piste-katkoviivoilla ja kojeistojen alle tulevat aukot on piirretty näkyville rakseilla. Aukkojen leveydet ovat 400 mm ja aukkojen välinen tila on 300 mm.

Ensimmäisessä kuvassa molemmat kuormat on merkitty samaksi muuttuvaksi taso-kuormaksi ja toisessa kuormat on eritelty muuttuvaksi ja pysyväksi. Toisessa kuvassa kojeistojen kuorma on merkitty aukkojen päälle. Esimerkkikuvien kuormat ovat edellä lasketun $q_k = 10 \text{ kN/m}^2$ mukaisia. Kuvan 23 merkitsemistapaa voidaan vaihtoehtoisesti muuttaa sillä tavalla, että hyötykuorman arvo esitetään lävistysviivan sijaan piirustuksen yleistekstiin kirjoitettuna.



Kuva 22. Tapaus 1, hyötykuorma ja kojeistojen painot yhdistetty samaan tasokuormaan.



Kuva 23. Tapaus 2, hyötykuorma ja kojeistojen painot merkitty erikseen.

9.4 Asennustilanne

Tilanteessa jossa kojeistoja rakennuksen rakentamisvaiheessa asennetaan sähkö- ja automaatiotilaan, kuormat tilassa eroavat normaali- ja huoltotilanteesta. Asennustilanteessa kojeistot mahdollisesti tuodaan ensin kojeistotilaan sisään ja sijoitetaan tiiviisti tiettyyn osaan tilaa odottamaan asennusta. Tässä tilanteessa kojeistojen paino rasittaa vain osaa tilasta, kun taas osa tilasta on täysin ilman kuormaa. Osa kojeistotilasta tulee suunnitella tälle laitteiden asennusaikaisen sijoittelun aiheuttamille kuormille. Tässä luvussa määritetään esimerkki tällaisesta asennusaikaisesta kuormasta.

Kun lähdetään määrittämään tilojen asennusaikaisia kuormia, määritetään ensin se osa kojeistotilan pinta-alasta, jolle kojeistot asennustilanteessa kasataan. Käytetään asennustilanteen tarkastelussa samaa, kuvan 21 mukaista, tarkastelualueutta kuin kojeistojen enimmäispainoja laskettaessa. Kojestojen pituus l alueella on 2 m ja niiden syvyys k on 0,6 m. Täten kojeistojen pinta-ala tällä alueella $A_{kojeistot} = 1,2 \text{ m}^2$. Tarkastelualueen kokonaispinta-ala A on $2,1 \text{ m}^2$.

Edellä esitettyjen pinta-alojen suhteesta voidaan todeta, että kojeistot vievät kojeistotilan alasta suunnilleen 60 %. Kojestojen tilasta viemä pinta-ala voi kuitenkin vaihdella

suurestikin riippuen tilan koosta ja kojeistojen määrästä. Esimerkiksi luvussa 7 esite-tyissä kojeistotiloissa kojeistot eivät silmin nähdenkään vie 60 %:a kojeistotilan alasta. Mainittu 60 % on siis suurin mahdollinen kojeistojen peittämä pinta-alan osa kojeistotilassa, kun kojeistojen syvyytenä käytetään tyypillistä 0,6 metriä ja kojeistotila on suunniteltu standardien ja ohjeiden mukaisesti.

Asennustilanteessa tilassa vaikuttaa kojeistojen kuorman lisäksi asentajista ja työkaluista aiheutuva hyötykuorma. Tämän hyötykuorman arvona voidaan standardin SFS EN 1991-1-6 taulukon 4.1 mukaista $1,0 \text{ kN/m}^2$ kuormaa [43.]. Se vaikuttaa tilassa sillä alalla, jolla ei ole kojeistoja.

Seuraavaksi lasketaan, minkä suuruinen tasokuorma kojeistoista aiheutuu asennustilanteessa. Käytetään kojeistojen painona taulukosta 3 löytyvää painoa $10,1 \text{ kN/m}$. Kun kojeistot on asennustilanteessa kasattu mahdollisimman tiiviisti, asennustilanteen kuorma $q_{k,asennus}$ saadaan, kun kojeistojen enimmäispaino jaetaan niiden syvyydellä $k = 0,6 \text{ m}$. Tämä on siis käytännössä kojeiston aiheuttama paine rakenteelle.

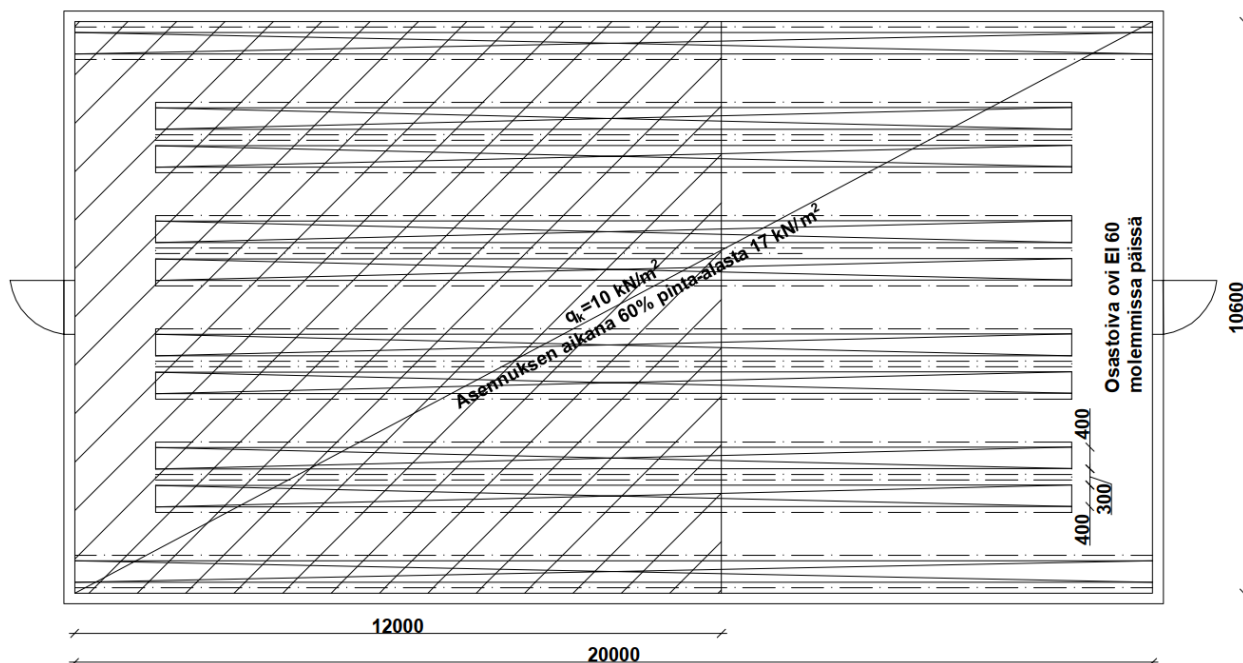
$$q_{k,asennus} = \frac{g_{k,kojeisto}}{k} = \frac{10,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{0,6 \text{ m}} = 16,83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (5)$$

Tässä tapauksessa kojeistotilaan aiheutuu asennustilanteessa tasokuormaa $16,83 \text{ kN/m}^2$, pyöristettynä 17 kN/m^2 . Kuorma vaikuttaa 60 %:lla kojeistotilan alasta. Kaavalla 5 voidaan laskea asennusaikainen kuorma millä tahansa kojeistojen painolla.

Asennusaikainen kojeistojen kuorma on aina muuttuvaa, sillä kojeistot eivät ole asennusaikaisessa järjestyksessä kuin asennuksen ajan. Asennusaikainen kuorma tulee muiden kuormien tavoin merkitä rakennustehtäväpiirustukseen. Se voidaan kirjoittaa joko piirustuksen yleistekstiin tai itse piirustukseen, esimerkiksi tekstillä *asennuksen aikana 60 % pinta-alasta 17 kN/m²*.

Kojeistojen sijoittelu kojeistotilaan asennuksen aikana riippuu siitä, miten haalausreitit on suunniteltu, eli mistä kojeistot tuodaan tilaan sisään. Haalausreitit suunnittelee tavallisesti laitossuunnittelija. Laitossuunnittelijan tulee merkitä rakennustehtäväpiirustukseen selvästi alue, jolle kojeistot asennuksen aikana sijoitetaan. Merkintä voidaan tehdä esimerkiksi rasteroimalla piirustuksesta kyseinen alue. Rakennesuunnittelija mitoittaa tämän perusteella rakenteen käytössä olevien mitoitusohjeiden mukaisesti ottaen

huomioon asennustilanteen aikaisen kuorman vaikutuksen rakenteeseen ja siihen liittyviin muihin rakenteisiin. Seuraavana on nähtävillä esimerkki (kuva 24), kuinka asennuskuorma merkitään rakennustehtäväpiirustukseen.



Kuva 24. Asennuskuorman merkitseminen piirustukseen.

9.5 Normaalitilanne

Normaalitilanteesta puhuttaessa tarkoitetaan tilannetta, joka vallitsee valtaosan ajasta, eli silloin kun teollisuuslaitos on normaalissa käytössä. Tällöin sähkö- ja automaatiotilassa vaikuttaa ainoastaan kojeistojen aiheuttama kuorma. Tilassa ei ole sallittua oleskella tai varastoida tavaraa. Normaalitilanteessa voidaan siis käytännössä olettaa, että tilassa ei ole hyötykuormaa laisinkaan.

9.6 Huoltotilanne

Huoltotilanteessa sähkö- ja automaatiotilassa suoritetaan esimerkiksi kojeistojen huolto- tai korjaustöitä. Tällöin tilassa voidaan olettaa normaalitilanteen kojeistojen aiheuttaman kuorman lisäksi vaikuttavan samaa työntekijöistä ja työkaluista aiheutuva hyötykuorma, 1 kN/m^2 , kuin asennustilanteessa [43.].

