



Juha Lautala

Hypermarketin pääsähkönjakelun suunnittelu Febdok-ohjelmalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

30.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Juha Lautala
Otsikko:	Hypermarketin pääsähkönjakelun suunnittelu Febdok-ohjelmalla
Sivumäärä:	29 sivua + 3 liitettä
Aika:	30.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Yliopettaja TkL Jarno Varteva Insinööri Tuomo Jämsén

Insinööriyössä tarkasteltiin liikerakennuksen pääsähkönjakelun suunnittelua Febdok-ohjelmalla. Työssä käydään läpi sähkölaitteiston jakelujärjestelmän suunnittelun teoriaa ja standardeissa esitettyjä vaatimuksia oikosulkuvirtojen ja kaapelin kuormituksen näkökulmasta. Insinööriyö tehtiin Granlund Oy:lle ohjeeksi Febdok-ohjelman käyttöön. Päälähteenä työn tueksi käytettiin SFS 6000:2017 pienjänniteasennukset standardia. Oikosulkuvirtojen laskentaa on käsitelty standardin SFS-EN 60909-0. 2016 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems määritelmien mukaan.

Työn teoria osuudessa selvitettiin, miten oikosulkuvirtoja lasketaan ja miten kaapelin kuormitettavuus määritetään. Työssä selvitettiin myös, millaisia vaatimuksia eri standardit antavat sähkönjakelun suunnittelulle.

Työssä mallinnettiin olemassa olevan liikekiinteistön pääsähkönjakelu Febdok-ohjelmalla. Mallinnuksesta saatujen laskelmien perusteella tarkasteltiin Febdok-ohjelman käytettävyyttä tämän tyyppisten liikekiinteistöjen sähkönjakelujärjestelmän suunnitteluun. Ohjelman toimintaa pyrittiin työssä arvioimaan kriittisesti ja optimoimaan ohjelman käyttö mahdollisimman sujuvaksi.

Työn tulos on ohje Febdok-ohjelman käyttöön. Yhteenvedona todetaan, että ohjelmaa on helppo käyttää ja se soveltuu hyvin liikerakennuksen pääsähkön jakelun suunnitteluun. Työtä voidaan käyttää Febdok-ohjelman käyttämisen aloituksen tukena, sekä ohjeena sähkönjakelun suunnitteluun. Laskelmista voidaan päätellä, että Febdok-ohjelma on varteenotettava vaihtoehto perinteisille laskelmille, esimerkiksi Microsoft Excel -ohjelmalla tehdyille laskelmalle ja tarkastelulle.

Avainsanat: oikosulkuvirta, kuormitettavuus, sähkönjakelu, febdok

Abstract

Author: Juha Lautala
Title: Planning Electricity Distribution of a Hypermarket with Febdok-Program
Number of Pages: 29 pages + 3 appendices
Date: 30 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Jarno Varteva, Lic. Sc, Principal Lecturer
Tuomo Jämsén, Engineer

The thesis work examined the planning of the main electricity distribution in a commercial building with the Febdok-program. The theory of electrical distribution system design and the requirements presented in the standards from the point of view of short-circuit currents and cable load are reviewed in the thesis work. The thesis work was done for Granlund Oy as a guide for using the Febdok-program. The SFS 6000: 2017 low voltage installations standard was used as the main source to support the work. The calculation of short-circuit currents is covered by standard SFS-EN 60909-0. 2016 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems.

The theory part of the work investigated how short-circuit currents are calculated and how the load capacity of a cable is determined. The work also examined the requirements of different standards for the planning of electricity distribution.

The main electricity distribution of the existing commercial property was modeled in the thesis work with the Febdok-program. The usability of the Febdok-program for planning of an electricity distribution system for this type of commercial real estate was examined, based on the calculations obtained from the modeling. The aim of the work was to evaluate the operation of the program and to optimize the use of the program as smoothly as possible.

The result of this thesis work is instructions for using Febdok. In summary, the program is easy to use, and it is well suited for planning the distribution of electricity in a commercial building. The work can be used to support the start of using the Febdok program, as well as to guide the planning of electricity distribution. It can be concluded from the calculations that Febdok-program is a viable alternative to traditional calculations, such as those performed with Microsoft Excel.

Keywords: Short-circuit current, load capacity, electric distribution, febdok

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Oikosulkuvirta	2
2.1	Oikosulkuvirtojen laskenta	4
3.1.1	Yksivaiheinen oikosulku	6
3.1.2	Kaksivaiheinen oikosulku	7
3.1.3	Kolmivaiheinen oikosulku	7
3	Kuormitettavuus	8
4	Mallikohde	9
4.1	Edeltävä verkko	9
4.2	Muuntajat	10
4.3	Pääkeskukset	11
4.4	Jakokeskukset	11
4.5	Johtotiet ja kaapelit	13
5	Laskenta FebDok-ohjelmalla	14
5.1	Ohjelman käyttö	15
5.2	Laskenta ja tulokset	24
6	Yhteenveto	27
	Lähteet	29

Liitteet

Liite 1: JK 1.6-KT mitoitustulokset

Liite 2: JK UPS 1 oikosulkuvirratt

Liite 3: Febdok ohjelman lyhenneluettelo

Lyhenteet

C	Korjauskerroin.
c	Jännitekerroin.
I	Virta.
I_{cs}	Virta, jonka suojalaite kestää rikkoutumatta.
I_{cu}	Maksimivirta, jonka suojalaite pitää pystyä katkaisemaan.
I_{ef}	Maasulkuvirta.
I_k	Oikosulkuvirta.
I_z	Virtapiirin kuormitusvirta.
U_n	Nimellisjännite.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Keskeytymätön sähkönsyöttö.
Z	Impedanssi
Z_k	Oikosulkuimpedanssi
z_k	muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi

1 Johdanto

Työn aiheena on hypermarketin pääsähkönjakelun suunnittelu. Tarkoitus on tarkastella mallikohteen pääsähkönjakelun oikosulkuvirtoja FebDok-ohjelmalla tehdyllä laskelmalla. Työssä tarkastellaan myös kaapeleiden kuormitettavuuden laskentaa ohjelmalla. Työn tuloksena on tarkoitus luoda ohje, miten ohjelmaa käytetään ja mitä parametrejä ohjelma tarvitsee toimiakseen halutulla tavalla. Työ toimii ohjeena sähkösuunnittelijoille Febdok-ohjelman käyttöön sekä yleisemmin sähkönjakelun suunnittelun ohjeena. Työ pohjautuu suureksi osaksi SFS 6000 -standardisarjan ohjeisiin henkilösuojauksesta.

Työssä tarkastellaan olemassa olevaa mallikiinteistöä ja mallinnetaan pääsähkönjakelu Febdok-ohjelmalla. Työn tarkoituksena ei ole suunnitella kohdetta uudesta, vaan ainoastaan tarkastella miten FebDok-ohjelma soveltuu oikosulkuvirtalaskemien ja kuormitettavuustarkastelun tekoon liikekiinteistössä. Työn ulkopuolelle on jätetty hypermarketin pääkeskuksista syötettyjen etumyymälöiden ryhmäkeskukset sekä nousujohdot.

Työssä käydään yksityiskohtaisesti läpi, miten oikosulkuvirtoja lasketaan, miten kaapelin kuormitettavuus määritetään sekä teoriatasolla että Febdok-ohjelmalla. Ohjelmalla mallinnetaan koko kiinteistön sähkönjakelu keskijänniteverkosta alkaen aina kauimmaisen keskuksen pisimpään ryhmäjohtoon ja esitellään vaiheittain, miten kiinteistön sähköverkko rakentuu. Työssä myös perehdytään ohjelmasta saadun tiedon tulkitsemiseen sekä arvioidaan laskelman oikeellisuutta.

Työ tehtiin Granlund Oy:lle yleiseksi ohjeeksi ohjelman käyttöön. Työn suurin tavoite oli kuitenkin itse oppia ohjelman paremmaksi käyttäjäksi. Jokaiseen suunnittelukohteeseen, joissa tehdään muutoksia ryhmäkeskuksiin, täytyy uusien keskuksien ja ryhmien oikosulkuvirta-arvot laskea jo suunnitteluvaiheessa. Siksi onkin tärkeää, että mallinnusohjelman käyttö on sujuvaa.

Taustat

Standardin SFS 6000-1 luvun 132 mukaan ”sähköasennusta suunnitellessa on varmistettava, että ihmisten, kotieläinten ja omaisuuden suojaus toteutuu luvun 131 mukaisesti” [s.11]. Luvun 131.2–131.7 kohdissa vaatimuksiksi luetellaan:

- 131.2 Suojaus sähköiskulta
- 131.3 Suojaus lämmön vaikutuksilta
- 131.4 Suojaus ylivirroilta
- 131.5 Suojaus vikavirroilta
- 131.6 Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta vaikutuksilta
- 131.7 Suojaus syötön keskeytykseltä

Luvussa 132 kohdassa 132.1 myös mainitaan ” Suunnitteluvaiheessa on laskemilla tai muilla tavoin osoitettava, että tämän luvun vaatimukset täyttyvät”. Työssä keskitytään sähkönjakelun oikosulkuvirtojen laskentaan sekä kuormitettavuuden tarkasteluun. Työn ulkopuolelle jäävät jännitteenaleneman laskelmat sekä suojalaitteiden selektiivisyyden arviointi.

