

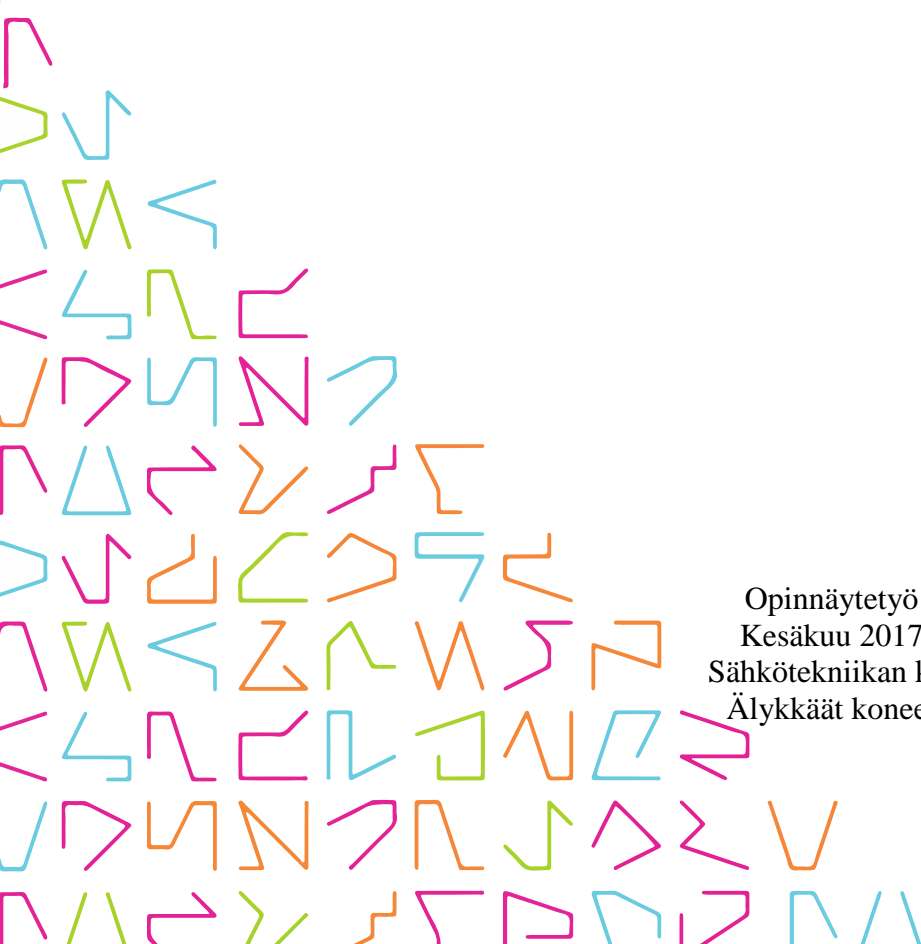


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

TEOLLISUUSHALLIN SÄHKÖSUUNNITTELU

Janne Rantanen

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2017
Sähkötekniikan ko.
Älykkäät koneet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Älykkäät koneet

RANTANEN, JANNE
Teollisuushallin sähkösuunnittelu

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 16 sivua
Kesäkuu 2017

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda sähkösuunnitelma Tiina ja Jarmo Kauniston rakennuttamaan teollisuushalliin. Jarmo Kaunisto omistaa myös yrityksen nimeltä Seulax oy, joka tulee olemaan yksi hallin vuokralaisista. Seulax oy on yritys, joka tarjoaa laajalla skaalalla palveluita eri aloille, mutta päätoimialana on maarakennus ja siihen liittyvä laitteisto.

Työn lähtökohtana oli tehdä mahdollisimman kattava suunnitelma kohteen sähköistyksestä. Hallien yhdistetty kokonaispinta-ala on 637 m², josta toimistoalaa on 114 m² kahdessa eri kerroksessa. Työtä hankaloitti se, että hallien käyttötarkoituksesta ei ollut tarkkaa tietoa. Lähtökohtana käytettiin siis tilannetta, jossa halleissa tullaan suorittamaan jonkinasteista jatkuvaa työtä. Työssä huomioitiin myös mahdolliset tulevaisuuden tarpeet sähkötehon osalta.

Opinnäytetyössä perehdytään syvällisesti erinäisiin sähkösuunnittelun tuomiin mitoitustehtäviin, kuten kaapeleiden, ryhmäkeskukset ja sulakkeiden mitoittamiseen sekä niiden laskennalliseen todentamiseen. Tämän lisäksi työssä lasketaan jännitteen alenemaan, ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen sekä valaistukseen liittyviä pääasioita. Työn toimeksiantajalla ei ollut vaateita automaatio- tai pienjännitejärjestelmien suhteen, joten työ rajautui pelkkään sähkösuunnitteluun. Työssä ei myöskään käsitellä hankkeen kustannuksia.

Työssä merkittävimpinä lähteinä käytettiin kirjoja D1-2012 sekä Sähköasennukset 1. Muu lähdeaineisto on kerätty erinäisiltä internetsivustoilta. Liitteinä opinnäytetyön lopussa on esitetty kohteen pohjakuvat, maadoitussuunnitelma, nousujohtokaavio sekä kuvat kaapelireiteistä, pistesijoituksista ja johdotuksista.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Intelligent Machines

RANTANEN, JANNE
Electrical Design for Industrial Building

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 16 pages
June 2017

The purpose of this thesis was to create an electrical design for an industry-type building built by Tiina and Jarmo Kaunisto. Jarmo Kaunisto owns also a company called Seulax oy which is going to be one of the tenants for the building. Seulax oy is a limited liability company which operates on the province of Pirkanmaa. Seulax oy has a wide range of services for different fields, but focuses mainly on civil engineering and equipment regarding to it.

The purpose of this project was to create detailed plan for the buildings electrical design, so that the customer can carry out the required electrical installations with ease. Joint area of the building is 637m², which combines from three separate halls next to each other and two offices on top of each other. The planning was rather difficult mainly because the intended purpose for the building wasn't known. Based on that we had to assume that the halls are going to be used full time as workshops or similar structures.

This thesis focused on electrical designing and especially on mathematical estimation of the property's electrical capacity. Besides this, the buildings voltage drop, short-circuit protection and other required values were calculated to make sure that the buildings electrical grid is safe and optimal. The client did not have any demands for an automation- or low-voltage-systems so this thesis focuses strictly on the electrical designing of the building.

The most substantial sources for this thesis were D1-2012, käsikirja rakennusten sähköasennuksista and Sähköinfo, Sähköasennukset 1 (2013). Other sources were collected from different web sites. As an appendices to this thesis are included plans for the grounding, buildings main circuit diagram as well as plans for cable trays, placement for electrical devices and wiring diagrams.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KOHTEEN TIEDOT.....	7
3	KAAPELIREITIT	8
3.1	Yleistä	8
3.2	Kiinteistön pääsyötön kaapelireitti	8
3.3	Hallien kaapelireitit.....	9
3.4	Toimistojen kaapelireitit	9
4	KIINTEISTÖN LIITYNTÄTEHON MITOITUS.....	10
4.1	Yleistä	10
4.2	Toimistojen ryhmäkeskukset	10
4.3	Hallien ryhmäkeskukset.....	13
4.4	Pääkeskus ja liityntäteho.....	15
5	PÄÄJAKELUN KAAPELIT.....	17
5.1	Yleistä	17
5.2	Mitoitus.....	17
6	PÄÄJAKELUN YLIKUORMITUSSUOJAUS	19
6.1	Yleistä	19
6.2	Ylikuormitussuojaus gG-tyyppin sulakkeilla	20
7	JÄNNITTEEN ALENEMA JA OIKOSULKUSUOJAUS.....	22
7.1	Jännitteen alenema.....	22
7.2	Oikosulkusuojaus.....	25
7.2.1	Ryhmäkeskukset	26
7.2.2	Ryhmäjohdot.....	27
8	VALAISTUS.....	30
8.1	Hallien valaistus.....	30
8.2	Toimistojen valaistus	32
8.3	Ulkovalaistus	33
9	MAADOITUS	34
9.1	Yleistä	34
9.2	Maadoituselektrodi	34
9.3	Potentiaalın tasaus.....	35
10	POHDINTA.....	36
11	LÄHTEET	37
	LIITTEET	38
	Liite 1. Halli 1: Kaapelireittisuunnitelma 1 (3).....	38
	Liite 1. Halli 1: Laitesijoitussuunnitelma 2 (3).....	39

Liite 1. Halli 1: Johdotus- ja ryhmitysuunnitelma	3 (3)	40
Liite 2. Halli 2: Kaapelireittisuunnitelma	1 (3)	41
Liite 2. Halli 2: Laitesijoitusuunnitelma	2 (3)	42
Liite 2. Halli 2: Johdotus- ja ryhmitysuunnitelma	3 (3)	43
Liite 3. Halli 3: Kaapelireittisuunnitelma	1 (3)	44
Liite 3. Halli 3: Laitesijoitusuunnitelma	2 (3)	45
Liite 3. Halli 3: Johdotus- ja ryhmitysuunnitelma	3 (3)	46
Liite 4. Kerros 1 toimisto: Kaapelireittisuunnitelma	1 (3)	47
Liite 4. Kerros 1 toimisto: Laitesijoitusuunnitelma	2 (3)	48
Liite 4. Kerros 1 toimisto: Johdotus- ja ryhmitysuunnitelma	3 (3)	49
Liite 5. Kerros 2 toimisto: Kaapelireittisuunnitelma	1 (3)	50
Liite 5. Kerros 2 toimisto: Laitesijoitusuunnitelma	2 (3)	51
Liite 5. Kerros 2 toimisto: Johdotus- ja ryhmitysuunnitelma	3 (3)	52
Liite 6. Kiinteistön nousujohtokaavio		53
Liite 7. Kiinteistön maadoitusuunnitelma		54

1 JOHDANTO

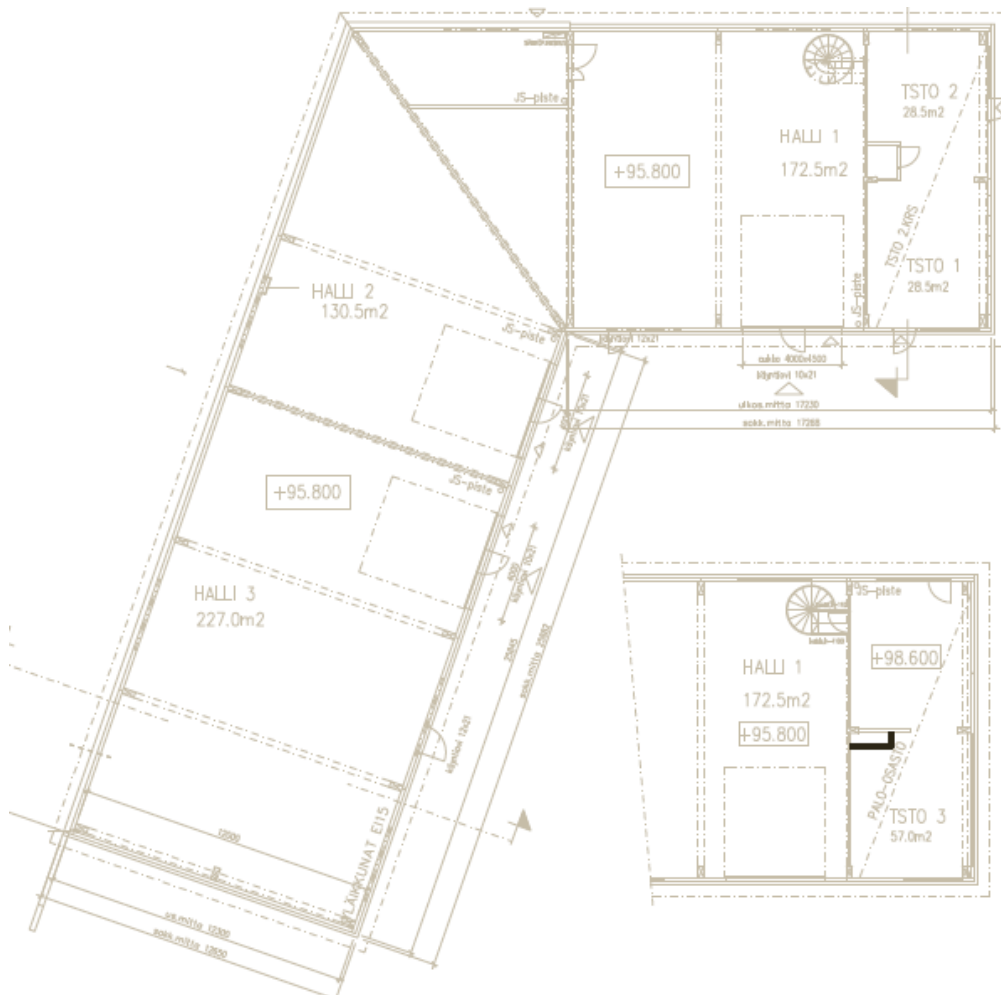
Opinnäytetyön kohteena oli asiakkaan rakennuttama teollisuushalli, johon tarkoituksena oli toteuttaa mahdollisimman kattava sähkösuunnitelma. Sähkösuunnittelun tärkeimpinä osa-alueina olivat kiinteistön keskuksien, nousukaapeleiden, sulakkeiden ja liityntätehon mitoitus sekä sähkökuvien sähköinen dokumentointi. Muita sähkösuunnittelun osa-alueita olivat mm. maadoitus, kaapelireitit ja valaistus.

Opinnäytetyömahdollisuuden tarjosi Tiina ja Jarmo Kaunisto. Seulax oy on Jarmo Kauniston omistama yritys, joka toimii Pirkanmaan alueella. Seulax oy:n toimialakuvaukseen kuuluu mm. maarakennus, louhinta, sähköurakointi, kiinteistökauppa sekä erilaisten koneiden myynti, maahantuonti sekä vuokraus.

Päätavoitteina opinnäytetyössä oli luoda asiakkaalle kaikin puolin toimiva sähkösuunnitelma kohteesta, jonka pohjalta sähköurakointi on helppo toteuttaa. Tämän lisäksi oppimistavoitteiksi asetui sähkösuunnittelussa esiintyvien ongelmatilanteiden ratkaisu, suunnitteluprosessin hallitseminen sekä hyvän sähkösuunnittelun toteutus.

2 KOHTEEN TIEDOT

Rakennuksen kokonaispinta-ala on 637 m², joka on jaettu kolmeen erilliseen halliin ja kahteen toimistokerrokseen. Hallissa 1 on rakennuksen tekninen tila, jossa sijaitsevat lämmönjako, kiinteistön sähköpääkeskus sekä IV-koneikko. Hallien sekä toimistojen lämmitys tapahtuu vesikiertoisella lattialämmityksellä, lattialämmityksen veden lämmittää lämmönjaossa sijaitsevat ilmalämpöpumput. Hallien ilmanvaihto tapahtuu yhteisellä IV-koneikolla, toimistoissa on sen sijaan omat, pienemmät IV-koneet. Tontilla sijaitsee myös erillinen rakennus, joka on tällä hetkellä vuokrattuna, mutta tullaan myöhemmin tulevaisuudessa purkamaan. Kohteen valmistuttua asiakkaan tarkoituksena on vuokrata hallit 2 ja 3, sekä alakerran toimistotilat. Halli 1 ja yläkerran toimistotilat jäävät Seulax oy:n käyttöön. Kuvassa 1 on esitetty kohteen pohjapiirros.