9.7 Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet

Mitoituskuormien laskentaan kaikille kuormille on standardeissa määritetty varmuuskertoimet ja muuttuville kuormille on tämän lisäksi omat yhdistelykertoimet. Nämä yhdistelykertoimet ovat nähtävillä luvussa 6.1 kuvassa 13. Kuten luvussa 6.1 todetaan, ei taulukosta voi suoraan lukea yhdistelykertoimien arvoja teollisuuslaitoksille, saati sähkö- ja automaatiotiloille. Tässä luvussa määritetään yhdistelykertoimien arvot, joita voidaan käyttää sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelussa. Kun sähkö- ja automaatiotiloille on olemassa omat yhdistelykertoimet, on kaikille suunnittelijoille selvää, mitä kertoimia käytetään.

Esimerkkinä käytetään tarvittaessa edelleen kuvan 20 tyyppillisen kojeistotilan taso-kuormaa $q_k = 10 \text{ kN/m}^2$ ja sen mukaista kojeistojen enimmäispainoa $q_{k,kojeisto} = 10,1 \text{ kN/m}$. Hyötykuormana on $q_{k,hyöty} = 1 \text{ kN/m}^2$.

Kertoimien määrittämisessä tulee ottaa huomioon jo aikaisemmin esille tulleet kaksi tyyppillistä tapaa merkitä sähkö- ja automaatiotilojen kuormat, eli joko kaikki kuormat ovat muuttuvia, tai kojeistojen kuormat ovat pysyviä ja vain hyötykuormat muuttuvia.

9.7.1 Yhdistelykertoimet

Kuomayhdistelyissä käytettyjen muuttuvien kuormien yhdistelykertoimien ψ_0 , ψ_1 ja ψ_2 tarkoituksena on ottaa erilaisten muuttuvien kuormien samanaikainen esiintyminen huomioon. Yhdistelykertoimet riippuvat tarkastelussa olevasta ajanjaksosta ja rakenteen tyypistä. [27.]

Yhdistelykertoimia käytetään samanaikaisille muuttuville kuormille eri tilanteissa. ψ_0 -kertoimella lasketaan kuorman normaali yhdistelyarvo, ψ_1 -kerrointa käytetään kuorman tavallisen arvon laskemiseen ja ψ_2 -kerrointa kuorman pitkäaikaisosuutta laskettaessa. Kertoimet määritetään tarkemmin standardeissa SFS EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet sekä Suomen kansallisessa liitteessä Rakenteiden lujuus ja vakaus- kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. [27.]

Määritetään ψ_0 -, ψ_1 - ja ψ_2 -kertoimet sähkö- ja automaatiotiloille edellä mainittujen standardien taulukoiden tai erillisten laskelmien avulla.

9.7.2 Kaikki kuormat muuttuvia

Kun huoltohenkilöiden aiheuttama hyötykuorma ja kojeistojen paino on merkitty samaksi muuttuvaksi kuormaksi, on ψ -kertoimia määritettäessä otettava huomioon, että huoltohenkilöiden aiheuttama kuorma on todella pieni osa tilan kokonaiskuormasta.

Tässä tilanteessa kojeistot aiheuttavat siis valtaosan kuormista ja koska tilassa on aina kojeistoja, ei niiden kuormaa voida kertoimilla pienentää yhtä paljon kuin yleensä muuttuvien kuormien kohdalla. Määritetään yhdistelykertoimet esimerkkinä käytetyn tyypillisen kojeistotilan tarkastelualueelle samoilla kuormilla kuin aikaisemmissa laskuissa, $q_k = 10 \text{ kN/m}^2$ ja $q_{k,kojeistot} = 10,1 \text{ kN/m}$. Tarkastelualueelle määritettyjä kertoimia voidaan käyttää kaikissa tilanteissa.

Kun määritetään ψ -kertoimia tarkastelualueella, lasketaan ensin, kuinka suuren tasokuorman $q_{k,k}$ kojeistot aiheuttavat alueella.

$$q_{k,k} = \frac{q_{k,kojeisto} \times l}{A} = \frac{10,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 2 \text{ m}}{2,1 \text{ m}^2} = \frac{20,2 \text{ kN}}{2,1 \text{ m}^2} = 9,62 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}. \quad (6)$$

Kun kojeistojen aiheuttama tasokuorma tiedetään, ja sallittu kokonaiskuorma tilassa $q_k = 10 \text{ kN/m}^2$, voidaan yhdistelykertoimet määrittää näiden kuormien suhteella.

$$\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = \frac{q_{k,k}}{q_k} = \frac{9,62 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} = 0,962. \quad (7)$$

Kun pyöristetään saatu kertoimen arvo ylöspäin, saadaan $\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = 1,0$. Kuten edellä on todettu, kojeistojen osuus muuttuvasta kuormasta tässä tilanteessa on niin suuri, että huoltohenkilöiden aiheuttama kuorma on siihen verrattuna käytännössä mitätön. Näin ollen arvoa 1,0 voidaan käyttää kaikkien yhdistelykertoimien arvona. Tehdään yhdistelykertoimista omat taulukot, joihin merkitään tässä luvussa määritetyt ja luvussa 9.7.3 määritettävät arvot. Taulukot on esitetty seuraavilla sivuilla (taulukot 4 ja 5).

9.7.3 Hyötykuormat muuttuvia ja kojeistojen painot pysyviä kuormia

Tilanteessa, jossa huoltohenkilöiden aiheuttama hyötykuorma on eritelty kojeistojen painoista ja niitä käsitellään erikseen muuttuvina ja pysyvinä kuormina, voidaan yhdistelykertoimien määrittämisessä käyttää avuksi luvussa 6.1 esitettyä eurokoodin taulukkoa. Taulukosta täytyy etsiä tapaus, joka olisi lähimpänä sähkö- ja automaatiotiloissa toteutuvaa huoltohenkilöiden aiheuttamaa kuormaa. Tästä saadaan arvot ψ_0 -, ψ_1 - ja ψ_2 -kertoimille.

Sähkö- ja automaatiotiloissa ei ole sallittua oleskella, ja suurimman osan ajasta siellä ei ihmisiä ole. Melkein kaikissa taulukon esittämissä tiloissa ihmisiä oleskelee ja tavaroita varastoidaan lähtökohtaisesti paljon enemmän kuin sähkö- ja automaatiotiloissa. Ainoastaan ”Luokka H: vesikatot” on sellainen tila, jossa ihmisiä ei oleskele säännöllisesti. Voidaan todeta, että ihmisten normaali liikkuminen sähkö- ja automaatiotiloissa vastaa lähimmin ihmisten liikkumista vesikatoilla. Kaikkien yhdistelykertoimien arvo vesikatoille on 0. Valitaan sähkö- ja automaatiotilojen yhdistelykertoimiksi tässä tilanteessa siis $\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = 0$. [27.]

Taulukko 4. Yhdistelykertoimet alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloille, tapaus 1.

Hyötykuormat teollisuuslaitoksissa: Alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilat	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Tapaus 1:*) Huoltohenkilöiden ja käsityökalujen sekä kojeistojen aiheuttama kuorma.	1,0	1,0	1,0
*) Kun sekä sähkö- ja automaatiotilojen kojeistojen painot että hyötykuorma käsitellään muuttuvana kuormana.			

Taulukko 5. Yhdistelykertoimet alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloille, tapaus 2.

Hyötykuormat teollisuuslaitoksissa: Alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilat	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Tapaus 2:**)			
Huoltohenkilöiden ja käsityökalujen aiheuttama kuorma.	0	0	0
**) Kun sähkö- ja automaatiotilojen kojeistojen painot käsitellään pysyvinä kuormina ja hyötykuorma muuttuvana kuormana.			

9.8 Pistekuormakestävyys kojeistotiloissa

Kuten luvussa 2.3.1 todetaan, sähkökojeistot rakennetaan teräksisen runkorakenteen ympärille. Tämä runkorakenne kannattelee kojeistojen painon ja siirtää niiden kuormat kojeistotilan lattiarakenteelle. Runko ei makaa pohjallaan kojeistotilan lattian varassa, vaan sillä on yleensä neljä jalkaa, yksi joka nurkassa. Kojestot on tyypillisesti jaettu kenttiin, ja yksi kenttä vastaa yhtä sähkökeskusta. Jokaisella keskuksella on omat jalansa.

Runkorakenteiden jalat aiheuttavat kojeistotilan lattiarakenteelle pistekuormaa, ja rakenteen tulee luonnollisesti kestää tämä kuorma. Kun tarkastellaan esimerkiksi kuvaa 15 luvussa 7.2.1 ja oletetaan, että jokaisen numeroidun kentän jokaisessa nurkassa on sähkökeskuksen jalka, huomataan, että jalkoja on yleensä kaksi vierekkäin. Lattian rakenteen pistekuormakestävyys tulee siis olla näiden kahden jalan aiheuttaman yhteisen pistekuorman mukainen. Pistekuorman arvo tulee ilmoittaa lähtötietona esimerkiksi piirustuksen yleistekstissä.

Lasketaan esimerkki tästä pistekuormasta käyttäen painavinta kojeistoa, joka toteutu-neissa kohteissa ilmeni, 1050 kg/m. Kentän pituus tässä tapauksessa on 1 m, joten yhden kentän paino

$$G_{k,kenttä} = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 1 \text{ m} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10,3 \text{ kN.} \quad (8)$$

Kun tämä paino jaetaan neljälle jalalle, saadaan siitä yhden jalan aiheuttamaksi piste-kuormaksi

$$G_{k,piste} = \frac{10,3 \text{ kN}}{4} = 2,6 \text{ kN.} \quad (9)$$

Jos tällaisia 1050kg/m painoisia kojeistoja on kaksi vierekkäin, saadaan kokonaispiste-kuormaksi yhden jalan pistekuorma $Q_{k,piste}$ kaksinkertaisena, eli 5,2 kN. Kaavoilla 8 ja 9 voidaan laskea minkä tahansa painoisen kojeiston aiheuttamat pistekuormat.