2 Oikosulkuvirta

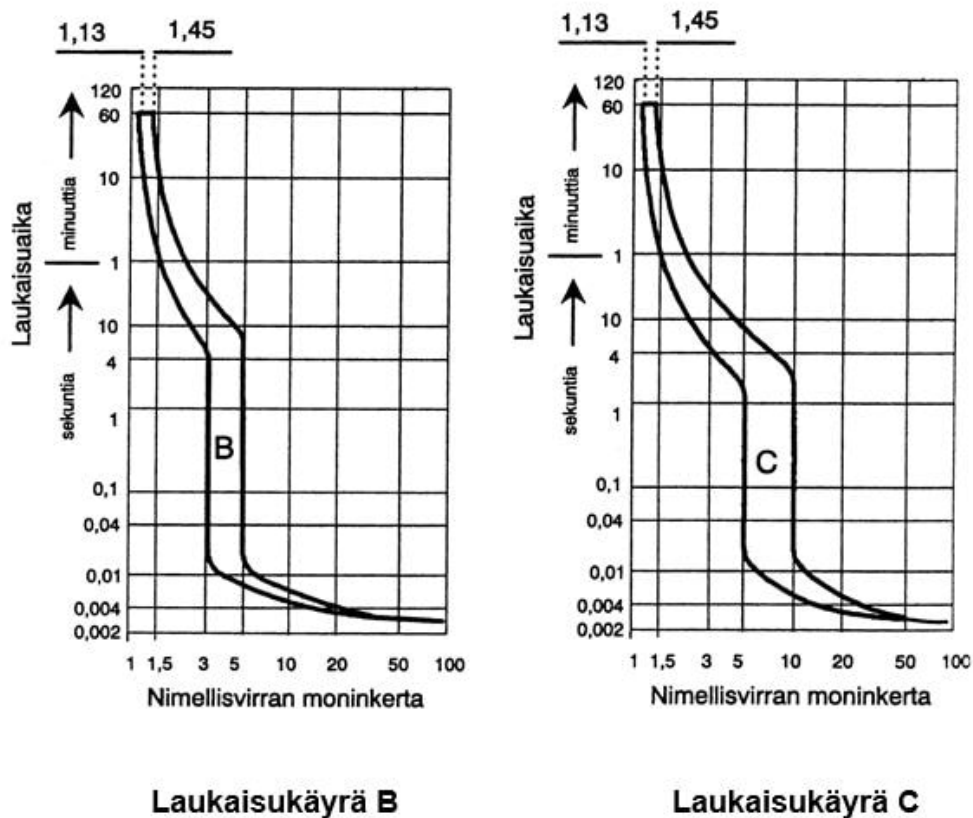
Oikosulkuvirralla tarkoitetaan virtaa, joka virtapiirissä kulkee oikosulun sattuessa. Virtapiirissä on käytettävä suojalaitteita katkaisemaan piirissä esiintyvä ylivirta ennen kuin se kerkeää aiheuttamaan vaaraa virtapiirille. Ylivirtasuojalla on varustettava kaikki äärijohtimet poikkeustilanteita lukuun ottamatta. [SFS 6000:2017–4–43, s.6].

Suunnitellessa sähkölaitteistoa tulee oikosulkuvirtojen laskenta ottaa huomioon, jotta suojaus toimii halutulla tavalla. Virran on oltava verkon heikoimmassakin kohdassa tarpeeksi suuri, jotta suojalaite toimii. Tämä tarkoittaa yleensä kaukaisinta pistettä syöttävältä sähkökeskukselta tai poikki-pinnaltaan pienintä ryhmäjohtoa.

Toisaalta virta ei saa olla myöskään liian suuri. Jos oikosulkuvirta kasvaa liian suureksi voi suojalaitteet vahingoittua oikosulun sattuessa. Maksimivirta, jonka jälkeen suojalaite on vielä huollettavissa, merkitään tunnuksella I_{cs} . Suurinta virtaa, jonka suojalaite täytyy pystyä katkaisemaan, merkitään tunnuksella I_{cu} . Tällöin suojalaite saattaa kuitenkin rikkoutua, eikä sitä tulisi käyttää mitoituksen perusteena.

Suojalaitteen valmistaja kertoo komponenteille ylimmät sallitut oikosulkuvirrat. Esimerkiksi laskennassa käytetyn Schneiderin johdonsuojakatkaisijan Acti 9 iC60L katkaisukyky on 380 – 415 V alueella $I_{cu} = 20$ kA, $I_{cs} = 10$ kA. [Tuotetiedot, 2022].

Henkilösuojauksessa käytetään usein B- ja C-käyrän johdonsuojakatkaisimia. B-tyypin johdonsuojakatkaisin on C-tyyppiä nopeampi ja sitä käytetään resistiivisen kuorman suojakseen. C-tyypin katkaisijaa käytetään taas enemmän induktiivisissa kuormissa. Suojalaitteen pienin sallittu oikosulkuvirta riippuu laitteet tyyppistä. Kuvassa 1 on esitetty B- ja C-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät.



Kuva 1. Laukaisukäyrät B- ja C-typin johdonsuojakatkaisimille. [Jokinen 2018]

Henkilösuojaukseen vaaditaan 0,4 s:n toiminta-aika [SFS 6000-4-41:2017, s. 9]. Kuvasta 1 voidaan siis tulkita, että B-käyrän johdonsuojakatkaisija vaatii nimellisvirtaan nähden viisinkertaisen oikosulkuvirran toimiakseen vaaditussa toiminta-ajassa. C-käyrän johdonsuojakatkaisija taas vaatii samalla toiminta-ajalla kymmenenkertaisen oikosulkuvirran.

2.1 Oikosulkuvirtojen laskenta

Oikosulkuvirta saadaan laskettua tekemällä verkosta yksinkertaistettu sijaiskytkentä Theveninin menetelmällä. Verkon osat, eli pienjänniteverkossa lähinnä kaapelit sekä syöttävä muuntaja, muutetaan oikosulkuimpedansseiksi ja vika- paikkaan sijoitetaan ekvivalenttinen jännitelähde.

Näin verkosta saadaan muodostettua kaava oikosulkuvirralle:

$$I_k'' = \frac{c \times U_n}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (1)$$

I_k'' on oikosulkuvirta

c on jännitekerroin (taulukko 1)

U_n on nimellisjännite

R_k on virtapiirin resistanssi

X_k on virtapiirin reaktanssi.

koska

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \quad (2)$$

Z_k on virtapiirin impedanssi

saadaan yhtälö sievennettyä muotoon

$$I_k'' = \frac{c \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_k} \quad (3)$$

Jännitekertoimella c otetaan huomioon jännitteen alenema kaapeleissa ja liittimissä, sekä jännitteen vaihtelut verkossa. Jännitekerroin määritellään standardissa IEC 60909 [2016: 22]. Kerroin määräytyy nimellisjännitteen ja sen mukaan, lasketaanko minimi- vai maksimioikosulkuvirtaa.

Taulukko 1 Jännitekertoimet [IEC 60909 2016: 22]

Nimellisjännite U_n	Maksimi oikosulkuvirrat C_{max}	Minimi oikosulkuvirrat C_{min}
Pienjännite 100 V – 1000 V	1,05	0,95
Suurjännite 1 kV – 230 kV	1,10	1,00
Suurjännite >230 kV	1,10	1,00

Kuten taulukosta 1 selviää, oikosulkulaskemissa käytetään pienjänniteverkkoa suunnitellessa kertoimia $C_{max}=1,05$ ja $C_{min}=0,95$.

3.1.1 Yksivaiheinen oikosulku

Yksivaiheisella oikosulkuvirralla tarkoitetaan oikosulkuvirtaa, joka kulkee virtapiirissä, kun yksi vaihejohdin kytkeytyy yhteen nolajohtimen kanssa. Mikäli vaihejohdin kytkeytyy yhteen maadoituksen kanssa, kutsutaan sitä maasuluksi I_{ef} . Käyttömaadoitetussa järjestelmässä maasulku lasketaan samoin kuin yksivaiheinen oikosulku, jos maasulkupaikan vikaresistanssi jätetään huomioimatta [Teknisiä tietoja ja taulukoita. 2000, osa 8, s. 1]. Yksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan laskettua kaavalla:

$$I''_{k1v} = \frac{\sqrt{3} \times c \times U_n}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|} \quad (4)$$

I''_{k1v} on yksivaiheinen oikosulkuvirta

Z_1 on myötäimpedanssi verkossa

Z_2 on vastäimpedanssi verkossa

Z_0 on nolläimpedanssi verkossa

Koska tiedämme kohteen olevan kaukana generaattorista, voidaan olettaa $Z_1 = Z_2$ [IEC 60909: 2016]. Näin kaava saadaan muotoon:

$$I''_{k1v} = \frac{\sqrt{3} \times c \times U_n}{|2 \times Z_1 + Z_0|} \quad (5)$$

3.1.2 Kaksivaiheinen oikosulku

Kaksivaiheisessa oikosulussa kaksi vaiheista kytkeytyy yhteen. Kaksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan laskettua kaavalla:

$$I''_{k2v} = \frac{c \times U_n}{|Z_1 + Z_2|} \quad (6)$$

I''_{k2v} on kaksivaiheinen oikosulkuvirta

3.1.3 Kolmivaiheinen oikosulku

Kolmivaiheinen oikosulku tapahtuu, kun kaikki kolme vaihetta kytkeytyvät yhteen. Yhtälöllä 7 saadaan laskettua kolmivaiheisen oikosulun virta:

$$I''_{k3v} = \frac{c \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_1} \quad (7)$$

Yleisesti ottaen kolmivaiheinen oikosulkuvirta on suurempi kuin yksi- tai kaksivaiheinen oikosulkuvirta. Kuitenkin lähellä maadoitettua muuntajaa tapahtuva yksivaiheinen oikosulkuvirta saattaa olla suurempi. [Teknisiä tietoja ja taulukoita. 2000, osa 7, s. 3]

3 Kuormitettavuus

Kuormitettavuudella tarkoitetaan suurinta virtaa, jolla voidaan kuormittaa kaapeleita tai laitteistoa ilman, että kaapeli lämpenee liikaa. Kuormitettavuus voidaan laskea kaavalla 8.

$$I_z = I_t \times C_1 \times C_2 \times C_3 \dots \quad (8)$$

I_z on virtapiirin todellinen kuormitettavuus

I_t on taulukossa esitetty kuormitettavuus yhdelle virtapiirille

$C_1, C_2, C_3 \dots$ ovat korjauskertoimia

Korjauskertoimilla otetaan huomioon kaapelin asennusolosuhteet, esimerkiksi asennustapa, ympäristön lämpötila ja rinnakkaisten piirien määrä. Korjauskertoimia on määritelty standardin SFS 6000-5 luvussa 52.

Kaapelin ja suojalaitteen yhteen sovittamisessa on täytettävä ehdot

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (9)$$

ja

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (10)$$

I_B on piirin suunniteltu virta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n on suojalaitteen mitoitusvirta

I_2 on virta, jolla suojalaite toimii suojalaitteelle määritellyssä toiminta-ajassa

Suojalaitteen mitoitusvirta pitää siis olla vähintään sama kuin piirin suunniteltu virta, ja johtimen todellinen kuormitettavuus on oltava suurempi kuin

suojalaitteen mitoitusvirta. Lisäksi johtimen on kestävä kuormitusta vähintään 1,45-kertainen määrä suojalaitteen toiminta-ajan virrasta.