KUVA 1. Kohteen pohjapiirros

3 KAAPELIREITIT

3.1 Yleistä

Kaapelireitit suunnitellaan siten, että jokaiselle sähköä tarvitsevalle laitteelle pystytään kuljettamaan tarvittava määrä kaapeleita suhteellisen vaivattomasti. Kaapelireittejä suunniteltaessa on tärkeää hahmottaa, kuinka suuria määriä kaapeleita kulkee mihinkin suuntaan. Kohteesta riippuen on myös huomioitava se, että suurjännite-, pienjännite sekä dataliikennekaapelit on pidettävä erossa toisistaan mahdollisten häiriöiden estämiseksi. Kaapelireitit toteutetaan yleensä kaapelihyllyllä tai kaapelikourulla, mutta yksittäisille sähkölaitteille kaapeleita voidaan kuljettaa myös mm. valaisinkiskolla, suojaputkella tai pinta-asennettuna.

3.2 Kiinteistön pääsyötön kaapelireitti

Sähköliittymän tarjoajan velvollisuutena on tuoda syöttökaapeli lähimmästä liittymispisteestä aina tontin rajalle asti, tästä eteenpäin on tontin omistajan tai hänen valtuuttaman urakoitsijan hoidettava kaapeli haluttuun paikkaan. Tässä tapauksessa syöttökaapeli tuli maa-asennettuna tontin rajalle, tästä syystä syöttökaapelin reitti suunniteltiin myös jatkuvan maa-asennettuna aina pääkeskukselle asti. Syöttökaapelille suunniteltiin noin metrin syvyinen kaapelioja, johon upotetaan kaapelia suojaava muoviputki. Muoviputki varmistaa kaapelin suojauksen, sekä tilanteen vaatiessa mahdollistaa syöttökaapelin uusimisen.

3.3 Hallien kaapelireitit

Hallien kaapelireitteinä suunniteltiin käytettävän alumiinirakenteisia kaapelihyllyjä. Alumiini on hyvä vaihtoehto rautarakenteiselle kaapelihyllylle, alumiinin suurimpina etuina mainittakoon lujuus-painosuhte, korroosiokestävyys ja pitkäikäisyys [Sähköasennukset 1. s200]. Kohteen pääkaapelireitti suunniteltiin hallien takaseinille 5 m korkeuteen siten, että teknisestä tilasta on mahdollisimman suora kaapelireitti jokaiselle ryhmäkeskukselle. Pääkaapelireitti suunniteltiin 300 mm leveäksi, josta poikkeuksena teknisen tilan yläpuoli, joka suunniteltiin 500 mm leveäksi. Tämän lisäksi jokaiseen halliin suunniteltiin myös kaksi pienempää poikkihyllyä hallin valaistusta, sekä hallin etuosassa sijaitsevia sähkölaitteita silmällä pitäen. Nämä poikkihyllyt suunniteltiin 200 mm leveiksi. Liitteissä 1-3 on esitetty hallien kaapelireittisuunnitelmat.

3.4 Toimistojen kaapelireitit

Toimistojen kaapelireitit suunniteltiin yhdessä asiakkaan kanssa siten, että ne parhaiten palvelisivat toimistojen käyttötarpeita. Rakennuksen runkorakenteen takia uppoasennus ei ollut mahdollista, joten kaikki toimistotilojen kaapelireitit suunniteltiin toteutettavaksi alumiinisilla sekä muovisilla johtokanavilla. Johtokanavassa pystytään kuljettamaan tarvittava määrä kaapeleita toimistojen tarpeita varten, lisäksi kanavaan pystytään liittämään suoraan tarvittavat sähkölaitteet, kuten pistorasiat, kytkimet ja termostaatit. Liitteissä 4 ja 5 on esitetty toimistojen kaapelireittisuunnitelmat.

4 KIINTEISTÖN LIITYNTÄTEHON MITOITUS

4.1 Yleistä

Liityntätehon mitoituksen päätarkoituksena on mitoittaa kiinteistön tarvitsema sähköteho kunnan sähköverkosta. Jotta liityntäteho voidaan mitoittaa optimaaliseksi, on kiinteistön sähkötehon kulutusta arvioitava mahdollisimman tarkasti. Arviointia tässä tapauksessa hankaloitti se, että hallien käyttötarkoitus ei ollut tiedossa. Tämä johti siihen, että suunnittelussa jouduttiin käyttämään omia sekä asiakkaan arvioita sähkötehon kulutuksesta. Liityntäteho itsessään on suurehko kokonaisuus ja sen tarkka mitoittaminen voi olla hankalaa yksinään, tästä johtuen mitoitus jaettiin ryhmäkeskuskohtaiseksi.

4.2 Toimistojen ryhmäkeskukset

Asiakkaan toiveena toimistotiloihin oli valaistuksen ja riittävän pistorasialukumäärän lisäksi keittiö ilman hellaa sekä WC. Suunnittelun helpottamiseksi laadittiin alustava ryhmä-/ tehotaulukko (TAULUKKO 1), jolla voitiin arvioida suuntaa antava sähkötehontarve toimistoihin. Molemmat toimistokerrokset ovat pinta-alaltaan ja kalustukseltaan samanlaisia, joten voidaan olettaa, että kummassakin toimistossa tehontarve on sama. Taulukoihin 1-3 kerätyt tiedot laitteiden tehon kulutuksesta ovat joko asiakkaan ilmoittamia, tai vastaavien laitteiden pohjalta keräytyjä arvoja. Pistorasiaryhmissä käytettiin 16 A johdonsuojakatkaisijan sallimaa maksimikuormitusta.

TAULUKKO 1. Toimistojen arvioitu tehontarve

Laite	Ryhmä	Nimellisteho
Jääkaappi	1	750 W
Mikroaaltouuni + Kahvinkeitin	2	1000 W + 1500 W
Pistorasiaryhmä 1	3	3680 W
Pistorasiaryhmä 2	4	3680 W
Valaistus	5	220 W
WC valaistus + pistorasia	6	1500 W
IV-kone	7	2000 W
Yhteensä	7	14 330 W

Toimistojen arvioiduksi kokonaistehoksi saatiin taulukon 1 mukaan $P_{TST1-2} = 14\,330\text{ W}$. Kuormat eivät sisällä merkittäviä määriä loistehoa, joten toimistojen tehokertoimiksi arvioitiin 0,95. Pelkästään huipputehon arvolla ei kuitenkaan ole järkevää mitoittaa keskuksia, joten tässä vaiheessa avuksi otettiin tasauskerroin k_1 ja samanaikaisuuskerroin k_2 . Kerroin k_1 ottaa huomioon kuinka paljon toimistojen sähkölaitteita käytetään samanaikaisesti ja kerroin k_2 kertoo, kuinka paljon tasauskertoimella k_1 tasatusta tehosta on käytössä huipputehoaikana. Asiakkaan kanssa neuvoteltaessa päätettiin, että kertoimena toimistoihin käytetään yhdistettyä tasauskerrointa 0,7. Tasauskerroin otettiin huomioon toimistojen näennäistehon määrittämisessä, kaavassa 1 [Tekniikan kaavasto 2015, s126].

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \times k \quad (1)$$

$$S_{TST1-2} = \frac{P_{TST1-2}}{\cos(\varphi_{TST1-2})} \times k = \frac{14\,330\text{ W}}{0,95} \times 0,7 = 10\,559\text{ VA}$$

$$S_{TST1-2} \approx 11\text{ kVA}$$

missä,

$S_{TST1-2} =$ toimistojen näennäistehot

$P_{TST1-2} =$ toimistojen pätötehot

$\cos(\varphi_{TST1-2}) =$ toimistojen tehokertoimet

$k =$ sähkötehon tasauskerroin

Toimistojen näennäistehon ollessa selvillä voitiin seuraavaksi määrittellä sulakkeet toimistokeskuksiin. Jotta sulakkeet voitiin mitoittaa, täytyi ensin selvittää toimistojen mitoitusvirta I_{bT} , joka saatiin laskettua kaavalla 2 [Tekniikan kaavasto 2015, s128].

$$I_b = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_p} \quad (2)$$

$$I_{bT} = \frac{S_{TST1-2}}{\sqrt{3} \times U_p} = \frac{10\,559\text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400\text{ V}} = 15,24\text{ A}$$

$$I_{bT} \approx 15\text{ A}$$

missä,

$I_{bT} =$ toimistojen ryhmäkeskusten mitoitusvirta

$U_p =$ sähköverkon pääjännite

Mitoitusvirran I_{bT} avulla voitiin nyt valita oikeat sulakkeet siten, että standardissa SFS 6000 määritetty epäyhtälö toteutuu. Epäyhtälö esitetty kaavassa 3 [SFS 6000-433:007].

$$I_{bT} < I_N \leq I_Z \quad (3)$$

missä,

I_{bT} = toimistojen ryhmäkeskusten mitoitusvirta

I_N = suojalaitteen mitoitusvirta

I_Z = johdon kuormitettavuus

Epäyhtälön mukaisesti toimistokeskuksia suojaaviksi sulakkeiksi sopisi 3×16 A, mutta sulakkeiden selektiivisen toiminnan takaamiseksi sulakkeiksi valittiin 3×20 A [D1-2012, TAULUKKO 43.1 s134]. Tässä kohtaa mitoitusta riittää, että mitoitusvirta $I_{bT} < I_N$, myöhemmin kaapeleiden mitoitus osiossa huomioidaan myös johtojen kuormitettavuus I_Z .

4.3 Hallien ryhmäkeskukset

Tässäkin osiossa mitoituksen avuksi laadittiin taulukko (TAULUKKO 2), jolla voitiin arvioida hallien kuluttamaa sähkötehoa. Syöttö hallien IV-kojeelle suunniteltiin hallin 1 ryhmäkeskuksesta. Tästä syystä hallin 1 ryhmäkeskus valittiin mitoituskohteeksi.

TAULUKKO 2. Hallien arvioitu tehontarve

Laite	Ryhmä	Nimellisteho
Valaistus	1	495 W
Pistorasiaryhmä 1	2	3680 W (max)
Pistorasiaryhmä 2	3	3680 W (max)
Pistorasiaryhmä 3	4	3680 W (max)
Nosto-ovi (3-vaihe)	5	3000 W
Pistorasia (3-vaihe)	6	11040 W (max)
Huippuimuri	7	800 W
IV-koje	8	4000 W
YHTEENSÄ	8	30 375 W

Taulukosta 2 nähtävän arvion mukaan hallien teoreettinen kokonaistehon tarve on siis $P = 30\,375\text{ W}$. Hallien kuormassa varauduttiin mahdollisen loistehon muodostumiseen, joten tehokertoimeksi arvioitiin $\varphi = 0,90$. Tämä arvio ei perustu mihinkään tietämääni säädökseen, vaan on puhtaasti itseni ja asiakkaan kanssa sovittu arvo. Ryhmäkeskusten osalla yhdistetyksi tasauskertoimeksi arvioitiin 0,6, jonka jälkeen kaavan 4 avulla pystyttiin laskemaan hallien näennäisteho [Tekniikan kaavasto 2015, s126].

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \times k \quad (4)$$

$$S_{hallit} = \frac{P_{hallit}}{\cos(\varphi_{hallit})} \times k = \frac{30\,375\text{ W}}{0,90} \times 0,6 = 20\,250\text{ VA}$$

$$S_{hallit} \approx 20\text{ kVA}$$

missä,

S_{hallit} = hallien näennäisteho

P_{hallit} = hallien pätöteho

$\cos(\varphi_{hallit})$ = hallien tehokerroin

k = sähkötehon tasauskerroin

Hallien näennäistehon avulla saatiin ratkaistua hallien mitoitusvirta I_{bH} [Tekniikan kaavasto 2015, s128].

$$I_b = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_p} \quad (5)$$

$$I_{bH} = \frac{S_{hallit}}{\sqrt{3} \times U_p} = \frac{20\,250 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 29,23 \text{ A}$$

$$I_{bH} \approx 30 \text{ A}$$

missä,

I_{bH} = hallien ryhmäkeskusten mitoitusvirta

U_p = Sähköverkon pääjännite

Taulukosta D1-2012, TAULUKKO 43.1 s.134 voidaan todeta, että seuraava sulakekoko joka toteuttaa SFS 6000 standardin määrittelemän epäyhtälön $I_b < I_N \leq I_Z$ on 32 A, joten ryhmäkeskuksia suojaaviksi sulakkeiksi valittiin $3 \times 32 \text{ A}$.

4.4 Pääkeskus ja liityntäteho

Viimeisenä osiona ennen lopullisen liityntätehon määrittämistä tarvitsi laskea pääkeskuksen tarvitsema sähköteho. Pääkeskuksen mitoituksessa käytettiin aiemmissa osioissa laskettuja ryhmäkeskusten tehoja. Ryhmäkeskusten lisäksi pääkeskuksen mitoituksessa oli otettava huomioon mm. tontilla sijaitsevan erillisen hallin syöttö, autopaikkojen lämmitystolpat, ulkovalaistus sekä lämmitys. Pääkeskukselle tarvittavaa sähkötehoa arvioitiin taulukon 3 avulla. ErillISRakennuksen arvioitu tehonkulutus on asiakkaan ja vuokralaisen välisen keskustelun tuloksena saatu arvo.

TAULUKKO 3. Pääkeskuksen arvioitu tehontarve

Laite	Nimellisteho	Näennäisteho
Hallit 1-3	-	3 × 20 250 VA
Toimistot 1-2	-	2 × 10 559 VA
ErillISRakennus	10 000 W	-
Ulkovalaistus	2300 W	-
Autotolpat 2kpl	7360 W	-
Käyttövesivaraaja	2700 W	-
Lämmivesivaraaja 2kpl	3000 W	-
Iimalämpöpumppu 2kpl	4300 W	-
Käyttövesipumppu	300 W	-
Pistorasiaryhmä 1	3680 W	-
YHTEENSÄ	33 640 W	81 868 VA

Taulukon 3 arvion mukaan pääkeskuksen teoreettinen kokonaistehontarve ilman ryhmäkeskuksia on 33 640 W. Pääkeskuksen kuorman oletetaan myös sisältävän hieman loistehoa, joten tehokertoimeksi arvioitiin sama 0,90 kuin halleissa. Pääkeskuksen yhdistetyksi tasauskertoimeksi valittiin myös sama 0,6 kuin halleissa. Kaavan 6 avulla voitiin muuntaa jäljellä oleva pätöteho loistehoksi [Tekniikan kaavasto 2015, s126].

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \times k \quad (6)$$

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos(\varphi_{PK})} \times k = \frac{33\,640 \text{ W}}{0,90} \times 0,6 = 22\,427 \text{ VA}$$

$$S_1 \approx 22 \text{ kVA}$$

missä,

$S_1 =$ osa pääkeskuksen näennäistehosta

$P_1 =$ osa pääkeskuksen pätötehosta

$\cos(\varphi_{PK}) =$ pääkeskuksen tehokerroin

Tämän jälkeen voitiin laskea koko kiinteistön näennäisteho sekä mitoitusvirta kaavoilla 7 ja 8 [Tekniikan kaavasto 2015, s128].

$$S_{PK} = S_{PK} + S_{Hallit} + S_{toimistot} \quad (7)$$

$$S_{PK} = 22\,427 \text{ VA} + (3 \times 20\,250 \text{ VA}) + (2 \times 10\,559 \text{ VA})$$

$$S_{PK} = 104\,295 \text{ VA}$$

$$S_{PK} \approx 100 \text{ kVA}$$

$$I_b = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_p} \quad (8)$$

$$I_b = \frac{S_{PK}}{\sqrt{3} \times U_p} = \frac{104\,295 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 150,5 \text{ A}$$

$$I_b \approx 150 \text{ A}$$

missä,

$I_b =$ Kiinteistön mitoitusvirta

$U_p =$ Sähköverkon pääjännite

Kaikki kiinteistön sähkö kulkeutuu pääkeskuksen kautta, joten voidaan todeta, että S_{PK} on sama asia kuin kiinteistön liityntäteho. Näillä tiedoilla kiinteistön pääsulakkeiksi valittiin $3 \times 160 \text{ A}$.