9.9 Kaapelihyllyjen aiheuttamat kuormat

Sähkö- ja automaatiotilojen kaapelit ovat suurissa määrin hyvin raskaita ja aiheuttavat kaapelihyllyjen välityksellä merkittäviä kuormia kaapeli- tai kojeistotilojen rakenteille. Ne on otettava huomioon rakennustehtäväpiirustuksissa ja rakennesuunnitelmissa. Lisäksi kaapelihyllyjen kuormat ovat usein luonteeltaan pistekuormaa. Kaapelihyllyille on niiden valmistajan toimesta ilmoitettu tietty kantavuus. Tätä kantavuutta yleensä käytetään, kun lasketaan kaapeleiden aiheuttamia kuormia.

Riippuu kaapelihyllyjen asennustavasta, mille sähkö- ja automaatiotilan rakenteelle ne aiheuttavat kuormia. Luvussa 2 on esitetty kolme tyypillistä tapaa asentaa kaapelihylly (kuva 6). Hylly asennetaan joko kaapelitilan katon varaan riippumaan, kaapelitilan katon ja lattian väliin tai kaapelitilan seinään. Kun puhutaan kaapelitilan katosta, tarkoitetaan sillä samaa rakennetta kuin kojeistotilan lattia, mikäli kaapelitila on sijoitettu kojeistotilan alapuolelle.

Kaapelihyllyjen aiheuttama ominaispistekuorma voidaan laskea esimerkiksi näin: jos yhden kaapelihyllyn kantavuutena ilmoitetaan 160 kg/m, kaapelihyllyjä on yhdellä tuella päällekkäin neljä kappaletta ja tukien välinä on neljä metriä, tulee yhden tuen aiheuttamaksi pistekuormaksi tällöin 2560 kg eli noin 25 kN. Kyseinen tilanne on täysin mahdollinen, ja kuorma on yksittäistä välipohjarakennetta ajatellen merkittävä. Lisäksi kaapelihyllyjä saattaa hyvinkin olla yhdellä tuella enemmän kuin neljä, tai tukien väli pidempi kuin neljä metriä. Ongelmia tällaiset pistekuormat saattavat aiheuttaa erityisesti tilanteessa, jossa kaapelihyllyt on asennettu ontelolaattarakenteen päälle. Ontelolaatoilla pistekuorman kestävyys ei ole läheskään niin hyvä kuin umpibetonisilla laatoilla.

Tyypillisten sähkö- ja automaatiotilojen rakenteiden kanssa tämän suuruusluokan kuormat eivät normaalisti aiheuta ongelmia, kunhan ne on otettu huomioon.

Kaapelihyllyjen välittämät pistekuormat tulee merkitä rakennustehtäväpiirustuksen yleistekstiin samaan tapaan kuin muutkin pistekuormat. Mikäli kaapelit kuormittavat kojeistotilan lattiarakennetta, niiden aiheuttama pistekuorma voidaan summata kojeistojen aiheuttamiin pistekuormiin.

10 Tiedonkulku sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelussa

Sähkö- ja automaatiotilojen suunnittelutyön tiedonkulun prosessin selkeyttäminen on yksi tämän insinööriyön tavoitteista. Tässä luvussa avataan tiedonkulun prosessissa havaittuja ja siinä mahdollisia haasteita. Puhuttaessa tiedonkulusta, tarkoitetaan sillä tässä koko prosessia. Siihen kuuluvat rakennustehtäväpiirustusten laatiminen ja niiden käyttäminen tehokkaasti hyväksi, tiedonsiirto sekä lähtötiedot ja niiden luovutusaikataulut. Tiedonsiirrolla tarkoitetaan sitä, miten projektin tai kohteen suunnitelmätietoja välitetään tiedonkulun prosessin sisällä asiakkaan ja suunnitteluosapuolten välillä.

Tiedonkulun selkeys ja toimivuus on elintärkeää projektin kuin projektin kannalta. Mikäli tiedonkulku ei ole kunnossa, on siitä haittaa projektin jokaiselle osapuolelle. Toimimattoman tiedonkulun takia aikataulut saattavat muuttua ja työt viivästyä. Huonosti toimiva tiedonkulku voi teoriassa aiheuttaa väärinkäsityksiä, jotka johtavat rakennusvirheisiin. Kaikki tällainen aiheuttaa projekteihin lisäkustannuksia, jotka voitaisiin välttää, kun tiedonkulun prosessi on kunnossa.

10.1 Rakennustehtäväpiirustukset

Rakennustehtäväpiirustukset ovat mitoitettuja piirustuksia, joita käytetään sekä rakennesuunnittelussa että työmaalla sijaintipiirustuksina. Niiden perusteella rakennesuunnittelija suunnittelee rakenteet ja työmaalla osataan esimerkiksi merkitä aukkojen sijainnit. Niissä tulee esittää kaikki tieto, jota rakennesuunnittelija ja työmaa edellä mainittuihin tarkoituksiin tarvitsevat. Rakennustehtäväpiirustukset laatii teollisuusrakentamisen tapauksessa yleensä joko laitossuunnittelija tai laitetoimittaja. [45.] [46.]

Rakennustehtäväpiirustusten kanssa on aika ajoin huomattu esiintyvän tietynlaisia haasteita. Perustavanlaatuisin haaste on ollut se, että projektin tilaaja ei aina ole velvoittanut ketään laatimaan projektin rakennustehtäväpiirustuksia. Toisin sanoen rakennustehtäväpiirustuksia ei ole tilattu lainkaan. [47.] [48.]

Eräs toinen haaste on ollut rakennustehtäväpiirustusten puutteellinen toteuttaminen. Piirustuksia ei ole tehty standardien ja ohjeiden mukaisesti, vaan ne ovat esimerkiksi olleet ainoastaan suurennettuja kuvia kohteen pohjapiirustuksesta. Piirustuksista on saattanut puuttua välttämättömiä tietoja, kuten kuormatietoja ja mittoja. Myös piirustuk-

siin tehdyt merkinnät ovat paikoin olleet puutteellisia ja epäselviä. Sellaisinaan nämä piirustukset eivät ole siis palvelleet rakennustehtäväpiirustuksina. Lisäksi haasteita on ilmennyt suunnitelmamuutosten merkitsemisessä rakennustehtäväpiirustuksiin. Muutosmerkintöjen ongelmia avataan tarkemmin luvussa 10.2. [47.] [48.]

10.2 Tiedonsiirto

Tiedonsiirron haasteet liittyvät suurilta osin luvussa 10.1 käsiteltyihin rakennustehtäväpiirustuksiin ja erityisesti niihin merkittäviin suunnitelmamuutoksiin. Rakennustehtäväpiirustuksiin tehtyjä muutoksia ei aina ole merkitty tarpeeksi selvästi, jos ollenkaan. Muutoksista on saatettu ilmoittaa esimerkiksi pelkästään sähköpostitse tai puhelimitse. On myös ollut tilanteita, joissa muutoksista on ilmoitettu asiaan kuuluvasti kirjoittamalla piirustuksiin huomautus ”piirustus päivitetty”, mutta muutoksia ei ole tämän jälkeen yksilöity sen tarkemmin. Yksilöimisellä tarkoitetaan sitä, että tehdyt muutokset merkataan selvästi piirustuksiin niihin kohtiin, joihin muutos on tehty, muutoksetekopäivämäärä on näkyvillä, samoin muutoksen tekijä. [47.] [48.]

Edellä mainitut johtavat siihen, että rakennesuunnittelijat joutuvat vertailemaan vanhoja piirustuksia päivitettyihin ja etsimään ne kohdat, joita on muutettu. Suunnitelmätietojen tiedonsiirrossa ei näin siis ole aina käytetty oikeaa kommunikointitapaa. Vaikka piirustuksen päivittämisestä olisi piirustuksessa ollut huomautus, mutta muutoksia ei ole yksilöity, on muutostietojen ilmoittamisen toteutus ollut silloinkin huono. [47.] [48.]

10.3 Alustava ja lopullinen tieto

Alustavat tiedot eli lähtötiedot ovat tavallisesti tilaajan tai laitesuunnittelijan tekemiä arvioita sähkö- ja automaatiotiloihin sijoitettavien kojeistojen tarvitsemasta tilasta, kojeistojen omista mitoista ja niiden painoista. Esivalmisteluvaiheessa pyritään antamaan laitteille lähtötietoina mitat ja painot suurimman vaatimukset täyttävän laitteen painon ja mittojen mukaisesti. Näillä tiedoilla pystytään tekemään laitteille tilavaraukset ja suunnittelemaan rakenteet niin, että ne varmasti kestävät. Lopulliset tiedot ovat laitteiden valinnan ja tilaamisen jälkeen varmistuneet mitat ja painot. [47.] [48.]

Hankittavien laitteiden lopulliset tiedot saattavat poiketa huomattavastikin esisuunnittelussa käytetyistä tiedoista. Mikäli lähtötiedot kuitenkin on arvioitu oikealla tavalla, laite todennäköisesti mahtuu sille varattuun tilaan, ja tilan rakenteet kestävät sen painon. [47.]