Kaavan 10 vaatimus on otettu nykyisin saatavilla olevissa katkaisijoissa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Kuitenkin piireissä, joissa suojalaitteena on sulake, tulee varmistus epäyhtälön toteutumisesta. Sulakelähdöissä pitää myös ottaa huomioon, että sulakkeen sulamisvirta ei ole sama kuin sulakkeen nimellisvirta. Näin ollen sulakkeella piiriä suojatessa täytyy käyttää standardissa SFS 6000-5-52:2017 taulukossa Y.52.1 [s. 76] määritetyt johtimen kuormitettavuuden minimiarvoja. Tyyppien B, C ja D johdonsuojakatkaisijoita käytettäessä ei tarvitse käyttää erillisiä taulukoita, vaan voidaan valita johdonsuojakatkaisija johtimen kuormitettavuuden perusteella suoraan. [SFS 6000-5-52:2017, s.75].

4 Mallikohde

Mallikohde on vantaalainen liikerakennus, joka koostuu hypermarketista, ja sen etumyymälöistä. Rakennuksen sähköverkko koostuu kahdesta muuntajasta, kahdesta pääkeskuksesta ja noin kolmestakymmenestä jakokeskuksesta. Rakennus on saneerattu viimeksi vuonna 2021, jolloin kiinteistön toinen pääkeskus, PK 1, uusittiin. Lisäksi remontissa uusittiin hypermarket osan valaistus ja talotekniikkaa. Kiinteistöön rakennettiin uudet jäähdytyskoneet, joille asennettiin uudet syöttökaapelit.

Myymälä on jaettu useampaan eri keskusalueeseen. Keskusalueet on pyritty rajaamaan siten, että mikään alue ei olisi yli 1000 m²:ä suurempi. Jakokeskukset on sijoitettu siten että pisin ryhmäjohto ei olisi yli 70 metriä pitkä.

4.1 Edeltävä verkko

Edeltävää verkkoa hallinnoi Vantaan Energia Oy. Verkko on 20 kV keskijänniteverkko. Sähköverkon oikosulkuvirrat olivat liittymispisteessä $I_{k3vmax} = 9,22$ kA, $I_{k3vmin} = 5,51$ kA. Impedanssit ovat tällöin $Z_{kvmax} = 1,14$ Ω, $Z_{kvmin} = 2,36$ Ω. Maksimioikosulkuvirta saadaan, kun syöttävän sähköaseman päämuuntajat ovat

kytketty rinnakkain. Tämän tapainen kytkentä ei kuitenkaan ole sähköverkossa yleinen, vaan voi esiintyä vain hetkittäin. Minimioikosulkuvirta taas esiintyy vain varasyöttötilanteessa. [Tervonen, 2022].

Normaalikäytössä oikosulkuvirta on jotain tältä väliltä, mutta näillä arvoilla pystytään laskemaan sekä maksimi että minimioikosulkuvirrat. Normaalitilanteessa esiintyvä kolmivaiheinen oikosulkuvirta Vantaan Energian mukaan on $I_{k3vnorm} = 6,50$ kA.

Pienjännitepuolta suunniteltaessa, täytyy oikosulkuimpedanssit redusoida muuntajan toisiopuolelle. Toisiopuolen oikosulkuimpedanssit saadaan kaavalla 11

$$Z'_{kv} = Z_{kv} \times \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 \quad (11)$$

Z'_{kv} on verkon impedanssi redusoituna

Z_{kv} on verkon impedanssi

μ on muuntajan muuntosuhde.

4.2 Muuntajat

Kiinteistöä syötetään kahdesta 20/0,4 kV jakelumuuntajasta. Muuntajat ovat 1000 kVA öljymuuntajia. Muuntajat liittyvät kiinteistön pääkeskuksiin PK 1 ja PK 2. Muuntajien toisiopuolella, ne eivät enää ole yhteydessä toisiinsa, vaan muuntajat syöttävät kumpikin omaa pääkeskustaan.

Muuntajien oikosulkuimpedanssi saadaan laskettua kaavalla 12. Laskettaessa muuntajan ensiöpuolta käytetään kaavassa nimellisjännitteenä verkon jännitettä, toisiopuolta laskettaessa toisiopuolen jännitettä.

$$Z'_{km} = \frac{z_k}{100} \frac{U_n^2}{S_n} \quad (12)$$

Z'_{km} on muuntajan oikosulkuvirta

z_k on muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi

U_n on muuntajan nimellisjännite

S_n on muuntajan nimellisteho.

Laskennassa muuntajan arvoina on käytetty $z_k = 6 \%$, $U_n = 400 \text{ V}$, $S_n = 1000 \text{ kVA}$. Muuntajien oikosulkuimpedanssiksi saadaan siis

$$Z_k = \frac{6}{100} \frac{400^2}{1 \times 10^6} = 0,0096 \Omega \quad (13)$$

4.3 Pääkeskukset

Kohteessa on kaksi pääkeskusta. Toinen on vuodelta 2021, toinen vuodelta 2008. Pääkeskusten nimellisvirrat ovat molemmissa 1600 A. Pääkeskus PK1 on liitetty muuntajaan XZX 43N-kaapelijärjestelmällä. Tämä tarkoittaa 16 x AXMK 1x300-syöttökaapelia. Pääkeskus PK on puolestaan syötetty XZB 33N-kaapelijärjestelmällä eli 13x XMK 1x300-kaapelilla. Pääkeskuksissa on suoria lähtöjä sekä lähtöjä, jotka ovat sijoitettu etukojeen taakse. Etukojeen etuna on, että saman mittauksen takana olevia lähtöjä voidaan sijoittaa samaan mittaukseen, eikä jokaiselle keskukselle tarvitse rakentaa omaa mittausta. Suurin osa kaupan jakokeskuksista on syötetty etukojeen takaa.

4.4 Jakokeskukset

Kohteen sähkönjakelu on suoritettu paikallisten jakokeskusten avulla. Keskuksien on nimetty kerroksen, juoksevan numeron sekä sitä palvelevan järjestelmän mukaisesti. Esimerkiksi JK 1.4-KT pilkkoutuu siten, että se on jakokeskus (JK), ensimmäisessä kerroksessa (1) ja järjestysnumeroltaan neljäs (4). KT-pääte tarkoittaa käyttötavara osaa. Uudet keskuksien, vuonna 2008 rakennettu tai uudemmat, on nimetty tämän ohjeen mukaisesti. Sitä vanhemmat keskuksien ovat nimetty ryhmäkeskuksiksi (RK) ja kerroksen sekä juoksevan numeron mukaan. Muita tarkentavia päätteitä ovat:

- ET, elintarvikeosan keskus
- K, kiinteistöosan keskus
- YK, yhteiskäyttökeskus
- VSS, väestösuojakeskus
- UPS, ups keskus

Ryhmäkeskukset ovat päätteistä riippumatta samantyyppisiä keskuksia keskenään, takaliite on vain lisätietona erottamaan keskuksen hallinnoija toisistaan. Keskukset ovat nimellisvirraltaan 25–400 A:n keskuksia, riippuen palvelualueen koosta sekä alueella sijaitsevasta kuormasta. Jakokeskukset on pääosin varustettu C-tyypin johdonsuojakatkaisijoilla sekä vikavirtasuojilla. Lisäksi osassa keskuksissa on osa lähdoista toteutettu tulppasulakkeilla. Tulppasulakkeita käytetään yleisesti silloin kun ei vielä suunnitteluvaiheessa tiedetä, millainen kuorma lähtöön on tulossa. Tyypillinen tilanne tähän on esimerkiksi LVI-laitteet, joiden tehoa ja tyyppiä ei vielä suunnitteluvaiheessa tunneta.

Toinen poikkeus normaaliin jakokeskukseen on UPS-keskus. UPS lyhenne tulee sanoista Uninterruptible Power Supply eli keskeytymätön sähkönsyöttö. UPS-järjestelmää käytetään kaupassa kriittisten järjestelmien turvaamiseen lyhytaikaisia sähkökatkoja vastaan, esimerkiksi kassapalvelimilla ja ristikytkentäkaapeilla. Normaalitylanteissa UPS-keskus toimii kuten mikä tahansa muukin ryhmäkeskus. Kuitenkin, kun UPS-laite huomaa jännitteen vähenevän alle asetetun rajan, siirtyy sähkön syöttö akkukäytölle. Akkukäytöllä UPS-keskus syöttää tasaista oikosulkuvirtaa verkkoon, riippumatta vian paikasta ja laadusta. Näin ollen riittää, että UPS-keskukset mallintaa samaan tapaan kuin normaalin jakokeskuksen. Akkukäytön aikaiset oikosulkuvirrat UPS-laitteen valmistaja ilmoittaa laitteen tuotetiedoissa.

UPS-keskuksia on kiinteistössä vähemmän kuin jakokeskuksia, joten ryhmäjohtojen pituudet voivat olla jopa yli 100 metriä. Mallikohteessa pisin UPS-ryhmä on tasopiirustuksesta mitattuna noin 97 m. Ryhmäjohtojen pituuden vuoksi, on muista keskuksista poiketen UPS keskukset varustettu B-tyypin johdonsuojakatkaisijoilla. Kohdan 2 mukaisesti B-tyypin johdonsuojakatkaisijat vaativat

pienemmän oikosulkuvirran toimiakseen. Näin ollen ryhmäjohto voi olla pidempi kuin C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoilla.

4.5 Johtotiet ja kaapelit

Pääsähkönjakelun johtotiet ovat rakennettu suureksi osaksi tikashyllyistä. Ryhmäjohdot teknisissä tiloissa ja varastoissa tikashyllyille, myymälän puolella osittain levyhyllyille. Kaapeloinnissa kannattaa suosia tikashyllyjä levyhyllyn sijaan, koska kaapelit jäähtyvät paremmin tikashyllyllä. Näin saadaan kuormituslaskelmaan parempi korjauskerroin rinnakkaisten piirien osalta. Standardin SFS 6000-5-52:2017 taulukossa A52.3 [s. 26] on määritelty referenssiasennustavat erilaisille asennuksille. Mikäli kaapelit on asennettu levyhyllylle, käytetään referenssiasennustapaa C. Jos taas kaapelit ovat kaapelihyllyllä, referenssiasennustapa on E.

Samana standardin taulukossa B52.17 [s.52] on määritelty korjauskertoimet ryhmille, joilla on yksi tai useampi rinnakkainen piiri. Koska voidaan olettaa johtotietä olevan täynnä, käytetään huonointa mahdollista korjauskerrointa, joka tarkoittaa yhdeksää rinnakkaista kaapelia. Asennustavalla C saadaan korjauskerroimeksi 0,7 ja asennustavalla E 0,78. Kaapelihyllyllä olevaa kaapelia voidaan siis kuormittaa 8 % enemmän kuin levyhyllyllä olevaa vastaavaa asennusta.