5 PÄÄJAKELUN KAAPELIT

5.1 Yleistä

Kiinteistön pääjakelulla tarkoitetaan tässä tapauksessa kohteen pääkeskuksen sekä ryhmäkeskusten syöttäviä kaapeleita. Kaapeleiden mitoituksessa on tärkeää ottaa huomioon kohteen asettamat vaatimukset kaapeleille, kuten esim. halogeenivapaus, palo-, UV-, tai EMC-suojaus. Kaapelin on myös kestävä vallitsevan ympäristön vaikutukset, kuten mm. lämpötila ja kosteus [D1-2012 s.186]. Kiinteistön pääsyöttökaapelin mitoitti ja valitsi sähköliittymän tarjoaja (Elenia Oy), mutta se sisällytettiin laskuihin siitä huolimatta.

5.2 Mitoitus

Kaapeleiden mitoituksen avuksi otettiin kirjasta: D1-2012, sivut 134 ja 224, joista saatiin tarvittavat arvot ja kertoimet mitoituksen suorittamiseen (TAULUKKO 4). Ryhmäkeskusten positioiksi halleihin valittiin RK1, RK2 ja RK3 ja toimistoihin RK4.1 ja RK4.2.

TAULUKKO 4. D1-2012 avulla kerätyt tiedot kaapelien mitoitukseen

Keskus	Sulake	I_z	Kerroin k_1	Kerroin k_2	Asennustapa
RK 4.1-4.2	20 A	18 A	0,75	1,05	C
RK 1-3	32 A	35 A	0,75	1,05	C
PK	160 A	177 A	1,09	0,85	D

Seuraavaksi voitiin kaavan 9 avulla määrittää pienimmät sallitut kuormitettavuudet kaapeleille asennus- ja ympäristöolosuhteet huomioiden [Sähköasennukset 1, s160].

$$\text{Kaavan perusmuoto} \rightarrow I_{zp} = \frac{I_z}{k_1 \times k_2} \quad (9)$$

$$\text{RK 4.1 - 4.2} \rightarrow I_{zp} = 22,86 \text{ A}$$

$$\text{RK 1 - 3} \rightarrow I_{zp} = 44,44 \text{ A}$$

$$\text{PK} \rightarrow I_{zp} = 191 \text{ A}$$

Edellisellä sivulla esitettyjen tietojen perusteella pystyttiin valitsemaan sopivat kaapelikoot ja vaihtoehtoiset materiaalit taulukosta TAULUKKO 52.1 D1-2012 s217. Kaapelikoot ja materiaalit esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. D1-2012 avulla kerätyt tiedot kaapeleista

Keskus	I_{zp} (A)	kaapelin min poikkipinta Cu (mm ²)	kaapelin min poikkipinta Al (mm ²)	Asennustapa
RK 4.1-4.2	23	2,5	-	C
RK 1-3	45	10	16	C
PK	191	70	95	D

Asiakkaan toiveesta ryhmäkeskuksien kaapelit valittiin siten, että niihin jää laajennusvaraa mahdollista sähkönkulutuksen kasvua silmällä pitäen. Suunnitelmaan valitut kaapelit sekä niiden mahdollistamat laajennusvarat esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Kaapelikoot ja -tyypit sekä laajennusvara kaapeleissa

Keskus	Kaapelikoko materiaali	/	Kaapelityyppi	Laajennusvara kaapelilla
RK 4.1-4.2	6 mm ² Cu		MCMK 4x6/6	48 %
RK 1-3	16 mm ² Al		AMCK 4x16/10	38 %
PK	95 mm ² Al		AXMK 4x95S	15 %

Suurin sallittu sulakekoko kaapelille AXMK 4x95S vaihtelee eri sähköliittymän tarjoajien välillä. Esimerkiksi Jyväskylän Energian sähköliittymän teknisen ohjeen mukaan kyseinen kaapeli sallii 3 x 160 A sulakkeet [Lähde: 10], kun taas Elenian oman suosituksen mukaan kyseinen kaapeli sallii vain 3 x 125 A sulakkeet. Kohteen ollessa vielä rakennusvaiheessa ja sähkötehon kulutus alhaista valittiin sähköliittymäsopimukseen sulakekoot 3 x 63 A, joissa Elenian suosituksen mukainen laajennusvara 3 x 125 A asti. Kiinteistön valmistuessa ja sopivien vuokralaisten löydyttyä on sähkötehon kulutuksesta tehtävä tarkempia arvioita, pahimmassa tapauksessa kiinteistön pääsyötökaapeli on uusittava. Liitteessä on 6 esitetty kiinteistön nousujohtokaavio.

6 PÄÄJAKELUN YLIKUORMITUSSUOJAUS

6.1 Yleistä

Ylikuormitussuojauksen tarkoituksena on sähkövirran katkaisu ennen kuin johtimien ylikuormitusvirran aiheuttama lämpeneminen ehtii aiheuttaa vahinkoa kaapelille tai kaapelia ympäröivälle alueelle. Ylikuormitusvirralla tarkoitetaan virtaa, joka aiheutuu virtapiiriin ylikuormitussyistä. Vikatilanteista aiheutuvat virtapiikit eivät lukeudu ylikuormitusvirroiksi [Sähköasennukset 1, s146]. Kiinteistön pääjakelun ylikuormitussuojaus suunniteltiin toteutettavan gG-tyyppin sulakkeilla. Kiinteistön sulakkeet valittiin jo kiinteistön liityntätehon mitoituksen yhteydessä oletetun sähkökuorman mukaan, mutta tässä osiossa kuitenkin varmistetaan, että sulakkeet valittiin oikein perustein. Samalla pystyttiin määrittämään kohteen pääjakelussa käytettävien kaapeleiden suurimmat mahdolliset jatkuvan käytön sallimat virta-arvot. Taulukossa 7 esitetään gG-sulakkeiden toimintarajavirrat standardin SFS-EN 269-2-1 mukaan.

TAULUKKO 7. gG-sulakkeiden toimintaominaisuudet

Nimellisvirta	Alempi toimintarajavirta	Ylempi toimintarajavirta	Aika
$I_n \leq 4 A$	$1,5 \times I_n$	$2,1 \times I_n$	1h
$4A < I_n < 16A$	$1,5 \times I_n$	$1,9 \times I_n$	1h
$16A < I_n < 63A$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	1h
$63A < I_n < 160A$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	2h
$160A < I_n < 400A$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	3h
$400A < I_n$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	4h

6.2 Ylikuormitussuojaus gG-tyypin sulakkeilla

Jos ylikuormitussuojaus toteutettaisiin muulla tavoin kuin sulakkeilla, on standardissa SFS 6000 määritetty johdinta suojaaville ylikuormitussuojalaitteille kaavoissa 10 ja 11 esitetyt ehdot [Sähköasennukset 1, s147].

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (10)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (11)$$

missä,

I_b = virtapiirin mitoitusvirta

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

I_2 = virta joka varmistaa suojalaitteen toiminnan

Ylikuormitussuojaus sulakkeilla määräytyy kaavan 12 mukaisesti. Tämä johtuu siitä, että sulakkeiden virta jolla sulake varmasti toimii tunnin sisällä on suurempi kuin $1,45 \times I_n$ [Sähköasennukset 1, s 152].

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_z \quad (12)$$

missä,

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus

k = sulakkeen ylemmän sulamisrajan ja sulakkeen nimellisvirran suhde

Suojalaitteen nimellisvirran I_n sekä sulakkeiden ylemmän sulamisrajan ja sulakkeen nimellisvirran suhteen k ollessa selvillä, täytyi seuraavaksi määritellä johtimien jatkuvan kuormituksen virta-arvo I_z . Jatkuvan kuormituksen virta-arvo on käytännössä johtimen kuormitettavuus kerrottuna asennusympäristöstä määräytyvillä kertoimilla. Virta-arvot laskuihin otettiin taulukosta TAULUKKO 52.1. D1-2012, s217, kertoimina käytettiin samoja arvoja kuin kaapeleiden mitoituksessa. Laskut ja tulokset esitetty kaavassa 13.

$$RK\ 4.1 - 4.2 \rightarrow I_z = 43A \times 0,79 = 34\ A \quad (13)$$

$$RK\ 1 - 3 \rightarrow I_z = 62A \times 0,79 = 49\ A$$

$$PK \rightarrow I_z = 220A \times 0,90 = 205\ A$$

Todellisten jatkuvan kuormituksen virta-arvojen ollessa selvillä jälkeen voitiin kaava 12 johtaa seuraavaan muotoon sulakkeiden nimellisvirran selvittämiseksi:

$$\text{Kaavasta 12 johdettu muoto} \rightarrow I_n \leq \frac{1,45}{1,6} \times I_z \quad (14)$$

$$\text{Toimistokeskukset} \rightarrow I_n \leq 31 \text{ A}$$

$$\text{Ryhmäkeskukset} \rightarrow I_n \leq 44 \text{ A}$$

$$\text{Pääkeskus} \rightarrow I_n \leq 186 \text{ A}$$

Nämä tulokset varmistavat, että kiinteistön pääjakeluun valitut sulakkeet ovat valittu kaapeleiden sallimissa rajoissa. Kaapeleiden suurimmat mahdolliset virta-arvot jatkuvaan kuormitukseen ovat nähtävissä kaavan 14 tuloksissa.

7 JÄNNITTEEN ALENEMA JA OIKOSULKUSUOJAUS

7.1 Jännitteen alenema

Jännitteen alenemalla tarkoitetaan syöttöpisteen eli pääkeskuksen ja kulutuspuisteen välistä jännite-eroa. Tämä jännite-ero ilmoitetaan yleensä suhteellisena jännitteenalenemana, joka on prosentuaalinen suhde syöttöpisteen ja kulutuspuisteen jännite-erosta. Standardin SFS 6000 mukaan syöttöpisteen jännitteenalenema saisi olla $\pm 10\%$, mutta suositeltavaa olisi, että kulutuspuisteella jännitteenalenema ei ylittäisi 4 % [Sähköasennukset 1, s177-178]. Tavallisissa pienjänniteverkoissa normaaleille sähkölaitteille jännitteen alenema ei saisi ylittää 5%. Valaistukselle on esitetty vastaavana suosituksena 3% [D1-2012 s233]. Seuraavaksi esitetyt kaavat sekä johtimien resistiivisyydet kerättiin lähteestä [Lähde: 5].

3-vaiheisen piirin jännitteenalenema (15)

$$\Delta U = 100 \times \frac{\rho \times P \times s}{A \times U^2}$$

1-vaiheisen piirin jännitteenalenema (16)

$$\Delta U = 200 \times \frac{\rho \times P \times s}{A \times U_V^2}$$

missä,

ΔU = suhteellinen jännitteenalenema prosentteina

ρ = johdinainaineen resistiivisyys

P = kuormituksen teho

s = kaapelin arvioitu pituus

A = kaapelin poikkipinta

U = verkon pääjännite

U_V = vaihejännite

Johtimien resistiivisyydet

Kuparille, kun $t = 15^\circ$

$$\rho_{Cu15} = 0,0175 \Omega mm^2/m$$

Kuparille, kun $t = 70^\circ$

$$\rho_{Cu70} = 0,022 \Omega mm^2/m$$

Alumiinille, kun $t = 15^\circ$

$$\rho_{Al15} = 0,028 \Omega mm^2/m$$

Alumiinille, kun $t = 70^\circ$

$$\rho_{Al70} = 0,035 \Omega mm^2/m$$

Kaavojen 15 ja 16 sekä johtimien resistiivisyyksien avulla voitiin seuraavaksi laskea jännitteenalenemalle arvot. Kaapeleiden pituuden arvioitiin tapauskohtaisesti ja laskut suoritettiin johtimien resistiivisyyden arvolla lämpötilassa $t = 70^\circ$. Tällä varmistuttiin, että kaapelin jännite ei alennu liikaa pahimmissakaan käyttötilanteissa. Seuraavaksi esitetään esimerkit jännitteenaleneman laskuista.

PK – RK3 jännitteenalenema

Tarkasteluun otettiin hallien kauimmainen ryhmäkeskus (RK3) pääkeskukselta katsottaessa. Jännitteenaleneman ollessa suoraan verrannollinen kaapelin pituuteen voidaan olettaa, että ryhmäkeskuksien 1 ja 2 alenemat eivät ylitä ryhmäkeskuksen 3 arvoa. Pääkeskuksen ja ryhmäkeskuksen 3 välisen syöttökaapelin mitaksi arvioitiin 50 m. Jännitteenaleneman esimerkkilasku esitetty kaavassa 17.

$$\Delta U = 100 \times \frac{0,035 \text{ mm}^2/\text{m} \times (30,375 \text{ kW} \times 0,6) \times 0,05 \text{ km}}{16 \text{ mm}^2 \times (0,4 \text{ kV})^2} \quad (17)$$

$$\Delta U = 1,25 \%$$

PK – RK4.2 jännitteenalenema

Tässäkin kohtaa tarkasteluun otettiin kauempana oleva toimistokeskus, jonka arvioitu etäisyys pääkeskukselta on 50 m. Jännitteenaleneman esimerkkilasku esitetty kaavassa 18.

$$\Delta U = 100 \times \frac{0,022 \text{ mm}^2/\text{m} \times (14,33 \text{ kW} \times 0,7) \times 0,05 \text{ km}}{6 \text{ mm}^2 \times (0,4 \text{ kV})^2} \quad (18)$$

$$\Delta U = 1,15 \%$$

RK 3 - kulutuspiiste jännitteenalenema

Kulutuspiisteiden kaapeleina oletetaan käytettävän 1.5 mm^2 ja 2.5 mm^2 kuparijohtimilla varustettuja kaapeleita. Kulutuspiisteiden esimerkkitarkasteluun otettiin valaistus ja pistorasiaryhmä. Valaistuksen maksimiteho yhdeksällä valaisimella (halli 3) on noin 500 W ja valaistusryhmän arvioitu enimmäispituus 70 m. Pistorasiaryhmä esimerkki on laskettu 2000 W kuormalla ja arvioituna enimmäispituutena on 50 m. Jännitteenaleneman laskut esitetty kaavassa 19 ja 20.

Valaistusryhmä (19)

$$\Delta U = 200 \times \frac{0,022 \text{ mm}^2/\text{m} \times 0,5 \text{ kW} \times 0,07 \text{ km}}{1,5 \text{ mm}^2 \times (0,23 \text{ kV})^2}$$

$$\Delta U = 1,9 \%$$

Pistorasiaryhmä (20)

$$\Delta U = 200 \times \frac{0,022 \text{ mm}^2/\text{m} \times 2 \text{ kW} \times 0,05 \text{ km}}{2,5 \text{ mm}^2 \times (0,23 \text{ kV})^2}$$

$$\Delta U = 4,9 \%$$

Valaistusryhmän esimerkin perusteella voimme varmuudella todeta, että valaistuksessa ei tule tapahtumaan merkittävää jännitehäviötä. Pistorasiaryhmän esimerkistä saatu tulos sen sijaan ylittää suosituksena olevan 4% rajan. Tästä syystä pistorasiaryhmien kaapeleiden pituudeksi ei suositella yli 50 m.