Haasteita alustavien ja lopullisten tietojen kanssa saattaa ilmetä, mikäli arviot lähtötiedoissa ovat huomattavan virheellisiä. Tällöin rakennesuunnittelua joudutaan tekemään huonosti arvioitujen alustavien tietojen perusteella. Suunnitelmia saatetaan lopulta joutua tällaisessa tapauksessa muuttamaan, ja se luonnollisesti vaikuttaa projektin aikatauluun ja kustannuksiin. Huonosti arvioituja laitteiden lähtötietoja ovat esimerkiksi sellaiset, jotka osoittautuvat lopulta liian pieniksi suhteessa laitteiden toteutuneisiin tietoihin. Lähtötietojen liiallinen yliarvioiminenkaan ei ole kustannustehokasta, sillä tällöin tiloista saatetaan esimerkiksi suunnitella turhan suuria verrattuna laitteiden tarvitsemaan tilaan. Myöskään tilojen rakenteiden tuleminen ylimitoitetuiksi ei kustannusten valossa ole tehokasta.

10.4 Aikataulu

Projekteissa ilmenevät aikataululliset haasteet ovat liittyneet luvussa 10.3 käsiteltyihin laitteiden alustaviin ja lopullisiin tietoihin sekä muihin projektin lähtötietoihin.

Haasteita saattaa ilmetä esimerkiksi laitehankintojen päätösten aikatauluissa. Joko laitehankinnat on alun perinkin aikataulutettu rakennesuunnittelun näkökulmasta liian myöhäiseksi, tai tilaaja ei ole pystynyt jostain syystä tekemään päätöksiä laitehankinnoista alkuperäisen aikataulun puitteissa. Lisäksi samantapaisia haasteita voidaan kohdata muidenkin lähtötietojen osalta. Tämä voi johtaa luvussa 10.3 mainittuihin vaikeuksiin, jos esimerkiksi laitteista ei osata jostain syystä antaa oikeanlaista alustavaa arviota, vaan arvio tehdään virheellisesti. [47.] [48.]

11 Tiedonkulun prosessin selkeyttäminen

Luvussa 10 esitettyjen sähkö- ja automaatiotilojen tiedonkulun prosessissa esiintyneiden haasteiden ratkaisemiseksi prosessista on tehtävä mahdollisimman yksiselitteinen ja selkeä kaikille osapuolille. Asioista on sovittava selkeästi niin, ettei kellekään jää epäselväksi, mitä kenenkin tulee tehdä, missä aikataulussa asiat tulee hoitaa ja mitä odotuksia kullakin osapuolella on. Lisäksi asiaan liittyviä ohjeita ja standardeja tulee noudattaa. Näin sähkö- ja automaatiotilojen rakennesuunnittelu saadaan sujumaan mahdollisimman mutkattomasti ja koko projekti pystytään viemään läpi mahdollisimman hyvin. Tässä luvussa selkeytetään tiedonkulun prosessia esittämällä siihen liittyviä vaatimuksia ja ohjeita.

11.1 Rakennustehtäväpiirustukset

PSK 3001 Rakennustehtäväpiirustukset: Laadinnan perusteet – standardi sisältää ohjeita rakennustehtäväpiirustusten laatimiseen. Siinä määritetään yleiset periaatteet, joita on noudatettava rakennustehtäväpiirustuksia laadittaessa. PSK 3001 on korvannut rakennustehtäväpiirustuksiin aikaisemmin ohjeita antaneen standardin SFS 4965:1993. [46.]

Kaikki tässä luvussa mainittu sisältö, eli mittatiedot, kuormat sekä muutokset tulee merkitä rakennustehtäväpiirustuksiin tarkasti ja selkeästi sillä tavalla, kun projektin sisällä on sovittu. Merkitsemistavoista ei saa poiketa, eikä mitään olennaista tietoa saa jättää merkitsemättä piirustuksiin. Lisäksi piirustusten yleisiä vaatimuksia tulee noudattaa.

11.1.1 Yleiset vaatimukset

Rakennustehtäväpiirustuksessa esitetään vain ne asiat, jotka ovat rakennesuunnittelulle ja rakentamiselle oleellisia. Rakennustehtäväpiirustus tulee pääasiassa piirtää mittakaavaan 1:200, 1:100, 1:50 tai 1:20. Yleensä mittakaavana käytetään 1:50 [45]. Leikkauksia tulee piirustuksiin tehdä riittävästi ja jokainen taso piirretään erikseen. Päälaitteet mitoitetaan peruslinjoista tai erikseen sovitusta näihin liittyvistä mitoituslinjoista. Muut laitteet ja niiden asennukset ja tiedot tulee mitoittaa samasta linjasta kuin päälait-

teet. Rakennustehtäväpiirustuksiin tulee merkitä kaikkien liittyvien piirustusten ja luetteloiden piirustusnumerot. [46.]

Kuormitusyksikköinä rakennustehtäväpiirustuksissa käytetään SI-yksiköitä. Suositeltuja yksiköitä ovat kilonewton (kN), meganewton (MN) sekä kilonewtonmetri (kNm). Lisäksi pituuden yksiköt merkitään m ja pinta-alan yksiköt m². Mikäli rakenteisiin kohdistuu muita kuin painovoiman aiheuttamia kuormia, niistä tulee ilmoittaa rakennustehtäväpiirustuksessa. Tasoille tulevat kuormat tulee merkitä rakennustehtäväpiirustukseen. Jos jollekin tasolle tai tason osalle tulee tästä poikkeava kuorma, se merkitään piirustukseen vetämällä tasolle tai sen osalle viiva vinottain nurkasta nurkkaan. Lisäksi kuormien laatu ja suuruus kirjoitetaan viivan yläpuolelle. [46.]

Rakennustehtäväpiirustuksessa tulee ilmoittaa suunnitelmissa käytettävä korkeustasojärjestelmä. Tasojen korkeusasemat tulee ilmoittaa metreinä kolmen desimaalin tarkkuudella. Tason korkeusasema merkitään valmiin lattian pintaan. Kallistettujen lattioiden nimelliskorkeusasema on sama kuin niiden korkeimpien kohtien korkeusasema. Tasojen kaltevuudet ilmoitetaan korkeusasemina tai kaltevuuden osoittavalla suhdelluvulla ja suuntanuolella, joka osoittaa kaltevuuden laskusuuntaan. [46.]

11.1.2 Sisältö

Rakennesuunnittelun näkökulmasta tärkeimmät odotukset ovat riittävät lähtötiedot oikeaan aikaan sekä rakennesuunnittelun kannalta toimivat pohjaratkaisut. Tärkeimmät asiat, jotka rakennustehtäväpiirustuksen tulee sisältää, ovat mittatiedot ja kuormat sekä muut tekniset rasitukset. [45.] [49.]

Rakennustehtäväpiirustuksissa on selkeästi esitettävä vähintään seuraavat mittatiedot:

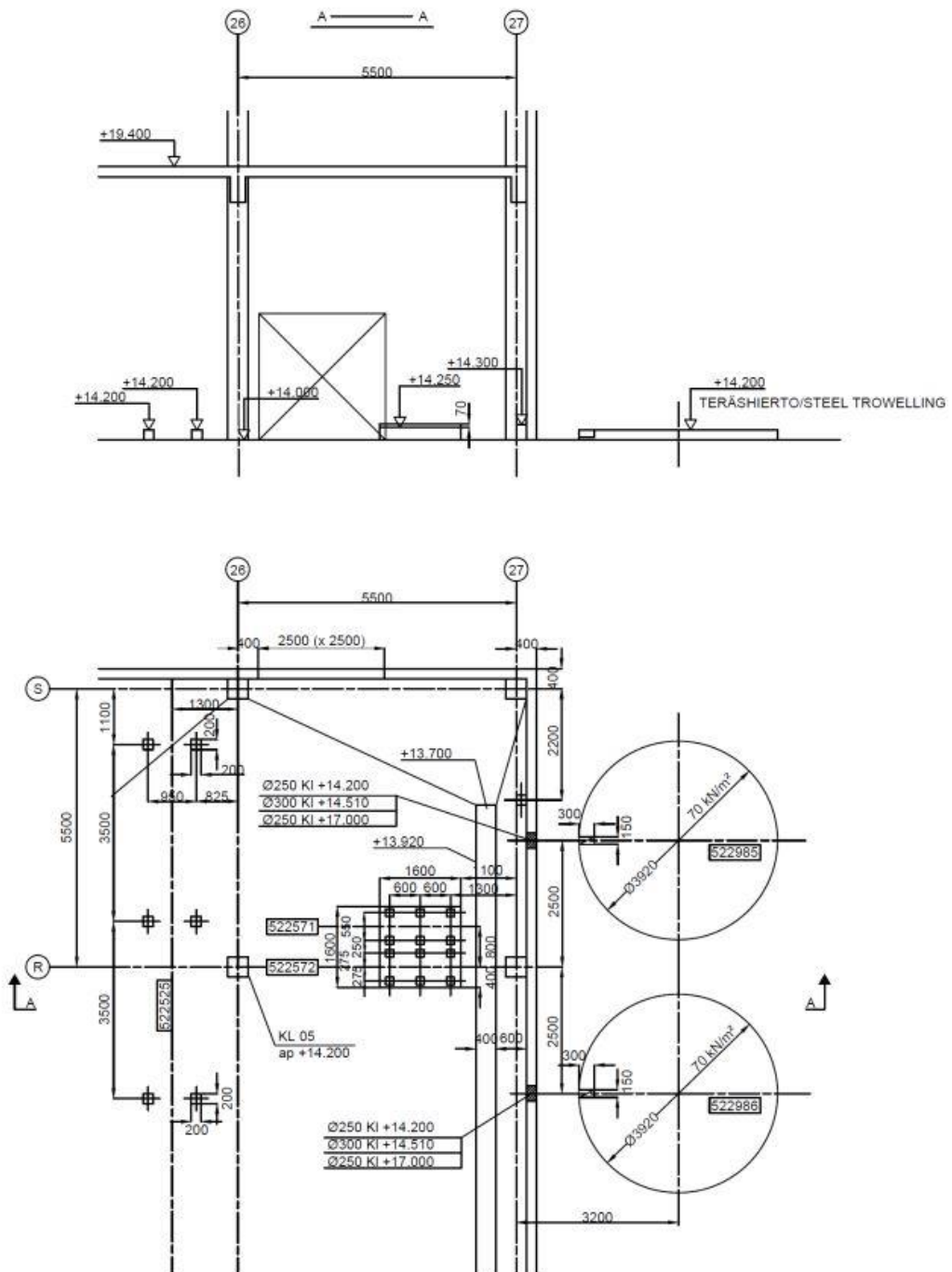
- Päämittalinjat ja koordinaatisto
- Rakennuksen tai rakennusosan päämitat
- Mitoituslinjat tunnistettuna
- Pilari- ja ruutujako
- Tasojen korot ja kaltevuudet
- Lattiakanaalit, niiden koko, korko ja kallistukset
- Kansirakenteet, pumppumontut ja kaivot mittatietoineen
- Pääkulkureitit, ajotiet ja liikenne