Keskuksien nousukaapeli on pääosin toteutettu alumiinisella voimakaapelilla AMCMK. Kaapelin nimitys AMCMK tarkoittaa, että kaapeli johtimet ovat alumiinisia (A), eriste muovia (M), siinä on konsentrisen kuparijohdin (C), vaippa on muovia (M). Viimeinen kirjain (K) tarkoittaa yksinkertaisesti kaapelia. Kaapelin tyyppin jälkeen kerrotaan sisäjohtimien määrä ja nimellispinta-ala sekä konsentrisen johtimen nimellinen pinta-ala. Esimerkiksi AMCMK 4x70+21 tarkoittaa siis, että kaapelissa on neljä alumiinista 70 mm²:n paksuista sisäjohtinta (kolme vaihejohtinta ja N-johdin) sekä 21 mm²:n konsentrisen kuparijohdin. Kaapeli soveltuu alle 1 kV järjestelmiin.

Ryhmäjohdot on kaapeloitu pääosin MMJ-tyyppisellä kuparikaapelilla. MMJ tarkoittaa, että sekä eriste (M) että vaippa (M) on muovia ja niiden välissä on täytteenä juuttikerros (J). J ei siis tarkoita johtoa, vaan johtimen vaippaa, kuten niistä voisi nopeasti olettaa [Virtanen 2012 s.12]. Koska kaapelityypissä ei ole etuliitettä, on johtimien materiaali kupari. MMJ tyyppisen kaapelin lopussa on usein merkintä "N" tai "S". N tarkoittaa, että kaapelissa on nollajohdin (sininen). S puolestaan tarkoittaa, että kaapelissa on sekä nolla- että suojamaajohdin (keltavihreä).

Erialaisten johtimien impedanssit saadaan taulukosta 2.

Taulukko 2. Likimääräisiä impedansseja (Ω/km) johdinlämpötilassa 80 °C [D1-2017, s. 96]

Johtimen poikkipinta-ala mm ²	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
1,5	14,620	0,115	14,620			
2,5	8,770	0,110	8,770			
4	5,480	0,107	5,480			
6	3,660	0,100	3,660			
10	2,244	0,940	2,246			
16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492
35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

5 Laskenta FebDok-ohjelmalla

FebDok on Norjan sähköurakoitsijaliiton Nelfon pienjännitesähköasennusten mitoitusohjelma. Ohjelmaa hallinnoi Suomessa Sähköinfo Oy. Ohjelmalla pystyy

mallintamaan koko kiinteistön sähkölaitteiston, ensimmäisestä muuntajasta viimeiseen sähköpisteeseen. Febdok pohjautuu standardin SFS 6000:2017 pienjänniteasennukset määräyksiin ja suosituksiin.

Kun verkko on mallinnettu ohjelmaan oikein, ohjelma laskee laitteistolle oikosulkuvirrat ja kuormitettavuuden. Mikäli ohjelmaan on täytetty myös tehotiedot, laskee ohjelma myös jännitteenaleneman laitteiston osille. Ohjelma laskee tulokset reaaliajassa, laitteistoa suunnitellessa näkee siis heti, mikäli suunnitelmassa on poikkeama standardin määräyksiin.

Ohjelmalla pystyy mallintamaan niin muuntajakohteita, pienjänniteverkkoja kuin generaattorisyöttökohteitakin. Suuremmille laitteistoille pystyy määrittämään jopa neljä rinnakkaista muuntajaa syöttämään laitteistoa. Ohjelmaan pystyy myös lisäämään esimerkiksi laitteiston varavoimageneraattorin.

5.1 Ohjelman käyttö

FebDok-ohjelmalla laskelman teko alkaa luomalla uusi laitteisto. Laitteistolle annetaan nimi, ja määritellään edeltävä verkko. Ohjelma kysyy suurjänniteverkon vahvinta ja heikointa tilannetta. Nämä tiedot tulee selvittää verkonhaltijalta, tässä tapauksessa Vantaan Energialta. Kuvassa 2 näytetään, mitä tietoja ohjelmaan pitää täyttää. Ohjelma laskee oikosulkuvirran perusteella itse oikosulkutehon ja tehosta virran, joten riittää, että toinen suureista tunnetaan.

Verkko ja ensimmäinen pienjännite jakokeskus

Valitse teholähteen tyyppi

Ensimmäinen pienjännitekeskus

Edeltävä verkko

Ok Peruuta

Suurjänniteverkko

Verkkojännite kV

Vahvin tilanne

Oikosulku MVA

Ik max kA

Heikoin tilanne

Oikosulku MVA

Ik min kA

Suurjännitejakokeskus

Tunniste

Tiedot saatu tiistai 26. huhtikuuta 2022

Verkonhaltijan viite

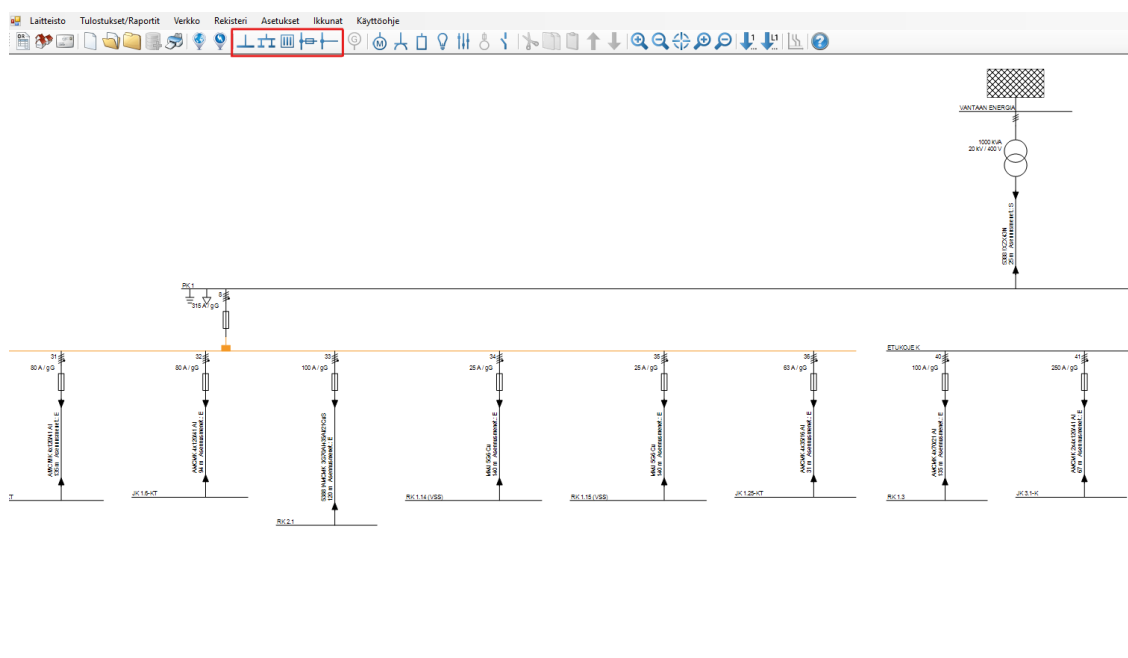
Huomautukset

Kuva 2. Edeltävän verkon määrittäminen FebDok-ohjelmassa.

Verkon määrittämisen jälkeen määritetään laitteiston muuntaja. Ohjelmassa on laaja tuoterekisteri valmiita muuntajia, joihin on määritetty valmiiksi muuntajan tiedot. Rekisteristä valitaan oikeanlainen muuntaja kohteeseen. Mikäli identtistä muuntajaa kuin kohteessa on ei ole saatavilla, pitää muuntajan valinnassa kiinnittää huomiota ainakin oikean tehoisen muuntajan valintaan sekä siihen, että muuntajan oikosulkuarvot ovat samat kuin todellisessa tilanteessa.

Muuntajalta määritetään syöttö pääkeskukselle sekä pääkeskuksen suojalaitte. Mallikohteen molemmissa pääkeskuksissa on suojalaitteena katkaisija. Katkaisija määritetään ohjelman tuoterekisteristä. Mikäli oikeanlaista katkaisijaa ei rekisteristä löydy tai katkaisijan tyyppi ei ole vielä suunnitteluvaiheessa tiedossa, valitaan mahdollisimman lähelle oikeaa tilannetta vastaava katkaisija. Koska tässä työssä ei keskitytä piirin selektiivisyyden arviointiin, ei katkaisijan määrittämisellä ole niin suurta merkitystä.

Kun pääkeskus on luotu, luodaan siihen liitettävät jakokeskukset. Jakokeskus luodaan kuvan 3 yläreunassa näkyvillä, punaisella viivalla rajatuilla, painikkeilla. Mikäli keskus liitetään suoraan pääkeskukseen, valitaan vasemmanpuoleisin painike ”uusi jakokeskus”. Mikäli taas jakokeskusta syötetään etukojeen kautta, tehdään ensin etukoje vasemmalta toisena olevalla painikkeella ”uusi ryhmitely/alakisko”. Alakiskoa luodessa ohjelma kysyy etukojeen suojalaitetta, joka määritellään samoin kuin keskuksenkin suojalaite määritellään. Mikäli kiinteistössä olisi jakelukiskojärjestelmä, myös sellaisen pystyisi mallintamaan ohjelmalla. Virtakiskojärjestelmä piirretään rajatusta alueesta keskimmäisellä symbolilla.



Kuva 3. Keskuksen lisääminen laitteistoon.

Keskusta luodessa määritellään ensin keskuksen syöttävän kaapelin tiedot. Kuvassa 4 nähdään määriteltävät tiedot. Asennustapa, ympäristön lämpötila sekä käyttäjän korjauskertoimen liittyvät kaapelin kuormitettavuuteen. Ohjelma laskee korjauskertoimen annettujen tietojen perusteella. Mikäli kuitenkin itse haluaa määrittää korjauskertoimen, voi määrittää asennustavaksi E (ilmassa tai ti-kashyllillä) ja määrittää rinnakkaisiksi piireiksi 0, jolloin ohjelman laskema kerroin on 1. Tämän jälkeen voi määrittää itse halutun korjauskertoimen

asennustavan, rinnakkaisten kaapeleiden ja lämpötilan mukaan. Kaapelin kuorimitettavuuteen liittyvät vaatimukset on esitetty luvussa 3.