7.2 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojuksella tässä tapauksessa tarkoitetaan syötön automaattista poiskytkentää sulakkeen tai johdonsuojakatkaisijan avulla. Standardin SFS 6000 mukaan poiskytkennän täytyy tapahtua normaaleissa ryhmäjohdoissa 0,4 sekunnissa. Pääsyötön ja keskuksien välisille nousujohtimille riittää, että poiskytkentä tapahtuu alle viidessä sekunnissa [D1-2012, s138] Kuvista 2 ja 3 voidaan nähdä oikosulkusuojauslaitteiden toimintavirratt, ja taulukosta 8 voidaan nähdä tarkasteltavien kaapelien pituudet ja impedanssit. Kaapelien impedanssit koottu lähteestä [Lähde: 6].

Pienimmät toimintavirratt gG-sulakkeille ja vaadittu mitattu arvot				
Nimellisvirta A	gG-sulake 0,4 s A	Vaadittu mitattu arvo A	gG-sulake 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80	840	1050	425	531,3
100	1000	1250	580	725
125	1450	1812,5	715	893,8
160	1600	2000	950	1187,5

KUVA 2. Pienimmät toimintavirratt gG-sulakkeille ja vaadittu mitattu arvot

Nimellisvirta A	B-tyyppi, 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	C-tyyppi, 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1000
125	625	781,3	1250	1562,5

KUVA 3. Pienimmät toimintavirratt johdonsuojakatkaisijoille ja vaadittu mitattu arvot

TAULUKKO 8. Tarkasteltavien kaapeleiden pituudet ja impedanssit, kun $t = 80^\circ$

Keskus	Sulake (A)	Pituus (m)	Impedanssi (Ω /km)
RK1	32	20	2,236
RK2	32	35	2,236
RK3	32	50	2,236
RK4.1	20	40	3,66
RK4.2	20	50	3,66

7.2.1 Ryhmäkeskukset

Ryhmäkeskusten oikosulkusuojauksen laskuissa käytettiin kaavaa 21 [Lähde: 8].

$$I_{kRK} = \frac{c \times U}{Z_{vRK} \times \sqrt{3}} \quad (21)$$

missä,

I_{kRK} = oikosulkuvirta ryhmäkeskuksella

c = kerroin joka huomio jännitteenaleneman käytetty arvo 0,95

U = verkon pääjännite

Z_{vRK} = oikosulkuvirtapiirin impedanssi

Esimerkkinä laskuissa käytettiin ryhmäkeskusta 1. Ryhmäkeskusten oikosulkuvirtaa laskettaessa täytyi ottaa huomioon myös pääkeskuksen impedanssi, joka saatiin laskettua kaavalla 22 [Lähde: 8].

$$Z_{PK} = \frac{c \times U}{I_{kPK} \times \sqrt{3}} = \frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{950 \text{ A} \times \sqrt{3}} = 0,2309 \ \Omega \quad (22)$$

$$I_{kPK} = 950 \text{ A (Kuva 1, 160A sulake)}$$

Seuraavaksi laskettiin nousukaapelin impedanssi sekä ryhmäkeskuksen 1 oikosulkuvirta (kaavat 23-25) [Lähde: 8].

$$Z_{kaapeli} = 2 \times 2,236 \ \Omega/\text{km} \times 0,02 \text{ km} = 0,0894 \ \Omega \quad (23)$$

$$Z_{RK1} = Z_{PK} + Z_{kaapeli} = 0,2309 \ \Omega + 0,0894 \ \Omega = 0,3203 \ \Omega \quad (24)$$

$$I_{kRK1} = \frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{Z_{RK1} \times \sqrt{3}} = 685 \text{ A} \quad (25)$$

Ryhmäkeskuksen 1 oikosulkuvirraksi saatiin siis 685 A, joka on suurempi kuin 35 A sulakkeen toimintarajavirta 160 A. Voidaan siis todeta, että oikosulkusuojaus kohteessa toimii. Muiden ryhmäkeskusten laskut suoritettiin samalla tavalla kuin edellä laskettu esimerkki, tulokset voidaan nähdä taulukosta 9.

TAULUKKO 9. Ryhmäkeskusten oikosulkuvirrat

Keskus	Sulake (A)	Min toimintavirta (A)	Laskettu oikosulkuvirta (A)
RK1	35	150	685
RK2	35	150	559
RK3	35	150	483
RK4.1	20	85	419
RK4.2	20	85	368

Taulukon 9 tuloksista voimme päätellä, että ryhmäkeskusten osalta oikosulkusuojaus toimii varmasti.

7.2.2 Ryhmäjohtot

Ryhmäjohtoisissa ei voida menetellä samalla tavoin kuin ryhmäkeskusten oikosulkuvirtojen laskuissa. Ryhmäjohtoista määritellään sen sijaan enimmäispituudet, jotka tietyt johdonsuojakatkaisijat sallivat (kaava 26.0). Kaavan 26 lisäksi tarvittiin myös kaava, jolla voitiin määrittää impedanssin arvo ennen suojalaitetta (Z_v). Laskuissa käytettiin B- ja C-luokan johdonsuojakatkaisijoita, joiden toimintavirrat on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. B- ja C-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden toimintavirrat.

Sulake	Toimintavirta (A)
B10	50
B16	80
C10	100
C16	160

Ryhmäjohtoon enimmäispituus [Lähde: 8]

(26.0)

$$l = \frac{c \times U}{I_k \times \sqrt{3}} - Z_v$$

missä,

c = kerroin joka huomio jännitteenaleman käytetty arvo 0,95

U = verkon pääjännite

Z_v = impedanssi ennen suojalaitetta

I_k = johdonsuojakatkaisijan toimintavirta

z = ryhmäjohtimen impedanssi

Impedanssi ennen suojalaitetta [Lähde: 8]

$$Z_v = Z_{PK} + Z_{RKkaapeli} \quad (27.0)$$

Seuraavaksi laskettiin esimerkkinä ryhmäkeskuksen 2 ryhmäjohtojen maksimipituudet kaavoissa 26.1-26.4 ja 27.1.

$$Z_{vRK2} = 0,0239 \Omega + 0,0894 \Omega = 0,3874 \Omega \quad (27.1)$$

$$B10 \rightarrow l = \frac{\frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{50 \text{ A} \times \sqrt{3}} - 0,3874 \Omega}{2 \times 14,620 \Omega/\text{km}} = 136,8 \text{ m} \quad (26.1)$$

$$B16 \rightarrow l = \frac{\frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{80 \text{ A} \times \sqrt{3}} - 0,3874 \Omega}{2 \times 8,77 \Omega/\text{km}} = 134,3 \text{ m} \quad (26.2)$$

$$C10 \rightarrow l = \frac{\frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{100 \text{ A} \times \sqrt{3}} - 0,3874 \Omega}{2 \times 14,620 \Omega/\text{km}} = 61,78 \text{ m} \quad (26.3)$$

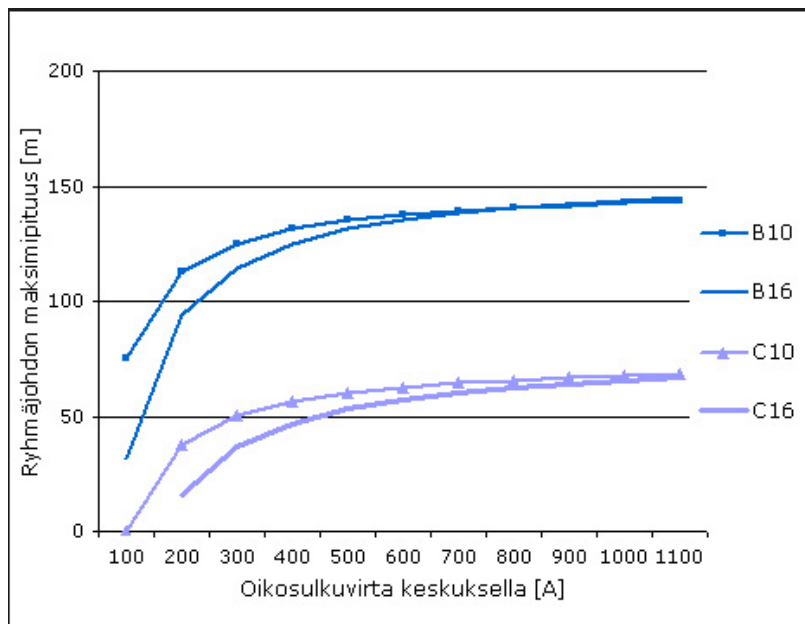
$$C16 \rightarrow l = \frac{\frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{160 \text{ A} \times \sqrt{3}} - 0,3874 \Omega}{2 \times 8,77 \Omega/\text{km}} = 56,09 \text{ m} \quad (26.4)$$

Samalla tavoin laskettiin muiden ryhmäkeskusten johdonsuojakatkaisijoiden sallimat enimmäispituudet ryhmäjohtoille. Seuraavan sivun taulukossa (TAULUKKO 11) on esitetty laskuista saadut tulokset.

TAULUKKO 11. Ryhmäkeskuksien ryhmäjohtojen enimmäispituudet.

	B10	B16	C10	C16
U (V)	400	400	400	400
c	0,95	0,95	0,95	0,95
I_k (A)	50	80	100	160
z (Ω /km)	14,62	8,77	14,62	8,77
Z_{vRK1} (Ω)	0,3203	0,3203	0,3203	0,3203
l_{RK1} (m)	139	138	64	60
Z_{vRK2} (Ω)	0,3874	0,3874	0,3874	0,3874
l_{RK2} (m)	137	134	62	56
Z_{vRK3} (Ω)	0,4545	0,4545	0,4545	0,4545
l_{RK3} (m)	135	130	59	52
$Z_{vRK4.1}$ (Ω)	0,5237	0,5237	0,5237	0,5237
$l_{RK4.1}$ (m)	132	127	57	48
$Z_{vRK4.2}$ (Ω)	0,5969	0,5969	0,5969	0,5969
$l_{RK4.2}$ (m)	130	122	55	44

Taulukon 11 tuloksista voidaan todeta, että B-tyypin johdonsuojakatkaisijat sallivat huomattavasti pidempien ryhmäjohtojen käyttämisen. Tästä syystä kohteeseen suositellaan ainakin hallien osalta B-tyyppisiä johdonsuojakatkaisijoita. Toimistotiloissa, joissa arvioidut ryhmäjohtojen pituudet ei ylitä 40 metriä, voidaan toteuttaa B- tai C-tyypin katkaisijoilla. Kuvasta 4 voidaan nähdä ryhmäkeskuksen oikosulkuvirran vaikutus B- ja C-tyypin johdonsuojakatkaisijoihin liitettäviin ryhmäjohtojen pituuteen.



KUVAN 4. Oikosulkuvirran vaikutus ryhmäjohtojen pituuteen [Lähde: 9]

8 VALAISTUS

8.1 Hallien valaistus

Tässäkin osiossa suunnittelun haasteena oli rajallinen tieto kohteen käyttötarkoituksesta. Tästä syystä lähtökohdaksi oli otettava tilanne, jossa vuokralaiset tulevat suorittamaan jonkin asteista jatkuvaa työtä halleissa. Sisävalaistus standardin SFS-EN 12464-1-2011 mukaan varastotiloissa joissa työskennellään jatkuvasti, on valaistuksen minimivaatimuksena 200 lx [Lähde: 2]. Yhdessä asiakkaan kanssa valaistus päätettiin toteuttaa DAMP PROOF LED 1500 -valaisimilla. Käytettävien valaisimien tekniset tiedot olivat suuri etu suunnitteluvaiheessa. LED-valaisimet ovat nykypäivänä jo niin pitkälle kehittyneitä, että niiden valoteho, virrankulutus sekä käyttöikä ovat paljon normaaleja valaisimia paremmat. Valaisimien tekniset tiedot esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Hallien valaisimien tekniset tiedot

DAMP PROOF LED 1500 55W 4000K		
Nimellisteho	P_N	55 W
Nimellisjännite	U_N	220...240 V
Taajuus	f	50/60 Hz
Väriämpötila	-	4000 K
Valovirta	∅	6400 lm
Valoväri	-	viileä valkoinen (cool white)
Värintoistoindeksi	R_a	>80
valosäteen kulma	-	180°
Pituus	l	1500 mm
Leveys	w	95 mm
Korkeus	h	78 mm
IP-luokitus	-	IP65
Luvattu käyttöikä	-	50 000h

Valaisimien lukumäärän suunnittelussa oli hallit helpointa jakaa 6×12 m kokoisiin lohkoihin. Täten yhden kokonaisen lohkon pinta-ala on kaavasta 28 saatu tulos. [Tekniikan kaavasto, s17]

$$A_{lohko} = l \times w = 6 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 72 \text{ m}^2 \quad (28)$$

missä,
 l = lohkon pituus
 w = lohkon leveys

Sijoittamalla kaavaan 29 lohkon pinta-ala sekä tavoiteltu valovoimakkuus voitiin laskea teoreettinen arvo tarvittavalle valovirrälle. [Lähde: 3].

$$\Phi_{lohko} = E_{lohko} \times A_{lohko} = 200 \text{ lx} \times 72 \text{ m}^2 = 14\,400 \text{ lm} \quad (29)$$

missä,
 Φ_{lohko} = tarvittava valovirta lohkossa (lm)
 E_{lohko} = valaistusvoimakkuus lohkossa (lx)
 A_{lohko} = yhden lohkon pinta-ala (m^2)

Kun tiedossa oli yhden 72 m^2 kokoisen lohkon valovirran tarve, voitiin seuraavaksi selvittää tarvittavien valaisimien lukumäärä lohkoa kohden kaavalla 30.

$$Valaisin_{lkm} = \frac{\Phi_{lohko}}{\Phi_{valaisin}} = \frac{14\,400 \text{ lm}}{6\,400 \text{ lm}} = 2.25 \quad (30)$$

missä,
 Φ_{lohko} = yhden lohkon tarvitsema valovirta
 $\Phi_{valaisin}$ = yhden valaisimen tuottama valovirta

Laskuista saatu tulos oli siis 2,25 lamppua yhtä 72 m^2 kokoista lohkoa kohden, jotta valotehon vähimmäismäärä saavutettaisiin. Yhdessä asiakkaan kanssa sovittiin, että jokaista kokonaista lohkoa kohti asennettaisiin 3kpl kyseisiä valaisimia. Täten varmistutaan siitä, että valotehon määrä ylittää standardissa mainitun minimirajan 200 lx. Hallien 1 ja 2 rajapinnat koostuvat kolmion muotoisista lohkoista, jotka ovat selvästi pinta-alaltaan pienempiä kokonaisiin lohkoihin verrattuna. Nämä lohkot suunniteltiin toteutettavaksi kahdella valaisimella. Seuraavaksi kaavoilla 31.0-31.2 laskettiin teoreettiset valaistusvoimakkuudet halleihin.