- Mitoitetut aukkotiedot
- Läpiviennit ja varaukset
- Asennus- ja nostoaukot
- Koneiden, laitteiden ja pumppujen päämitat ja koodit
- Koneiden ja laitteiden haalausreitit
- Lisäksi tulee esittää hissit, portaat, nosturit ja nostinpalkit mittatietoineen, pinnoitteet ja pinnoitteiden paksuus sekä kiintopisteiden ja muiden mitta-pisteiden koordinaatit. [45.] [46.] [49.]

Tärkeimmät esitettävät kuormat ja muut tekniset rasitukset, mikäli niitä esiintyy, ovat seuraavat:

- Tuuli-, maanjäristys- ja tasokuormat
- Putkistojen, koneiden ja laitteiden rakenteille aiheuttamat kuormat
- Kiintopiste- ja kitkavoimat
- Räjähdyksivaara, räjähdysseinät sekä rakenteisiin mahdollisesti höyrysty-vät kemikaalit ja palokuormat.
- Lämpötilakuormat ja erityisolosuhteet ja -vaatimukset kuten kosteus, kyl-myys ja lämpö
- Putkistojen, koneiden ja laitteiden sekä kaapelihyllyjen vaatimat kiinnitys-levyt
- Nosto- ja haalauskuormat ja niiden kuormat
- Siltanosturit ja niiden staattiset -, dynaamiset - ja kitkavoimat. [45.] [46.] [49.]

Kuvassa 25 esitetään yksinkertainen esimerkki rakennustehtäväpiirustuksesta. Siinä näkyy esitettävän esimerkiksi päämittalinjoja, tasojen korkoja ja sijaintimittoja. Lisäksi siinä esitetään laiteperustusten kuormia.



Kuva 25. Yksinkertainen esimerkki rakennustehtäväpiirustuksesta. [46.]

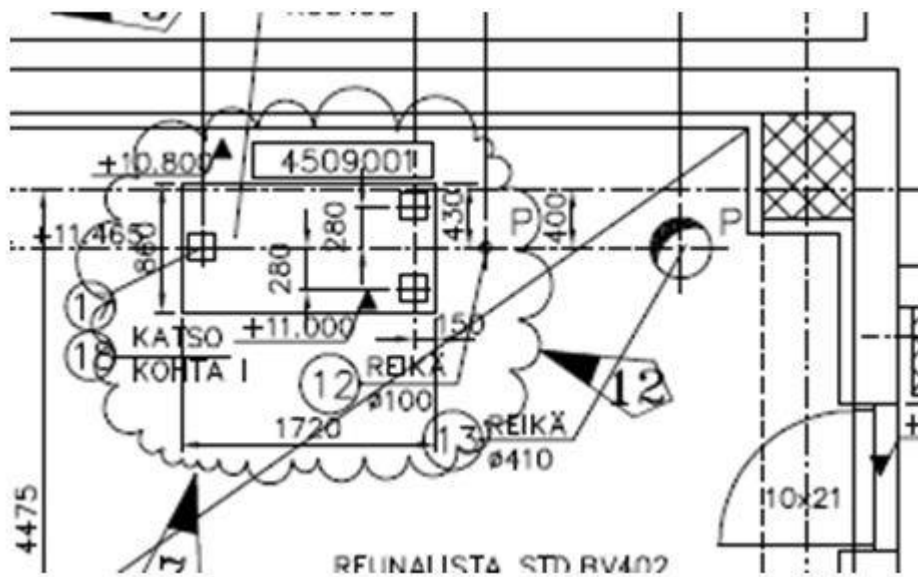
11.1.3 Muutosten merkitseminen

Suunnitelmiin tulleet muutokset tulee merkitä rakennustehtäväpiirustuksiin pilvellä, revisionuolella tai molemmilla. Piirustuksesta on käytävä ilmi muutoksen päivämäärä ja muutoksen tekijä. Esimerkki pilvellä ja nuolella tehdystä muutosmerkinnästä on esitetty

kuvassa 26. Lisää samanlaisia muutosmerkintöjä on nähtävissä luvussa 7 esitetyissä toteutuneiden kohteiden piirustuksissa. [45.]

Oikeanlaisten merkintöjen lisäksi muutokset tulee indeksoida niin, että niissä on sama revisionumero tai -kirjain kuin itse piirustuksen revisiossa. Rakennustehtäväpiirustuksen tulee myös lähtökohtaisesti sisältää erillinen taulukko, johon muutokset on kirjattu (kuva 27). Jos muutoksia on niin suuri määrä, ettei niiden erittely taulukkoon ole tarkoituksenmukaista, voidaan muutokset poikkeuksellisesti merkitä ainoastaan piirustuksiin. Tärkeintä kuitenkin on, ettei muutoksia merkitä vain ”päivitetty”- tai ”updated”-merkinnällä. [45.]

Mikäli suunnitelmiin tulee merkittäviä muutoksia, on ne aina käytävä läpi projektin muiden osapuolten kanssa etukäteen. Tällaisia muutoksia ovat esimerkiksi sellaiset, jotka vaikuttavat merkittävästi projektin kustannuksiin tai työjärjestykseen. [45.]



Kuva 26. Esimerkki muutosten merkitsemisestä rakennustehtäväpiirustukseen. [45.]

Päiväys Datum	Muuttaja Ändrare	Hyväks. Godk.	Muutos Ändring	Lukum. Antal	Merkki Märke
01.11.02	RUS	PRA	TÄYDENNETTY, MUUTETTU ANDRITZIN 22.10.02 MUK.		1
22.11.02	RUS	PRA	Sektoriaukon reuna muutettu, kiskokiinn. siirto		2
			SV-aukot lisätty, huoltoaukot siirretty ja isonnettu		2
04.12.02	RUS	PRA	Kiskojen ja reikien muutoksia. Ovi ja sv-reikä pois		3
28.02.03	MMT	PRA	LISÄTTY OVI LINJALLE K1/KC-KD JA AUKKOJA		4
07.03.03	MMT	PRA	MUUTETTU VENTTIILIASEMAN PERUSTUS		5
02.04.03	MMT	PRA	VENTTIILIAS. PERUSTUS POISTETTU, P-REIKIÄ LISÄTTY		6
09.04.03	MMT	PRA	MUUTETTU TOIMITUSRAJA LEIKKAUKSESSA B--B, TÄYDENN.		7
09.05.03	MMT	PRA	LISÄTTY Ø700 JA Ø600 P-REIÄT		8
21.05.03	MMT	PRA	LISÄTTY E-AUKKO TASOON LNJA K4/K4-K3 JA PORAUKSE		9
27.05.03	MMT	PRA	SIRRETTY Ø700 P-AUKKO LINJALLA K5-K4/KC-KD		10
11.06.03	MMT	PRA	SIRRETTY Ø700 P-AUKKO TAKAISIN ENT. PAIKKAAN		11
11.08.03	MMT	PRA	PUMPUN PERUSTUS TÄYDENNETTY		12

Kuva 27. Esimerkki rakennustehtäväpiirustuksessa olevasta muutostaulukosta. [45.]

11.2 Tiedonsiirto

Kuten luvussa 11.1. mainitaan, suurin haaste tiedonsiirrossa on ollut piirustuksiin ja suunnitelmiin tehtyjen muutosten oikeanlainen merkitseminen. Tietojen siirto tulee tapahtua aina ensisijaisesti rakennustehtäväpiirustusten välityksellä. Näin pystytään oikealla tavalla seuraamaan lähtötietoja ja tehtyjä muutoksia. Toisin sanoen, muutokset tulee aina merkitä ensin rakennustehtäväpiirustuksiin, jotta jokaiselle osapuolelle on selvää, mitä on muutettu. Merkinnät tulee tehdä, kuten luvussa 12.1.3. esitetään. Näin säästetään arvokasta aikaa, kun ei tarvitse etsiä tapahtuneita muutoksia. Muutoksista voidaan ilmoittaa myös esimerkiksi sähköpostilla tai puhelimitse, mutta se ei yksin riitä. Asiasta tulee olla selvä sopimus projektin osapuolten välillä ja kaikkien tulee noudattaa tätä käytäntöä.

11.3 Aikataulu

Aikataulut lähtötietojen luovutuksista ja erityisesti laitehankinnoista on tehtävä niin, että tiedot ovat saatavilla siinä vaiheessa, kun rakennesuunnittelijat niitä tarvitsevat. Näin rakennesuunnittelu saadaan tehtyä jo alusta asti mahdollisimman tarkasti. Lähtötietojen luovutusten päivämääristä tehdään sopimus. Tällöin on selvää, milloin mitään tietoa on oltava saatavilla. Sovituista aikatauluista on kaikkien osapuolien pidettävä kiinni parhaansa mukaan, jotta projekti ei pääse kärsimään.