Ryhmittely: ETUKOJE KT Piiri: Jakokeskus Piirin nro: 30 Vaadittu maasulun poiskytkentäaika 5 s

80 A / pG AMCMK 4x120/41 Al 156 m Asennusmenet.: E

Suunnittele & suojaus

Selektivisyyss

Ok Peruuta

Tunniste

Referenssi asennustapa

E - Monijohtiminen ilmassa (mkl. tikas)

E rinnakkaisia piirejä

Vaakatasossa lävistetty hylly

1 (tikas)hylly

Ympäristön lämpötila 30 °C

Käyttäjän korjauskerroin 0,78

Pituus 156 m

Valmistaja Standard

Kaapelityyppi/järjestelmä AMCMK 4x120/41 Al

Valitse kaapeli

Tiedot

Kuomitettavuus, Iz 165,4 A

Kuomitusvirta Ib 0 A

Jännitealenema

Kuomaan 0 %

Edelliselle jakokeskukselle 0 %

Kaapelissa / virtakiskossa 0 %

Kaapelin/virtakiskon maksimi pituus 0 m

Jännite liittimissä 400 V

Kuoman nimellisjänn. Un 400 V

Häviöt kaapeleissa / virtakiskoissa 0 kW

Kuva 4. Nousukaapelin määrittäminen keskukselle.

Kaapeli määritetään ohjelman tuotetietokannasta valitsemalla. Tietokannassa on laaja valikoima yleisimpiä kaapeleita valittavana. Kaikkia mahdollisia kaapeleita, esimerkiksi vanhoja 3,5-kertaisia kaapeleita, ei välttämättä tietokannasta löydy. Tällöin haluttu kaapeli täytyy itse määritellä ohjelman avulla. Kaapelin määrittäminen tapahtuu kuvassa 5 näkyvässä ikkunassa. Kaapelin määrittämiseen tarvitaan vaihejohtimien poikkipinta-ala ja määrä, sekä nolla- ja suojaohjimen poikkipinta-ala. Ohjelma kysyy myös kaapelin eristemateriaalia sekä käyttölämpötiloja. Kaapelin käyttölämpötila ja eristemateriaali sekä nimellisjännite löytyvät yleensä kaapelin valmistajan tuotetiedoista. Ohjelma laskee määritetyille kaapeleille impedanssin ja käyttää sitä laskelmissa.

Valitse kaapeli

Lista
Tiedot
Impedanssit

Tiedot **!AMCMK 3G35AI+16AI/10CuS**

Kaapelityyppi/järjestelmä !AMCMK 3G35AI+16AI/10CuS

Kaapelityyppi !AMCMK 3G35AI+

Jänn. johtimien (myös N) lkm. 4

Jänn. johtimien lkm kaapelissa 4

Nimellisjännite 1000 [V]

Eristemateriaali PVC

Suunn. käyttölämpötila 70 [°C]

Suurin oikosulun aikainen lämpötila 160 [°C]

Valmistaja 5388

Sähkönumero

CENELEC standardi 1

Kaapeli on vanhentunut

Viimeksi muutettu 3.5.2022

Laske kaikkien luettelossa olevien kaapeleiden impedanssit

Määritä
Uusi
Kopioi
Poista
Tulosta
Peruuta

Tyyppi Monijohtiminen, konsent

Vaihejohdin Poikkipinta 35 [mm²]
 Cu Al

Njohdin Poikkipinta 16 [mm²]
 Mukana Cu Al

PE Poikkipinta 10 [mm²]
 Mukana Cu Al

Ulk. PE Mukana

Johtimen muoto
 Rengasjohtimet
 Muotoillut johtimet

Hakutuloksia 61 Aktiivinen valinta 59

Kuva 5. Oman kaapelin määrittäminen Febdok-ohjelmalla.

Viimeisenä keskukselle määritetään suojalaite. Normaalisti suojalaite sijaitsee syöttävässä keskuksessa ja on toteutettu sulakkeilla. Suojalaite valitaan ohjelman tuotetietokannasta samaan tapaan kuin kaapelitkin. Kun suojalaite on määritetty, laskee ohjelma sen näkemät virrat, poiskytkentäajat sekä maksimipi-tuuden, jolla maasulun poiskytkennän vaatimus vielä täyttyy. Ohjelma laskee myös syöttökaapelille maksimikuormitettavuuden, jota suojalaite ei saa ylittää. Kuvassa 6 esimerkki JK 1.4-KT-keskuksen suojalaitteen arvoista.

Ryhmittely: ETUKOJE KT Piiri: Jakokeskus Piirin nro: 30 Vaadittu maasulun poiskytkentäaika 5 s

80 A / gG AMCMK 4x120/41 A1 156 m Asennusmenet.: E

Suunnittele & suojaus
Selektiivisyys
Ok Peruta

Maanta Poista Tiedot **Oikosulkuvirrat** Asettelu

SL tieto
Tunniste
Suojan tyyppi Sulakkeet
Valmistaja IEC
Katkaisuyksikkö IEC_gG
Nimellisvirta 80 A
Laukaisuluokka NH-sulake
Laukaisuyksikkö 80A
Katkaisukyky 120 kA I_c
Maks. pituus, jolla maasulun poiskytkennän vaatimus täyttyy 480.7 m
Suojalaitte In, lämpötila korjattu 80 A
Johtimen kuormitettavuus suojalaitteen jännitetasolla 184.4 A

Suojalaitteen näkemät virrat [kA]

Ik3v max	23,889
Ik3v max loppu	5,045
Ik3v min	3,56
Ik2v max	20,688
Ik2v max loppu	4,369
Ik2v min	3,083
Ik1v max	24,715
Ik1v max loppu	2,742
Ik1v min	1,88
Ief max	24,715
Ief max loppu	1,997
Ief min	1,354

Paina ylläolevia kenttiä vian paikallistamiseksi

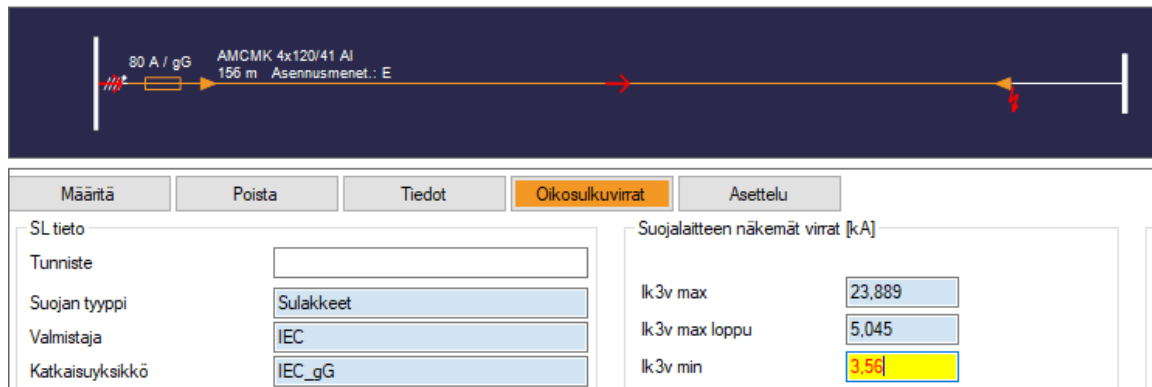
Poiskytkentäajat [s]

SL	k-S ² /I ²
0,01	0,146
0,01	3,268
0,01	6,563
0,01	0,194
0,01	4,357
0,01	8,751
0,01	0,136
0,01	11,063
0,017	23,533
0,01	< 0.1
0,014	5,575
0,055	12,126

Kuva 6. JK 1.4-KT-oikosulkuvirrat.

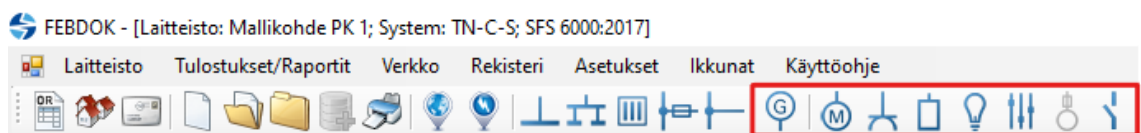
Kuten kuvasta näkee, laskee ohjelma automaattisesti suojalaitteen näkemät pienimmän ja suurimman maasulkuvirran sekä oikosulkuvirrat yksi- kaksi- ja kolmivaiheisessa oikosulussa. Ohjelma laskee myös maksimi maasulku- ja oikosulkuvirran määritellyllä keskuksella. Valitsemalla tietyn arvon ohjelmassa, ohjelma myös näyttää missä kohtaa virtapiiriä kyseinen oikosulku tapahtuu. Kuvan 7 esimerkissä kolmivaiheinen oikosulku I_{k3vmin} tapahtuu virtapiirin päässä

keskuksella.



Kuva 7. Oikosulun sijainnin havainnointi.

Keskuksien luonnin jälkeen luodaan vielä ryhmäjohdot. Ryhmien luonti onnistuu kuvassa 8 rajatuilla painikkeilla. Ryhmäjohtoon voi luoda moottorilähdön, vaihtelevan, kiinteän tai haaroitetun kuorman sekä ohjauslähden. Koska työssä ei oteta huomioon jännitteenalenemaa tai selektiivisyyttä, ei kuormiin tarvitse kiinnittää niin suurta huomiota. Oikosulkutarkasteluissa riittää, että mallintaa jokaiselle johdonsuoja ja kaapeliyhdistelmälle yhden ryhmän, jolloin ohjelma laskee maksimipituuden ryhmäjohdolle, jolla sähkömagneettinen poiskytkentä vielä tapahtuu sallitulla poiskytkentäajalla.



Kuva 8. Ryhmäjohton luonti Febdokilla.

Ryhmäjohton luonti Febdokiin tapahtuu samoin kuin keskuksen luonti. Lähtöä luodessa täytyy muistaa määrittää, onko kyseessä kolmi- vai yksivaiheryhmä. Lähtöön määritetään kaapeli ja referenssiasennustapa. Levyhyllylle asennettuja kaapeleita laskiessa poikkeaa Febdok-ohjelman referenssiasennustavan määrittäminen standardin SFS 6000-5-52 määritelmistä. Standardissa asennus rei'ittämättömälle kaapelihyllylle on määritelty olevan asennustavan C mukainen asennus.

Kuitenkin ohjelmalla määrittäessä vaakasuora rei'ittämätön hylly on asennustapa E:n mukainen asennus (kuva 9).

Referenssi asennustapa

E - Monijohtiminen ilmassa (mkl. tikas)	▼
Ei rinnakkaisia piirejä	▼
Koskettaen	▼
Vaakasuora rei'ittämätön hylly	▼
1 (tikas)hylly	▼

Kuva 9. Levyhyllyn määrittäminen Febdok-ohjelmaan.