Hallien 1, 2 ja 3 teoreettiset valaistusvoimakkuudet Ledvance Damp Proof valaisimilla [Lähde: 3].

$$E_{halli\ 1} = \frac{\Phi_{valaisin} \times n}{A_{halli\ 1}} = \frac{6400\ \text{lm} \times 8}{172,5\ \text{m}^2} = 296,8\ \text{lx} \quad (31.0)$$

$$E_{halli\ 2} = \frac{\Phi_{valaisin} \times n}{A_{halli\ 2}} = \frac{6400\ \text{lm} \times 5}{130,5\ \text{m}^2} = 242,5\ \text{lx} \quad (31.1)$$

$$E_{halli\ 3} = \frac{\Phi_{valaisin} \times n}{A_{halli\ 3}} = \frac{6400\ \text{lm} \times 9}{227\ \text{m}^2} = 253,7\ \text{lx} \quad (31.2)$$

missä,

$\Phi_{valaisin}$ = yhden valaisimen tuottama valovirta (lm)

E_{halli} = valaistusvoimakkuus hallia kohden (lx)

A_{halli} = yhden hallin pinta-ala (m^2)

Tuloksia tarkasteltaessa voitiin todeta, että jokaisen hallin valovoimakkuuden määrä ylittää standardissa mainitun vähimmäismäärän.

8.2 Toimistojen valaistus

Toimistotilojen ohjeellinen valaistusarvo on 500 lx [Lähde: 2]. Asiakkaan kanssa neuvoteltaessa sovittiin, että alakerran toimistossa yritetään päästä kattovalaistuksella mahdollisimman lähelle 500 lx raja-arvoa. Toimistoissa sovittiin myös käytettävän samoja valaisimia kuin halleissa. Kaavassa 32 lasketaan alakerran toimiston valaistusvoimakkuuden arvo [Lähde: 3].

$$E_{TSTA} = \frac{\Phi_{valaisin} \times n}{A_{alakerta}} = \frac{6400\ \text{lm} \times 4}{57\ \text{m}^2} = 449\ \text{lx} \quad (32)$$

missä,

$\Phi_{valaisin}$ = yhden valaisimen tuottama valovirta (lm)

n = valaisimien lukumäärä

E_{TSTA} = valaistusvoimakkuus alakerran toimistossa (lx)

$A_{alakerta}$ = alakerran toimiston pinta-ala (m^2)

Alakerran toimistoon sijoittamalla 4kpl kyseisiä valaisimia päästiin 449 lx valaistusvoimakkuuteen. Tämä on varsin riittävä arvo kattovalaistukselta, sillä toimiston päädynpuoleinen seinä on lasia, joka sallii luonnonvalon sisäänpääsyn. Lisäksi työtasovalaisimilla voidaan korjata mahdollisia puutteita valaistuksessa.

Yläkerran toimistoon asiakas ei halunnut enempää kuin kaksi valaisinta. Kaavassa 33 lasketaan yläkerran toimiston valovoimakkuuden arvo [Lähde: 3].

$$E_{TSTY} = \frac{\Phi_{valaisin} \times n}{A_{yläkerta}} = \frac{6400 \text{ lm} \times 2}{57 \text{ m}^2} = 225 \text{ lx} \quad (33)$$

missä,

$\Phi_{valaisin}$ = yhden valaisimen tuottama valovirta (lm)

n = valaisimien lukumäärä

E_{TSTA} = valaistusvoimakkuus yläkerran toimistossa (lx)

$A_{alakerta}$ = yläkerran toimiston pinta-ala (m²)

Yläkerran valaistusvoimakkuuden teoreettinen arvo jää 225 lx:iin.

8.3 Ulkovalaistus

Ulkovalaistus suunniteltiin toteutettavaksi myös LED-valaisimilla. Tarkkaa valaisinmerkkiä ei ole vielä tiedossa, sillä ulkovalaistusasennukset toteutetaan vasta myöhemmin kesällä. Asiakkaan toiveena oli ovikohtaiset kohdevalaisimet sekä yleisvalaistukselle kuvan 3 tapaiset valaisimet. Valaisintyyppin mallikuva otettu lähteestä [Lähde: 7].



KUVA 3. Suunniteltu valaisinmalli ulkovalaistukselle.

Asiakas ei asettanut muita vaatimuksia ulkovalaistukselle. Yleisvalaistuksen toiminta suunniteltiin toimivaksi kahdella eri tapaa, pakko-ohjauksena pääkeskukselta ja hämäräkytkimen avulla. Kohdevalaisimet suunniteltiin toimivaksi lähestymiskytkimellä.

9 MAADOITUS

9.1 Yleistä

Maadoittamisella sähkötekniikassa tarkoitetaan maan potentiaaliin kytkemistä, jolla suojaudutaan sähköiskuilta sekä häiriöiltä [Lähde: 1]. Maadoituksen peruseriaatteena on toimia syöttöjännitteen automaattisena poiskytkijänä vikatilanteessa. Vikatilanteessa sähkölaitteen runkoon ohjautuu jännite. Sähkölaitteen rungon ollessa asianmukaisesti maadoitettuna jännite ohjautuu PE-johtimien kautta PEN-pisteeseen, joka aiheuttaa suuren virran vaihejohtimen ja maadoitusjohtimen välille. Tämä aiheuttaa sulakkeen tai johdonsuojakatkaisijan laukeamisen ja sitä kautta jännitteen katkeamisen. On sanomattakin selvää, että maadoituksella erittäin tärkeä rooli sähkösuunnittelussa ja toteutuksessa, sillä pienetkin puutteet maadoitusjärjestelmässä voivat aiheuttaa vaaraa ihmisille sekä laitteille.

9.2 Maadoituselektrodi

Kiinteistön maadoitus suunniteltiin toteutettavan käyttäen perusmaadoituselektrodia. Perusmaadoituselektrodi on renkaanmuotoinen sähköä johtava osa, joka on upotettu maahan tai rakennuksen betoniperustuksiin. Standardi SFS 6000 määrittelee, että tätä tapaa on käytettävä ensisijaisesti. Lisäksi standardissa mainitaan maadoituselektrodin minimipoikkipinnaksi kuparille 16 mm^2 , tai vaihtoehtoisesti kuumasinkitylle raudalle ja ruostumattomalle teräkselle 90 mm^2 [Sähköasennukset 1, s129]. Näillä perusteilla kiinteistön maadoitukseksi suunniteltiin 16 mm^2 kuparikaapeli kulkevaksi hallin teknisestä tilasta ulos, tehden n. 50 m pituisen lenkin ja tullen takaisin teknisen tilan päämaadoituskiskoon.

9.3 Potentiaalintasaus

Kaikkiin rakennuksiin on suunniteltava pääpotentiaalintasaus. Pääpotentiaalintasaus on käytännössä erillinen maadoituspiste, joka on yleensä sijoitettuna pääkeskuksen yhteyteen. Pääpotentiaalintasaukseen on liitettävä rakennuksen syötön mukana kulkeutuva suojajohdin, maadoituselektrodi sekä kaikki metalliset putket ja rakenneosat, joihin sähkö voi johtua [Sähköasennukset 1, s122]. Kohteen pääpotentiaalintasaus suunniteltiin alkavan rakennuksen teknisestä tilasta. Jokaiseen halliin suunniteltiin omat maadoituskiskot, johon pääpotentiaalintasaus yhdistettäisiin. Lisäpotentiaalintasauksena jokaisen hallin maadoituskisko suunniteltiin yhdistettävän hallien omaan betoniraidoitukseen. Tämä takaa varmasti riittävän maadoituksen sekä potentiaalintasauksen. Liitteessä 7 on esitetty kohteen maadoitussuunnitelma.

10 POHDINTA

Työssä tehdyt suunnitelmat on suoritettu asiakkaan toivomalla laajuudella ja noudattaen voimassa olevia säädöksiä. Suunnitelmat onnistuivat mielestäni oikein hyvin ja niiden perusteella kohde on todennäköisesti valmistumassa kesän 2017 aikana.

Työssä isoimmaksi haasteeksi osoittautui se, että hallien käyttötarkoituksesta ei ollut tarkkaa tietoa, joka johti siihen, että suunnittelussa jouduttiin turvautumaan pitkälti omiin ja asiakkaan arvioihin. Työn hankalin osuus oli mielestäni sähköliityntätehon mitoitus. Harmillisesti mitoituksen onnistumisesta tiedetään vasta, kun halleihin saadaan vuokralaiset ja sähkötehon todellista kulutusta voidaan seurata tarkemmin.

Erityisenä etuna mainittakoon, että sain olla aktiivisesti mukana myös kohteen sähköjen rakennusvaiheessa. Tämä tarjosi minulle henkilökohtaisesti uusia näkökulmia sekä tietoa suunnittelusta, toteutuksesta ja niiden välisistä ongelmista. Työn alkuvaiheessa asetetut tavoitteet täyttyivät myös toivotusti.

11 LÄHTEET

D1-2012, Käsikirja rakennusten sähköasennuksista

Sähköasennukset 1, 2013.

[Lähde: 1]

https://www.stek.fi/Perustietoa_sahkosta/fi_FI/Maadoitus/

[Lähde: 2]

<http://www.euli.fi/fi/sisavalaistusstandardi-sfs-en-12464-1-2011/sisavalaistusstandardi-sfs-en-12464-1-2011>

[Lähde: 3]

<http://www.rapidtables.com/calc/light/lumen-to-lux-calculator.htm>

[Lähde: 5]

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1132057231100/1132058059176/1132059476614/1133272908995.html>

[Lähde: 6]

https://www.google.fi/search?q=kaapelin+impedanssi+taulukko&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjHIJjOptHTAhUjDZoKHcXvAyAQ_AUICigB&biw=1366&bih=700#imgrc=Ymmg9hcK4Ok0fM:

[Lähde: 7]

https://www.google.fi/search?q=ulkovalaisin&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjfspnkqdHTAhXGCCwKHZeNCVUQ_AUICigB&biw=1366&bih=700#imgrc=nLUU9I6Ay8TO5M:

[Lähde: 8]

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1132057231100/1132058035880/1132059450655/1133272783012.html>

[Lähde: 9]

https://www.google.fi/search?q=ryhm%C3%A4johtojen+enimm%C3%A4ispituus&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi0296wverTAhVIBiwKHWEABRwQ_AUICygC&biw=1366&bih=700#imgrc=64M4Mf1Uo9aMMM:

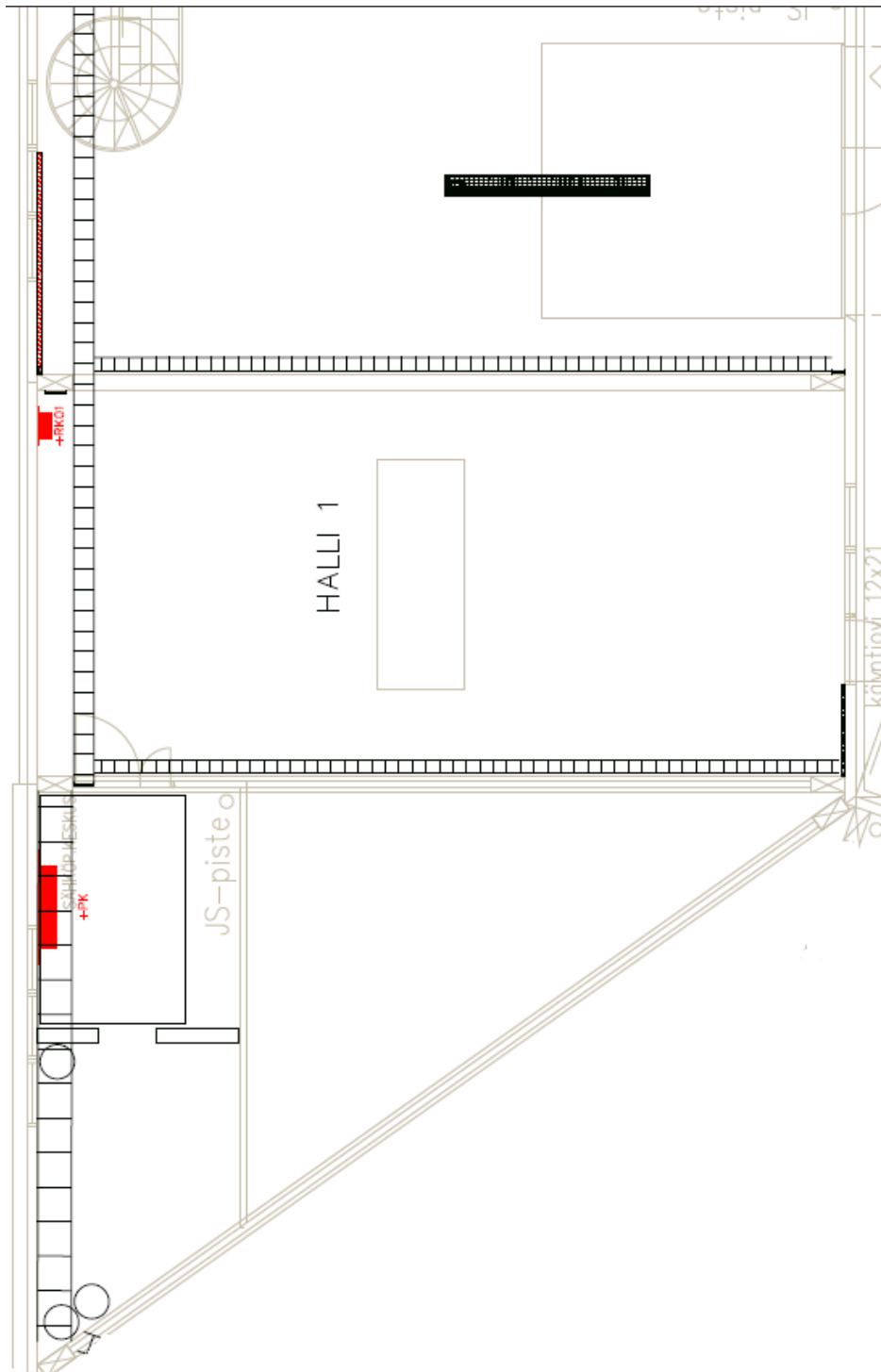
[Lähde: 10]