Lähtötietojen luovutuspäivämääristä tehtävä sopimus voidaan toteuttaa esimerkiksi "C +XX"- käytännöllä. Siinä C tarkoittaa sopimuksentekopäivämäärää, contract date. X:llä merkitään viikkojen lukumäärä, joiden kuluttua sopimuksentekopäivästä lähtötiedot kyseisestä osa-alueesta tulee luovuttaa. Alla olevassa kuvassa (kuva 28) esitetään esimerkki C+XX- käytännöllä tehdystä aikataulusta. Vasempaan "ITEMS"- sarakkeeseen on kirjattu tarvittavia lähtötietoja. "WEEKS"- sarakkeessa ilmoitetaan C+XX- luku. Esimerkiksi kyseisessä projektissa kohdan "1. Turbine" alle listatut lähtötiedot tulee toimittaa rakennesuunnitteluun C+3, eli kolme viikkoa sopimuksentekopäivästä. Seuraavat tiedot toimitetaan C+5, ja niin edelleen. [45.]

ITEMS	Weeks	Date	
144 TURBINE			
1. Turbine 1. Location of the turbine columns 2. Loadings of the turbine 3. Location and loadings of dumpfers 4. Dimensions of the turbine table 5. Location of the penetrations 6. Floor loadings 7. Erection loadings	Supplier C + 3	22.08.06	For lay out and civil design
For the whole Turbine building items 2 to 4.			
2. Final lay out and loading drawings	C + 5	05.09.06	Earth works and Start Foundation etc. design
3. Positions and loads for columns and for foundations, main floor channels and pits	C + 5	05.09.06	for Building Foundation design
4. PCC Frame, Columns and Beams and Slabs (Loads for levels, holes \geq 500mm in levels)	C + 5	05.09.06	for PCC (Precast Concrete) Frame and slabs
SFS 4965 drawings (see also separate time schedule)			
5. Building foundations and Turbine foundations (substructures)	C + 6	12.09.06	Foundations
6. PCC Frame including Turbine PCC columns and beams	C + 6	12.09.06	for PCC Frame
7. Embedded steel for frame units (for e.g. piping etc)	C + 7	19.09.06	for PCC Frame
8. PCC and other Wall (openings)	C + 11	17.10.06	PCC Wall element or other wall type
9. Turbine blocks (cast in situ)	C + 18	05.12.06	Turbine blocks
10. Concrete Floors topping, final information (holes, inclinations etc.)	C + 13	31.10.06	for Operation Floor Concrete topping
11. Ground Floor and Channels, floor drains etc.	C + 18	05.12.06	for Ground Floor and Channels

Kuva 28. Esimerkki C+XX- käytännöstä. [45.]

11.4 Alustava ja lopullinen tieto

Mikäli laitehankintoja tai muiden tärkeiden lähtötietojen luovutusta kuitenkin jostain syystä joudutaan aikatauluttamaan rakennesuunnittelun näkökulmasta liian myöhäiseksi, eikä laitteita saada tilattua aikataulussa, on niistä annettava parhaan osaamisen ja asiantuntemuksen mukaan varmallalla puolella oleva arvio rakennesuunnittelijalle. Tiilajan tai laitesuunnittelijan on pyrittävä siihen, että alustava arvio laitteiden tarvitsemasta tilasta sekä niiden mitat ja painot ovat sellaisia, että toteutuneet arvot eivät ylitä niitä. Tällöin rakenteet kestävät ja laitteet mahtuvat niille varattuihin paikkoihin. Kohtuu-

tonta yliarvioimista laitteiden tiedoista on kuitenkin vältettävä. Kuormien osalta lähtöte-
tojen arvioinnissa auttaa luvussa 9 esitetyt laskelmat tyypillisistä sähkö- ja automaa-
tiotilojen lähtötietokuormista.

12 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä perehdyttiin teollisuuslaitosten alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen yleisiin rakenteellisiin vaatimuksiin, suunnittelutyön tiedonkulkuun sekä tyypillisen sähkö- ja automaatiotilan pohjaratkaisuun ja tilaan sijoitettavien kojeistojen mittoihin ja painoihin. Työn tavoitteena oli määrittää sähkö- ja automaatiotiloille tyypilliset lähtötietokuormat ja muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet ja laatia niistä ohjekortti. Lisäksi tavoitteena oli koota yhteen yleiset tiloja koskevat rakennevaatimukset sekä selkeyttää tilojen rakennesuunnittelutyön tiedonkulkua. Työ koostui näistä kolmesta teemasta.

Työ toteutettiin keräämällä alan eri standardeista ja ohjeista tietoa alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen rakenteellisista vaatimuksista sekä yleisistä rakennesuunnittelun vaatimuksista. Lisäksi työssä perehdyttiin tilaajayrityksen omiin aineistoihin aiheesta ja tutkittiin toteutuneita projekteja, jossa tilaajayritys oli ollut mukana sekä järjestettiin ohjaustapaamisia tilaajayrityksen asiantuntijoiden kanssa

12.1 Lopputulokset

Lopputuloksena tässä insinööriyön raportissa määritettiin tavoitteen mukaisesti alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen lähtötietokuormat ja muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet, koottiin yhteen yleiset rakennevaatimukset sekä selkeytettiin suunnittelutyön tiedonkulun prosessia keräämällä yhteen siihen liittyvät ohjeistukset.

Lähtötietokuormat määritettiin niin, että tulevaisuudessa rakennustehtäväpiirustusten laatijat pystyvät valitsemaan taulukosta, tai tarpeen tullen laskemaan itse, lähtötietokuormat sähkö- ja automaatiotiloille sinne asennettavien kojeistojen massojen mukaan. Myös yhdistelykertoimet pystytään valitsemaan omista taulukoistaan. Tämän työn liitteeksi laadittiin ohjekortti, joka sisältää työssä määritetyt lähtötietokuormat, yhdistelykertoimet sekä esimerkit, kuinka kuormat tulee merkitä piirustuksiin.

Ohjekortin ja työn muiden tulosten avulla alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen suunnittelusta saadaan jatkossa yhtenäisempää. Suunnittelussa käytettävät lähtötietokuormat ja niiden merkintätavat ovat nyt yhtenäisiä ja systemaattisia. Lisäksi tarvittavat kertoimet sekä yleiset vaatimukset suunnitteluun ovat selkeämmin saatavilla. Rakenteelli-

sesti välttää rakenteiden alimitoitukselta ja liialliselta ylimitoitukselta. Nämä kaikki helpottavat rakennesuunnittelun työtä.

Työssä esiteltyjen toteutuneiden kohteiden rakenteet eivät todennäköisesti olisi työn lopputulosten perusteella muuttuneet. Niiden rakenteet olisi kuitenkin voitu mitoittaa paremmin ja tarkemmin mikäli lähtötietokuormat olisivat olleet jo alkuvaiheesta lähtien tarkempia.

Lähteet

- 1 Pöyry Oy. Pöyry lyhyesti. Internetsivu. <http://www.poyry.com/fi/poyry/poyry-lyhyesti> Luettu 2.10.2018
- 2 Sten Henrik. Projekti-insinööri. Pöyry Oy. Ohjaustapaaminen. 1.11.2018.
- 3 SESKO ry. SFS 6000-7-729: 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-729: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Jakokeskusten asentaminen.
- 4 Pöyry Oy. Pöyry: Muuntajat ja sähkötilat. Tilaajayrityksen sisäinen aineisto.
- 5 Eurofire. Verkkokauppa, sähkötila: pääsy kielletty- kyltti. Internetsivu. <https://shop.eurofire.fi/product/4038/sahkotila-paasy-asiattomilta-kielletty/> Luettu 6.11.2018.
- 6 PSK Standardisointi. PSK 2002: Sähkötilat enintään 1000 V.
- 7 Tuomi Tuomo. Osastopäällikkö. Pöyry Oy. Ohjaustapaaminen 22.1.2019.
- 8 PSK Standardisointi. PSK 2005: Kaapelireittien suunnittelu.
- 9 Control Technologies. Kuva asennuslattiasta. Internetsivu. <http://www.raisedflooruae.com/wp-content/uploads/2015/03/data-cable-under-raised-floor.jpg> Luettu 27.11.2018
- 10 Ylinen Kimmo. Projekti-insinööri. Pöyry Oy. Ohjaustapaaminen. 27.11.2018.
- 11 Robert P. Kennedy. Sandia Report Part 2: Review Procedure to Assess Seismic Ruggedness of Cantilever Bracket Cable Tray Supports. Sandia National Laboratories. 1992. Yhdysvallat, New Mexico, Albuquerque.
- 12 Electrical Engineering Community. Yleistietoa kojeistoista. Internetsivu. <http://engineering.electrical-equipment.org/panel-building/switchboard-switchgear-functions-differences.html> Luettu 1.11.2018
- 13 Circuit globe. Yleistietoa kojeistoista. Internetsivu. <https://circuitglobe.com/switchgear.html> Luettu 1.11.2018
- 14 Study Electical. Yleistietoa kojeistoista. Internetsivu. <https://studyelectrical.com/2015/07/what-is-switchgear-features-components-hv-mv-lv.html> Luettu 1.11.2018.