Ongelmaksi asennustapojen ero muodostuu, sillä kaapeleilla ei ole sama kuormitettavuus asennustapojen välillä. Esimerkiksi 3x2,5S kuparikaapelin kuormitettavuus on ennen korjauskertoimia asennustavalla C 27 A, kun taas asennustavalla E kuormitettavuus on 30 A [SFS 6000:2017–5–52, s. 38, 46]. Ohjelmalla saa oikean kaapelin kuormitettavuuden levyhyllylle, kun määrittelee asennustavaksi pinnalla ja seinällä (kuva 10).

Referenssi asennustapa

C - Pinnalla	▼
8 rinnakkaista piiriä	▼
Seinällä	▼

Kuva 10. Oikea tapa määrittellä levyhyllyasennus.

Mikäli haluaa määrittellä korjauskertoimet itse, jätetään rinnakkaiset piirit merkittämättä. Koska kaapelihyllyt varsinkin keskuksen päässä ovat yleisesti ottaen täynnä kaapeleita, on korjauskertoimen oltava alhainen. Standardin SFS 6000-

5-52. 2017 taulukosta B52.17 valitaan kohta 2 "Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä" ja piirien tai monijohdinkaapelien lukumääräksi 9. Näin saadaan piirien korjauskertoimeksi 0,7. Ympäristön lämpötila myymälän katossa ja teknisissä tiloissa saattaa nousta yli 25 °C:n mutta ei kuitenkaan yli 30 °C:n, joten lämpötilan korjauskerrointa ei tarvitse asennuksissa ottaa huomioon. Myöskään muita korjauskertoimia ei asennukseen tule, joten kuormitettavuuden korjauskertoimeksi määritetään 0,7.

Myös suojalaite määritetään samoin kuin keskusten suojalaitetta määrittäessä. Suojalaite on hyvä määrittää tarkastelussa heikoimman tilanteen mukaan. Koska C-typin johdonsuojalla on suuremmat vaatimukset oikosulkuvirran suhteen, käytetään laskennassa sitä. Jos C-tyypillä oikosulkutarkastelu menee läpi, tiedetään sen olevan riittävä myös B-tyypin johdonsuojakatkaisijalla ja perinteisellä gG-sulakkeella. Laskennassa on kuitenkin hyvä tarkastaa, että kaapelin kuormitettavuus riittää myös gG-sulakkeen vaatimuksiin.

Mikäli oikosulkuvirta jää suojalaitteeseen nähden liian pieneksi, ilmoittaa ohjelma siitä punaisella värillä ja ohjetekstillä. Kuvassa 11 esimerkki väärin suunnitelluista lähdöistä.

Maks. pituus suhteessa sähkömagn. poiskytkentään	74,1 m	lef max loppu	0,096	1,707	3,229
Suojalaite ln lämpötila korjattu	10 A	lef min	0,072	2,492	5,74
Johtimen kuormitettavuus suojalaitteen jännitetasolla	15,4 A				

Paina ylläolevia kenttiä vian paikallistamiseksi

Suojalaite kytkee maasulkuvirran pois liian myöhään suhteessa vikatilanteen sytön automaattisen poiskytkennän vaatimuksiin.

Kuva 11. Ohjelma varoittaa liian pienestä maasulkuvirrasta.

Myös mikäli kaapeli on riittämätön suojalaitteen vaatimaan kuormitettavuuteen nähden, ilmoittaa ohjelma siitä samaan tyyliin (kuva 12).

Maks. pituus suhteessa sähkömagn. poiskytkentään	<input type="text" value="72,7"/> m		
Suojalaite In, lämpötila korjattu	<input type="text" value="16"/> A		
Johtimen kuormitettavuus suojalaitteen jännitetasolla	<input type="text" value="15"/> A		
		lef max loppu	<input type="text" value="0,283"/>
		lef min	<input type="text" value="0,214"/>

Suojalaitteen pienin asetettava toimintavirta In on liian suuri suhteessa kaapelin virtakapasiteettiin Iz.

Kuva 12. Ohjelma varoittaa johtimen kuormitettavuudesta.

5.2 Laskenta ja tulokset

Yksi Febdok-ohjelman heikkouksista on, että ohjelmasta saadut tulosteet ovat todella pitkiä ja vaikeaselkoisia. Esimerkiksi pääkeskus 1:stä tehty laskelma tulostuisi ohjelmalla noin 300 sivua pitkäksi, mikäli kaikki tulokset haluttaisiin ohjelmasta ulos saada. Näin ollen työn liitteisiin ei ole koko laskelmaa lisätty, vaan poimittu tulosteesta vain esimerkkikaaviot havainnollistamaan tuloksia. Tuloksissa käsitellään tarkemmin yhden esimerkkikeskuksen, JK 1.6-KT, arvoja, sekä yleisemmällä tasolla kaikkien keskuksien tuloksia.

Ohjelmaa käyttäessä on visuaalisesti helppo todeta, mikäli asennuksissa on vikaa. Ohjelma esittää vikapaikan, yleensä suojalaitteen, ruudulla punaisella huomiovärillä, josta sen huomaa helposti. Myös tulostaessa ohjelma näyttää huomiovärillä vikapaikat. Ohjelma myös tekee tulosteisiin vikaraportin laitteiston väärin mitoitetuista komponenteista.

Esimerkkikeskus

Keskusta JK 1.6-KT syötetään AMCMK 4x120/41 kaapelilla. Tämä mahdollistaa korjauskertoimet huomioon ottaen 165,4 A:n kuormituksen. Koska kaapeli varsinakin pääkeskuksen päässä, on lähes täydellä tikashyllyllä, käyttäjän määrittelemäksi korjauskertoimeksi on asetettu 0,78 [SFS 6000-5-52:2017, taulukko B.52.17, s.52]. Mikäli ohjelman antaisi itse määritellä korjauskertoimet referenssiasennustavan mukaan (kuva 13), saataisiin kaapelin todelliseksi

kuormitettavuudeksi sama arvo, 165,4 A:a. Voidaan siis todeta, että ohjelman kuormitettavuus laskennan ominaisuus toimii halutulla tavalla.

Referenssi asennustapa

E - Monijohtiminen ilmassa (mkl. tikas)	▼
8 rinnakkaista piiriä	▼
Koskettaen	▼
Tikkaat, kannattimet jne.	▼
1 (tikas)hylly	▼

Ympäristön lämpötila °C

Käyttäjän korjauskerron

Pituus m

Kuva 13. JK 1.6-KT-syöttökaapelille määritetty asennustapa.

Kaapelin suojalaitteena toimivat 80 A:n kahvasulakkeet. Sulakkeiden vaatima kaapelin kuormitus olisi vain 88 A [SFS 6000-5-52:2017, taulukko Y.52.1, s.76] joten suojalaitteen puolesta riittäisi myös AMCMK 4x50/16-kaapeli, jolle saataisiin korjauskertoimet huomioon ottaen n 91 A:n kuormitettavuus [SFS 6000-5-52:2017, taulukko B52.11, s.47]. Keskus on kuitenkin nimellisvirraltaan 125 A, joten suunnitteluvaiheessa on hyvä varautua siihen, että keskusta kuormitetaan sen nimellisvirralla. 125 A:n sulakkeet vaatisivat 138 A:n kuormitettavuuden, joka puolestaan vaatii määrätyillä korjauskertoimilla 177 A:n kuormitusta kestävä kaapelin. AMCMK 4x95/29 kaapeli riittäisi juuri ja juuri vaadittuun arvoon, mutta suunnittelussa ollaan päädytty valitsemaan astetta isompi kaapeli, jotta kaapeli kestää myös asennusolosuhteiden mahdolliset muutokset tulevaisuudessa.

Ryhmäjohdon kuormitettavuutta voidaan tarkastella samalla tavalla. Otetaan esimerkiksi tavanomainen pistorasiaryhmä. Ryhmä on kaapeloitu MMJ 3x2,5S kaapelilla ja suojattu C16-johdonsuojakatkaisijalla sekä vikavirtasuojalla.

Ohjelmaan täytetyillä asennustapatiedoilla saadaan kaapelin todelliseksi kuormitettavuudeksi 18,9 A. Kuormitettavuus on siis riittävä suojalaitteeseen nähden.

Laskettuja oikosulkuvirtoja tarkastellessa katsojaan suojalaitteen näkemiä oikosulkuvirtoja. Kuvassa 14 on esitetty edellisen kappaleen esimerkkilähdön näkemät oikosulkuvirrat.

Suojalaitteen näkemät virrat [kA]

lk 1v max	4,365
lk 1v max loppu	0,223
lk 1v min	0,169
lef max	3,227
lef max loppu	0,219
lef min	0,166

Kuva 14. Suojalaitteen näkemät virrat.

Kuvasta nähdään, että 70 metrin pituisella kaapelilla pysytään vielä suojalaitteen vaatimissa oikosulkuvirroissa. Kappaleen 2 mukaisesti C16 johdonsuojakatkaisija tarvitsee 160 A:n oikosulkuvirran toimiakseen vaaditussa toiminta-ajassa. Pienin oikosulkuvirta syntyy tässä tapauksessa kaapelin päässä tapahtuvasta maasulusta, joka aiheuttaa 166 A:n maasulkuvirran. Liitteen 1 sivulta 2 nähdään, että maksimipituus kaapelille olisi 77,2 metriä. Liitteessä 2 on esitelty tarkemmat mitoitus tiedot esimerkin jakokeskukselle.

Koko laskelman arviointi

Myös koko kiinteistön tasolla molempien pääkeskusten laskelmia tutkiessa, voi todeta, että laskelmat näyttäisivät pitävän paikkansa. Hieman jakokeskusten sijainnista riippuen, päästiin ryhmäjohtoilla noin 65–80 metriä, oikosulkuvirtavaatimusten vielä täyttyessä. Poikkeuksena tähän väestönsuojakeskusten arvot olivat hieman huonompia kuin muissa mallinnetussa keskuksissa. Tämä johtuu pienemmästä syöttökaapelista ja näin ollen suuremmasta impedanssista nousukaapelissa. Keskuksset kuitenkin palvelevat vain pieniä väestönsuojatiloja, joten laskettu maksimipituus ryhmäjohtoilta on riittävä.