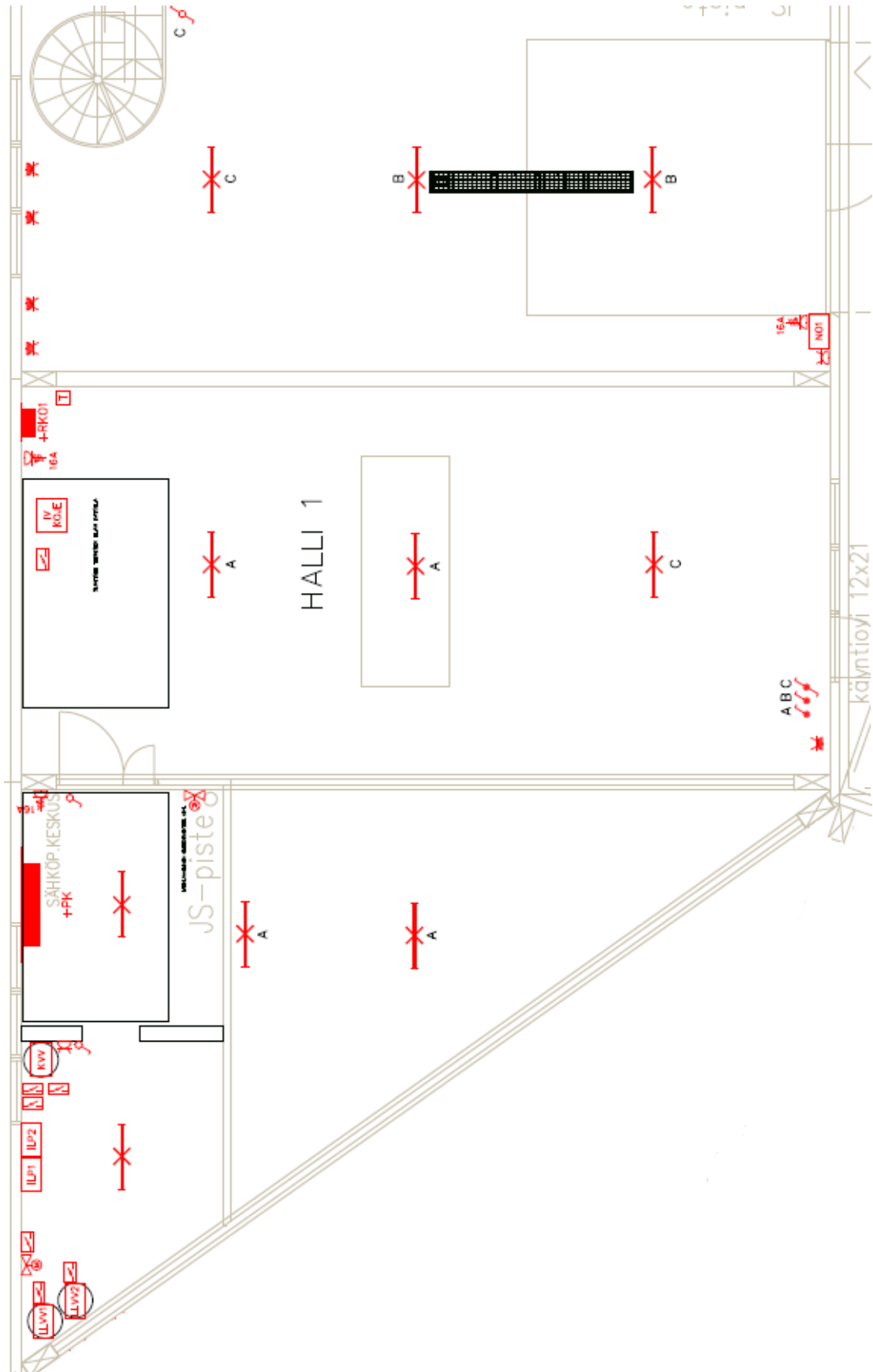
http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/268-sahkoliittymat_tekniset_ohjeet.pdf

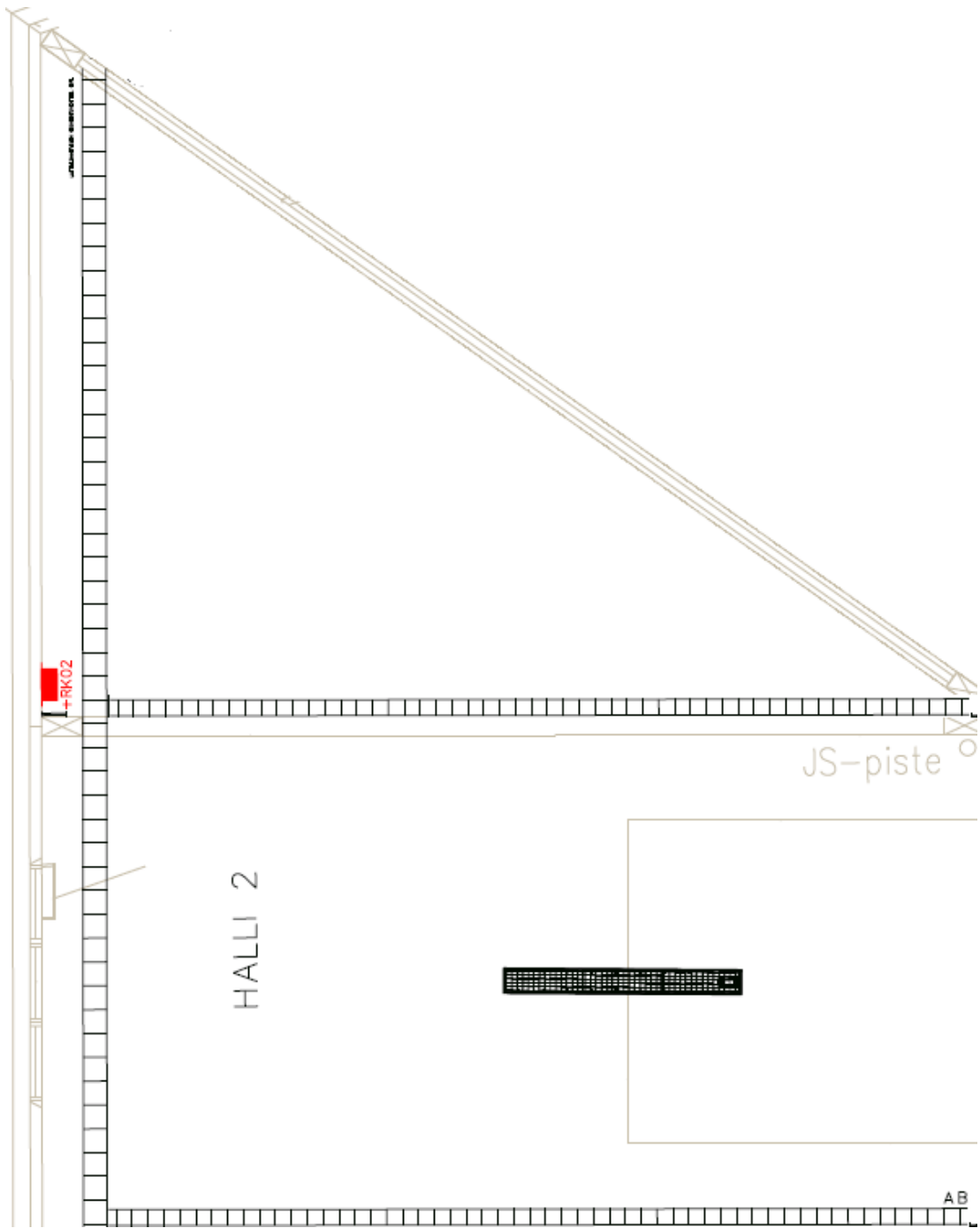
LIITTEET

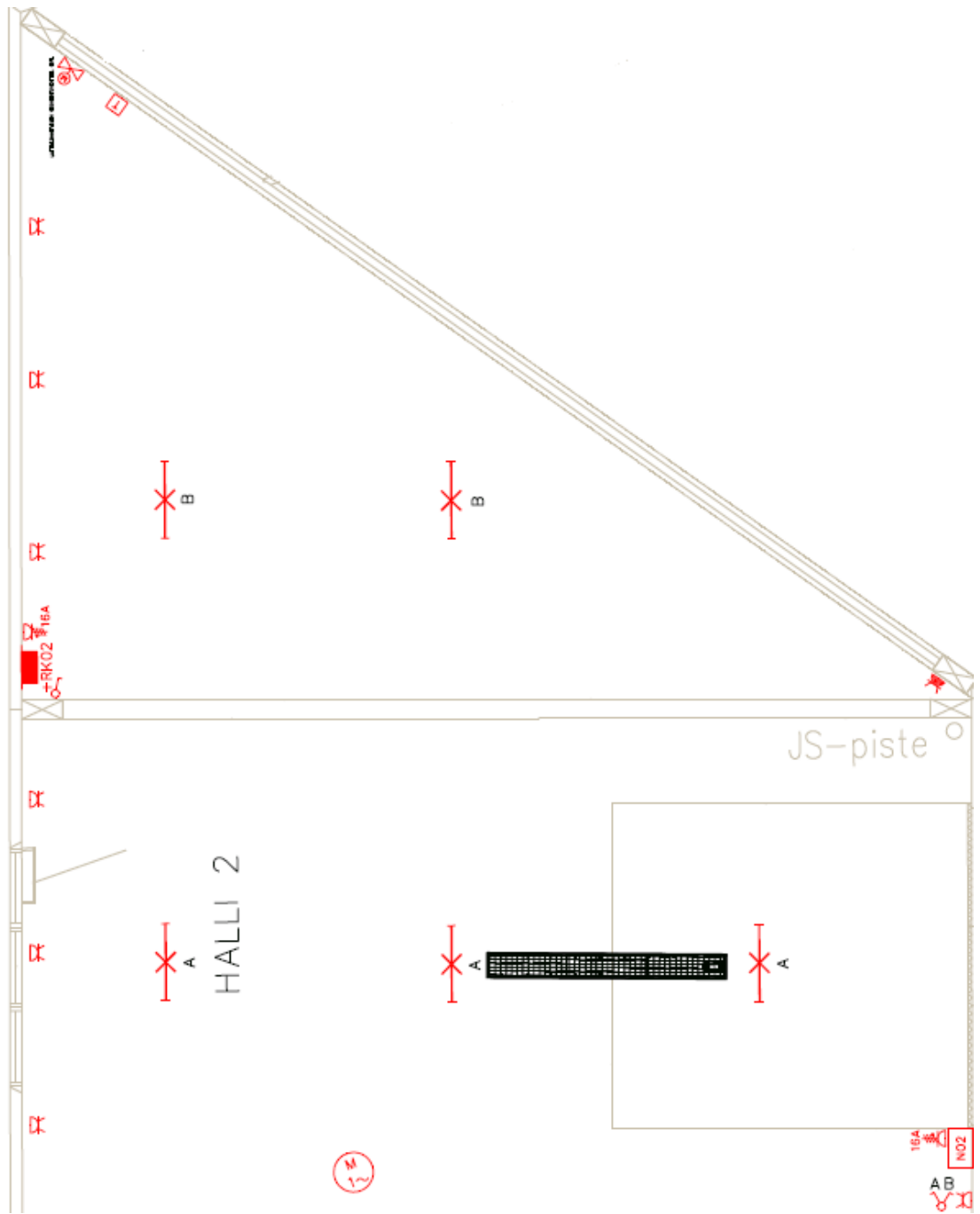
Liite 1. Halli 1: Kaapelireittisuunnitelma

1 (3)