- 15 Lehti Ville. Sähkö- ja automaatiolaitteasentaja. Pöyry ÅF. Haastattelu 1.11.2018. Dokumentti tallessa insinööriyön tekijällä.
- 16 Siemens. Sivacon 8- sarjan sähkökeskus. Internetsivu. http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/pie-njannitekojeet/keskukset_ja_kotelot.htm Luettu 1.11.2018.
- 17 SähköNet. Yleistietoa taajuusmuuttajista. Internetsivu. <http://blogit.jao.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/> Luettu 2.11.2018.
- 18 Danfoss. Yleistietoa taajuusmuuttajista. Internetsivu. <http://drives.danfoss.fi/danfoss-drives/what-is-an-ac-drive/#/> Luettu 2.11.2018.
- 19 Integrated Design Group. Kuvia kojeistotiloista. Internetsivu. <https://www.idgroupae.com/mathworks/> Luettu 2.11.2018.
- 20 Suomen Ympäristöministeriö. Suomen säädöskokoelma: Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.
- 21 SESKO ry. SFS 6001: 2018. Suurjännitesähköasennukset.
- 22 SESKO ry. Ajankohtaista sähköalan standardeista. Verkkoaineisto. Saatavilla https://www.sesko.fi/files/201/SESKO207_matalares_050607.pdf Luettu 9.1.2019.
- 23 Tarkett. Sähköäjohtavat lattiat. Internetsivu. https://kohdemyynti-lattiat.tarkett.fi/fi_FI/kategoria-fi_C01007-sahkoajohtavat-lattiat?tab=PRODUCTS Luettu 1.2.2019.
- 24 STO Finexter Oy. ESD- lattiapinnoitteet. Internetsivu. http://www.sto.fi/fi/tuotteet_jarjestelmat/lattiat/lattiatyypit/esd.html Luettu 1.2.2019.
- 25 Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK ry. Tietoa sähkön vaaroista. Internetsivu. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/miksi-sahko-on-vaarallista/> Luettu 7.1.2019.
- 26 Leppä Matti. Rakennesuunnittelun perusteet. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 27 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. SFS- EN 1990, Rakenteiden suunnitteluperusteet.

- 28 H. Gulvanessian; J.-A. Calgaro; M. Holický. Designers' Guide to Eurocode: Basis of Structural Design: EN 1990. ICE Publishing. 2012. Iso-Britannia, Lontoo.
- 29 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. SFS- EN 1991-1-1, Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat.
- 30 Suomen Ympäristöministeriö. Suomen Määräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus: Rakenteiden kuormat.
- 31 Suomen Ympäristöministeriö. Suomen Määräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus: Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet.
- 32 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Yleistietoa eurokoodeista. Internetsivu. <https://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit> Luettu 6.11.2018.
- 33 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. SFS ry:n tehtävät. Internetsivu. https://www.sfs.fi/sfs_ry/sfs_n_tehtavat Luettu 6.11.2018.
- 34 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Standardisoinnin oppilaitosportaali SFSedu. Yleistietoa eurokoodeista. Internetsivu. http://www.sfsedu.fi/aihealueet/rakentaminen_ja_talotekniikka/rakenteellisen_suunnittelun_eurokoodit Luettu 6.11.2018.
- 35 Rakennusteollisuus RT. Yleistietoa eurokoodeista. Internetsivu. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Rakennusteollisuus-RT/Maaraykset-ja-standardisointi/Eurokoodit-ohjaavat-suunnittelua/> Luettu 6.11.2018.
- 36 Betoniteollisuus. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, Osa 1: Eurokoodimitoituksen perusteet. Saatavilla <https://docplayer.fi/3616659-Osa-1-eurokoodimitoituksen-perusteet.html> Luettu 6.3.2019.
- 37 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. SFS-EN 1991, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat.
- 38 Suomen Ympäristöministeriö. Rakentamismääräykset. Internetsivu. <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset> Luettu 13.11.2018.
- 39 Suomen Ympäristöministeriö. Rakentamismääräyskokoelma: rakenteiden lujuus ja vakaus. Internetsivu. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus Luettu 13.11.2018.
- 40 PSK Standardisointi. Yleistä PSK:sta Internetsivu. <https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/> Luettu 14.11.2018.

- 41 PSK Standardisointi. PSK: n standardit. Internetsivu. <https://psk-standardisointi.fi/standardit/> Luettu 14.11.2018.
- 42 PSK Standardisointi. PSK:n esittely. Teollisuuden standardisointia 45 vuotta. PowerPoint- aineisto. Saatavilla <https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/> Luettu 14.11.2018.
- 43 Sten Henrik. Projekti-insinööri. Pöyry Oy. Haastattelu 6.3.2019. Dokumentti tallessa insinööriyön tekijällä.
- 44 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. SFS- EN 1991-1-6, Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: Yleiset kuormat. Taulukko 4.1.
- 45 Pöyry Oy. Toteutussuunnittelu ja tiedonhallinta laitosinvestoinneissa, Rakentajien odotukset. Yrityksen sisäinen aineisto.
- 46 PSK Standardisointi. PSK 3001: Rakennustehtäväpiirustus. Laadinnan perusteet.
- 47 Tuomi Tuomo. Osastopäällikkö. Pöyry Oy. Ohjaustapaaminen 25.1.2019.
- 48 Ylinen Kimmo. Projekti-insinööri Pöyry Oy. Ohjaustapaaminen 25.1.2019.
- 49 Pöyry Oy. Rakennustehtävätietojen siirron käytännöt tehdassuunnittelun ja rakennesuunnittelun välillä. Yrityksen sisäinen aineisto.

Ohjekortti alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilojen lähtötietokuormista ja muuttuvien kuormien yhdistelykertoimista

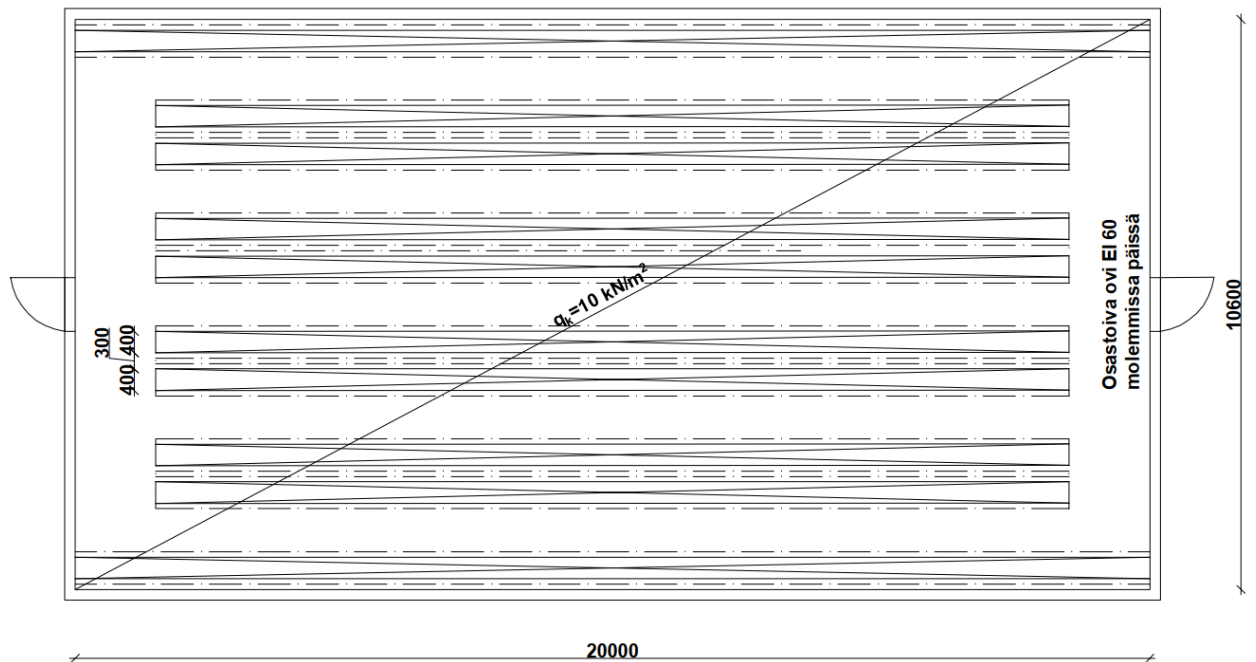
Tässä ohjekortissa esitetään lähtötietokuormia teollisuuslaitosten alle 1000 V sähkö- ja automaatiotiloille sekä ohjeita niiden merkitsemisestä rakennustehtäväpiirustuksiin. Lisäksi esitetään yhdistelykertoimet muuttuville kuormille sekä esimerkit asennustilanteen kuorman määrittämisestä ja esittämisestä ja pistekuormien huomioon ottamisesta. Lähtötietokuormien merkitsemiseen ehdotetaan tässä ohjekortissa kahta erilaista käytäntöä: **Tapaus 1 ja tapaus 2**.

Rakennesuunnittelu tarvitsee sähkö- ja automaatiotilojen kuormia lähtötietoina jo rakennuksen perustuksia suunniteltaessa. Tällöin riittää, että lähtötietokuormina ilmoitetaan tasokuormat. Kun itse tasojen suunnittelu alkaa, tarvitaan kojeistoista tarkemmat lähtötietokuormat. **Tapauksen 1** mukaisesti voidaan ilmoittaa tilojen lähtötietokuormat perustusten suunnitteluun. Viimeistään tasojen suunnittelun alkaessa on kojeistoista oltava tarkemmat lähtötietokuormat, jotka tulee esittää **tapauksen 2** mukaisella tavalla.

Tapaukset 1 ja 2 on esitelty seuraavilla sivuilla. Kummastakin esitetään ensin esimerkipiirustus, johon kuormitus tai kuormitukset on merkitty. Tämän jälkeen on esitetty taulukko, jonka mukaan lähtötietokuormat valitaan kojeistojen massan mukaan. Piirustuksiin on merkitty aukkojen leveydet ja niiden välinen etäisyys, sekä kojeistotilan sisämitat. Pistekatkoviivalla esitetään kojeistojen suunniteltu sijoittelu.