Myös UPS-keskusten ryhmäjohtojen pituudet poikkesivat normaalin jakokeskusten ryhmien mitoista. Normaali UPS ryhmä on kaapeloitu MMJ 3x2,5S kaapelilla ja suojattu B10 johdonsuojakatkaisijalla. Näin ryhmäjohtosta saadaan huomattavasti pidempi kuin normaalissa keskuksessa. Liitteessä 2 on keskuksen JK UPS 1

6 Yhteenveto

Työn yhtenä suurimpana tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin Febdok-ohjelma soveltuu liikekiinteistön sähkösuunnitteluun. Yhteenvetona voi todeta, että ohjelma soveltuu hyvin tämän tyyllisen kohteen suunnitteluun. Ohjelmaa on selkeä ja helppo käyttää. Muutamia työssä havaittuja puutteita huomioimatta, esimerkiksi levyhyllyn piirtoon liittyen, ohjelma toimii moitteettomasti ja tulokset vaikuttavat luotettavilta ja oikean suuntaisilta.

Mallikohde oli helppo luoda ohjelmalla, sillä se, kuten liikekiinteistöt yleensäkin ovat, on sähkönjakelultaan hyvin suoraviivainen. Keskuksia syötetään vain yhdestä lähteestä, eikä kiinteistössä ole varavoimakonetta. Ohjelma vaikuttaa kuitenkin taipuvan huomattavasti raskaampaankin laskentaan ja soveltuisi varmasti myös useamman muuntajan kokonaisuuksiin.

Koska mallikohde on todellinen kohde, joka on jo aikanaan suunniteltu turvalliseksi, ei laskennassa ilmennyt puutteita tai epäkohtia suunnittelun kannalta. Mikäli kohde olisi vasta suunnittelun asteella, voi työn perusteella todeta, että Febdokilla olisi helppo suunnitella sähkönjakelu kiinteistössä turvalliseksi ja standardien mukaiseksi.

Toinen tavoite, ohjelman käytön parempi osaaminen, saavutettiin työssä myös. Vaikka ohjelmaa onkin helppo oppia käyttämään, on siinä paljon pieniä nyansseja, mitä oppi ottamaan huomioon.

Mikäli Febdok-ohjelma ei ole ennestään tuttu työkalu, on tämä ohje varmasti hyvä ensimmäinen askel ohjelman käyttöön. Työn tutkimusta voisi laajentaa ottamaan huomioon myös muun muassa jännitteen aleneman laitteistossa. Laskentaa varten tarvittaisiin keskuksien todellisten virtojen mittausta ja niiden syöttämistä ohjelmaan.

Lähteet

Teknisiä tietoja ja taulukoita. 2000. ABB Oy 9. Painos

D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähkö- ja teleurakointiliitto STUL ry.

SFS 6000-1. 2017 Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseriaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-4-41:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4–41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-4-43. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4–43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-5-52. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 60909-0. 2016. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents. Suomen Standardisoimisliitto.


Jokinen, Matti. 2018. Sähkösuunnittelua. Verkkoaineisto. <<https://www.sahkosuunnittelua.com/blogimme/category/sulake>> Luettu 2.5.2022

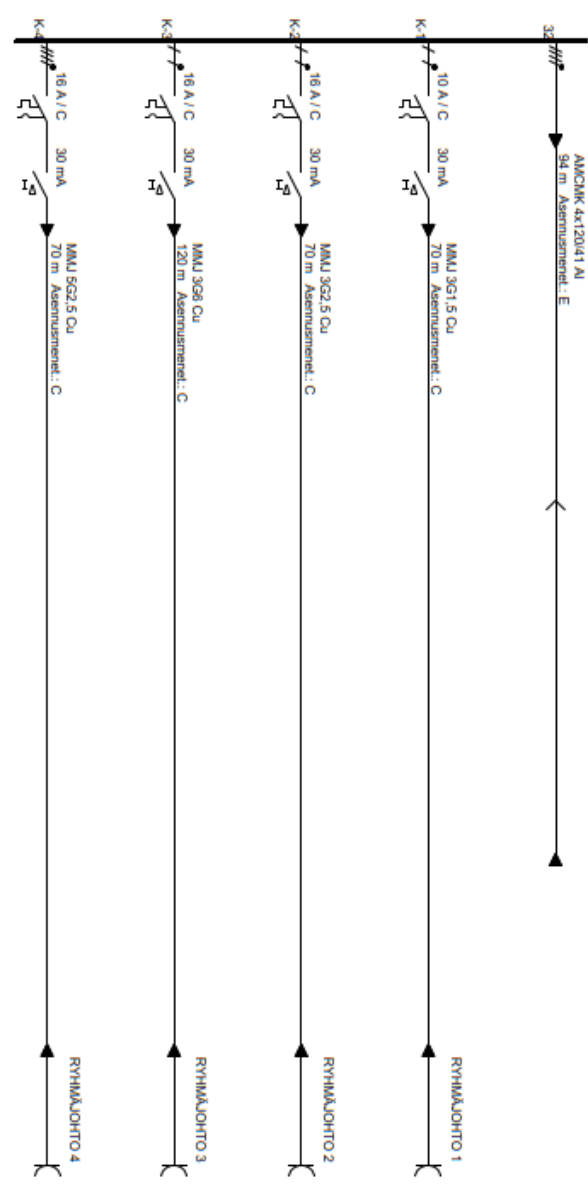
Tuotetiedot. 2022. Schneider Electric. Verkkoaineisto. <<https://www.se.com/fi/fi/product/A9F94316/acti-9-ic60l-johdonsuojakatkaisija-3p-c-16a-25ka/>> Luettu 22.4.2022

Tervonen, Teemu. 2022. Vantaan Energia. Sähköpostikysely. 26.4.2022

Virtanen, Erkka. 2012. Asennuskaapelit. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta

Liite 1 JK 1.6-KT mitoitustulokset

 <p>Granlund Oy Malminkaan 21 00701 Helsinki Puh:</p>		<p>Asennuksen osoite:</p>		<p>Asennus:</p>		<p>Pvm: 5.5.2022 20.06.17</p>	
<p>Building on Innovation</p>		<p>Asiakashen osoite:</p>		<p>Mallikohde PK 1</p>		<p>Jakokeskus JK 1.6-KT</p>	
						<p>SFS8000_2017 400 V TN-C-S</p>	
						<p>Sivu 1 / 1 (1)</p>	



Piiriluettelo, oikosulkuvirrat

Jäkelin tiedot		Max. oikosulkuvirrat ja impedansit				Min. oikosulkuvirrat ja impedansit			
Jäkelityyppi:	TNS	I_{k1max} [kA]	I_{k2max} [kA]	$I_{k1+2max}$ [kA]	$I_{k1+2max}$ [kA]	$I_{k1+2max}$ [kA]	$I_{k1+2max}$ [kA]	$I_{k1+2max}$ [kA]	$I_{k1+2max}$ [kA]
		7,642	6,618	4,365	6,118	5,299	3,413	2,498	6,118
		$\cos \phi: 0,80$	$\cos \phi: 0,80$	$\cos \phi: 0,88$	$\cos \phi: 0,84$	$\cos \phi: 0,84$	$\cos \phi: 0,91$	$\cos \phi: 0,94$	$\cos \phi: 0,84$
		R_{int} [Ω] : 0,0254	R_{int} [Ω] : 0,0190	R_{int} [Ω] : 0,0254	R_{int} [Ω] : 0,0302	R_{int} [Ω] : 0,0193	R_{int} [Ω] : 0,0302	R_{int} [Ω] : 0,0193	R_{int} [Ω] : 0,0302
		X_{int} [Ω] : 0,0967	X_{int} [Ω] : 0,0967	X_{int} [Ω] : 0,0967	X_{int} [Ω] : 0,0967	X_{int} [Ω] : 0,0967	X_{int} [Ω] : 0,0967	X_{int} [Ω] : 0,0967	X_{int} [Ω] : 0,0967
		X_{kpe} [Ω] : 0,0396	X_{kpe} [Ω] : 0,0396	X_{kpe} [Ω] : 0,0396	X_{kpe} [Ω] : 0,0396	X_{kpe} [Ω] : 0,0396	X_{kpe} [Ω] : 0,0396	X_{kpe} [Ω] : 0,0396	X_{kpe} [Ω] : 0,0396
Piiri nro.	Tunniste Kuvaus Maadotus	Kuomatyypin Kytkentäjärjestys Jäkelityyppi	Kaapelimerkkiä Kaapelityyppi Asennusmenetelmä	Pituus [m]	k_1 k_2 k_3 ΔU [%]	Laitteet	I_{kmax} [kA] I_{kmin} [kA] Istmittä	Suojalaitte Valmistaja Tyyppi	I_{k1} [kA] I_{k2} [kA] I_{k1+2} [kA]
K-1	FEBDOK_50 RYHMÄJOHTO 1	Vaihteleva kuorma L1-N	MMU 3G1,5 Cu C	70	1,00 0,70 1,00	13,60 Kytkin 30,0 [mA] 0,00 -0,41	4,365 0,105 0,104	SCHNEIDER IC60L 10 A	10 7,5 76,8
K-2	FEBDOK_51 RYHMÄJOHTO 2	Vaihteleva kuorma L1-N	MMU 3G2,5 Cu C	70	1,00 0,70 1,00	18,90 Kytkin 30,0 [mA] 0,00 -0,41	4,365 0,169 0,166	SCHNEIDER IC60L 16 A	16 7,5 77,2
K-3	FEBDOK_52 RYHMÄJOHTO 3	Vaihteleva kuorma L1-N	MMU 3G6 Cu C	120	1,00 0,70 1,00	32,20 Kytkin 30,0 [mA] 0,00 -0,41	4,365 0,232 0,226	SCHNEIDER IC60L 16 A	16 7,5 185,6
K-4	RYHMÄJOHTO 4 RYHMÄJOHTO 4	Vaihteleva kuorma L1-L2-L3-N	MMU 5G2,5 Cu C	70	1,00 0,70 1,00	16,80 Kytkin 30,0 [mA] 0,00 0,00	7,642 0,169 0,166	SCHNEIDER IC60L 16 A	16 12,5 77,1
Granlund Oy		Asennuksen osoite:		Asennus:		Pvm: 5.5.2022 20.06.17			
Malminkaari 21 PL 59 00701 Helsinki Puh:		Asiakas, onnistaja:		Mallikohde PK 1		Jakokeskus JK 1.6-KT		SFS 6000:2017 400 V TNS	
Granlund Building on Innovation		Asiakas, onnistaja:		Febdok		Vs. 6.0.223 Pvm. 1.3.2021		Sivu 1 / 1 (2)	