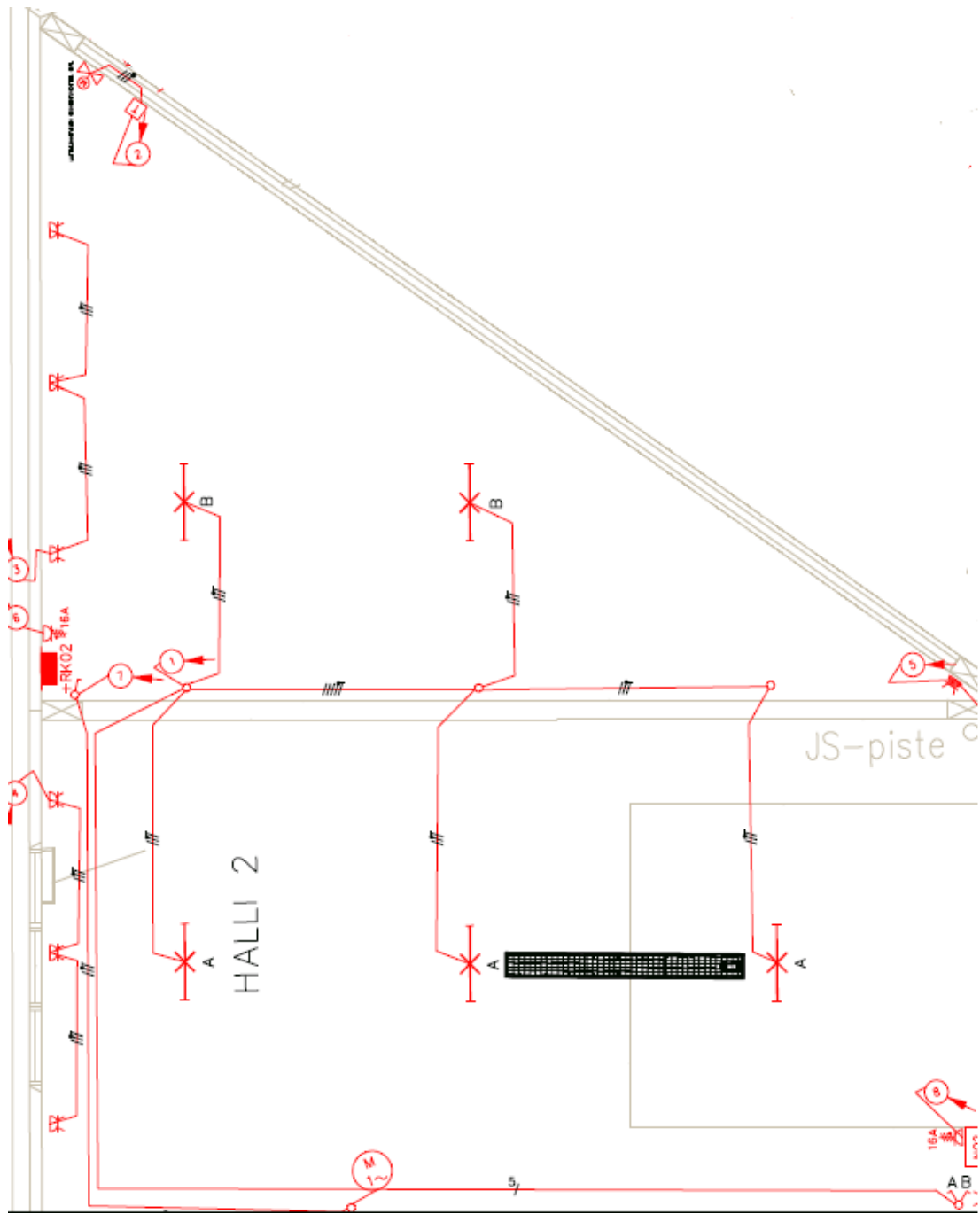


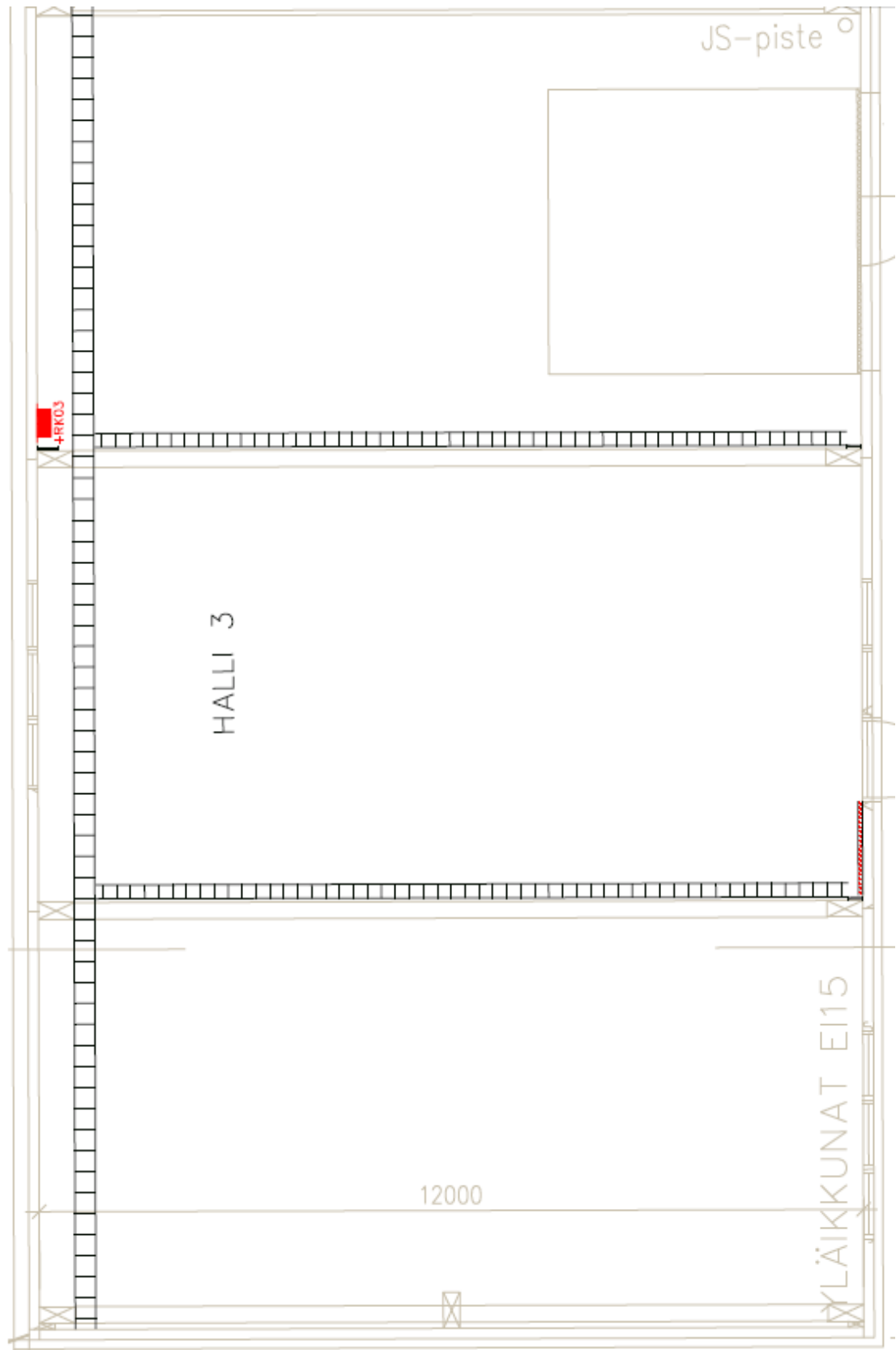


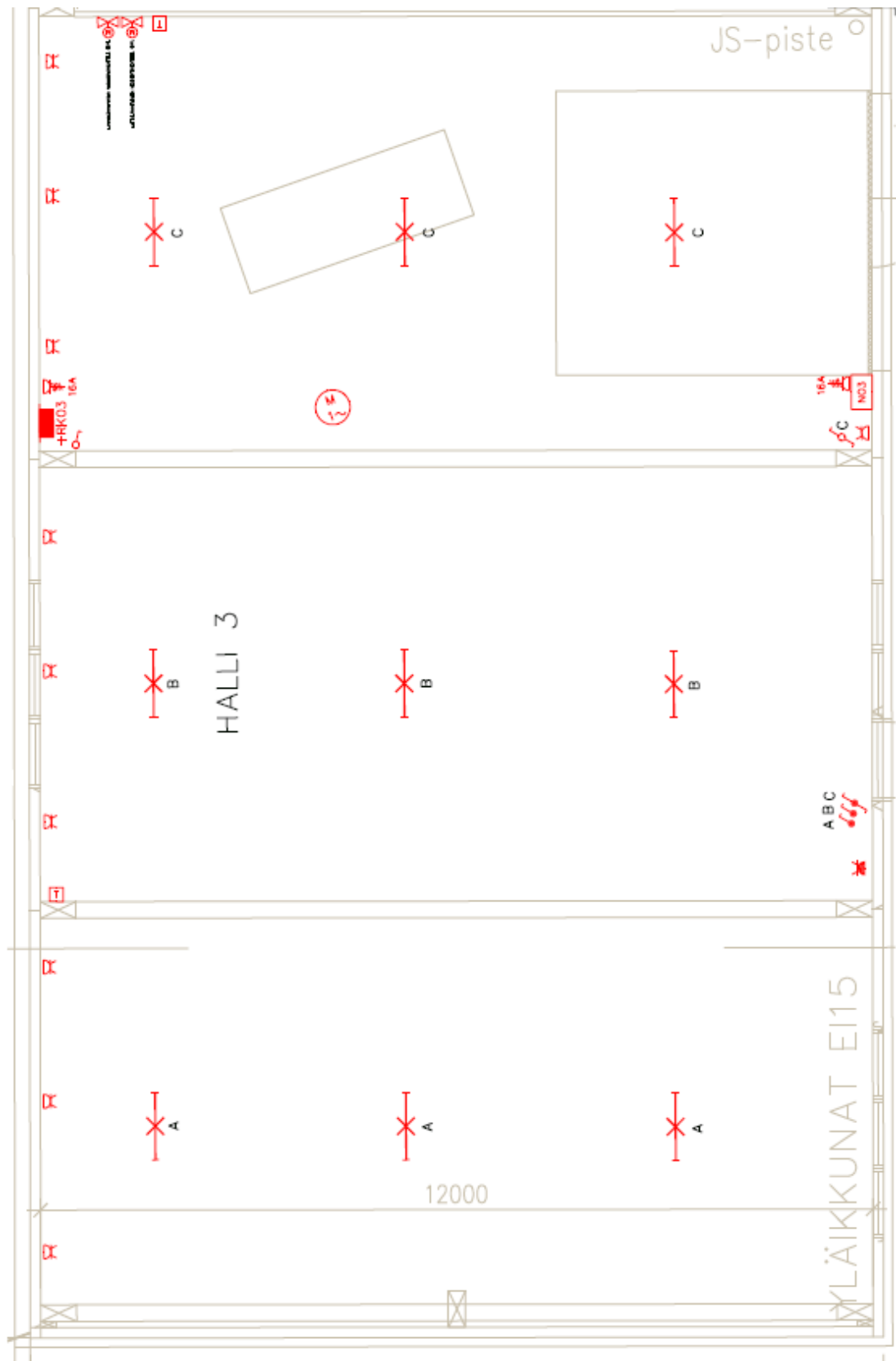


Liite 2. Halli 2: Johdotus- ja ryhmitysuunnitelma

3 (3)

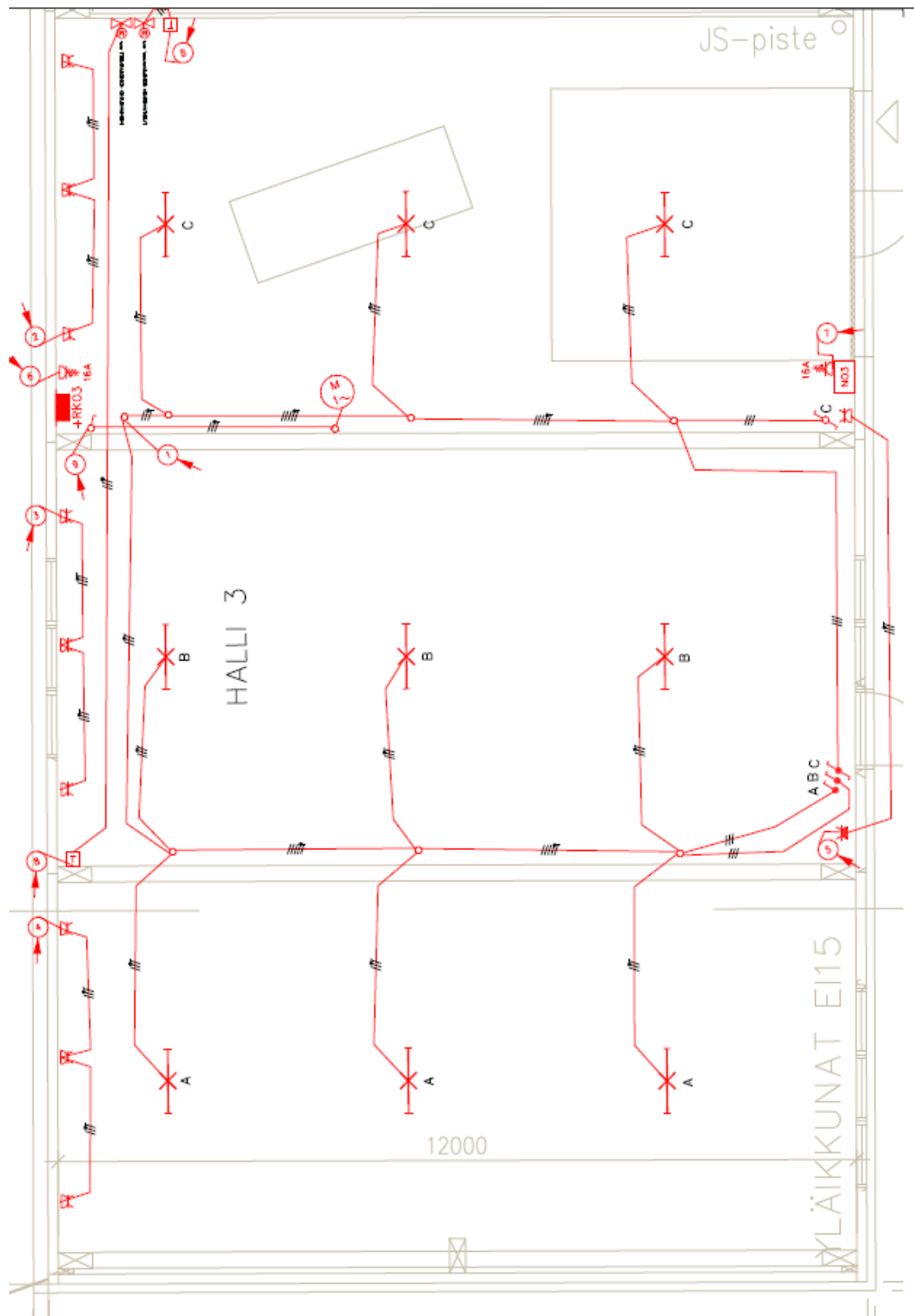






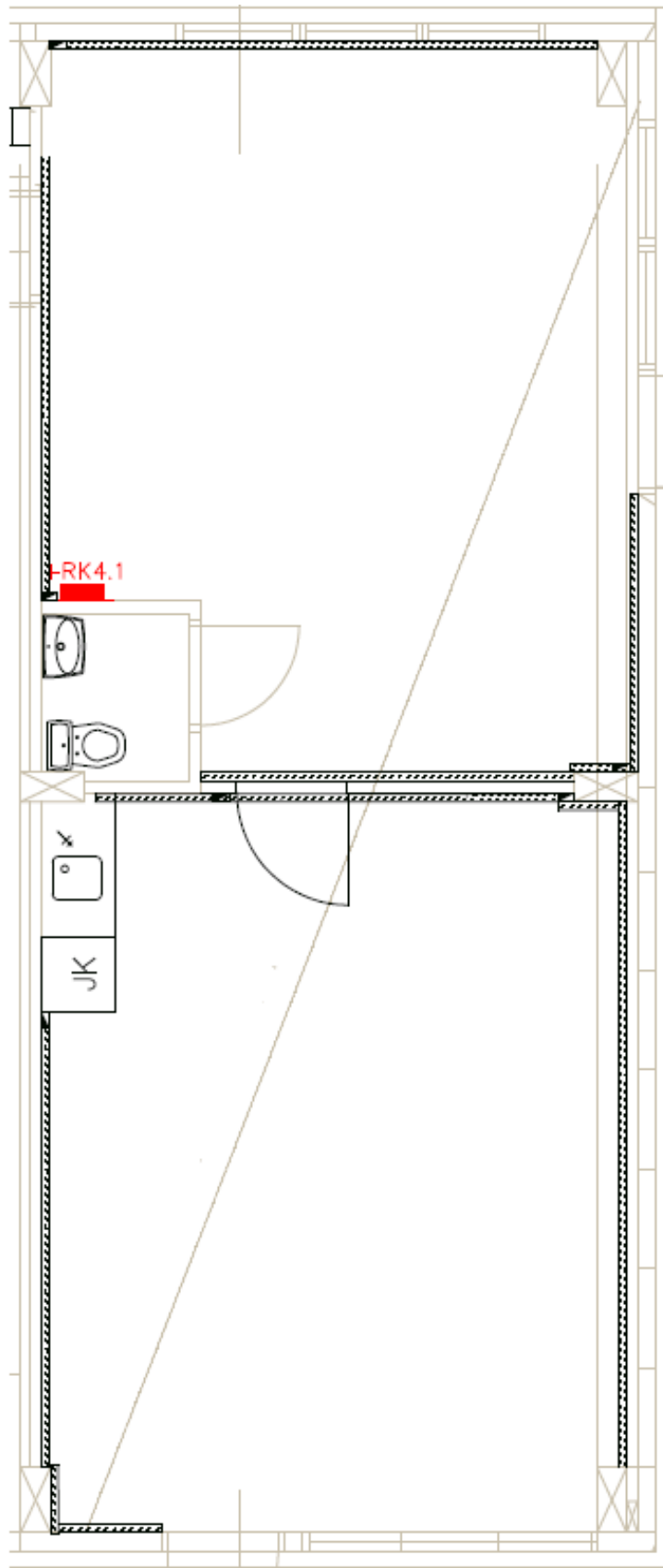
Liite 3. Halli 3: Johotus- ja ryhmitysuunnitelma

3 (3)



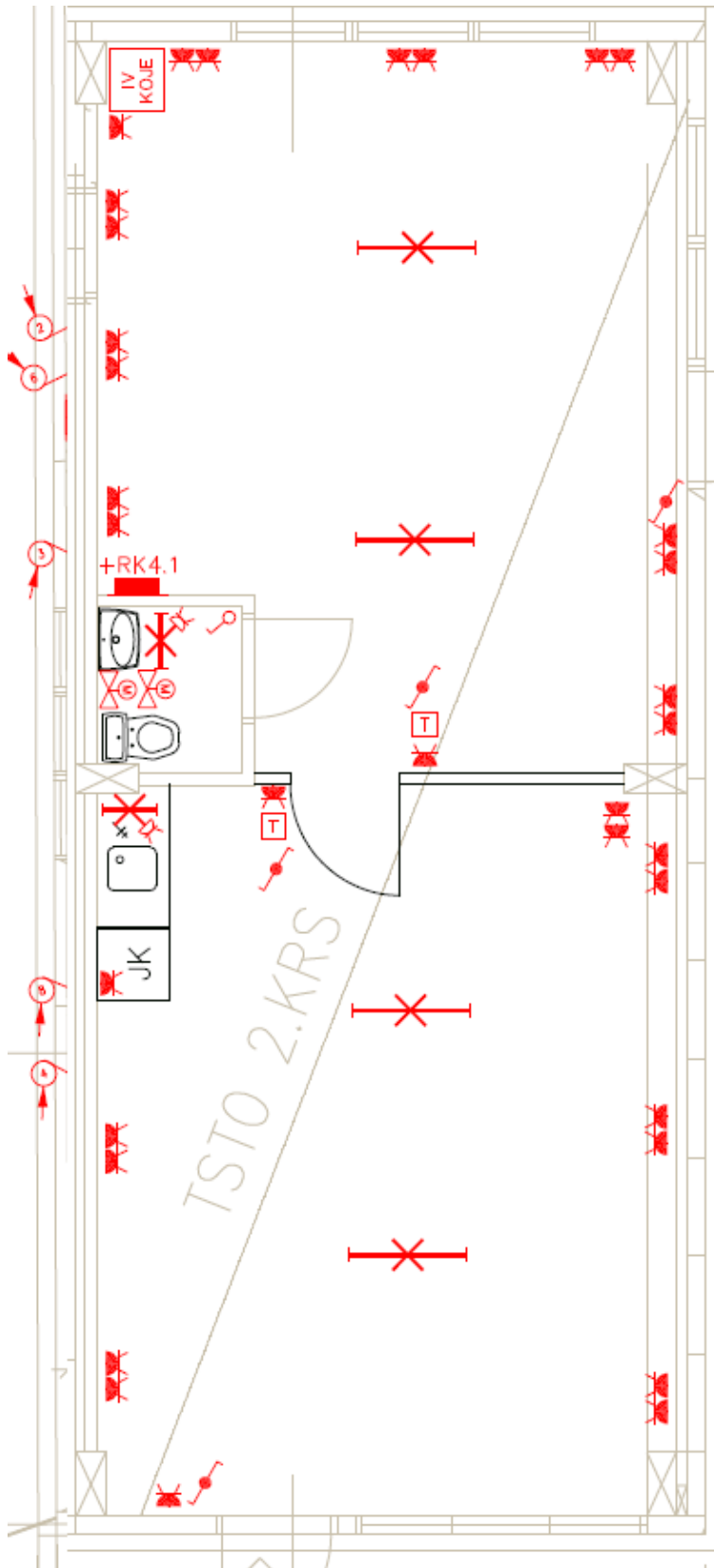
Liite 4. Kerros 1 toimisto: Kaapelireittisuunnitelma