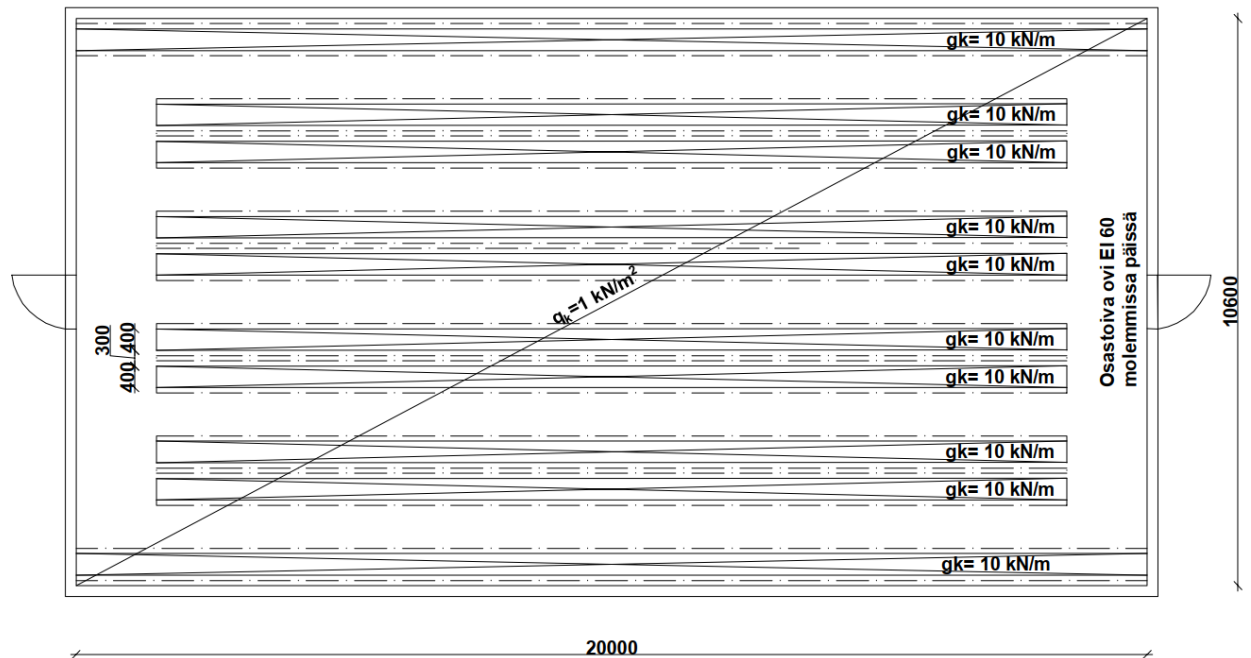
Edellä mainittujen jälkeen ohjekortissa esitetään **muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet** molemmille tapauksille erillisillä taulukoilla. Viimeisenä ohjekortissa on esimerkiksi **asennustilanteen kuorman** merkitsemistä ja sen määrittämisestä sekä ohje **pistekuormien** huomioon ottamisesta.

Tapaus 1: Sähkö- ja automaatiotilojen kojeistojen painot käsitellään samana muuttuvana tasokuormana. Rakennuksen perustusvaiheessa kuormat voidaan antaa näin.



Kojeistojen enimmäismassa $m_{k,kojeisto}$ kg/m	Piirustukseen merkittävä taso- kuoma q_k kN/m ²
500	5
770	7,5
1030	10
1300	12,5
1570	15

Tapaus 2: Sähkö- ja automaatiotilojen kojeistojen painot käsitellään pysyvinä kuormina ja hyötykuormat muuttuvina kuormina. Viimeistään tasojen suunnitteluvaiheessa kuormat on annettava näin.



Kojeistojen enimmäismassa $m_{k,kojeisto}$ kg/m	Piirustukseen merkittävä kojeistojen paino $g_{k,kojeisto}$ kN/m	Hyötykuorma $q_{k,hyöty}$ kN/m ²
500	4,9	1
770	7,5	1
1030	10,1	1
1300	12,7	1
1570	15,4	1

Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet tapauksille 1 ja 2:**Tapaus 1:**

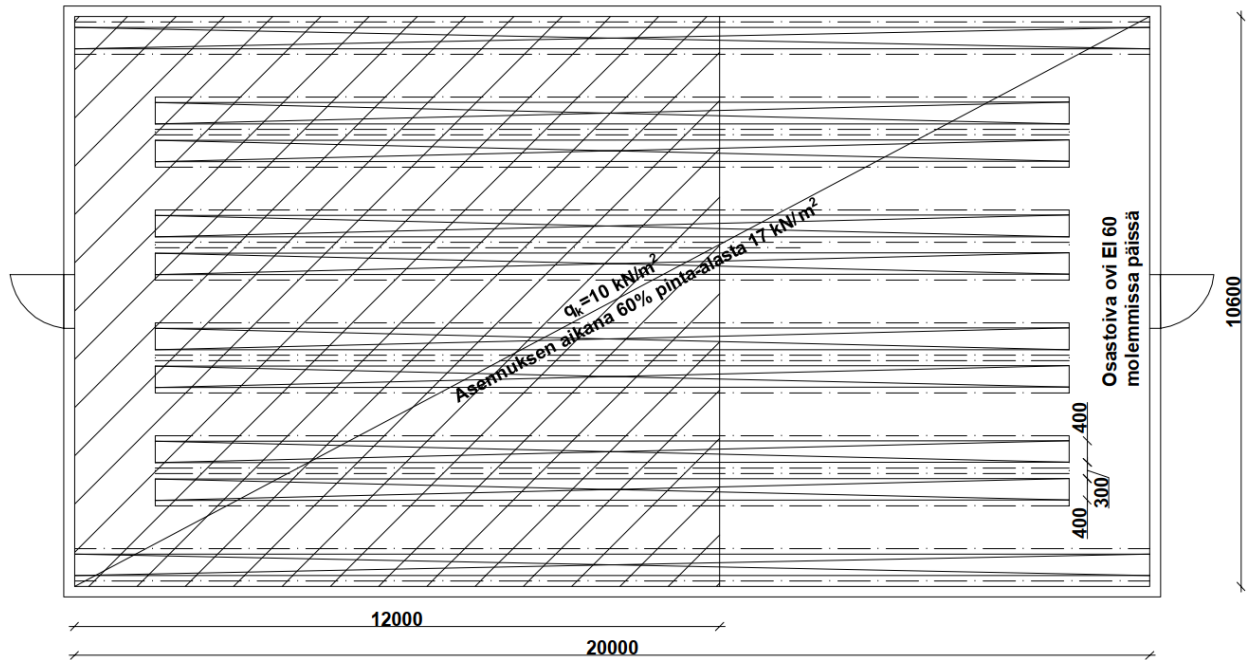
Hyötykuormat teollisuuslaitoksissa: Alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilat	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Tapaus 1:*) Huoltohenkilöiden ja käsityökalujen sekä kojeistojen aiheuttama kuorma.	1,0	1,0	1,0
*) Kun sekä sähkö- ja automaatiotilojen kojeistojen painot että hyötykuorma käsitellään muuttuvana kuormana.			

Tapaus 2:

Hyötykuormat teollisuuslaitoksissa: Alle 1000 V sähkö- ja automaatiotilat	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Tapaus 2:**) Huoltohenkilöiden ja käsityökalujen aiheuttama kuorma.	0	0	0
**) Kun sähkö- ja automaatiotilojen kojeistojen painot käsitellään pysyvinä kuormina ja hyötykuorma muuttuvana kuormana.			

Asennustilanteen kuorman merkitseminen ja määrittäminen:

Kuorman merkitseminen: Asennustilanteen kuorma vaikuttaa 60 %:lla tilan alasta. Kuorma merkitään tasokuorman esittävän viivan alle, tai piirustuksen yleistekstiin.



Kuorman määrittäminen (esimerkissä kojeiston syvyys $k = 0,6 \text{ m}$):

$$q_{k,asennus} = \frac{q_{k,kojeistot}}{k}, \text{ esimerkiksi: } \frac{10,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{0,6 \text{ m}} = 17 \text{ kN/m}^2.$$

Pistekuormien huomioon ottaminen:

Mikäli kojeistotilaan asennettavien sähkökeskusten rungoissa on jalat, jotka aiheuttavat kojeistotilan rakenteelle pistekuormaa, on tämä huomioitava rakennustehtäväpiirustuksissa. Pistekuormat tulee ilmoittaa piirustuksen yleistekstissä. Alla on esimerkki pistekuorman määrittämisestä. Esimerkissä on käytetty kojeistoa, jonka massa on 1050 kg/m. Ensin määritetään, mikä on kojeiston kokonaispaino, ja sen jälkeen jaetaan paino neljälle jalalle, jotka tukeutuvat kojeistotilan lattiaan.

$$Q_{k,kenttä} = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 1 \text{ m} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10,3 \text{ kN}.$$

$$Q_{k,piste} = \frac{10,3 \text{ kN}}{4} = 2,6 \text{ kN}.$$

Yhden jalan aiheuttama pistekuorma tässä tapauksessa on siis 2,6 kN. Kun kojeistoja on useita vierekkäin, pistekuorman kokonaisarvoksi tulee kahden jalan aiheuttama pistekuorma 5,2 kN.

Lisäksi kaapelihyllyjen kiinnitykset aiheuttavat pistekuormia kojeistotilan lattiarakenteelle, mikäli ne kiinnitetään riippumaan kaapelitilan katosta (= kojeistotilan lattia). Myös nämä pistekuormat täytyy merkitä rakennustehtäväpiirustuksiin. Ne voidaan summata edellä määritettyjen sähkökeskusten jalkojen aiheuttamien pistekuormien kanssa.