Jakokeskustiedot

Oikosulkuvirta		Asennuksen tiedot	
Jakokeskus: JK 1.6-KT		Järjestelmäjännite / Verkkotaajuus: 400 [V] 50 [Hz]	
Syöttö: ETUKOJE KT	Tärkeää: Käyttäjä on vastuussa sähkölaitteistosta ja sen käytöstä	Syöttökaapeli:	4 x 120 mm ²
Ik Maks: 7,642 [kA]		Jakelujärjestelmä:	TN-S
Ik Min: 3,413 [kA]		Edeltävä suojalaite	SUL 4x80 A gG
Ief Maks: 3,227 [kA]		Maadoituselektrodi (Tyyppi):	
Ief Min: 2,498 [kA]			

Piiri nro.	Kuorman kuvaus/laitteisto	Suojalaite			Kaapelin			Riviliitin	Vvsk
		Tyyppi	In [A]	Omin.	S [mm ²]	L [m]	Asenn. tapa.	Nro	[mA]
K-1	RYHMÄJOHTO 1	JSK.	10	C	1.5	70	C		30
K-2	RYHMÄJOHTO 2	JSK.	16	C	2.5	70	C		30
K-3	RYHMÄJOHTO 3	JSK.	16	C	6	120	C		30
K-4	RYHMÄJOHTO 4	JSK.	16	C	2.5	70	C		30

Asennuksen osoite:	Asennus: Pvm: 5.5.2022 20.06.17
	Mallikohde PK 1
 <p>Grenlund Oy Malminkaari 21 00701 Helsinki Puh:</p>	Jakokeskustiedot
	SFS 6000:2017 400 V TN-S
	 6.0.223 1.3.2021
	Sivu 1 (3) / 1

Liite 2 JK UPS 1 oikosulkuvirratt



Piiriluettelo, oikosulkuvirratt

Jakelun tiedot		Max. oikosulkuvirta ja impedanssit				Min. oikosulkuvirta ja impedanssit								
Jakelutyyppi:	TN-S	I_{kmax} [kA]	$\cos \phi$	R+ [Ω]	I_{kmin} [kA]	$\cos \phi$	R+ [Ω]	Z_1 [Ω]	I_{kmax} [kA]	$\cos \phi$	R+ [Ω]	I_{kmin} [kA]	$\cos \phi$	R+ [Ω]
		I_{kmax} [kA] : 2,080	$\cos \phi$: 0,97	R+ [Ω] : 0,1134	I_{kmin} [kA] : 1,585	$\cos \phi$: 0,98	R+ [Ω] : 0,1357		I_{kmax} [kA] : 1,372	$\cos \phi$: 0,98	R+ [Ω] : 0,272	I_{kmin} [kA] : 0,804	$\cos \phi$: 0,99	R _{int} [Ω] : 0,1357
		I_{kavmax} [kA] : 1,802	$\cos \phi$: 0,97	X+ [Ω] : 0,0270	I_{kavmin} [kA] : 0,804	$\cos \phi$: 0,99	R _{int} [Ω] : 0,1357		I_{kavmax} [kA] : 1,080	$\cos \phi$: 0,98	R _{int} [Ω] : 0,1134	I_{kavmin} [kA] : 0,804	$\cos \phi$: 0,99	R _{int} [Ω] : 0,1357
		L1: 0,00 A	L2: 0,00 A	X _{int} [Ω] : 0,0270	I_{premax} [kA] : 0,804	$\cos \phi$: 0,99	X _{int} [Ω] : 0,0272		I_{premin} [kA] : 0,610	$\cos \phi$: 0,99	X _{int} [Ω] : 0,0272	I_{premax} [kA] : 0,4487		X _{int} [Ω] : 0,3379
		L3: 0,00 A	N: 0,00 A	R _{intE} [Ω] : 0,4487			R _{intE} [Ω] : 0,5379				R _{intE} [Ω] : 0,5379			X _{intE} [Ω] : 0,0689
				X _{intE} [Ω] : 0,0689										
Piiri no.	Tunniste Kuvaus Maadotus	Kuormatyyppi Kytkentätarjous Jälkeilytyyppi	Kaapelimerkintä Kaapelityyppi Asennusmenetelmä	Pituus [m]	k ₁ k ₂ k ₃	I _z [A] I _z [A] ΔU [%]	Laiteet	I _{max} [kA] I _{min} [kA] I _{typ} [kA]	Suojalaitte Varmistaja Tyyppi	I _{in} [A] I _z [A] I _m [m]				
K-2	FEBDOK_132 RYHMÄJOHTO 2	Vaihteleva kuorma L1-N	MMJ3G2.5 Cu C	120	1,00 0,70 1,00	18,90 0,00 -0,41		1,080 0,091 0,088	SCHNEIDER iO9QL 10 A	10 7,5 10s 237,5				

Asennuksen osoite:		Asennus:	
Granlund Oy Malminkaanr 21 PL 59 00701 Helsinki Puh:		Mallikohde PK 1	
Asiantuntijasta:		Järjestelmä:	
Granlund Building on Innovation		JK UPS 1	
		SFS 6000:2017 400 V TN-S	
		Sivu 1 / 1	

Pvm: 5.5.2022 10:43:03	
Febdok Vn 6.0.203 Pvm 1.1.2021	

Liite 3: Febdok ohjelman lyhenneluettelo

Tunnus	Kuvaus
I_{k2vmax}	Suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta, L-L-L
I_{k2vmin}	Suurin kaksovaiheinen oikosulkuvirta, L-L
I_{k1vmax}	Suurin yksivaiheinen oikosulkuvirta, L-N
$I_{efPEmax}$	Suurin vikavirta PE-johtimeen, L-PE
$I_{efPENmax}$	Suurin vikavirta PEN-johtimeen, L-PEN
I_{k3vmin}	Pienin kolmivaiheinen oikosulkuvirta, L-L-L
I_{k2vmin}	Pienin kaksovaiheinen oikosulkuvirta, L-L
I_{k1vmin}	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta, L-N
$I_{efPEmin}$	Pienin vikavirta PE-johtimeen, L-PE
$I_{efPENmin}$	Pienin vikavirta PEN-johtimeen, L-PEN
I_{ef2v}	Kaksoisomaisuuskuvirta IT-jakelujärjestelmässä
$\cos \phi$	Mitoituslaitteen tehokerroin $\cos \phi$
R_{Σ}	Myötäjärjestelmän resistanssi kyseessä olevassa tilassa (max/min)
X_{Σ}	Myötäjärjestelmän reaktanssi kyseessä olevassa tilassa
R_{0N}	Nollajärjestelmän resistanssi kyseessä olevassa tilassa, kun nolajohdin toimii vikavirran paluujohtimeksi (max/min)
X_{0N}	Nollajärjestelmän reaktanssi kyseessä olevassa tilassa, kun nolajohdin toimii vikavirran paluujohtimeksi (max/min)
R_{0PE}	Nollajärjestelmän resistanssi kyseessä olevassa tilassa, kun PE-johdin toimii vikavirran paluujohtimeksi (max/min)
X_{0PE}	Nollajärjestelmän reaktanssi kyseessä olevassa tilassa, kun PE-johdin toimii vikavirran paluujohtimeksi (max/min)
R_{0PEN}	Nollajärjestelmän resistanssi kyseessä olevassa tilassa, kun PEN-johdin toimii vikavirran paluujohtimeksi (max/min)
X_{0PEN}	Nollajärjestelmän reaktanssi kyseessä olevassa tilassa, kun PEN-johdin toimii vikavirran paluujohtimeksi (max/min)
Maadoitus/tasaus	Ilmaisee maadoituselektrodin ja/tai potentiaalitasokain käyttöä kuormassa
Vaiheiden kytkentä	Piirin jänniteiden johtojen määrittely
Jakelutyyppi	Jakelujärjestelmä, johon syöttävät pöytä liittävät, ohjaa vaiheiden kytkentää keskuksesta lähtevissä piireissä
Kaapelityyppi. ...	Piirissä käytetyn kaapelityypin ja johdinratkaisun (mahd. virtakiskon) kuvaus
Asenn.tapa.	Johdon asennustapa (SFS 6000-5:52 mukaiset tunnukset).
Pituus	Piirissä käytetyn kaapelin/virtakiskon pituus
k_i	Ympäristön lämpötilasta johtuva virtakapasiteetin korjauskertoin
k_p	Rinnakkaisista kaapeleista/kiskoista/vierneistä johtuva virtakapasiteetin korjauskertoin
k_f	Käyttäjän määrittelemä korjauskertoin kuormitettavuudelle
I_b	Mitoitettava kuormavirta
I_z	Valitun kaapelin/virtakiskon virtakapasiteetti
ΔU	Jännitealenema, läinjänniteen % alenema suhteessa kuorman nimellajännitteeseen
Laitteet	Laitte joka on asennettu virtapiiriin, kuten vikavirtasuojakytkin/-valvoja, mittari, kontaktori, ylijännitesuoja ym.
I_{kmax}	Suurin oikosulkuvirta
I_{kmin}	Pienin oikosulkuvirta
I_{efmin}	Pienin vikavirta
Valmistaja	Suojalaitteen valmistaja (toimittaja), käytetään suojalaitteen tunnistamiseen
Tyyppi	Suojalaitteen tyyppimerkintä, tuottajan määrittelemä
I_N	Suojalaitteen mitoitusvirta
I_c	Suojalaitteen katkaisukyky
I_{cu}	I_{cu} - suojalaitteen maksimi katkaisukyky EN 60947 mukaan määriteltynä
I_{cs}	I_{cs} - suojalaitteen käytön aikana oikosulkuvirran katkaisukyky, määritelty standardissa SFS-EN 60898 ja 60947
I_{cn}	I_{cn} - suojalaitteen nominaalikatkaisukyky automaattille jotka on määritelty EN 60898 mukaisesti
I_{cs}^*	I_{cs}^* - suojalaitteen käytön aikana oikosulkuvirran katkaisukyky
I_c	I_c - sulakkeen katkaisukyky SFS EN 60269 mukaan
TAB	TAB - suojalaitteen katkaisukyky määritelty tavaranomittajan varmuustalukon mukaan
NBI	Katkaisukyky ei ole riittävä!
I_m	Kaapelin/virtakiskon maks.pit., jolla suojalaite tekee kaikkien vikavirtojen sähkömagn. poiskytkennän.
Asennuksen osoite:	
Asennus: Pvm: 5.5.2022 20.06.17	
Mallikohde PK 1	
 Greenland Malminkari 21 00701 Helsinki Puh:	Lyhenneluettelo SFS 6000:2017 400 V TN-C-S
	 6.0.223 1.3.2021