1 (3)



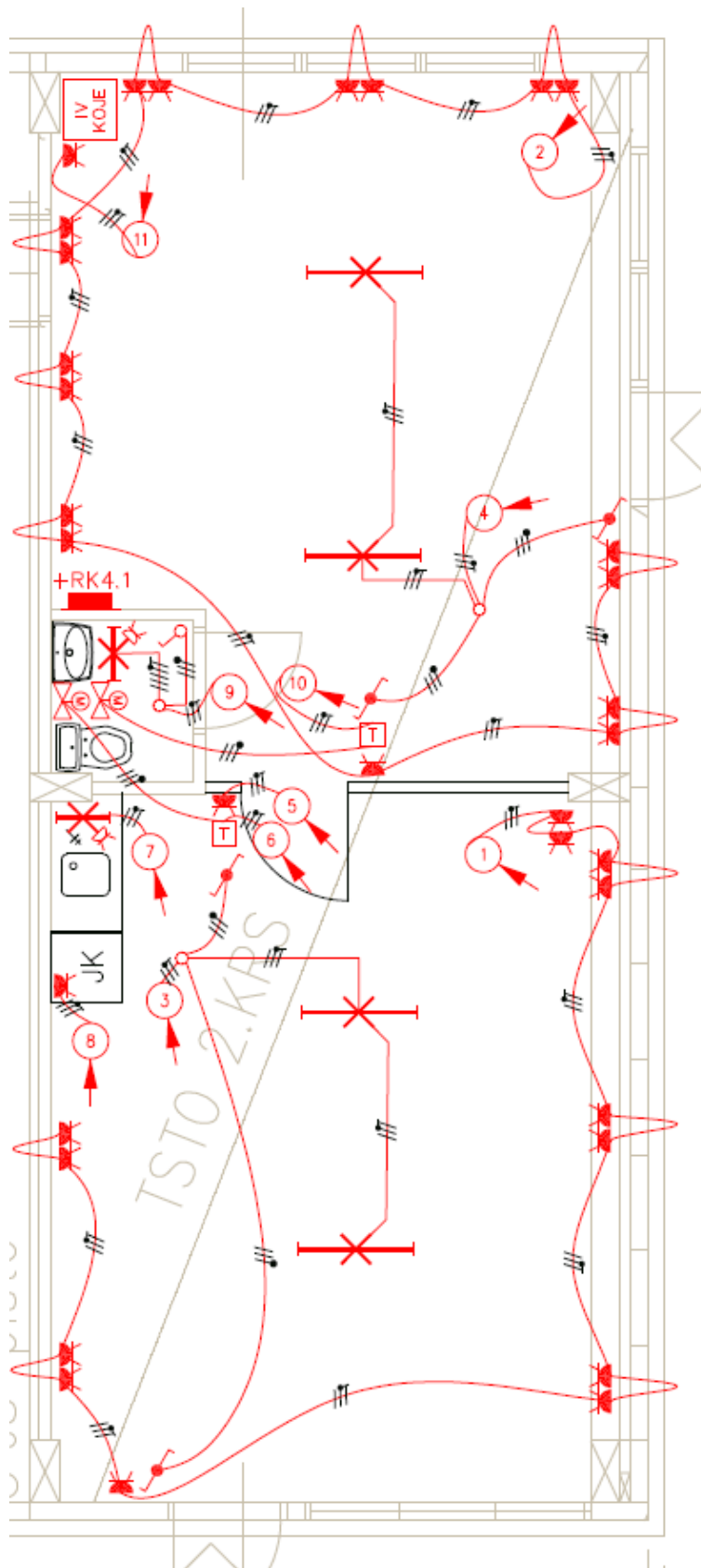
Liite 4. Kerros 1 toimisto: Laitesijoitusuunnitelma

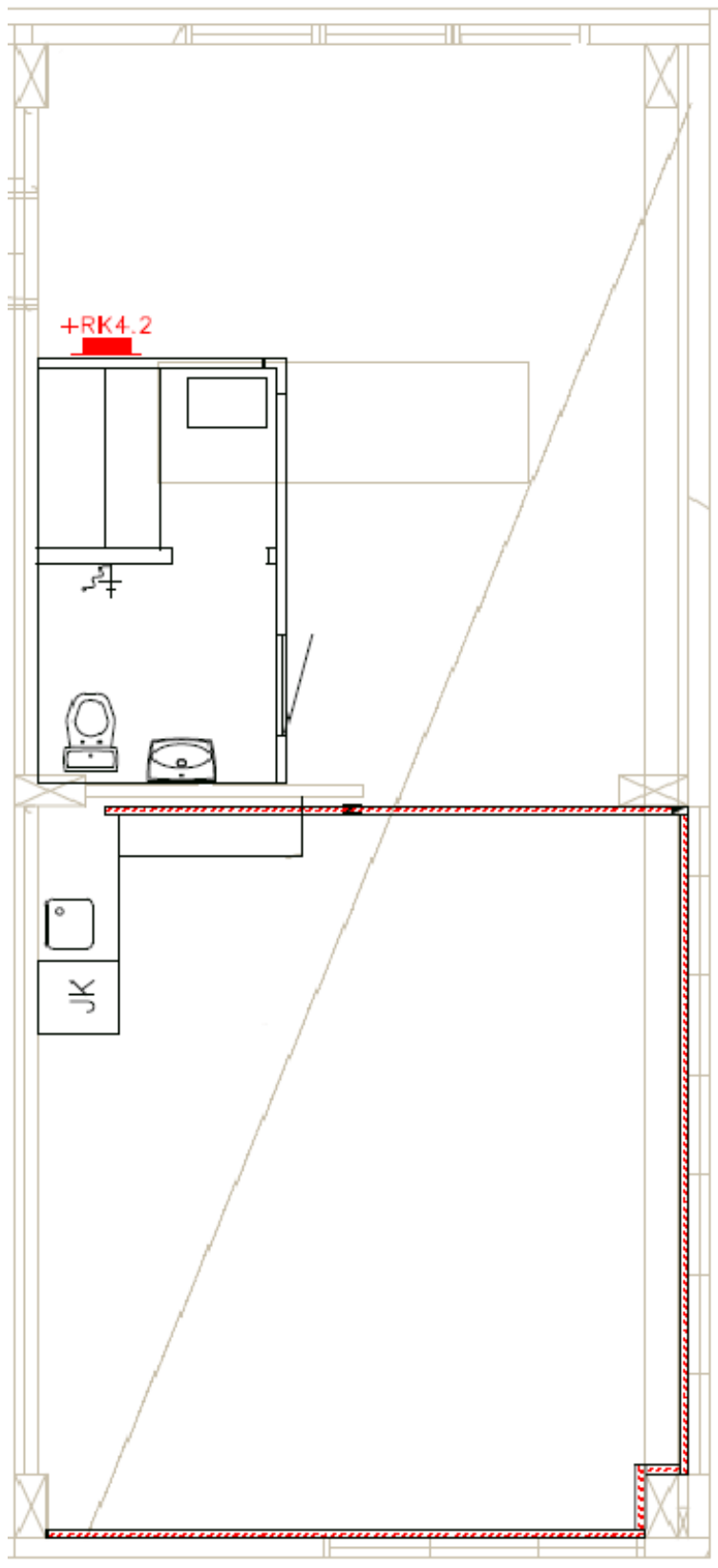
2 (3)

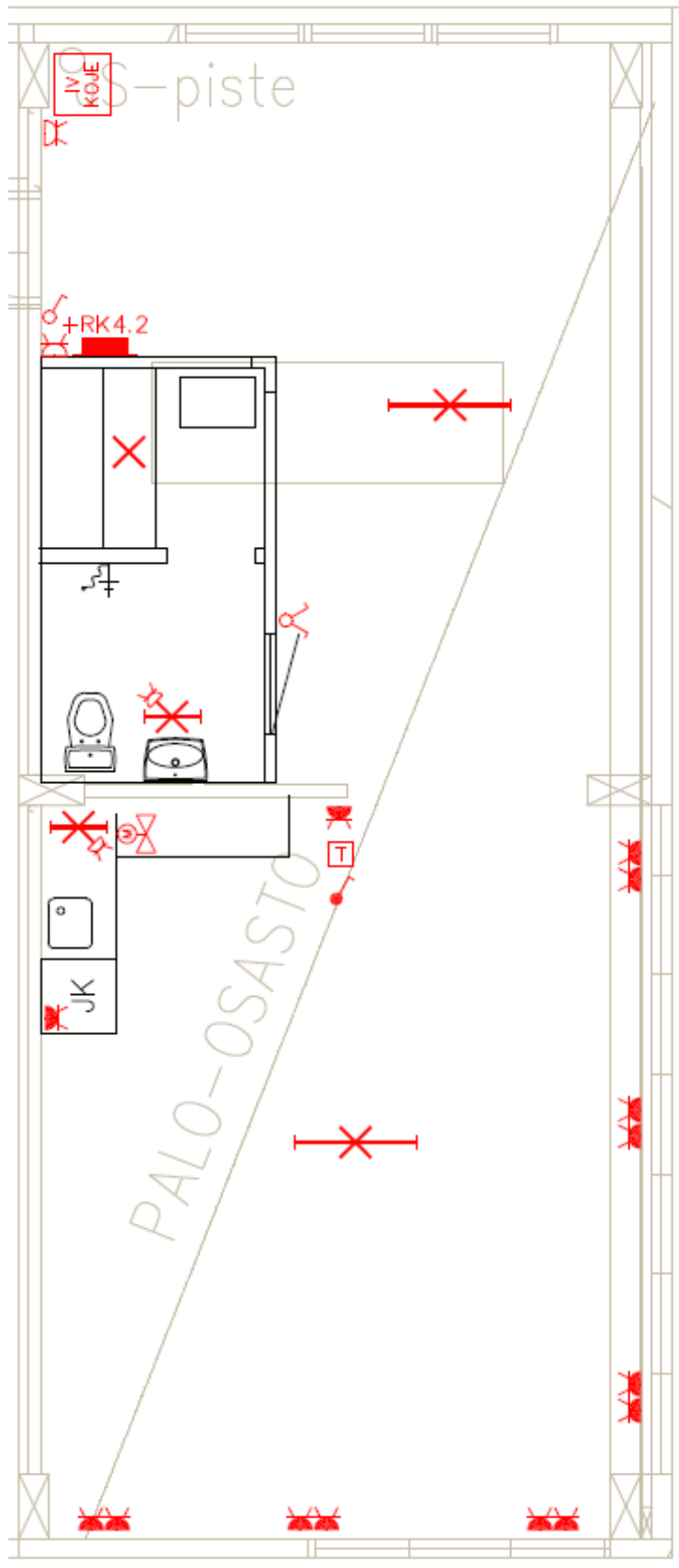


Liite 4. Kerros 1 toimisto: Johdotus- ja ryhmitysuunnitelma

3 (3)

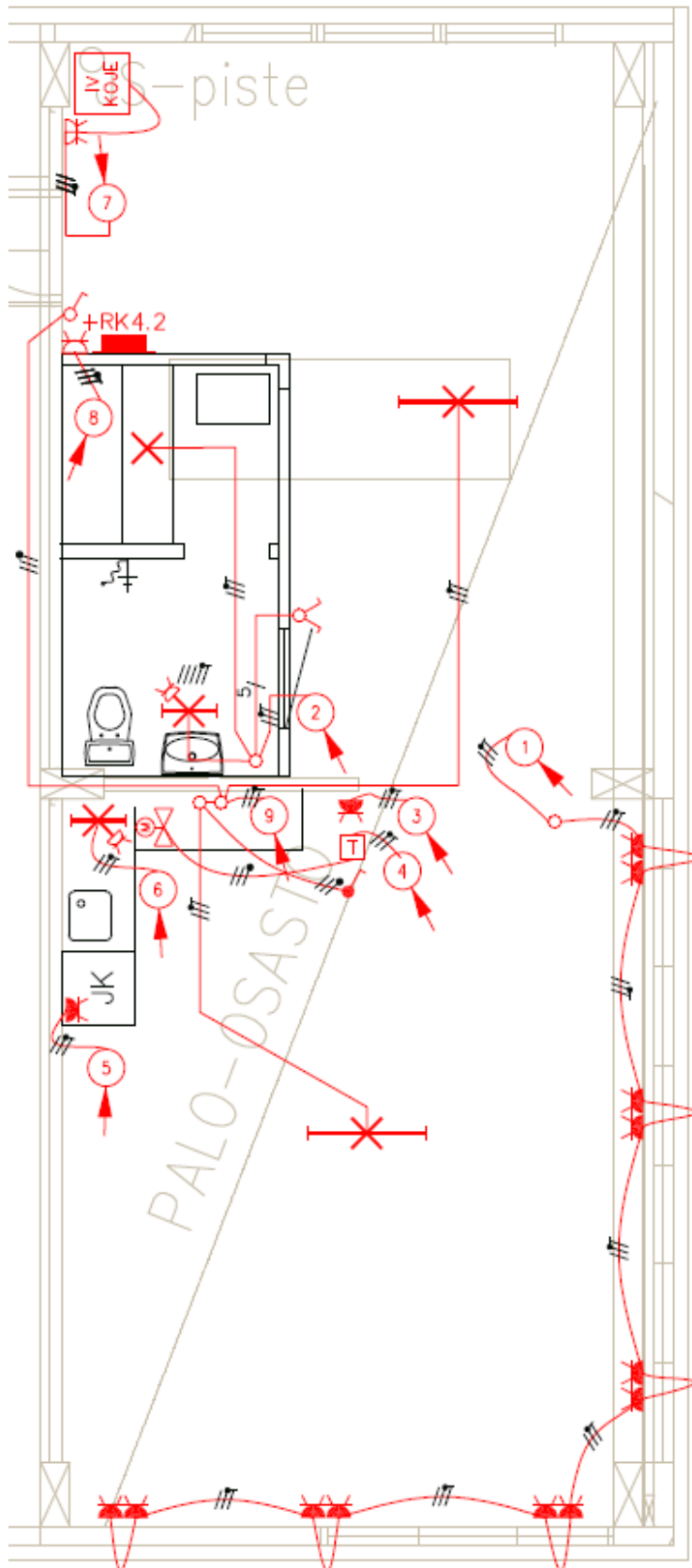






Liite 5. Kerros 2 toimisto: Johdotus- ja ryhmitysuunnitelma

3 (3)



Liite 6. Kiinteistön nousujohtokaavio

